

Handbuch  
des  
Materialprüfungswesens  
von  
Otto Wawrziniok



**Handbuch**  
des  
**Materialprüfungswesens**

**für Maschinen- und Bauingenieure.**

Von

**Dipl.-Ing. Otto Wawrziniok,**  
Adjunkt an der Königl. Technischen Hochschule zu Dresden.

Mit 501 Textfiguren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1908

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-35757-6

ISBN 978-3-662-36587-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-36587-8

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1908

Alle Rechte, insbesondere das der  
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

## V o r w o r t.

Das Bedürfnis nach einem Nachschlagewerk, welches Auskunft über die bei Materialprüfungen benutzten Verfahren und Vorrichtungen gibt, veranlaßten mich, das vorliegende Handbuch des Materialprüfungswesens zu verfassen. Es ist dazu bestimmt, in kürzester Form alle wichtigeren, das Materialprüfungswesen betreffenden Fragen zu beantworten und Anleitung zur sachgemäßen Durchführung von Materialprüfungen aus dem Gebiete des Maschinen- und Bauingenieurwesens zu geben. Zur Vermeidung eines zu großen Umfanges des Werkes mußte ich mich bei meinen Ausführungen auf das Notwendigste beschränken und durch Aufnahme zahlreicher Figuren mich zur Erläuterung, wenn irgend zugänglich, der bildlichen Darstellung bedienen. Ich habe mich bemüht, die Beschreibungen und Anleitungen in allgemein faßlicher Weise zu halten und Versuchsverfahren anzugeben, welche auch weniger reich ausgestattete Prüfungsstellen benutzen können. Theorien wurden nur in solchem Umfange gegeben, als zum Verständnis der Prüfungsverfahren erforderlich ist. Es waren in erster Linie einige Abschnitte aus der Festigkeitslehre, deren Behandlung nicht zu umgehen war, da die bloßen Festigkeitsformeln im Prüfungswesen wohl verwendbar sind, ihre Ableitung aber oft Fingerzeige über die Richtung gibt, nach der die Versuchsausführung zu erfolgen hat. Zur Vermeidung von Wiederholungen fand eine Gliederung des gesamten Stoffes in mehrere Teile statt, in denen Gleichartiges zusammengefaßt wurde. Die aufgenommenen Beispiele und Ergebnisse von Versuchen sollen zum Verständnis der erläuterten Versuchsverfahren beitragen und Anhaltspunkte zur Beurteilung von anderen Versuchsergebnissen liefern. Solche Verfahren, die ein rein wissenschaftliches Interesse besitzen und für die praktische Materialprüfung demnach nicht in Frage kommen, sind nur angedeutet, und der Leser ist im übrigen auf die einschlägige Literatur verwiesen worden. Die Aufnahme des letzten Teiles, welcher die Grundzüge der Metallographie behandelt, erschien mir notwendig, weil die Gefügebildung und -beschaffenheit der Metalle wichtige Aufschlüsse über Abweichungen ihrer mechanischen Eigenschaften liefert. Die Erläuterungen wurden auf das geringste zulässige Maß beschränkt und daher die Vorgänge bei der Erstarrung und Abkühlung der Legierungen nur so weit erörtert, als

zum Verständnis der Vorgänge bei der Gefügebildung der Legierungen erforderlich ist.

Ich übergebe mein Werk der Öffentlichkeit mit dem Wunsche, daß es seinen Zweck, ein Handbuch und zugleich Lehrbuch für die Studierenden und die im praktischen Leben stehenden Ingenieure zu sein, erfülle. Ferner möchte ich nicht unterlassen, an dieser Stelle meinem verehrten Chef, dem Schöpfer und Direktor der Königlich Sächsischen Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt Herrn Geheimen Hofrat Professor Scheit meinen ergebensten Dank für die Erlaubnis auszusprechen, Einrichtungen der Versuchsanstalt bildlich darzustellen und bei den Beschreibungen in meinem Buche als Vorbilder zu benutzen.

Dresden, im Oktober 1908.

**Otto Wawrziniok.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erklärung der Buchstabenbezeichnungen . . . . .	XIX
Einleitung . . . . .	1
Geschichtliches. Zwecke und Ziele des Materialprüfungswesens . . . . .	1
Einteilung der Materialeigenschaften . . . . .	5

## Erster Teil.

### Festigkeits- und Güteprüfung der Materialien mit besonderer Berücksichtigung der Metalle.

§ 1. Begriffsentwicklung . . . . .	6
I. Zugversuche . . . . .	7
§ 2. Die Zugfestigkeit . . . . .	7
§ 3. Die Reißlänge . . . . .	7
§ 4. Elastische Dehnung . . . . .	8
§ 5. Spannungs-Dehnungsdiagramm . . . . .	8
§ 6. Bleibende Dehnung . . . . .	11
§ 7. Elastische Nachwirkung . . . . .	11
§ 8. Bruchdehnung . . . . .	11
§ 9. Querschnittszusammenziehung . . . . .	12
§ 10. Messung der Bruchdehnung . . . . .	12
§ 11. Brucherscheinungen . . . . .	14
a) Bruchformen und Aussehen der Bruchflächen . . . . .	14
b) Aussehen der Staboberfläche . . . . .	16
§ 12. Das Fließen . . . . .	16
§ 13. Weitere Oberflächenänderungen . . . . .	19
§ 14. Formänderungsarbeit . . . . .	20
§ 15. Beispiel eines Zerreißversuches . . . . .	21
§ 16. Form der Probestäbe . . . . .	22
§ 17. Abmessungen der Probestäbe . . . . .	27
§ 18. Umrechnung der Bruchdehnung auf eine andere Meßlänge . . . . .	28
§ 19. Einspannung der Probestäbe . . . . .	31
§ 20. Einfluß der Zeit auf das Ergebnis des Zerreißversuches . . . . .	34
§ 21. Die Wärmevergänge beim Längen von Metallen . . . . .	36
§ 22. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit und Dehnung der Materialien . . . . .	36
§ 23. Einfluß der thermischen Behandlung auf die Eigenschaften der Materialien . . . . .	42
§ 24. Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Festigkeitseigenschaften . . . . .	45

	Seite
II. Druckversuche . . . . .	47
§ 25. Die Druckfestigkeit der Materialien . . . . .	47
§ 26. Form der Probekörper . . . . .	49
§ 27. Einspannung der Probekörper . . . . .	53
§ 28. Bruchformen . . . . .	55
§ 29. Einfluß der Richtung der Beanspruchung auf das Festig- keitsergebnis . . . . .	58
§ 30. Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Materialien auf die Druckfestigkeit . . . . .	60
III. Biegeversuche . . . . .	61
§ 31. Die Biegefestigkeit der Materialien . . . . .	61
§ 32. Bestimmung des Trägheitsmomentes . . . . .	69
§ 33. Verlauf der Formänderungen beim Biegeversuch . . . . .	71
§ 34. Biegeversuche mit Materialien, die das Hookesche Gesetz nicht erfüllen . . . . .	73
§ 35. Messung der Durchbiegungen . . . . .	76
§ 36. Stützung des Probekörpers . . . . .	79
§ 37. Besondere Biegeversuche . . . . .	80
IV. Knickungsversuche . . . . .	81
§ 38. Die Knickfestigkeit . . . . .	81
§ 39. Einspannung der Probekörper beim Knickversuche . . . . .	84
§ 40. Messung der Formänderungen . . . . .	86
V. Scher- und Lochversuche . . . . .	88
§ 41. Die Schubfestigkeit . . . . .	88
§ 42. Der Scherversuch . . . . .	90
§ 43. Vorrichtungen für Scherversuche . . . . .	91
§ 44. Berechnung der Scherfestigkeit . . . . .	93
§ 45. Bruchformen beim Scherversuch . . . . .	94
§ 46. Bedeutung des Scherversuches . . . . .	94
§ 47. Der Lochversuch . . . . .	95
§ 48. Berechnung der Lochfestigkeit . . . . .	96
VI. Verdrehungsversuche . . . . .	97
§ 49. Die Verdrehungsfestigkeit . . . . .	97
§ 50. Bruchformen beim Verdrehungsversuch . . . . .	100
§ 51. Einfluß der Querschnittsform des Probestabes . . . . .	101
§ 52. Formänderungen beim Verdrehungsversuch . . . . .	103
§ 53. Beispiel eines umfassenden Verdrehungsversuches zur Er- mittlung der Materialkonstanten . . . . .	104
§ 54. Einspannung der Probestäbe beim Verdrehungsversuch . . . . .	104
§ 55. Messung der Formänderung . . . . .	106
VII. Versuche mit stoßweiser Beanspruchung . . . . .	107
§ 56. Die Schlagfestigkeit . . . . .	107
§ 57. Der Schlagzerreißversuch . . . . .	108
§ 58. Der Stauchversuch . . . . .	108
§ 59. Der Schlagbiegeversuch . . . . .	111
a) Versuche mit dem Fallwerke . . . . .	111

	Seite
§ 60. Konstruktionsgrundsätze der Fallwerke . . . . .	111
§ 61. Kontrolle der Fallwerke . . . . .	113
§ 62. Ausführung eines Schlagbiegeversuches . . . . .	113
§ 63. Beispiel von Lieferungsvorschriften für Schienen . . . . .	114
b) Versuche mit dem Pendelhammer (Kerbschlagbiegeprobe)	115
§ 64. Konstruktionsgrundsätze für Pendelhämmer und allgemeines	115
§ 65. Ausführung einer Kerbschlagbiegeprobe . . . . .	120
§ 66. Einfluß der Form und der Temperatur des Probestabes auf das Versuchsergebnis . . . . .	121
VIII. Dauerversuche . . . . .	122
§ 67. Schwingungsfestigkeit . . . . .	122
IX. Die technologischen Proben . . . . .	123
§ 68. Allgemeines . . . . .	123
a) Schmiedeproben . . . . .	123
§ 69. Die Ausbreiteprobe . . . . .	123
§ 70. Die Polterprobe . . . . .	124
§ 71. Die Umbördelungsprobe . . . . .	124
§ 72. Die Stauchprobe . . . . .	124
§ 73. Die Aufdornprobe . . . . .	125
§ 74. Die Lochprobe . . . . .	125
§ 75. Die Schweißprobe . . . . .	125
§ 76. Die Aufrollprobe . . . . .	125
b) Die Beiz- und Ätzproben . . . . .	126
§ 77. Allgemeines . . . . .	126
c) Biegeproben . . . . .	126
§ 78. Allgemeines . . . . .	126
§ 79. Die Kaltbiegeprobe . . . . .	129
§ 80. Die Warmbiegeprobe . . . . .	132
d) Besondere Proben . . . . .	132
§ 81. Die Hin- und Herbiegeprobe . . . . .	132
§ 82. Die Verwindungsprobe . . . . .	133
§ 83. Die Kugeldruckprobe . . . . .	135
X. Versuche zur Bestimmung der Härte der Materialien . . . . .	135
§ 84. Allgemeines . . . . .	135
§ 85. Einteilung der Härteprüfungsverfahren . . . . .	137
Gruppe I. Die Eindringungsverfahren . . . . .	138
a) Eindruckverfahren . . . . .	138
§ 86. Methode von Middelberg . . . . .	138
§ 87. Methode von Calvert und Johnson . . . . .	138
§ 88. Methode von Kerpely . . . . .	139
§ 89. Methode von Kirsch . . . . .	139
§ 90. Methode von Rudeloff und Föppl . . . . .	139
§ 91. Methode von Auerbach . . . . .	139
§ 92. Methode von Brinell (Brinellsche Kugelprobe) . . . . .	140
§ 93. Methode von Stribeck . . . . .	145
§ 94. Methode von Ludwik . . . . .	145

	Seite
b) Einhiebsverfahren . . . . .	146
§ 95. Methode von Uchatius . . . . .	146
§ 96. Methode von Spangenberg . . . . .	146
§ 97. Methode von Keep . . . . .	146
§ 98. Methode von Muschenbröck . . . . .	147
Gruppe II. Die Ritzverfahren . . . . .	147
§ 99. Methode von Moß . . . . .	147
§ 100. Methode von Gollner . . . . .	148
§ 101. Methode von Müller . . . . .	148
§ 102. Methode von Turner . . . . .	148
§ 103. Methode von Martens . . . . .	148
XI. Zähigkeit und Sprödigkeit . . . . .	150
§ 104. Allgemeines . . . . .	150
XII. Besondere Versuche . . . . .	151
§ 105. Prüfung von Stahlkugeln . . . . .	151
§ 106. Prüfung gehärteten Stahles . . . . .	154
§ 107. Prüfung von Treibriemen . . . . .	157
§ 108. Prüfung von Hanf- und Drahtseilen . . . . .	158
§ 109. Prüfung von Ketten . . . . .	166

## Zweiter Teil.

### Die Materialprüfungsmaschinen.

§ 110. Allgemeines . . . . .	170
I. Die Krafterzeuger . . . . .	171
§ 111. Allgemeines . . . . .	171
§ 112. Der mechanische Antrieb . . . . .	171
§ 113. Der hydraulische Antrieb . . . . .	172
§ 114. Die Ventile zur Regulierung der Belastungsgeschwindigkeit . . . . .	174
§ 115. Die Zylinder der hydraulischen Pressen . . . . .	176
II. Die Kraftmesser . . . . .	177
§ 116. Allgemeines . . . . .	177
§ 117. Die Hebelwage . . . . .	178
§ 118. Die Neigungswage . . . . .	180
§ 119. Die Federwage . . . . .	180
§ 120. Die hydraulische Kraftmessung . . . . .	181
§ 121. Die Federmanometer . . . . .	183
§ 122. Die Quecksilbermanometer . . . . .	183
§ 123. Die Meßdosen . . . . .	185
§ 124. Die Pendelmanometer . . . . .	188
III. Maschinenkonstruktionen . . . . .	192
§ 125. Allgemeines . . . . .	192
a) Maschinen der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg . . . . .	192
§ 126. Materialprüfungsmaschine für Zug-, Druck-, Biege-, Knickungs- und Scherversuche, Bauart Werder, mit 100 t größter Kraftäußerung . . . . .	192

	Seite
1. Konstruktionsgrundsatz . . . . .	192
2. Ausführungsform der Maschine . . . . .	193
3. Justierung und Eichung der Maschine . . . . .	196
§ 127. Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft, Bauart Martens . . . . .	202
§ 128. Materialprüfungsmaschine für Zug- und Druckversuche mit 50000 kg größter Kraftäußerung . . . . .	204
§ 129. Materialprüfungsmaschine für Druckversuche mit 500 t Kraftäußerung . . . . .	205
§ 130. Betonprüfungsmaschine für Belastungen bis 300 t . . . . .	207
b) Maschine von Heinrich Ehrhardt in Zella St. Blasii . . . . .	209
§ 131. Materialprüfungsmaschine Bauart Pohlmeier . . . . .	209
c) Maschinen der Mannheimer Maschinenfabrik Mohr & Federhaff in Mannheim . . . . .	211
§ 132. Allgemeines . . . . .	211
§ 133. Materialprüfungsmaschine mit mechanischem Antrieb für 50000 kg Zugkraft . . . . .	211
1. Ausführungsform der Maschine . . . . .	211
2. Kontrollvorrichtung der Maschine . . . . .	216
§ 134. Materialprüfungsmaschine mit Meßdose für Zugversuche bis 50000 kg Belastung . . . . .	216
§ 135. Materialprüfungsmaschine für Torsionsversuche mit 500000 cmkg Drehmoment . . . . .	218
§ 136. Normalpendelschlagwerk von 75 mkg Arbeitsinhalt zur Er- mittlung der Kerbzähigkeit von Konstruktionsmaterialien . . . . .	220
§ 137. Kugeldruckpresse zur Ermittlung der Härte nach dem Verfahren von Brinell . . . . .	221
d) Maschinen der Düsseldorfer Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. J. Losenhausen . . . . .	225
§ 138. Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft mit mechanischem Antrieb . . . . .	225
§ 139. Materialprüfungsmaschine für 500—3000 kg Zugkraft mit mechanischem Antrieb . . . . .	225
§ 140. Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft mit hy- draulischem Antrieb . . . . .	228
e) Materialprüfungsmaschine für Druck- und Knickversuche mit 1000000 kg Kraftäußerung . . . . .	228
§ 141. Beschreibung der Maschine . . . . .	228
f) Materialprüfungsmaschinen von Oskar Leuner in Dresden . . . . .	230
§ 142. Allgemeines . . . . .	230
§ 143. Materialprüfungsmaschine für Zugversuche mit 3000 kg größter Kraftäußerung . . . . .	230
g) Materialprüfungsmaschinen von L. Schopper in Leipzig . . . . .	233
§ 144. Zerreißmaschine zur Prüfung von Geweben, Dachpappen und dergl. mit 150 kg größter Kraftäußerung . . . . .	233

	Seite
§ 145. Apparat zum Prüfen von Zementkörpern auf Zugfestigkeit	236
h) Materialprüfungsmaschinen von J. Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen (Schweiz) . . . . .	237
§ 146. Allgemeines . . . . .	237
§ 147. 50 t Materialprüfungsmaschine für Zug-, Druck- und Biege- versuche . . . . .	237
§ 148. 30 t Materialprüfungsmaschine für Druckversuche mit Zerreißapparat für Zementprobekörper . . . . .	238
§ 149. 5000 kg Materialprüfungsmaschine für Zugversuche . . .	239
§ 150. 1000 kg Materialprüfungsmaschine für Zerreißversuche mit Diagrammapparat . . . . .	241
§ 151. 2000 kg Materialprüfungsmaschine für Biegeversuche . .	242
§ 152. Biegemaschine für Beanspruchung durch verteilte Lasten	244
§ 153. 150 mkg Torsionsmaschine mit Diagrammapparat . . .	245
§ 154. 6 mkg Torsionsmaschine . . . . .	247
§ 155. Umschlag-Apparat . . . . .	249
IV. Die Kontrolle der Materialprüfungsmaschinen . . . . .	250
§ 156. Allgemeines . . . . .	250
§ 157. Prüfung durch Gewichtsbelastung . . . . .	251
a) Direkte Belastung . . . . .	251
b) Belastung unter Benutzung einer zwischengeschalteten Hebelvorrichtung . . . . .	252
§ 158. Prüfung durch Vergleichung der zu prüfenden Maschine mit einer anderen . . . . .	252
a) Unter Verwendung einer hydraulischen Presse . . .	252
b) Unter Benutzung eines Kontrollstabes . . . . .	253

### Dritter Teil.

## Physikalische Meßinstrumente und Messungen.

I. Instrumente und Verfahren zur Längenmessung . . . . .	255
§ 159. Allgemeines . . . . .	255
§ 160. Fehler bei den Messungen . . . . .	255
§ 161. Strichmaßstäbe . . . . .	256
§ 162. Schiebelehren (Schublehren) . . . . .	257
§ 163. Der Nonius . . . . .	257
§ 164. Maßstab zum Messen der Längenänderungen von Zerreiß- stäben . . . . .	258
§ 165. Teilmaschine für Probestäbe . . . . .	258
§ 166. Mikrometerschrauben . . . . .	259
§ 167. Okularschraubenmikrometer . . . . .	262
§ 168. Dickenmesser nach Abbe von Zeiß, Jena . . . . .	263
§ 169. Großer Komparator von Zeiß . . . . .	266
§ 170. Der Bauschingersche Spiegelapparat . . . . .	266
§ 171. Der Martenssche Spiegelapparat . . . . .	269
§ 172. Der Hartig-Leunersche Spiegelapparat . . . . .	275
§ 173. Der Bachsche Feinmeßapparat . . . . .	275

	Seite
§ 174. Die Dehnungsmessung nach dem Interferenzprinzip . . .	277
§ 175. Zeigerapparate zur Messung der Größe linearer Bewegungen im Raume . . . . .	277
§ 176. Die Diagrammapparate . . . . .	278
II. Instrumente und Verfahren für Gewichtsermittlungen . . . . .	281
§ 177. Die Wagen und Wägungen . . . . .	281
§ 178. Empfindlichkeit einer Wage . . . . .	284
§ 179. Das spezifische Gewicht . . . . .	285
§ 180. Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes von Flüssig- keiten . . . . .	285
a) Ermittlung mit dem Pyknometer . . . . .	285
b) Ermittlung mit dem Skalenräometer . . . . .	286
c) Ermittlung mit Senkkörper nach der Auftriebs- methode . . . . .	287
§ 181. Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes von festen Körpern . . . . .	288
a) Ermittlung durch Wägung und Ausmessung . . . . .	288
α) Das Volumenometer von Schumann . . . . .	289
β) Das Volumenometer nach Erdmenger-Mann . . . . .	289
γ) Das Segersche Volumenometer . . . . .	293
b) Mit der Wage nach der Auftriebsmethode . . . . .	294
c) Nach der Schwebemethode . . . . .	295
§ 182. Raumgewicht und Dichtigkeitsgrad . . . . .	295
III. Instrumente und Verfahren zur Temperaturmessung . . . . .	296
§ 183. Allgemeines . . . . .	296
§ 184. Das Quecksilberthermometer . . . . .	296
§ 185. Die Temperaturbestimmung mit Thermoelementen . . . . .	297
§ 186. Zeigergalvanometer . . . . .	300
§ 187. Das registrierende Zeigergalvanometer . . . . .	301
§ 188. Kompensationsschaltung nach Lindeck . . . . .	302
§ 189. Die optischen Pyrometer . . . . .	302
§ 190. Die Segerkegel . . . . .	304
§ 191. Die Sentinelpyrometer . . . . .	306
IV. Instrumente zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit und des Taupunktes	
§ 192. Die relative Luftfeuchtigkeit . . . . .	307
§ 193. Die Haarhygrometer . . . . .	307
§ 194. Die absolute Luftfeuchtigkeit und der Taupunkt . . . . .	308

**Vierter Teil.**

**Prüfung der Baustoffe.**

I. Die natürlichen Bausteine . . . . .	310
§ 195. Einleitung . . . . .	310
§ 196. Das geologische Alter und die petrographische Beschreibung . . . . .	310
§ 197. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht, Dichtigkeitsgrad und Undichtigkeitsgrad . . . . .	311
§ 198. Die Härte . . . . .	311

	Seite
§ 199. Die Wasseraufnahmefähigkeit . . . . .	311
§ 200. Die Druckfestigkeit . . . . .	312
§ 201. Vorbereitung der Probekörper für die Druckversuche . . . . .	313
§ 202. Die Schlagfestigkeit . . . . .	314
§ 203. Die Wetterbeständigkeit . . . . .	316
Gruppe I. Die eigentlichen Atmosphärlilien . . . . .	316
Gruppe II. Die Temperaturschwankungen . . . . .	316
Gruppe III. Die Rauchgase . . . . .	316
Gruppe IV. Atmosphärischer Staub, organisches Leben . . . . .	317
Gruppe V. Ausblühende Salze . . . . .	317
§ 204. Die Abnutzbarkeit . . . . .	319
a) Versuche mit der Schleifmaschine . . . . .	319
b) Versuche mit dem Sandstrahlgebläse . . . . .	322
II. Die künstlichen Bausteine . . . . .	325
§ 205. Allgemeines . . . . .	325
§ 206. Form, Abmessungen und Gewicht der Steine . . . . .	326
§ 207. Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche und das Bruchgefüge . . . . .	326
§ 208. Spezifisches Gewicht, Raumbgewicht, Dichtigkeitsgrad, Undichtigkeitsgrad, Feuchtigkeitsgehalt, Glühverlust . . . . .	326
§ 209. Die Wasseraufnahme- und -abgabefähigkeit . . . . .	326
§ 210. Die Wasserdurchlässigkeit . . . . .	327
§ 211. Die Wetterbeständigkeit . . . . .	327
§ 212. Die Feuerbeständigkeit . . . . .	328
§ 213. Die Festigkeit der künstlichen Bausteine . . . . .	329
§ 214. Die Schlagfestigkeit . . . . .	334
§ 215. Die Abnutzbarkeit . . . . .	334
§ 216. Der Gehalt an löslichen Salzen . . . . .	334
§ 217. Die Säurebeständigkeit . . . . .	336
§ 218. Isolierfähigkeit gegen Temperaturveränderungen . . . . .	336
III. Prüfung von Sand, Kies, Steinschlag und deren Ersatzstoffen . . . . .	337
§ 219. Begriffsfeststellung und allgemeines . . . . .	337
a) Sand . . . . .	337
b) Kies . . . . .	338
c) Steinschlag . . . . .	338
§ 220. Ursprung des Materials . . . . .	339
§ 221. Das spezifische Gewicht . . . . .	339
§ 222. Das Raumbgewicht . . . . .	339
§ 223. Der Feuchtigkeitsgehalt . . . . .	340
§ 224. Die Korngröße, Kornform und Oberflächenbeschaffenheit des Kornes . . . . .	340
§ 225. Menge der abschlämmbaren Substanz . . . . .	342
§ 226. Die Druckfestigkeit . . . . .	343
A. Versuche mit statischer Beanspruchung . . . . .	343
B. Versuche mit Schlagbeanspruchung . . . . .	343
a) Versuche mit der Stopfhacke . . . . .	343
b) Versuche mit dem Stempel . . . . .	344

	Seite
§ 227. Die Abnutzbarkeit . . . . .	345
§ 228. Die Frost- und Wetterbeständigkeit . . . . .	347
IV. Die Prüfung der Bindemittel . . . . .	348
§ 229. Allgemeines . . . . .	348
A. Der Portlandzement . . . . .	348
§ 230. Begriffsfeststellung . . . . .	348
§ 231. Feinheit der Mahlung . . . . .	349
§ 232. Das spezifische Gewicht . . . . .	352
§ 233. Das Raumgewicht (Litergewicht) . . . . .	354
§ 234. Das Abbinden des Zementes . . . . .	356
§ 235. Die Erhärtung des Zementes . . . . .	360
§ 236. Die Selbstfestigkeit und die Mörtelfestigkeit des Zementes . . . . .	360
§ 237. Der Normalsand . . . . .	361
§ 238. Der Normalmörtel . . . . .	361
§ 239. Die Herstellung der Probekörper für die Festigkeitsversuche . . . . .	364
§ 240. Zug- und Druckversuche . . . . .	373
§ 241. Beurteilung der Ergebnisse von Festigkeitsversuchen mit Zement . . . . .	376
§ 242. Die Volumenbeständigkeit . . . . .	378
1. Die Darrprobe . . . . .	380
2. Die Dampfdarrprobe . . . . .	380
3. Die Heintzelsche Kugelglühprobe . . . . .	380
4. Die Michaelissche Kochprobe . . . . .	380
5. Die Maclaysche Heißwasserprobe . . . . .	380
6. Die Prüssingsche Preßkuchenprobe . . . . .	381
7. Die Erdmengersche Hochdruckdampfprobe . . . . .	381
§ 243. Die Frostbeständigkeit . . . . .	386
§ 244. Die Wetterbeständigkeit . . . . .	389
§ 245. Wasserdichtigkeit . . . . .	389
§ 246. Prüfung auf Reinheit des Zementes . . . . .	392
§ 247. Die Schwebeanalyse . . . . .	393
B. Luftkalk . . . . .	395
§ 248. Begriffsfeststellung und allgemeine Eigenschaften der Luftkalke . . . . .	395
§ 249. Das Löschen des Kalkes . . . . .	396
§ 250. Die Lösungsverfahren . . . . .	397
a) Trockenlöschung . . . . .	397
b) Naßlöschung . . . . .	398
§ 251. Beschaffenheit des gelöschten Kalkes . . . . .	400
a) Trockenkalk . . . . .	400
b) Breikalk . . . . .	400
§ 252. Das spezifische Gewicht und das Raumgewicht . . . . .	400
§ 253. Das Litergewicht . . . . .	400
§ 254. Siebfeinheit des Trockenkalkes . . . . .	401
§ 255. Die Raumbeständigkeit . . . . .	401
§ 256. Das Anziehen und die Erhärtung des Luftkalkes . . . . .	402
§ 257. Die Festigkeit des Kalkes und des Kalkmörtels . . . . .	403

	Seite
§ 258. Die Haft- und Scherfestigkeit des Kalkmörtels . . . . .	405
§ 259. Die Mörtelergiebigkeit . . . . .	406
§ 260. Bestimmung des Kalkgehaltes im Kalkmörtel . . . . .	406
§ 261. Der Normalkalk . . . . .	407
C. Die natürlichen Wasserkalke (hydraulische Kalke) . . . . .	408
§ 262. Begriffsfeststellung und allgemeines . . . . .	408
§ 263. Das Ablöschen und die Ergiebigkeit . . . . .	408
§ 264. Sonstige physikalische Eigenschaften des Wasserkalkes . . . . .	409
D. Die künstlichen Wasser- oder hydraulischen Kalke . . . . .	410
§ 265. Begriffsfeststellung und allgemeines . . . . .	410
§ 266. Normen für die Prüfung von Traß . . . . .	410
a) Bestimmung des hygroskopischen Wassers und des Hydratwassers (Glühverlust) . . . . .	410
b) Mahlfeinheit . . . . .	412
c) Nadelprobe . . . . .	412
d) Zug- und Druckfestigkeit . . . . .	413
§ 267. Besondere, in den Normen nicht vorgeschriebene Traßprüfungen . . . . .	413
V. Die Prüfung des Zementbetons . . . . .	414
§ 268. Begriffsfeststellung und Bestandteile des Betons . . . . .	414
§ 269. Umfang und Zweck einer Betonprüfung . . . . .	415
§ 270. Allgemeine Gesichtspunkte für Bereitung der Betonmasse . . . . .	416
§ 271. Mischungsverhältnis und Art der Betonmasse . . . . .	416
§ 272. Der Wasserzusatz . . . . .	418
§ 273. Das Mischen . . . . .	418
a) Handmischung . . . . .	418
b) Die Beton-Mischmaschine „Hüser“ . . . . .	418
§ 274. Die Arbeitsstelle . . . . .	420
§ 275. Die Geräte zur Herstellung der Probekörper . . . . .	420
a) Die Formen . . . . .	420
b) Die Stampfer . . . . .	421
§ 276. Einlegen und Stampfen der Betonmasse . . . . .	421
§ 277. Schmidts Betonstampfmaschine . . . . .	423
§ 278. Behandlung und Aufbewahrung der Probekörper . . . . .	425
§ 279. Die Druckprobe . . . . .	425
§ 280. Die elastischen Eigenschaften des Betons . . . . .	426
§ 281. Die Wasserdichtigkeit des Betons . . . . .	428
VI. Die Prüfung des Holzes . . . . .	429
§ 282. Allgemeines . . . . .	429
§ 283. Probeentnahme . . . . .	429
a) Standortsbeschreibung . . . . .	430
b) Die Standortsgüte . . . . .	430
c) Art des Bestandes . . . . .	430
d) Wachstumsverhältnisse . . . . .	431
e) Das Alter des Baumes . . . . .	431
f) Die Fällungszeit . . . . .	431

	Seite
g) Art der Lagerung . . . . .	431
h) Lage des Versuchsstückes im Stamm . . . . .	431
§ 284. Die Beschreibung der äußeren Kennzeichen des Probe- stückes . . . . .	431
§ 285. Entnahme der Versuchskörper aus den Probestücken . . . . .	432
§ 286. Das Raumgewicht . . . . .	433
§ 287. Der Feuchtigkeitsgehalt . . . . .	434
§ 288. Das Schwinden und Quellen . . . . .	435
§ 289. Die Festigkeitseigenschaften des Holzes . . . . .	436
§ 290. Der Druckversuch . . . . .	436
§ 291. Der Biegeversuch . . . . .	437
§ 292. Der Scherversuch . . . . .	439
§ 293. Der Zugversuch . . . . .	439
§ 294. Der Spaltversuch . . . . .	439
§ 295. Die Härte des Holzes . . . . .	442
§ 296. Die Dauerhaftigkeit des Holzes . . . . .	442
VII. Die Prüfung von Dachbedeckungsmaterialien . . . . .	443
§ 297. Allgemeines . . . . .	443
§ 298. Prüfung der Dachziegel . . . . .	443
a) Äußere Beschaffenheit . . . . .	443
b) Die Form . . . . .	443
c) Das Gewicht . . . . .	444
d) Das Gewicht von 1 qm Dachbedeckung . . . . .	444
e) Das spezifische Gewicht . . . . .	444
f) Das Raumgewicht . . . . .	444
g) Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrad . . . . .	444
h) Ermittlung der Wasseraufsaugefähigkeit . . . . .	444
i) Bestimmung der wasserlöslichen Salze . . . . .	444
k) Die Prüfung auf schädliche Einlagerungen wie lösch- fähige Kalkteile usw. . . . .	444
l) Die Wasserdurchlässigkeit . . . . .	444
m) Die Frostbeständigkeit . . . . .	445
n) Die Biegefestigkeit . . . . .	445
o) Die Stoßfestigkeit . . . . .	446
p) Die Abnutzbarkeit . . . . .	446
q) Die Feuerbeständigkeit . . . . .	446
r) Haltbarkeit des Farbüberzuges und der Glasur . . . . .	448
§ 299. Prüfung von natürlichem Dachschiefer . . . . .	448
§ 300. Prüfung der Dachpappen und deren Rohpappen . . . . .	449
a) Allgemeines und Umfang der Prüfung . . . . .	449
b) Dicke und Gewicht . . . . .	450
c) Verhalten beim Biegen und Zusammenschlagen . . . . .	450
d) Farbe und Imprägnierungsgrad . . . . .	450
e) Wasseraufnahmefähigkeit . . . . .	451
f) Wasserdurchlässigkeit . . . . .	451
g) Reißlänge und Dehnung . . . . .	451
h) Zusammensetzung der Rohpappen . . . . .	452

	Seite
α) Feuchtigkeitsgehalt . . . . .	453
β) Aschengehalt . . . . .	453
γ) Gehalt an Wollfaser . . . . .	453
301. Prüfung der aus Dachpappen hergestellten Dachdeckungen	454
a) Gewichtsermittlung . . . . .	454
b) Beanspruchung durch Innenfeuer . . . . .	454
c) Beanspruchung durch Außenfeuer . . . . .	455
§ 302. Prüfung von Holzzementbedachungen . . . . .	456
§ 303. Prüfung der Anstrich-, Klebe- und Imprägnierungsmassen für Dachpappen und für Holzzementbedachungen . . . . .	457

### Fünfter Teil.

## Prüfung von Bauteilen aus natürlichen und künstlichen Steinen, sowie aus Beton und Eisenbeton.

§ 304. Allgemeines . . . . .	459
I. Prüfung von Ton-, Steinzeug- und Zementröhren . . . . .	460
§ 305. Allgemeines . . . . .	460
§ 306. Abmessungen und äußere Beschaffenheit . . . . .	460
§ 307. Prüfung auf Druck von außen . . . . .	461
a) Stoßfreier Scheiteldruck . . . . .	461
b) Schlagversuche . . . . .	464
§ 308. Prüfung auf Druck von innen . . . . .	465
§ 309. Prüfung des Gefüges . . . . .	466
a) Bruchflächenbeschaffenheit . . . . .	466
b) Härte . . . . .	467
c) Dichtigkeitsgrad . . . . .	467
d) Wasserdurchlässigkeit . . . . .	467
§ 310. Prüfung der Innenflächen . . . . .	467
§ 311. Prüfung von Rohrverbindungen . . . . .	468
II. Prüfung von Mauerwerk . . . . .	469
§ 312. Allgemeines . . . . .	469
§ 313. Form und Abmessungen der Probekörper . . . . .	470
§ 314. Umfang einer vollständigen Mauerwerksprüfung . . . . .	471
III. Prüfung von Gelenksteinen . . . . .	471
§ 315. Art der Versuchsausführung . . . . .	471
§ 316. Beispiel eines Druckversuches . . . . .	473
IV. Prüfung von ebenen Platten, Gewölben, Treppen und Wänden . . . . .	474
§ 317. Prüfungsgeräte und Versuchsausführung . . . . .	474
§ 318. Messung der Formänderungen . . . . .	482
§ 319. Prüfung von Treppenstufen, Zementdielen und dergl. . . . .	485
§ 320. Versuchsanordnung bei der Prüfung von Treppen . . . . .	486
§ 321. Prüfung von Wänden . . . . .	487
V. Prüfung von Bauteilen auf Feuerbeständigkeit . . . . .	489
§ 322. Allgemeines . . . . .	489
§ 323. Prüfung von feuersicheren Türen . . . . .	489
§ 324. Prüfung von Bautafeln und sogen. feuersicherer Masse . . . . .	491

	Seite
§ 325. Prüfung von Verglasungen auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer . . . . .	492
§ 326. Hauptgesichtspunkte bei Brandversuchen . . . . .	494
a) Konstruktion des Versuchshauses . . . . .	494
b) Art des Brennmaterials . . . . .	495
c) Bemessung des Brennmaterials . . . . .	495
d) Führung des Feuers . . . . .	495
e) Messung der Temperatur . . . . .	496
f) Das Ablöschen des Feuers . . . . .	496
g) Die Dauer des Versuches . . . . .	496

**Sechster Teil.**

**Grundzüge der Metallographie.**

§ 327. Einleitung . . . . .	497
I. Vorgänge bei der Abkühlung flüssiger und fester Lösungen . . . . .	498
§ 328. Allgemeines . . . . .	498
§ 329. Vorgänge bei der Erstarrung wässriger Lösungen . . . . .	499
§ 330. Vorgänge bei der Erstarrung geschmolzener binärer Metalllösungen . . . . .	503
a) Die Komponenten bilden keine chemische Verbindung miteinander . . . . .	503
b) Die Komponenten gehen chemische Verbindungen ein . . . . .	506
§ 331. Legierungen mit mehr als zwei Komponenten . . . . .	507
§ 332. Verfahren und Hilfsmittel zur Feststellung der Abkühlungskurven . . . . .	508
II. Hilfsmittel und Verfahren zum Sichtbarmachen des mikroskopischen Gefüges . . . . .	516
§ 333. Allgemeines . . . . .	516
§ 334. Entnahme der Probestücke . . . . .	517
§ 335. Vorbereitung der Probestücke . . . . .	517
§ 336. Das Feinschleifen . . . . .	518
§ 337. Das Polieren . . . . .	520
§ 338. Die Entwicklung des Gefüges der Schlißfläche . . . . .	520
a) Das Anlassen . . . . .	521
b) Das Reliefpolieren . . . . .	521
c) Das Ätzpolieren . . . . .	522
d) Das Ätzen . . . . .	522
§ 339. Auswahl, Anwendungsweise, Wirkungsweise und Zusammensetzung der Ätzmittel . . . . .	523
1. Ätzen mit Salpetersäure . . . . .	523
2. Ätzen mit Salzsäure . . . . .	523
3. Ätzen mit Kupferammoniumchlorid . . . . .	524
4. Ätzen mit Pikrinsäure . . . . .	524
5. Ätzen mit Jod . . . . .	525
6. Ätzen mit Natriumpikrat . . . . .	525
7. Ätzen mit Ammoniak . . . . .	525

	Seite
8. Ätzen mit konzentrierter Kalilauge . . . . .	525
9. Ätzen unter gleichzeitiger Anwendung des elektrischen Stromes . . . . .	526
III. Die Hilfsmittel zur Beobachtung und zum Photographieren des Gefüges	526
§ 340. Die mikroskopische Untersuchung . . . . .	526
§ 341. Kugelmikroskop nach Martens . . . . .	527
§ 342. Der mikrophotographische Apparat von Zeiß . . . . .	527
§ 343. Die Einstellung und photographische Aufnahme eines Gefügebildes . . . . .	530
§ 344. Der mikrophotographische Apparat nach Le Chatelier	531
§ 345. Das Ausmessen des Gefügebildes . . . . .	532
IV. Besondere Metallographie des Eisens und seiner Legierungen . . .	533
§ 346. Vorgänge bei der Erstarrung und Abkühlung des Eisens	533
§ 347. Die Gefügebestandteile der Eisen-Kohlenstofflegierungen	537
a) Der Ferrit . . . . .	538
b) Der Cementit . . . . .	539
c) Der Perlit . . . . .	539
d) Der Martensit . . . . .	540
e) Der Troostit . . . . .	541
f) Der Sorbit . . . . .	541
g) Der Austenit . . . . .	541
h) Der Graphit . . . . .	542
i) Die Temperkohle . . . . .	542
§ 348. Anwendungsbeispiele der Metallographie als Hilfsmittel bei der Prüfung von Metallen . . . . .	543

### Anhang.

Die makroskopische Gefügeuntersuchung des schmiedbaren Eisens . . .	545
§ 349. Allgemeines . . . . .	545
§ 350. Vorbereitung der Probestücke und Sichtbarmachung des Gefüges . . . . .	546
§ 351. Reaktion auf Kohlenstoffverteilung . . . . .	547
§ 352. Reaktion auf phosphorreichere Stellen . . . . .	547
§ 353. Reaktion auf schwefelreichere Stellen . . . . .	548
§ 354. Entscheidung, ob ein Material Schweißisen oder Flußisen ist . . . . .	548
§ 355. Sichtbarmachen von Deformationen, denen das Probestück ausgesetzt wurde . . . . .	549
§ 356. Hilfsmittel zur Beobachtung der Struktur . . . . .	551
Tafel der Potenzen, Wurzeln, Briggs'schen Logarithmen, Kreisumfänge und Kreisflächen . . . . .	554
Berichtigungen . . . . .	574

## Erklärung der Buchstabenbezeichnungen.

- $a$  = spezifische Schlagarbeit.  
 $d$  = Dichtigkeitsgrad und auch Durchmesser eines zylindrischen Probekörpers.  
 $d_f$  und  $d_r$  = der zum Raumgewicht  $r_f$  und  $r_r$  gehörige Dichtigkeitsgrad.  
 $d'$  oder  $d_0, d_1, d_2 \dots d_n$  = Sonderwerte des Durchmessers.  
 $e$  = bei einem auf Biegung beanspruchten Probestabe der Abstand der am stärksten gespannten Faser von der Neutralachse.  
 $e_z$  = der Abstand der am stärksten gezogenen Faser.  
 $e_d$  = der Abstand der am stärksten gedrückten Faser.  
 $f$  = Querschnitt eines Probekörpers.  
 $f'$  oder  $f_1, f_2 \dots f_n$  = Sonderwerte des Querschnittes eines Probekörpers.  
 $g$  = Gewicht der Längeneinheit eines Probekörpers.  
 $h$  = Fallhöhe bei Schlagversuchen.  
 $l$  = Länge eines Probekörpers.  
 $l'$  oder  $l_1, l_2 \dots l_n$  oder auch  $L$  = Sonderwerte der Länge eines Probekörpers.  
 $l_b$  = Länge der Meßstrecke eines Zerreißstabes nach dem Bruche.  
 $m$  = Exponent (s. S. 10) und auch Masse eines Körpers.  
 $p$  = Flüssigkeitsdruck in kg/qcm.  
 $r$  = Raumgewicht eines Körpers.  
 $r_f$  = Raumgewicht (auch Litergewicht) von geschichtetem, stückigem oder pulverförmigem Material im eingefüllten Zustande.  
 $r_r$  = dasselbe im eingerüttelten Zustande.  
 $s$  = spezifisches Gewicht.  
 $u$  = Undichtigkeitsgrad.  
 $v$  und  $V$  = Volumen eines Probekörpers.  
 $w$  = Auftrieb eines festen Körpers in Flüssigkeit.  
 $y$  = Durchbiegung eines stab- oder plattenförmigen Körpers.  
 $y', y_1, y_2 \dots y_n$  = Sonderwerte von  $y$ .  
 $A$  = Formänderungsarbeit (s. S. 20).  
 $A_1, A_2 \dots A_1', A_2' \dots$  = Sonderwerte von  $A$ .  
 $A_g$  = Ausbreitung bei der Ausbreitprobe (s. S. 123).  
 $B_g$  = Biegegröße.  
 $E_g$  = Erweiterung bei der Aufdornprobe (s. S. 125).  
 $G$  = Gewicht eines Körpers.  
 $K$  = Druckfestigkeit.  
 $K_b$  = Biegefestigkeit.  
 $K_d$  = Drehungs- bzw. Torsionsfestigkeit.  
 $K_z$  = Zugfestigkeit.  
 $M_b$  = Biegemoment.  
 $M_d$  = Drehmoment.  
 $P$  = Kraft.  
 $P_0, P_1, P_2$  = Sonderwerte von  $P$ .  
 $S$  = Scherkraft.

- $S_L$  = Lochkraft (s. S. 96).  
 $S_g$  = Streckung bei der Ausbreitprobe (s. S. 123).  
 $S_{tg}$  = Stauchung bei der Stauchprobe (s. S. 124).  
 $\alpha$  = Dehnungskoeffizient, auch Wärmeausdehnungskoeffizient.  
 $\frac{1}{\alpha}$  =  $E$  = Elastizitätsmodul.  
 $\beta$  = Schubkoeffizient.  
 $\frac{1}{\beta}$  =  $G$  = Schub- oder Gleitmodul.  
 $\gamma$  = Schiebung.  
 $\gamma'$  = Sonderwert von  $\gamma$ .  
 $\gamma_p$  = Schiebung an der Proportionalitätsgrenze.  
 $\gamma_d$  = " " " Drehgrenze.  
 $\gamma_{\max}$  = Größte Schiebung im Augenblicke des Bruches.  
 $\delta$  = Drahtdurchmesser bei Drahtseilen.  
 $\varepsilon$  = Dehnung.  
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n$  = Sonderwerte der Dehnung.  
 $\eta$  = Reduktionskoeffizient des Elastizitätsmoduls (s. S. 164).  
 $\vartheta$  = Verdrehungswinkel.  
 $\vartheta_l$  = Sonderwert von  $\vartheta$ .  
 $\lambda$  = Verlängerung oder Verkürzung eines Probekörpers.  
 $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  = Sonderwerte von  $\lambda$ .  
 $\mu$  = 1 Mikron,  $\frac{1}{1000}$  mm.  
 $\mu_0$  = Koeffizient (s. S. 76).  
 $\rho$  = Krümmungsradius der neutralen Schicht beim Biegeversuch, auch beliebiger Radius.  
 $\sigma$  = Normalspannung kg/qcm.  
 $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_n$  = Sonderwerte von  $\sigma$ .  
 $\sigma_{\max}$  = Höchstwert der Materialspannung im Augenblicke des Bruches.  
 $\sigma_f$  = Spannung an der Fließgrenze.  
 $\sigma_p$  = " " " Proportionalitätsgrenze.  
 $\sigma_e$  = " " " Elastizitätsgrenze.  
 $\sigma_z$  = Zugspannung.  
 $\sigma_d$  = Druckspannung.  
 $\tau$  = Schubspannung kg/qcm.  
 $\tau'$   $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n$  = Sonderwerte von  $\tau$ .  
 $\tau_p$  = Schubspannung an der Proportionalitätsgrenze.  
 $\tau_d$  = " " " Drehgrenze.  
 $\tau_{\max}$  =  $K_d$  = Drehungsfestigkeit.  
 $\tau_S$  = Scherspannung.  
 $\tau_L$  = Lochfestigkeit (s. S. 96).  
 $\varphi$  = Bruchdehnung in Prozenten der ursprünglichen Länge eines Probekörpers, auch Koeffizient.  
 $\Psi$  = Querschnittsänderung in Prozenten des ursprünglichen Querschnittes.  
 $\Theta$  = Trägheitsmoment.  
 $\Theta', \Theta_1, \Theta_2 \dots$  = Sonderwerte von  $\Theta$ .  
 $\Theta_p$  = Polares Trägheitsmoment.

# Einleitung.

## Geschichtliches. Zwecke und Ziele des Materialprüfungswesens.

Für die Verwendung von Bau- und Konstruktionsmaterialien ist die Kenntnis ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften von hervorragender Bedeutung. Die zahlenmäßige Festlegung dieser Eigenschaften ist Aufgabe des Materialprüfungswesens, welches in den letzten Jahrzehnten zu einer besonderen Wissenschaft ausgestaltet worden ist. Obgleich die Anfänge des Materialprüfungswesens viel weiter zurückliegen, dürfen die ersten planmäßig ausgeführten Materialprüfungen dem Engländer Kirkaldy zugeschrieben werden, der in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts über Zerreißversuche mit Eisenstäben berichtete. Einige Jahre später veröffentlichte Wöhler die Ergebnisse seiner klassisch gewordenen Dauerversuche mit Metallen, welche die hohe Bedeutung vielfältiger Beanspruchungen auf die Eigenschaften der Materialien klarstellten. In streng wissenschaftliche Bahnen gelenkt wurde das Materialprüfungswesen jedoch erst durch Bauschinger, der in seinem Münchener Laboratorium eine große Reihe von grundlegenden Arbeiten schuf und auch die Mittel und Wege zeigte, mit Hilfe deren die neue Wissenschaft nutzbringend für die Technik zu verwerten sei.

Angeregt durch die Arbeiten Bauschingers und durch die von diesem veranlaßten Konferenzen zur Vereinheitlichung der Materialprüfungsverfahren, entstanden an den Pflegstätten der technischen Wissenschaft, den technischen Hochschulen, Materialprüfungslaboratorien, mit denen Namen wie Hartig, Fischer, von Tetmajer, von Bach, Martens, Scheit, Föppl und Striebeck unlösbar verknüpft sind.

Auch die Materialien verarbeitenden Industrien haben die Wichtigkeit planmäßig durchgeführter Materialprüfungen erkannt und in Würdigung derselben entweder ihren eigenen Betrieben Materialprüfungslaboratorien angegliedert oder durch fortlaufende Inanspruchnahme der öffentlichen Materialprüfungsanstalten sich für ihre Bau- und Konstruktionsmaterialien eine ständige Kontrolle gesichert. Die im Fabrikbetriebe verhältnismäßig geringen Ausgaben für die Materialprüfungen machen sich bald durch die Ersparnisse bezahlt, welche sich infolge richtiger Ausnutzung der Material-

eigenschaften erzielen lassen. Eine unabweisbare Notwendigkeit sind die Materialprüfungen für die Bau- und Konstruktionsmaterial erzeugenden Industrien. Nur durch sie allein werden sie in die Lage versetzt, ihre Erzeugnisse zu vervollkommen und im Wettbewerbe mit Konkurrenten Erfolge zu erringen.

Unter Berücksichtigung dieser Forderungen sind für Materialprüfungen folgende Fragen aufzuwerfen:

1. Was soll geprüft werden?
2. Wie sind die erforderlichen Probestücke zu entnehmen?
3. Auf welche Ermittlungen soll sich eine planmäßige Prüfung erstrecken?
4. Wie soll die Prüfung durchgeführt werden?
5. Welche Schlüsse können aus den Versuchsergebnissen gezogen und wie können sie verwertet werden?

#### Was soll geprüft werden?

Eine Erwägung dieser Frage führt zu der Antwort, daß alle diejenigen Materialien einer Prüfung zu unterziehen sind, bei deren Verwendung durch sichere Kenntnis der Festigkeitseigenschaften Ersparnisse infolge angepaßter Dimensionierung erzielt werden können, ferner diejenigen Materialien, welche einer Vervollkommnung durch Änderung ihrer Zusammensetzung oder ihrer Herstellungsweise entgegengeführt werden sollen, und schließlich solche Bau- und Konstruktionsteile sowie Gegenstände, welche unter gewissen erfahrungsmäßig festgestellten Annahmen konstruiert und hergestellt worden sind, bei denen eine Kontrolle der Richtigkeit der gemachten Annahmen erforderlich ist.

Der Konstrukteur muß die Abmessungen der Bau- oder Konstruktionsteile stets derartig wählen bzw. ermitteln, daß der Bestand des Bauwerkes oder Gegenstandes gesichert ist und durch die darauf wirkenden Kräfte oder sonstigen Beanspruchungen niemals eine Gefährdung derselben eintreten kann. Eine sichere Berechnung der Abmessungen ist aber nur dann möglich, wenn die zahlenmäßigen Unterlagen für die Festigkeitseigenschaften der benutzten Materialien vorhanden sind. Erscheinen die in Tabellenwerken enthaltenen Angaben dem Konstrukteur für das vorliegende Material nicht genügend sicher, dann wird er auf Grund seiner Erfahrungen die erforderlichen Querschnitte sehr reichlich bemessen und daher unökonomisch konstruieren, oder er wird unter Umständen die Festigkeit überschätzen, infolgedessen zu schwach dimensionieren und das Bauwerk gefährden, was ebenfalls finanzielle Nachteile im Gefolge hat. Hier muß die sachgemäße Prüfung des Materials bzw. Nachprüfung des Fertigproduktes Platz greifen.

Für Materialien, welche aus verschiedenen Bestandteilen zusammengesetzt werden, wie z. B. Beton, können infolge der abweichenden Eigen-

schaften derselben, die durch Materialursprung, Materialbehandlung und Herstellungsweise bedingt sind, niemals allgemein gültige Festigkeitszahlen angenommen werden. Bei solchen Materialien sind sorgfältig alle äußeren Umstände zu erwägen, unter denen sie Benutzung finden und mit welcher Sorgfalt und Sachkenntnis sie zusammengesetzt werden. Hier sind fortlaufende Prüfungen der einzelnen Bestandteile und des gemischten Produktes unbedingtes Erfordernis.

Hüttenwerke müssen bestrebt sein, ihre Erzeugnisse der höchsten Vollkommenheit entgegenzuführen. Sie sind darum gezwungen, die mit ihren Herstellungsverfahren erreichten Eigenschaften der Produkte kennen zu lernen, um durch Änderung des Herstellungsverfahrens oder der Zusammensetzung des Materials eine Vervollkommnung zu erzielen.

Die Forderung der Prüfung ganzer Bau- und Konstruktionsteile ist dann bedingt, wenn bei ihrer Berechnung die bestehenden Theorien nicht anwendbar sind oder infolge ungenügender Kenntnis der Zusammenwirkung mehrerer verschiedener Konstruktionsmaterialien eine sichere Berechnung nicht durchgeführt werden kann.

Wie sind die Probestücke zu entnehmen?

Die richtige Entnahme der Probestücke darf wohl als der wichtigste Faktor im Materialprüfungswesen bezeichnet werden. Die sorgfältigste durchgeführte Untersuchung kann illusorisch werden, wenn die Probenentnahme an ungeeigneter Stelle oder unter solchen Umständen erfolgt ist, daß es fraglich erscheint, ob die Probe mit dem Material, welches geprüft werden soll, noch identisch ist, oder ob sie durch zufällig hineingeratene Bestandteile oder durch äussere Einflüsse verändert worden ist. Die Probenentnahme hat derartig zu erfolgen, daß mit Sicherheit angenommen werden darf, die Eigenschaften der Probe entsprechen den mittleren Materialeigenschaften. Allgemein gültige Regeln können für die Probenentnahme natürlich nicht aufgestellt werden, wenn auch für manche Materialien Vorschriften in dieser Richtung bestehen. Es muss vielmehr dem Versuchsausführenden überlassen bleiben, von Fall zu Fall unter Berücksichtigung der Art des Materials und der herrschenden äusseren Umstände zu entscheiden, wie die Probe zu entnehmen und wie sie zu behandeln sei. Jedenfalls aber ist die Entscheidung schriftlich festzulegen und dem Protokoll über die ausgeführte Prüfung beizufügen.

Genauere Anweisungen über die Probenentnahme geben die verschiedenen Lieferungsvorschriften der Behörden oder zum Teil auch die Grundsätze für einheitliche Materialprüfungen, aufgestellt vom Deutschen Verbands für die Materialprüfungen der Technik. Leider weichen die Vorschriften einzelner Behörden noch voneinander ab; es ist anzustreben, daß auch darin eine Vereinheitlichung erzielt wird. Soweit allgemein gültige Regeln für Probenentnahmen aufgestellt werden können, sind diese in den einschlägigen Paragraphen angegeben worden.

Auf welche Ermittlungen soll sich eine planmäßige Prüfung erstrecken?

Bei Beantwortung dieser Frage muß eine Erwägung stattfinden dahingehend, daß festgestellt wird, zu welchem Zwecke die Prüfung erfolgt. Es muß entschieden werden, ob die Prüfung die Güte des Stoffes nachweisen soll oder ob sie bestimmt ist, Unterlagen für die Berechnung von Bau- und Konstruktionsteilen zu liefern. Jene Prüfung ist als eine vergleichende zu bezeichnen und muß mit Probekörpern bestimmter Form und Abmessungen, sowie nach einem streng festgelegten Verfahren durchgeführt werden. Diese hingegen erfordert soweit als möglich gehende Anpassung an den späteren Verwendungszweck des Materials. Sie muß derartig erfolgen, daß die Beanspruchungen, welchen das Material ausgesetzt wird, denjenigen gleich oder nahe kommen, welchen sie im Bau- bzw. Konstruktionsteile Widerstand zu leisten bestimmt sind.

In die erste Gruppe der Prüfungen gehören alle sogen. Güteprüfungen, wie da sind die üblichen Zerreißversuche mit Proben aus Metallen, Baustoffen (Zement), Textilerzeugnissen, ferner die Druckversuche mit natürlichen und künstlichen Steinen, Holz oder dergl. Diese Versuche schaffen einen Einblick in die Eigenschaften des vorliegenden Materials gegenüber den allgemein bekannten und gestatten auf Grund der Ergebnisse eine Beurteilung dahingehend, ob das vorliegende Material besser oder schlechter als ein normales ist.

In die andere Gruppe gehören alle Prüfungen, welche sich auf Fertigprodukte erstrecken oder dazu bestimmt sind, das Verhalten der Materialien unter Verhältnissen zu studieren, die denjenigen nahe kommen oder entsprechen, unter welchen sie im Fertigprodukt Verwendung finden.

Wie soll die Prüfung durchgeführt werden?

Ebenso wie die Ermittlungen besonders festgestellt werden müssen, auf die sich die Prüfung zu erstrecken hat, ist es erforderlich, vor Eintritt in eine Prüfung die Art und Weise festzulegen, nach welcher die Versuche durchzuführen sind. Die Güteprüfungen haben nach bestimmten Vorschriften zu erfolgen, und es ist zur Erlangung einwandfreier Ergebnisse unbedingtes Erfordernis, alle Punkte dieser Vorschriften genau zu beachten. Die Prüfung ist somit ohne weitere Überlegung durchführbar.

Anders liegen jedoch die Verhältnisse bei Prüfungen, welche Unterlagen für Berechnung der Abmessungen von Bau- und Konstruktionsteilen schaffen oder an berechneten Teilen die Zuverlässigkeit der angewandten Rechenmethoden ermitteln sollen. Die Art des Kraftangriffes und die Wirkung der äußeren Kräfte müssen den tatsächlich auftretenden Verhältnissen entsprechen. Eine Prüfung mit allmählicher stoßfreier Steigerung der Kraft würde z. B. nur untergeordnete Bedeutung haben bei einem Bau- oder Konstruktionsteile, welcher im Betriebe durch Stöße beansprucht wird. An einem solchen müssen vielmehr Versuche angestellt werden,

welche die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber dynamischen Beanspruchungen erkennen lassen.

Welche Schlüsse können aus den Versuchsergebnissen gezogen und wie können sie verwertet werden?

Es ist nicht zulässig, die bei Versuchen gewonnenen Ergebnisse ohne weiteres als absolute Werte für die geprüften Materialien zu betrachten. Schon die Verschiedenartigkeit der Ergebnisse von Parallelversuchen mit dem gleichen Material lehrt, daß die Verallgemeinerung eines solchen Ergebnisses einen Fehlschluß bedeuten würde. Die Materialien besitzen nicht an allen Stellen gleiche physikalische Beschaffenheit, auch wenn ihre Entstehungs- oder Erzeugungsweise diese Annahme berechtigt erscheinen lassen sollte. Ferner ist zu berücksichtigen, daß alle Versuche mit Fehlern behaftet sind und ihre Durchführung niemals vollkommen der wirklich auftretenden Beanspruchungsweise angepaßt werden kann. Es muß daher stets im Auge behalten werden, daß die Versuchsergebnisse nur Annäherungen von größerer oder geringerer Genauigkeit darstellen und ihre Verwendung nur unter Erwägung aller Umstände erfolgen darf. Die Widerstandsfähigkeit vieler Materialien und Erzeugnisse ist von der Sorgfalt ihrer Herstellung und von äußeren Einflüssen abhängig, so daß auch diesen Faktoren bei Übertragung der Versuchsergebnisse auf praktische Anwendungen die entsprechende Aufmerksamkeit zuzuwenden ist.

### **Einteilung der Materialeigenschaften.**

Für die Materialprüfung kommen in erster Linie die physikalischen Eigenschaften der Bau- und Konstruktionsmaterialien in Frage und die chemischen nur insoweit, als sie die physikalischen beeinflussen. Die chemische Prüfung gestattet nur auf Grund von Erfahrungen die Beurteilung der Verwendungsfähigkeit der Materialien, während die Ermittlung der physikalischen Eigenschaften Zahlenwerte liefert, durch deren Kenntnis die Verwendungsfähigkeit bewiesen wird.

Die Eigenschaften, deren Kenntnis gemeinsam, einzeln oder wechselseitig zur Beurteilung der Materialien in erster Linie erforderlich ist, sind folgende:

1. die Festigkeit und die durch den Einfluss äußerer Kräfte bedingte Formänderung,
2. die Zähigkeit und Sprödigkeit,
3. die Härte,
4. die Gefügebeschaffenheit,
5. die chemische Zusammensetzung.

## Erster Teil.

# Die Festigkeits- und Güteprüfung der Materialien mit besonderer Berücksichtigung der Metalle.

## Die Festigkeit der Materialien.

### § 1. Begriffsentwicklung.

Die Festigkeit der Materialien wird bedingt durch die Kohäsionskraft der Moleküle bzw. der Molekülaggregate; als Maß für die Festigkeit gilt die Kraft, welche erforderlich ist, die Kohäsionskraft zu überwinden. Je nach der Beanspruchungsweise sprechen wir von Zug-, Druck-, Biege-, Knickungs-, Verdrehungs- und Schubfestigkeit. Die Beanspruchungen der ersten vier genannten Arten von Festigkeit erzeugen Normalspannungen im beanspruchten Querschnitt, und die letzten zwei bringen Schubspannungen hervor. Die Kräfte, welche die Normalspannungen darstellen, sind senkrecht zum beanspruchten Querschnitte gerichtet, und die der Schubspannungen treten in der Ebene des Querschnittes auf. Als Einheit gilt für beide Arten von Spannungen das Kilogramm, bezogen auf die Querschnittseinheit 1 qcm.<sup>1)</sup>

Jede Spannungsänderung im Material hat eine mehr oder weniger große Formänderung des Körpers zur Folge, welche bleibend oder vorübergehend sein kann. Die vorübergehende Formänderung wird im allgemeinen als „elastische“ bezeichnet, und sie ist es hauptsächlich, welche die praktische Verwendungsfähigkeit eines Materials bedingt. Wenn der Bestand eines Bauwerkes nicht gefährdet sein soll, dürfen die einzelnen Konstruktionsteile infolge Beanspruchung durch äußere Kräfte keine bleibenden Formänderungen erleiden, sondern es müssen dieselben nach Aufhören der Kräftewirkungen wieder verschwinden.

---

<sup>1)</sup> In älteren Lehrbüchern und von Praktikern der alten Schule werden die Spannungen auf das Quadratmillimeter bezogen. Diese Methode, welche den Vorzug besitzt, daß mit kleineren Zahlen operiert wird, ist jedoch verlassen worden.

## I. Zugversuche.

### § 2. Die Zugfestigkeit.

Läßt man auf den in Fig. 1 dargestellten zylindrischen Stab vom Durchmesser  $d$  und der gegenüber dem Durchmesser großen Länge  $l$  an den Enden Kräfte von der Größe  $P$  wirken, so wird der Stab unter der Einwirkung der Kräfte verlängert und der Durchmesser verringert. Die ursprüngliche Länge  $l$  geht in die neue Länge  $l'$  über und die Differenz beider stellt die Verlängerung  $\lambda$  des Stabes dar. Zur Vereinfachung der Rechnungen wird die Verlängerung auf die Längeneinheit des Stabes bezogen und als Dehnung  $\epsilon$ , d. h. als verhältnismäßige Längenänderung bezeichnet. Die äußeren Kräfte  $P$  werden durch die Kohäsion der Moleküle gleichmäßig auf alle Stabquerschnitte  $f$  übertragen und erzeugen daselbst Spannungen  $\sigma$ , welche die Trennung je zweier benachbarter Querschnitte verhindern.

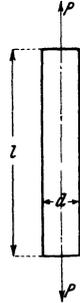


Fig. 1.

Die Größe der Spannung  $\sigma$  ergibt sich aus der Beziehung

$$\sigma = \frac{P}{f},$$

worin  $P$  die jeweils herrschende äußere Kraft und  $f$  den ursprünglichen Querschnitt des Stabes bedeutet. Obgleich der zur Spannung  $\sigma$  gehörige Querschnitt von dem ursprünglichen unter Umständen erheblich abweicht, ist es doch notwendig, diesen zur Berechnung heranzuziehen, weil zur Einleitung der Formänderung eine Kraft erforderlich war, die größer ist als die, welche den Stab mit dem neuen Querschnitte um dasselbe Maß deformiert hätte.

### § 3. Die Reißlänge.

Bei solchen Materialien, die sich durch geringe Homogenität auszeichnen oder bei denen sich der Querschnitt des Probestückes mit Genauigkeit nicht feststellen läßt oder deren Festigkeit zum Gewichte in gewisser Abhängigkeit steht, wird als Maß für die Festigkeit nicht die Materialspannung, bezogen auf die Querschnittseinheit, angegeben, sondern es wird aus der Bruchbelastung und dem Gewichte der Längeneinheit des Probestückes die Reißlänge berechnet.

Unter Reißlänge versteht man diejenige Länge des zu prüfenden Probestückes, welche demselben ein solches Gewicht verleihen würde, daß es bei vertikaler Aufhängung an der Einspannstelle infolge seines Eigengewichtes abreißt. Beträgt die Bruchbelastung  $P$  kg und das Gewicht der Längeneinheit des Probestückes in Metern  $g$  kg, dann ist die Reißlänge

$$L = \frac{P}{g} \text{ m.}$$

#### § 4. Elastische Dehnung.

Dehnung und Spannung weisen innerhalb gewisser Grenzen einen Zusammenhang auf, der durch das Hookesche Gesetz

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma$$

ausgedrückt wird.  $\alpha$  bedeutet hierin eine Erfahrungszahl, die Dehnungskoeffizient genannt wird und die Verlängerung darstellt, welche ein Stab von 1 cm Länge und dem Querschnitt 1 qcm infolge Belastung mit 1 kg erleidet. Dieser leichtverständliche Begriff wurde von Bach in die Festigkeitslehre eingeführt. Er stellt den reziproken Wert des „Elastizitätsmoduls“ dar, welcher früher allgemein angewendet und von Reuleaux als diejenige Spannung definiert wurde, bei der ein prismatischer, in seiner Längsrichtung beanspruchter Körper um seine ganze Länge ausgedehnt oder zusammengepreßt wird.

Das Hookesche Gesetz, welches ausdrückt, daß Spannung und Dehnung einander proportional sind, besitzt nur für gewisse Materialien und naturgemäß nur für elastische Formänderungen Gültigkeit.

#### § 5. Spannungs-Dehnungsdiagramm.

Verfolgt man die Dehnungen des zylindrischen Stabes (Fig. 1), welcher aus einem formbaren Material bestehend gedacht ist, als Funktion der Spannungen, so ergibt sich ein Verlauf derselben, wie er durch das Diagramm in Fig. 2 dargestellt wird.

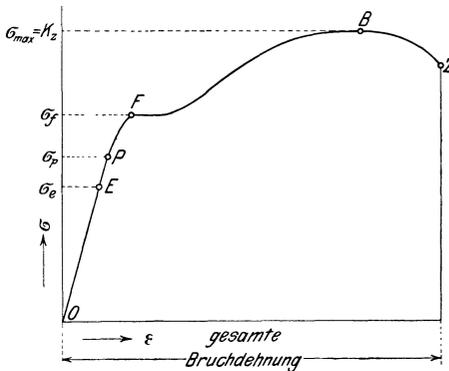


Fig. 2.

Die Ordinaten stellen im Diagramm die Zugspannungen  $\sigma$  und die Abszissen die Dehnungen  $\varepsilon$  des Stabes dar. Vom Punkte  $O$  an verläuft die Kurve als gerade Linie bis zum Punkte  $P$ . Hier hört die Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung auf; wir bezeichnen  $P$  als Proportionalitätsgrenze. Im weiteren Verlaufe wendet sich

die Kurve in sanfter Krümmung von der Geraden ab und geht beim Punkte  $F$  in eine Parallele zur Abszisse über. Es bedeutet dies großes Anwachsen der Dehnungen ohne Spannungserhöhung; wir bezeichnen diesen Vorgang mit Fließen. Der Punkt  $F$  im Diagramm wird Fließ- oder Streckgrenze und die Zeit, während der das Fließen stattfindet, die Fließperiode genannt. (Über die Begriffe „obere und untere Streckgrenze“ s. § 12.) Nach Beendigung des Fließens steigt die Kurve allmählich wieder weiter bis zu ihrem Maximum bei  $B$ , um von dort an stetig bis zum Punkte  $Z$ , wo

das Zerreißen des Stabes stattfindet, zu fallen. Der Punkt  $B$  heißt Bruchgrenze des Materials, während  $Z$  keine besondere Bezeichnung besitzt, weil die Lage von  $Z$  unbestimmt und in hohem Maße von der Geschwindigkeit abhängig ist, mit welcher der Stab zerrissen wird. Die der Bruchgrenze entsprechende Materialspannung wird Zerreißeigenschaft und die zum Punkte  $Z$  gehörige Dehnung Bruchdehnung genannt.

Da die Proportionalitätsgrenze nicht immer mit Genauigkeit aus dem Diagramm entnommen werden kann, soll als Proportionalitätsgrenze diejenige Spannung gelten, bei der für gleiche Spannungsänderungen um 100 kg/qcm die Dehnungen gleich große bleiben; jede neue Dehnungsänderung gilt hier als gleicher Größe mit den vorausgegangenen, solange sie vom Mittelwerte der vorausgegangenen nicht mehr als 0,0005% der Dehnung abweicht. Als Fließ- oder Streckgrenze gilt dagegen die Spannung, bei der die bleibende Verlängerung der Meßlänge des Probestabes zwischen 0,2 und 0,5% liegt.

Ein Punkt, welcher sich nicht durch Stetigkeitsabweichung der Spannungs-Dehnungskurve bemerkbar macht und dem im allgemeinen viel zu wenig Beachtung geschenkt wird, ist die Elastizitätsgrenze  $E$ . Theoretisch entspricht diese der Spannung, bei der die Grenze der vollkommenen Elastizität des Materials erreicht ist. Da es im allgemeinen keine vollkommen elastischen Körper gibt, soll als Elastizitätsgrenze diejenige Spannung gelten, bis zu der das Material in praktisch ausreichender Weise noch als vollkommen elastisch gelten kann. Diese Grenze kann bei ca. 0,001% bleibender Formänderung angenommen werden. Die Elastizitätsgrenze wird sehr oft mit der Proportionalitätsgrenze bzw. mit der Fließgrenze verwechselt.<sup>1)</sup> Die Entscheidung, welcher von diesen drei Faktoren in Berichten über Materialprüfungen gemeint ist, fällt schwer, weil in manchen Fällen alle drei Punkte nahe beieinander und in anderen wieder weit voneinander entfernt liegen. Besonders in der hüttenmännischen Praxis ist die Bezeichnung Elastizitätsgrenze für Fließgrenze üblich, und der Wert vieler Forschungsarbeiten wird durch die Unklarheit der Begriffsfestlegung geschmälert.

Nach den neueren Forschungen erfüllen nicht alle Materialien das Hookesche Gesetz, und es zeigen auch nicht alle die erwähnten charakteristischen Punkte im Spannungs-Dehnungsdiagramm. Zu jenen gehört in erster Linie das Gußeisen, bei dem die Dehnungen rascher anwachsen als die Spannungen. Im Gegensatz dazu zeigt Leder gegenüber dem Spannungs-zuwachse ein langsames Ansteigen der Dehnung.

In Gemeinschaft mit Schüle hat Bach, unter Verwendung reichhaltigen Versuchsmaterials, eine Formel aufgestellt, welche mit genügender Annäherung für die untersuchten Materialien den Verlauf des Diagramms für die elastischen Dehnungen als Funktion der Materialspannungen gibt.

<sup>1)</sup> Siehe Wawrzyniok, Die elastischen Eigenschaften von Stahl usw. in Metallurgie 1907.

Sie lautet allgemein:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m.$$

Hierin ist der Exponent  $m$  eine Erfahrungszahl, die größer, gleich oder kleiner als 1 sein kann. Bei Gußeisen ist  $m$  in der Regel größer als 1, bei Flußeisen gleich 1 und bei Leder kleiner als 1.<sup>1)</sup>

Ist  $m$  gleich 1, dann stellt die Formel das Hookesche Gesetz dar; die Spannungs-Dehnungskurve ist eine gerade Linie. Für die Materialien, welche mit Sicherheit das obengenannte Exponentialgesetz erfüllen, erfolgt die Berechnung des Exponenten  $m$  am einfachsten in folgender Weise: Logarithmiert man den Ausdruck

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m,$$

so ergibt sich die Gleichung einer Geraden:

$$\log \varepsilon = \log \alpha + m \log \sigma$$

entsprechend

$$(y = a + b \cdot x)$$

Stellen ferner  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots \sigma_n$  die zu den beobachteten Dehnungen  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$  gehörigen Materialspannungen innerhalb der Elastizitätsgrenze dar, dann müssen die Briggschen Logarithmen der Dehnungen proportional denjenigen der zugehörigen Materialspannungen sein. Diese Bedingung gestattet eine vorzügliche Korrektur der Beobachtungsfehler durch Ausgleichen der Logarithmenkurve mittelst einer Geraden und gibt gleichzeitig ein Mittel zur Kontrolle der Gültigkeit des Bachschen Gesetzes. Aus der ausgeglichenen Kurve werden zwei Punkte z. B. mit den Koordinaten  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  sowie  $\varepsilon_2$  und  $\varepsilon_3$  ausgewählt und in die Gleichung

$$\log \varepsilon = \log \alpha + m \log \sigma$$

eingesetzt.

Es ergibt sich hiernach:

$$\log \varepsilon_3 = \log \alpha + m \log \sigma_3$$

$$\log \varepsilon_2 = \log \alpha + m \log \sigma_2$$

und nach Subtraktion beider Gleichungen:

$$m = \frac{\log \varepsilon_2 - \log \varepsilon_3}{\log \sigma_2 - \log \sigma_3}.$$

Wie die vorstehenden Ausführungen gezeigt haben, ist die Berechnung des Exponenten  $m$  umständlich. Da ferner nachgewiesen ist, dass das Exponentialgesetz nicht in allen Fällen Gültigkeit besitzt, wird den Bedürfnissen des praktischen Materialprüfungswesens mehr Rechnung getragen, wenn der Dehnungskoeffizient  $\alpha$  für verschiedene Spannungsstufen unter der Annahme berechnet wird, daß innerhalb der zugehörigen Spannungsintervalle Proportionalität zwischen Dehnung und Spannung vorhanden ist. Es ist dann:

<sup>1)</sup> Bach, Zur Frage der Proportionalität zwischen Dehnungen und Spannungen bei Sandstein. Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 1, S. 24.

$$\varepsilon_2 = \alpha \cdot \sigma_2$$

$$\varepsilon_1 = \alpha \cdot \sigma_1.$$

Durch Subtraktion der beiden Gleichungen ergibt sich:

$$\alpha = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\sigma_2 - \sigma_1}.$$

Zur Kennzeichnung ist  $\alpha$  mit einem entsprechenden Index zu versehen oder der Spannungsbereich, für den  $\alpha$  berechnet wurde, besonders anzugeben.

### § 6. Bleibende Dehnung.

Wie bereits erwähnt wurde, gibt es keine vollkommen elastischen Körper; jede Formänderung, der ein Körper unterworfen wird, hat eine bleibende zur Folge. Wird der im Anfang betrachtete zylindrische Stab (Fig. 1) gedehnt und dann entlastet, so verkürzt er sich wohl wieder, erlangt aber nicht mehr seine ehemalige Länge: er hat eine bleibende Verlängerung erfahren, deren Größe von der Kraft abhängig ist, mit der der Stab gedehnt wurde.

### § 7. Elastische Nachwirkung.

Unter Umständen verschwindet die Dehnung nach längerer Ruhezeit, und der Stab erlangt wieder seine ursprüngliche Länge. Man nennt diese Erscheinung „elastische Nachwirkung“. Während bei manchen Materialien die elastischen Nachwirkungen gering sind, erlangen sie bei anderen, wie z. B. Blei, Wismut, Zinn, Kadmium usw., erhebliche Größen. Martens hat die Erscheinung der elastischen Nachwirkung eingehend an Magnesium studiert.<sup>1)</sup>

### § 8. Bruchdehnung.

Nach den vorausgegangenen Erläuterungen besteht jede Längenänderung, welche der vorliegende zylindrische Stab erfährt, aus einer elastischen und einer bleibenden. Mißt man daher die Länge eines Zerreißstabes im Augenblicke des Bruches, so ergibt sich ein größerer Wert als derjenige, den man durch Ausmessen der Länge beider Bruchstücke erhält. Bei den stark dehnbaren Materialien spielt dieser der elastischen Längenänderung entsprechende Teil der Gesamtdehnung gegenüber der großen bleibenden Dehnung (Bruchdehnung) eine nur geringfügige Rolle, und es ist daher nicht nötig, das Spannungs-Dehnungsdiagramm zu berichtigen. Anders ist es dagegen bei Materialien, die eine nur geringe Gesamtdehnung besitzen, wie gehärteter Stahl. Bei diesen Materialien kann der Fall eintreten, daß die elastischen Dehnungen größer sind als die bleibenden und demnach die als Güteziffer benutzte Bruchdehnung einen erheblich geringeren Wert besitzt als die, welche man durch Ausmessen des Spannungs-Dehnungsdiagrammes erhalten würde. Es muß hier deshalb darauf hingewiesen werden, daß der allgemein eingeführte Begriff „Bruchdehnung“

<sup>1)</sup>S. Mitteilungen a. d. Techn. Versuchsanstalten, Berlin 1887, Ergänzungsheft I.

sich nur auf die bleibende Stabdehnung bezieht und somit in allen Fällen kleiner ist als die im Spannungs-Dehnungsdiagramm enthaltene gesamt Bruchdehnung (s. Fig. 2).

Der Anschaulichkeit wegen wird die Bruchdehnung, welche durch Ausmessen der Bruchstücke ermittelt wird, in Prozenten der Meßlänge ausgedrückt. Es ist die Bruchdehnung  $\varphi = \frac{l' - l}{l} \cdot 100\%$ , worin  $l' - l$  die Verlängerung  $\lambda$  des Stabes bedeutet.

### § 9. Querschnittszusammenziehung.

Dieselben Gesichtspunkte sind für Bestimmung der Querschnittszusammenziehung oder der Einschnürung an der Bruchstelle maßgebend. Es ist die Einschnürung:

$$\psi = \frac{f - f'}{f} \cdot 100\%$$

worin  $f$  den ursprünglichen Stabquerschnitt und  $f'$  denjenigen der Bruchstelle bedeutet.

Fig. 3 und 4 zeigen die Einschnürung eines Rundstabes und eines Flachstabes aus Eisen.

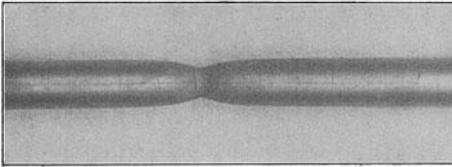


Fig. 3.

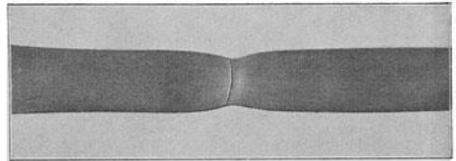


Fig. 4.

### § 10. Messung der Bruchdehnung.

Je nach dem Formänderungsvermögen der Materialien erleidet der Probestab beim Zerreißversuch eine mehr oder weniger grosse Dehnung und Querschnittszusammenziehung. Beide Faktoren stehen in gewisser Beziehung zueinander, ohne daß eine bestimmte Gesetzmäßigkeit vorhanden ist. Jedenfalls sind an der Stelle des Stabes, wo der Bruch erfolgt, die Dehnung und Querschnittszusammenziehung am größten und vermindern sich im allgemeinen mit der Entfernung von der Bruchstelle.

Trgt man auf einer Geraden, deren Lnge der Melge des Stabes entspricht, die auf jede ursprngliche Lngeneinheit entfallende Dehnung als Ordinate auf, so ergibt sich ein Diagramm, wie es Fig. 5 zeigt.

Beim Punkte 10, d. h. im mittleren Drittel der Melge liegt die Bruchstelle des Stabes und mithin auch seine größte Dehnung. Die links von 10 gelegene Diagrammflche ist kongruent der rechts gelegenen, und

die prozentuale Bruchdehnung des Materials ist einwandfrei gleich der mittleren Höhe der Diagrammfläche. Liegt dagegen die Bruchstelle im ersten Drittel der Meßlänge, so ist die Dehnung der äußersten Stabteile des größeren Bruchstückes geringer, als wenn der Bruch im mittleren

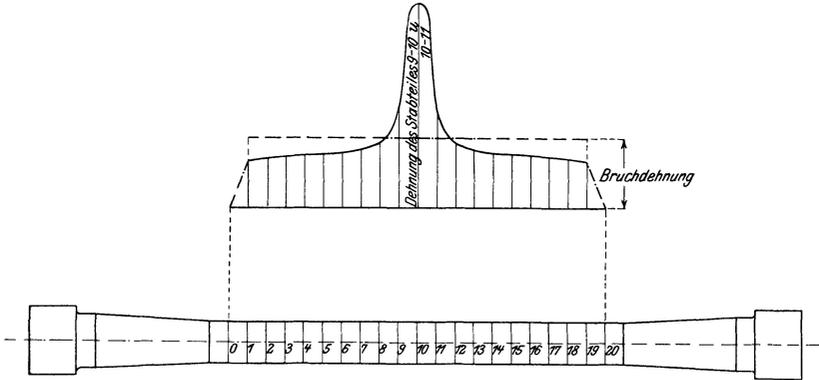


Fig. 5.

Drittel der Meßlänge erfolgt wäre. Es ergibt sich in diesem Falle für die mittlere Höhe und demnach für die prozentuale Bruchdehnung ein geringerer Wert als im erstgenannten Falle.

Dieser Umstand kann bei Abnahmeprüfungen, wo ein bestimmter Wert für die Bruchdehnung des Materials vorgeschrieben ist und dieser nicht erreicht wird, schwerwiegende Folgen nach sich ziehen. Obgleich es allgemein üblich ist, Probestäbe, welche infolge Lage der Bruchstelle im ersten Drittel der Meßlänge den Bedingungen nicht entsprechen, durch andere zu ersetzen, kann bei Wiederholung des Versuches derselbe Fall eintreten oder der Bruch am äußersten Ende des mittleren Drittels der Meßlänge liegen, so dass unter Umständen Abnahmeverweigerung des Materials die Folge ist. Zur Vermeidung dieses ungerechtfertigten Vorgehens hat sich zur Bestimmung der Dehnung ein Verfahren eingebürgert, welches auf der Symmetrie der beiden Bruchstücke fußt und annähernd den Dehnungswert ergibt, welchen der Stab besessen hätte, wenn der Bruch in der Mitte eingetreten wäre.

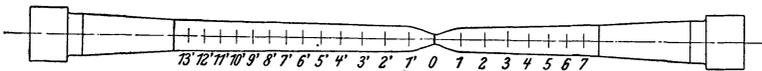


Fig. 6.

In Fig. 6 ist ein ehemals zylindrischer Zerreißstab dargestellt, dessen Meßlänge vor dem Zerreißversuche mit einer Zentimeterteilung versehen wurde. Durch das Zerreißen haben die einzelnen Intervalle eine Verlängerung erfahren, die von der Bruchstelle aus nach dem Ende der Meßlänge abnimmt.

Die Bruchstelle liegt im ersten Intervall des mittleren Drittels der Meßlänge, und es wurden von dieser aus mit 0 beginnend die einzelnen Zentimeterteilstriche mit fortlaufenden Nummern versehen. Rechts von der Bruchstelle liegen 7 Teilstriche und links davon 13 Teilstriche. Die Verlängerung des rechten Stabteiles 0—7 ist symmetrisch der des linken 0—7'. Da aber auch die Intervalle von 7'—13' eine Verlängerung erfahren haben und dieselbe, wie bereits oben erwähnt, nach dem Ende der Meßlänge abnimmt, ergibt die Dehnungsmessung infolge der geringen Verlängerung der Teile 10'—13' einen geringeren Wert, als wenn die Bruchstelle 3 Teile weiter nach links gelegen hätte. Man mißt die Verlängerung daher in der Weise, daß man die Verlängerung der Teile 0—10' links der Bruchstelle mißt und dazu die der rechts von der Bruchstelle liegenden Teile 1—7 sowie die der Teile 7'—10' addiert.

## § 11. Brucherscheinungen.

### a) Bruchformen und Aussehen der Bruchflächen.

Von Wichtigkeit für die Beurteilung der Eigenschaften eines Materials ist die Beschaffenheit der Bruchflächen, welche beim Zerreißen entstehen. Es empfiehlt sich deshalb, den Angaben über Festigkeit eine Beschreibung der Bruchform und der Bruchflächen beizufügen. Da aber die Ausbildung der Bruchflächen nicht allein durch die Materialeigenschaften bedingt ist, sondern auch von der Art der Durchführung des Zugversuches abhängt, muß diese bei Beurteilung der Bruchflächen berücksichtigt werden.

Die Form der Bruchflächen ist in erster Linie bedingt durch die Zähigkeit der Materialien. Stark dehbare Metalle, wie Blei, Zinn u. dergl., ergeben an der Bruchstelle fast 100 % Querzusammenziehung. Spröde Materialien, wie Glas, Hartguß oder dergl., welche keine Bruchdehnung besitzen, zeigen an der Bruchstelle auch keine Querzusammenziehung. Zwischen beiden Endformen der Einschnürung gibt es Übergänge jeder Abstufung. Materialien mittlerer Dehnbarkeit weisen Bruchformen auf, wie sie für Rundstäbe in Fig. 7—11 dargestellt sind. Fig. 7 zeigt die vollkommenste Bruchform: zwei abgestumpfte Kegel mit Ring. Fig. 8 stellt eine weniger vollkommene Bruchform dar, welche häufig beobachtet wird. Das eine Bruchstück besitzt ein kegelförmiges Ende und das andere Bruchstück, die Gegenform, einen Trichter mit ebenem Grunde. Man nennt diese Bruchform daher kurzweg: „Trichterbildung mit ebenem Grunde“. Sind Kegel und Trichter vollkommener ausgebildet, wie in Fig. 9, so spricht man von Trichterbildung. Befindet sich auf ebener Bruchfläche ein niedriger Rand, wie in Fig. 10, so bezeichnet man die Bruchform als „ebene Bruchfläche mit Rand“. Ist der Rand nicht vollständig zusammenhängend ausgebildet, so nennt man ihn „zackig“ (Fig. 11). Bei Flachstäben entstehen annähernd die gleichen Bruchformen, ihre Benennung ist gleich der bei Rundstäben.

Bei Beschreibung des Aussehens der Bruchflächen ist sehr vorsichtig zu verfahren, da der Beobachter leicht zu Trugschlüssen veranlaßt werden kann. Es empfiehlt sich darum, die einzelnen Merkmale in besonderer

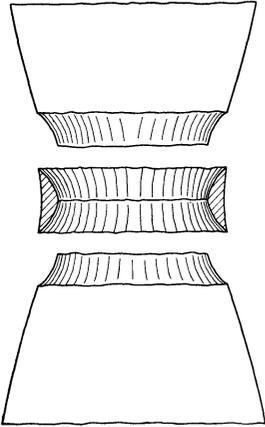


Fig. 7.

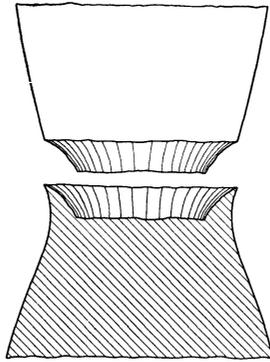


Fig. 8.

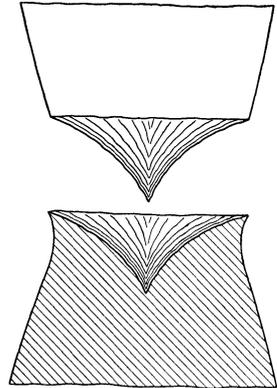


Fig. 9.

Reihenfolge festzustellen und sorgfältig zu prüfen, ob sie dem Material eigentümlich oder durch besondere Umstände bedingt sind. Ist die Bruchfläche uneben infolge vieler feiner Trichter, so erscheint sie matt gegenüber ebener Fläche.

Besitzt die Bruchfläche ein aus kleinen Kristallen mit

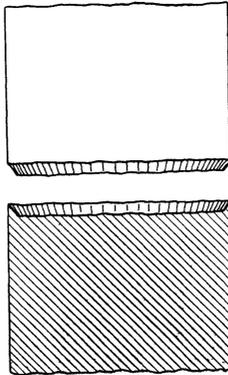


Fig. 10.

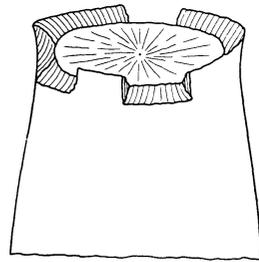


Fig. 11.

glänzenden Flächen aufgebautes Gefüge, so nennt man sie kristallinisch glänzend. Ist sie am Rande glänzend und in der Mitte matt oder dunkel, so spricht man von kristallinisch glänzender Fläche mit mattem oder dunklem Kerne. Häufig bemerkt man auf der Bruchfläche Unebenheiten, welche strahlenförmig von einem Punkte ausgehen, der oft einen Materialfehler enthält, welcher nur bei sorgfältigster Beobachtung sichtbar ist.

Gußeisen besitzt grobkörniges, gehärteter Stahl feinkörniges, oft samtartiges Gefüge; Flußeisen weist schuppige und Schweißeisen sehnige, auch blättrige Struktur auf. Schweißeisen, welches durch Paketieren von Alt-eisen hergestellt wurde, zeigt sogar innerhalb derselben Bruchfläche mehrere Gefügeformen, je nach der Art des verwendeten Ursprungsmaterials. Das

Bruchgefüge von Holz (Fig. 12) ist splittrig, wenn die Bruchfläche senkrecht zur Faserrichtung liegt. Glas überhaupt alle amorphen Materialien besitzen gefügelose Bruchflächen.

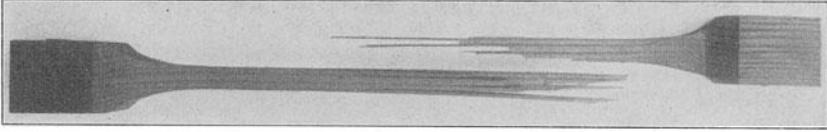


Fig. 12.

#### b) Aussehen der Staboberfläche.

Während des Zerreißversuches mit dehnbaren Materialien macht die Oberfläche des Probekörpers verschiedene Umwandlungen durch. Bei blank bearbeiteten Zerreißstäben beginnen die dem Auge sichtbaren Wandlungen erst nach Überschreitung der Fließgrenze des Materials, während Zerreistbe, welche noch die vom Auswalzen herrührende Hammerschlagschicht besitzen, auch schon bei Belastungen innerhalb der Fließgrenze Risse in der Oberfläche aufweisen. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich jedoch, daß die Risse nicht tief in das Material eindringen, sondern nur die Hammerschlagschicht durchziehen. Es rührt diese Erscheinung davon her, daß die Dehnbarkeit der Hammerschlagschicht sehr gering ist. Nach Überschreitung der Fließgrenze des Materials blättert infolge der großen Dehnung die Schicht ab, und man sagt „der Stab wirft ab“. Blank bearbeitete Zerreistbe werden bei Eintritt des Fließens rauh; die Oberfläche erlangt dadurch ein mattes Aussehen, welches entweder bis zum Bruche bestehen bleibt oder in ein körniges, knittriges oder narbiges, je nach der Art des Materials, übergeht. Die Oberfläche gehärteten Stahls oder Gußeisens erleidet während des Zerreißversuches keine Veränderung, sie bleibt blank. Flußeisen oder ausgeglühter Werkzeugstahl wird matt, Schweißeisen runzlig, sehr weiches Flußeisen (Fig. 13),<sup>1)</sup> Kupfer, Bronze narbig Blei und Bleilegierungen knittrig.

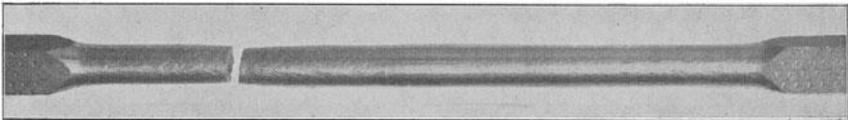


Fig. 13.

## § 12. Das Fließen.

Zur Erklärung und weiteren Erörterung der geschilderten Oberflächenveränderungen ist es erforderlich, näher auf diejenigen Erscheinungen ein-

<sup>1)</sup> Der Probestab ist noch insofern bemerkenswert, als er zwei Einschnürungen (links und rechts) aufweist.

zugehen, welche diese Veränderungen einleiten und durch die sie hervorgerufen werden.

Wird für einen dem Zugversuche unterworfenen Eisenstab das Spannungs-Dehnungsdiagramm (s. § 5) aufgezeichnet, so zeigt sich in den meisten Fällen, daß die an der Fließgrenze entstehende große Dehnung des Probestabes nicht unter derjenigen Materialspannung erfolgt, welche den Fließvorgang einleitete, sondern daß diese Streckung sich unter einer geringeren, manchmal in ihrer Größe wechselnden Spannung, also in einem labilen Zustande des Materials so lange fortsetzt, bis wieder ein stabiler Zustand erreicht ist und die Kurve weiter ansteigt.

Der Eintritt des Fließens macht sich durch Sinken des Waghebels der Materialprüfungsmaschine oder bei Maschinen mit hydraulischer Kraftmessung durch Rückgang des Manometers bemerkbar, und im Spannungs-Dehnungsdiagramm erscheint dieser Vorgang als Richtungsänderung der Kurve.

Diejenige Spannung, bei welcher das Fließen bzw. Strecken des Materials zuerst eintritt, wird nach Vorschlägen Bachs als „obere Fließgrenze“ und die niedrigste Spannung, bei der es fortschreitet, als „untere Fließgrenze“ bezeichnet.

Der Spannungsabfall erfolgt plötzlich, und die vom Diagramm angezeigte, während des Spannungsabfalls entstandene Dehnung ist in Anbetracht der Größe der Meßlänge gering. Hierbei kommt jedoch in Betracht, daß das Fließen nicht gleichzeitig in allen Teilen der Meßlänge, sondern nur innerhalb kürzerer Strecken stattfindet und die verzeichnete Dehnung somit nicht unmittelbar mit der außerhalb der Fließperiode vergleichbar ist. Erst bei fortgesetzter Anspannung des Probestabes geraten andere Strecken der Meßlänge in das Fließgebiet, und da zur Einleitung des Fließvorganges eine höhere Spannung erforderlich ist, muß ein Ansteigen der Spannungs-Dehnungskurve erfolgen. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, als noch ungestreckte Stabteile vorhanden sind, und verursacht auf diese Weise den zickzackförmigen Verlauf der Spannungs-Dehnungskurve. Erst wenn sämtliche Stabteile geflossen sind, ist der stabile Gleichgewichtszustand der Molekülgruppen des Stabes erreicht und stetiges Ansteigen der Kurve die Folge.

Die höhere Spannung zur Einleitung des Fließens ist mit Hilfe der Theorie von der inneren Reibung in derselben Weise erklärbar, wie die Spannungserhöhung infolge zu großer Streckgeschwindigkeit. Es müssen die einzelnen Molekülgruppen aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung übergeführt werden, und da der Reibungskoeffizient der Ruhe größer als der der Bewegung ist, muß zur Beschleunigung der Molekülgruppen eine größere Kraft aufgewendet werden, als erforderlich ist, um die in Bewegung gesetzten Massenteilchen in Bewegung zu erhalten.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ausführlicheres über diese Vorgänge siehe Bach, Ztschr. d. V. d. Ing. 1904, S. 1040; Hort, Ztschr. d. V. d. Ing. 1906, S. 2110; Martens, Handbuch der Materialkunde I.

Da die Dehnungen innerhalb der Fließperiode verhältnismäßig groß sind, müssen sie dem Auge sichtbar werden und die Möglichkeit bieten, das Fortschreiten des Fließens über die ganze Meßlänge zu beobachten. Diese Annahme entspricht den Tatsachen, und es sind die „Fließfiguren“, welche erlauben, den Vorgang zu verfolgen. Sie erklären auch vielerlei Vorgänge bei Festigkeitsversuchen, wo Zugbeanspruchungen allein oder gemeinsam mit anderen Beanspruchungen auftreten. In erster Linie geben die Fließfiguren Aufschluß darüber, an welcher Stelle des beanspruchten Körpers das Fließen des Materials begann. Bei Zerreißstäben zeigen sich an dieser Stelle Linien, die unter  $45^{\circ}$  gegen die Stabachse geneigt sind und je nach der Dehnungsgeschwindigkeit mehr oder weniger rasch über die ganze Stablänge verlaufen. Die Staboberfläche erlangt dadurch ein netzwerkartiges Aussehen, welches bei fortschreitender Dehnung des Stabes schließlich wieder verschwindet und dem weiter oben erwähnten Bruchaussehen Platz macht. Martens, welcher die Fließerscheinungen an geschichteten Flußeisenstäben studiert hat, nennt dieses Aussehen moiréartig und führt seine Entstehung auf den Walzvorgang bei der Herstellung des Materials zurück.

Nach anderer Auffassung<sup>1)</sup> sind die Fließfiguren auf eine kristallinische Umlagerung der Molekülgruppen während des Fließens zurückzuführen. Es wird ihre Entstehung — ein plötzliches Auftreten von feinen Strichen, die breiter werden und sich mit anderen Strichen kreuzen — mit bekannten Kristallisationserscheinungen, z. B. der Bildung von Eisblumen an Fenstern, verglichen. Auch die Umwandlung der feinen Maserungen dieser Eisblumen in gröbere Gebilde bei weiterem Gefrieren soll beim Fließen der Metalle ein Analogon haben, indem die Fließfiguren beim weiteren Längen verschwimmen und die Staboberfläche gröbere Zeichnungen, nämlich „Fältelung“, „Krispelung“ usw. zeigt.

Welche von diesen Auffassungen die richtigere ist, muß so lange unerörtert bleiben, bis planmäßig durchgeführte Versuche die eine oder die andere bestätigen.

In unmittelbarem Zusammenhang mit den Vorgängen beim Fließen stehen einige Erscheinungen, die bei Ausführung von Feinmessungen mit Spiegelapparaten (Zweispiegelapparate) auffallen. Während nämlich bis zur Fließgrenze bei fortschreitender Belastung des Probestabes die Drehung beider Spiegel sich annähernd gleichmäßig vergrößert und bei Einspielen einer Belastungsstufe beide Spiegel zur Ruhe kommen, tritt bei Eintritt des Fließens der Fall ein, daß

1. beide Spiegel sich rückwärts drehen oder
2. der eine Spiegel eine Rückwärtsdrehung und der andere eine Vorwärtsdrehung erfährt oder

---

<sup>1)</sup> H. Hort, Die Wärmevergänge beim Längen von Metallen. Forschungsarbeiten Heft 41.

3. beide Spiegel sich gleichmäßig in ihrer Bewegungsrichtung weiter bewegen.

Im ersten Falle findet das Fließen des Materials außerhalb der Meßlänge des Probestabes statt. Es verursacht dies infolge der verhältnismäßig großen Dehnung des Stabes im Fließbereiche eine Entlastung der nicht im Fließen begriffenen Meßstrecke, und die Folge davon ist eine Verkürzung derselben, die sich durch Rückwärtsbewegung der Spiegel anzeigt.

Im zweiten Falle fließt das Material in der Weise, daß die Begrenzung des Fließbereiches derartig zur Stabachse geneigt ist, daß die eine Schneide oder der eine Spiegel des Feinmeßinstrumentes außerhalb des Fließbereiches und der andere innerhalb desselben liegt.

Der dritte Fall ist der normale, in welchem das Fließen innerhalb der Meßstrecke stattfindet. Es wird dabei die plötzlich auftretende große Stabdehnung durch schnelle Vorwärtsdrehung der Spiegel angezeigt.

### § 13. Weitere Oberflächenänderungen.

Weitere Erscheinungen, welche an der Oberfläche von eisernen Probestäben beim Zerreißen auftreten, sind die Spiralarisse (Fig. 14 und 15), die Längsrisse und die Längsnähte.

Längsrisse durchziehen oft den Probestab bis tief in sein Inneres. Sie rühren daher, daß bei Flußeisen Schlackeneinschlüsse eingewalzt wurden. Diese dadurch erzeugten sehr feinen Lamellen bilden Trennungsschichten, welche das Material durchsetzen, ohne daß sie dem bloßen Auge sichtbar werden. Bei Beanspruchung solchen Materials durch äußere Kräfte wird eine Auflockerung hervorgerufen, so daß die Trennungsschicht als Riß an der Oberfläche erkennbar wird.

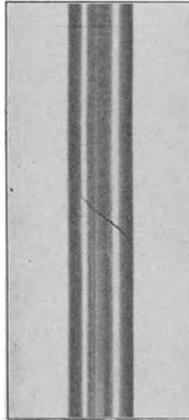


Fig. 14.

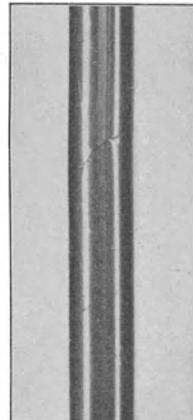


Fig. 15.

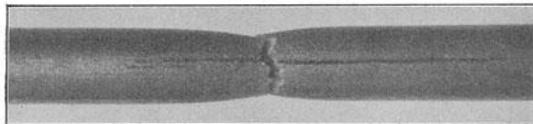


Fig. 16.

Während bei Flußeisen solche Längsrisse selten sind, treten sie bei Schweißeisen normaler Qualität sehr häufig und bei solchen Schweiß-

eisensorten, die durch Paketieren von Alteisen erzeugt wurden, immer auf. Hier entsprechen sie den Schweißnähten der einzelnen verschweißten Stäbe, welche durch die Zugbeanspruchung infolge ihrer verschiedenen großen Dehnungsfähigkeit voneinander getrennt werden (Fig. 16).

Längsnähte haben das aus Fig. 17 ersichtliche Aussehen; ihre Entstehung ist ungleichmäßiger Materialbeschaffenheit zuzuschreiben. Ent-



Fig. 17.

hält nämlich ein Zerreißprobestab in seiner Längsrichtung ein gegenüber dem übrigen Material härteres<sup>1)</sup> Faserbündel, so ist dessen Dehnungsfähigkeit geringer als die seiner Umgebung. Die Folge davon

ist, dass dieses Faserbündel infolge seines innigen Zusammenhanges mit dem umgebenden Material zerreißt, bevor die höchste Dehnung des Stabes erreicht ist. Liegt dieses Faserbündel an der Oberfläche des Stabes, so entstehen mehr oder weniger breite Querrisse. Befindet es sich dagegen im Innern des Stabes, so macht sich die Brucherscheinung nur durch eine perlen-schnurartige Aufrauhung der Staboberfläche bemerkbar. Der Eintritt dieser Erscheinung ist von einem klingenden Geräusche während des Zerreiß-versuches begleitet.

#### § 14. Formänderungsarbeit.

Das in § 5 angegebene und erörterte Spannungs-Dehnungsdiagramm kann auch dazu benutzt werden, die zum Zerreißen des Stabes aufgewendete Arbeit bzw. das Arbeitsvermögen des Materials zu bestimmen. Bedenkt man nämlich, daß die Spannungen Kräften entsprechen, welche

auf Flächeneinheiten des beanspruchten Querschnittes wirken, und die Dehnungen lineare Bewegungen der Längeneinheit darstellen, so muß das Produkt beider die Arbeit bedeuten, welche die Raumeinheit der Formänderung des Materials entgegensetzt.

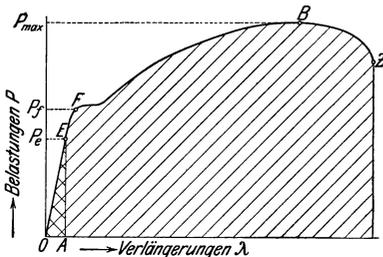


Fig. 18.

Die durch den Teil  $OEA$  des Diagrammes (Fig. 18) dargestellte Arbeit ist die elastische

Formänderungsarbeit des Probestabes innerhalb der Meßlänge, welche unter der Voraussetzung, daß Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung besteht, sich als Inhalt eines rechtwinkligen Dreieckes ergibt zu:

$$A = \frac{1}{2} P_e \cdot \lambda_e = \frac{1}{2} f \cdot \sigma_e \cdot \lambda_e.$$

Da nun aber

$$\lambda = \alpha \cdot \sigma \cdot l$$

<sup>1)</sup> Kann von Phosphoreisgerungen herrühren, s. § 332.

ist, so erhält man:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \sigma_e^2 \cdot f \cdot l$$

und somit:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \sigma_e^2 \cdot V,$$

worin  $V = f \cdot l$  das Volumen des Stabes innerhalb der Meßlänge bedeutet. Die Formel besagt, daß die Arbeit der elastischen Längenänderung proportional dem Volumen des Stabes und proportional dem Quadrate der Spannung ist. Diese elastische Formänderungsarbeit spielt da eine wichtige Rolle, wo zylindrische Stahlstäbe als Federn benutzt werden, und es würde das Arbeitsvermögen einer solchen Feder mit der Arbeit der elastischen Längenänderung identisch sein.

Will man die zum Zerreißen des Stabes aufgewendete Arbeit bestimmen, so ist der Inhalt der ganzen schraffierten Diagrammfläche unter Berücksichtigung des zur Aufzeichnung benutzten Kräfte- und Längenmaßstabes zu ermitteln. Letzteres geschieht entweder mittelst Planimeter oder in bekannter Weise dadurch, daß man ein Stück durchsichtiges Millimeterpapier auf das Diagramm legt und durch Auszählen der Millimeterquadrate innerhalb der Diagrammfläche ihren Inhalt feststellt. Bei Diagrammen, welche von dem Schaulinienzeichner der Materialprüfungsmaschine aufgezeichnet wurden, überzeuge man sich vor Beginn des Ausmessens der Fläche, daß die darin enthaltene Bruchlast mit der am Kraftanzeiger abgelesenen übereinstimmt und auch die gesamte Längenänderung der an den Bruchstücken gemessenen entspricht. Oft kommt es vor, daß durch irgend einen Zufall die Übertragungsglieder der Kraftanzeiger oder Dehnungsmesser, welche nie in zwangsläufiger Verbindung mit den Schaulinienzeichnern stehen, versagen und dadurch falsche Diagrammflächen erzeugen. Aus diesem Grunde verfallt man auch nie in den Fehler, aus Bequemlichkeit die Bruchbelastung eines Probestabes aus dem Diagramm zu entnehmen, sondern beobachtet stets den Kraftanzeiger der Maschine.

### § 15. Beispiel eines Zerreißversuches.

*Aufgabe:* Es soll ein abgedrehter zylindrischer Probestab aus Flußeisen von 20 mm Durchmesser und 500 mm Länge bei Zugbeanspruchung untersucht und aus den Ergebnissen der Dehnungskoeffizient, die Spannung an der Elastizitäts-, Fließ- und Bruchgrenze nebst der Bruchdehnung und Einschnürung ermittelt werden.

*Versuchsausführung:* Mittelst Teilmaschine (s. § 165) oder von Hand unter Benutzung eines genau geteilten Maßstabes (s. § 161) wird eine 20 cm lange Strecke in der Mitte der Stablänge durch Anreißen von feinen Ringmarken mit einer Zentimeterteilung und mit einer feinen Längsline versehen. Hierauf wird der Durchmesser des Stabes mit Mikrometerschraube (s. § 166) innerhalb jedes Teilungsintervalles in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen gemessen und aus sämtlichen Messungsergebnissen der Mittelwert gebildet.

Nachdem der Stab in der Prüfungsmaschine befestigt worden ist, wird in der in § 171 angegebenen Weise ein Feinmeßapparat zur Ermittlung der Dehnungen angebracht und der Versuch nach folgendem Schema durchgeführt (s. Schema Zugversuch mit Dehnungsmessung S. 23).

### § 16. Form der Probestäbe.

Wie in § 10 erörtert, beeinflußt das Meßverfahren das Ergebnis der beim Zerreißversuch erzeugten Stabdehnung. Es war dabei vorausgesetzt worden, daß die Länge des für den Versuch benutzten Probestabes gegenüber der zur Feststellung der Dehnung dienenden Meßlänge verhältnismäßig groß ist. Da man jedoch im Materialprüfungswesen nur selten in der Lage ist, Versuchsstücke größerer Abmessungen bei den Versuchen zu benutzen, ist es von großer Bedeutung, den Einfluß zu kennen, welchen die Form und die Abmessungen des Probestückes auf das Versuchsergebnis ausüben.

Die größte Dehnung erfährt derjenige Teil des Probestabes, welcher die Einschnürung enthält, und es vermindert sich die Dehnung der Längeneinheit, je weiter man sich von der Bruchstelle entfernt. Das Material würde somit die größte Bruchdehnung aufweisen, wenn man zur Berechnung derselben nur dasjenige Stück der Stablänge benutzen würde, welches die Bruchstelle enthält. Wenn auch diese Art der Berechnung der Dehnung in mancher Beziehung einen Wert ergeben würde, der guten Einblick in die Formbarkeit eines Materials gewährt, muß man doch davon absehen, weil bei vielen Materialien die Dehnung sehr gering ist und die Messung einer derartig kurzen Strecke große Schwierigkeiten bietet.

Ebenso wie die Größe der Meßlänge das Ergebnis der Dehnungsmessung beeinflußt, veranlaßt die verschiedene Querschnittsgröße der Versuchsstücke Abweichungen bei gleicher Meßlänge. Nach Versuchen von Bauschinger müssen sich die Meßlängen wie die Wurzeln aus den Stabquerschnitten verhalten, wenn Stäbe aus gleichem Material, aber von verschiedenem Querschnitte gleiche Dehnungen besitzen sollen. Die Größe des Stabquerschnittes besitzt dagegen hinsichtlich der Zerreißfestigkeit und auch der Dehnung keine Bedeutung. Es ist nachgewiesen, daß Rundstäbe oder Flachstäbe keine Abweichungen in der Materialdehnung zeigen, wenn nur die Meßlängen, wie oben erwähnt, proportional den Wurzeln aus den Stabquerschnitten gewählt werden. Voraussetzung bei diesen Annahmen ist, daß die äußere Kraft gleichmäßig verteilt über den ganzen Stabquerschnitt angreift und das Material keine Nebenspannungen erleidet, welche seine Ausdehnung oder Zusammenziehung verhindern. Wird z. B. ein Stab von 10 qcm Querschnitt in der Längsrichtung in 10 einzelne Stäbe mit je 1 qcm Querschnitt zerlegt und alle 10 Stäbe gemeinschaftlich dem Zerreißversuch unterworfen, so können sich alle 10 Stäbe ausdehnen und zusammenziehen, ohne daß sie sich gegenseitig in ihrer Formänderung beeinträchtigen. Anders verhält es sich dagegen, wenn ein Stab aus dem-

**Zug-Versuch mit Dehnungsmessung.**

Maschine: Martens, 50 Tonnen (s. § 127).

Material: Dannemora-Stahl.

Abmessungen des Probestabes:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Durchmesser } d = 2,00 \text{ cm.} \\ \text{Querschnitt } f = 3,14 \text{ qcm.} \\ \text{Meßlänge } l = 20,0 \text{ cm.} \end{array} \right.$

Feinmeßinstrument: Spiegelapparat Martens, Spiegel No. 7 und 8 mit  
Feinmeßlänge  $l' = 15 \text{ cm}$  und Umsetzungsverhältnis  $n = \frac{1000}{1}$ .

Belastung $P$  kg	Fernrohrablesung		Mittel aus beiden Ab- lesungen	Elastische Längen- änderung der Fein- meßlänge  cm. $\cdot 10^{-4}$	Berechnungen:  <b>I. Elastische Eigen- schaften.</b>  Dehnung des Probestabes: $\epsilon = \frac{\lambda}{l'} = \frac{22,5 \cdot 10^{-4}}{15}$ $\epsilon = 1,5 \cdot 10^{-4}$ ,  bei Zugsspannung: $\sigma = \frac{P}{f} = \frac{1000}{3,14}$ $\sigma = 3185 \text{ kg/qcm.}$  Dehnungskoeffizient: $\alpha = \frac{\epsilon}{\sigma} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{3185}$ $\alpha = 4,72 \cdot 10^{-7}$ $E = 2120000.$  <b>II. Qualitätszahlen.</b>  Spannung an der Streck- oder Fließgrenze: $\sigma_f = \frac{P_f}{f} = \frac{12100}{3,14}$ $\sigma_f = 3854 \text{ kg/qcm.}$  Spannung an der Bruch- grenze: $\sigma_{\max} = K_z = \frac{P_{\max}}{f} = \frac{25000}{3,14}$ $K_z = 7962 \text{ kg/qcm.}$  Stablänge (Meßlänge) nach dem Bruch $h = 21,62 \text{ cm.}$ Gesamte Dehnung (Bruch- dehnung) in Prozenten: $\varphi = \frac{h-l}{l} \cdot 100 = 8,1 \%$  Querschnitt des Stabes nach dem Bruch $f' = 2,72 \text{ qcm.}$ Gesamte Zusammenziehung in Prozenten: $\psi = \frac{f-f'}{f} \cdot 100 = 13,4 \%$
	links mm	rechts mm	Längen- änderung der Fein- meßlänge mm. $\cdot 10^{-3}$		
1000	0	0	0		
2000	24,9	20,5	22,7	22,3	
1000	0,7	0,1	0,4		
3000	47,9	43,3	45,6	45,0	
1000	1,0	0,2	0,6		
4000	71,5	65,3	68,4	67,6	
1000	1,4	0,2	0,8		
5000	94,9	87,1	91,0	90,2	
1000	1,4	0,2	0,8		
6000	117,8	109,4	113,6	112,8	
1000	1,5	0,1	0,8		
7000	141,2	132,4	136,8	135,8	
1000	1,7	0,3	1,0		
8000	166,2	157,0	161,6	159,1	
1000	4,0	1,0	2,5		
9000	226,1	215,9	221,0	189,2	
1000	35,6	28,0	31,8		
10000	444,8	440,8	442,8	235,8	
1000	208,9	205,1	207,0		
12100	Fließgrenze				
25000	Bruch				

selben Material unzerteilt zerrissen wird. In diesem Falle können sich die auf die Querschnittseinheit entfallenden Materialteile nicht frei deformieren, sondern sie müssen es gemeinsam tun und hindern sich gegenseitig in ihrer Formänderung. Dieser Widerstand gegen die Formänderung erfordert einen Arbeitsaufwand und hat demgemäß eine Erhöhung der Festigkeit zur Folge.

Besonders auffällig wird dieser Umstand bei Dehnungsverhinderung infolge großer Materialanhäufungen an Probestäben. Unterwirft man z. B. einen Probestab nach Fig. 19 dem Zerreißversuche, so wird er in der Mitte

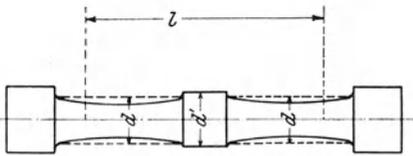


Fig. 19.

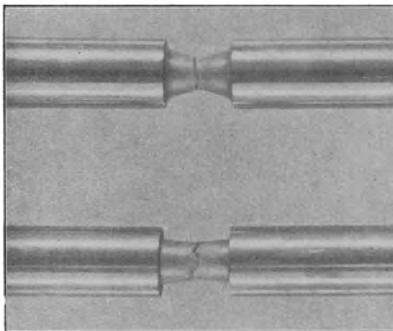


Fig. 20.

seiner Meßlänge  $l$  prozentual eine geringere Dehnung aufweisen, als wenn er zylindrisch wäre und durchweg den gleichen Durchmesser  $d$  besäße. Der Stab nimmt die gezeichnete Form an, welche erkennen läßt, daß die Materialanhäufung durch Vergrößerung des Durchmessers  $d$  auf  $d'$  die Zusammenziehung und somit auch die Dehnung des Stabes in den unmittelbar neben der Verdickung liegenden Stabteilen verhindert hat. Ähnliches Verhalten beobachtet man an Stäben, welche an Stelle der Verdickung Eindrehungen innerhalb ihrer Meßlänge besitzen. In diesem Falle deformiert sich nur der schwächere Teil des Probestabes in der aus Fig. 20 ersichtlichen Weise.

Man erkennt hieraus, daß Materialanhäufungen an den Enden des schwachen Stabteiles die Zusammenziehung des Stabes hindern und die Dehnung dieses Stabes mithin geringer sein muß als die eines gleich dicken Stabes mit größerer Meßlänge. Klar ist nun, daß auch die Länge und Form der Eindrehung einen wesentlichen Einfluß auf die Ausbildung der Formänderung ausüben. Kirkaldy, Bach u. a. haben Versuche ausgeführt, welche dargelegt haben, daß die Eindrehungen eine Erhöhung der Festigkeit und eine Verminderung der Einschnürung des Stabes nach sich ziehen.

Zum Studium des Verhaltens solcher Stäbe mit verschiedenen langen Eindrehungen mögen Versuche des Verfassers dienen. Die benutzten, aus Flußeisen hergestellten Stäbe besaßen die in Fig. 21 und 22 dargestellte Form.

Bei der einen Reihe war die Eindrehung abgerundet, bei der anderen scharfkantig hergestellt. Bei gleichem Durchmesser  $d$  von 3 cm und  $d'$  von 2 cm wechselte die Länge  $l$  der Eindrehung von 0,2—5,0 cm.

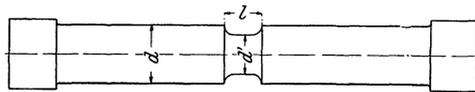


Fig. 21.

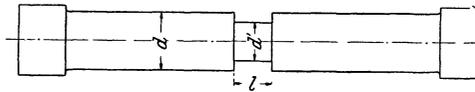


Fig. 22.

Die Prüfung der Stäbe lieferte folgende Ergebnisse:

Nummer des Probestabes	Form der Eindrehung	Länge der Eindrehung cm	Zerreißfestigkeit kg/qcm	Querschnittsverminderung %
1	s. Fig. 21	5	6200	54
2		2	6840	41
3		1	8840	33
4		0,5	9320	11
5	s. Fig. 22	5	6220	52
6		2	6520	36
7		1	7160	18
8		0,5	7890	12
9		0,2	8680	—

Die an einem Normalstab ermittelte Zerreißfestigkeit des Materials betrug 6160 kg/qcm bei 39% Dehnung und 55% Querschnittsverminderung.

Eine Vergleichung der Versuchsergebnisse zeigt, daß die zum Zerreißen der Stäbe erforderliche Kraft um so größer ist, je kürzer die Eindrehung der Stäbe ist. Bei 5,0 cm langer Eindrehung ist der Einfluß der Materialanhäufung an den Enden der Eindrehung, kaum noch wahrnehmbar, da die ermittelte Zugfestigkeit und Querschnittsverminderung der Stäbe nur unbedeutend von den am Normalstabe ermittelten Werten abweicht.

Besonders auffällig ist außer den vorgenannten Eigenschaften noch die Beeinflussung der Ergebnisse durch die Form der Eindrehung. Bei Abrundung des Überganges der Eindrehung in den dickeren Stabteil ist zum Zerreißen des Stabes eine höhere Kraft erforderlich als bei Verwendung einer scharf eingestochenen Eindrehung, auch ist die Querschnittsverminderung größer. Wenn auch die Länge des zylindrischen Teiles um den doppelten Abrundungsradius geringer ist als bei den Stäben mit scharfer Eindrehung, so ist dennoch der Einfluß unverkennbar. Der Grund dieses Verhaltens ist darin zu suchen, daß durch die Abrundung das Material des dickeren Stabteiles zur Kraftübertragung herangezogen wird und die

Biegungsspannungen, welche das Material an den Stellen plötzlichen Überganges erleidet, vermindert werden.

Je geringer nun die Formänderungsfähigkeit eines Materials ist, um so weniger macht sich der Einfluß von Materialanhäufungen auf die Festigkeit bemerkbar. Bei allen spröden Materialien ergibt sich sogar eine Abnahme der Zugfestigkeit infolge der Querschnittsänderung. Diese Erscheinung ist jedoch nicht darauf zurückzuführen, daß bei Materialien, wie Gußeisen, das oben Erörterte keine Gültigkeit besitzt. Der Grund liegt vielmehr darin, daß bei spröden Materialien infolge ihrer geringen Dehnungsfähigkeit der Einfluß ungleicher Spannungsverteilung über den Querschnitt den Einfluß der Querkräfte, welche die Formänderung hindern, überwiegt.

Man ersieht hieraus, daß man bei Beurteilung der Zugfestigkeit eines Materials stets berücksichtigen muß, welche Abmessungen die zur Ermittlung der Festigkeit benutzten Probekörper besaßen, und welcher Art das Material hinsichtlich seines inneren Aufbaues ist. Je homogener ein Material ist, desto besser werden seine einzelnen Teilchen zur Kraftübertragung herangezogen. Hat man es jedoch mit zusammengesetzten Körpern zu tun, so ist genau zu erwägen, ob die Versuchsergebnisse auch auf Körper anderer Form als der beim Versuch benutzten anwendbar sind. Z. B. dürfen Festigkeitszahlen für Holz, welche an Probestäbchen geringen Querschnitts mit einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt gewonnen wurden, nicht ohne weiteres auf Stäbe größerer Abmessungen und vielleicht sogar anderen Feuchtigkeitsgehaltes übertragen werden. Die Richtung der Holzfaser in bezug auf die Stabachse spielt ebenfalls eine große Rolle; quer oder schief zur Faserrichtung geschnittenes Holz besitzt eine geringere Zugfestigkeit als solches, bei dem die Fasern mit der Längsrichtung des Stabes zusammenfallen.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Körpern aus Zementmörtel. Die Zugfestigkeit des Zementmörtels wird gewöhnlich an Zerreiß-Körpern nach der sogen. Achterform (s. § 240), mit 5 qcm Querschnitt ermittelt. Diese Probekörper werden gewöhnlich maschinell eingeschlagen und erlangen auf diese Weise große Dichtigkeit. Die Länge ihres prismatischen Teiles ist sehr gering (annähernd gleich Null), und es würden, wenn erhärteter Zementmörtel Formbarkeit besäße, die erläuterten Verhältnisse hinsichtlich Hinderung der Formänderung durch Materialanhäufungen Anwendung finden müssen. Ohne nähere Überlegung scheint dies auch erforderlich, denn die an prismatischen Stäben mit größeren Querschnitten ermittelte Zugfestigkeit von Zementmörtel ist fast nur halb so groß als die mit den Achterformen festgestellte. Die Zugfestigkeit wird um so geringer, je größer der für den Probekörper verwendete Querschnitt ist, ohne daß eine ausgesprochene Gesetzmäßigkeit in der Festigkeitsverminderung gefunden werden könnte. Dieses Verhalten ist hier nicht, wie bei stark formbaren Materialien, in der kurzen

Meßlänge begründet, sondern es sind die Eigenart der Herstellung und die Zusammensetzung der Probekörper der Grund des abweichenden Verhaltens. Es ist niemals möglich, auch nicht bei gleicher Zusammensetzung, für beide Arten von Probekörpern gleiche Dichte bei der Herstellung zu erzielen. Der Erhärtungsvorgang bei beiden ist infolge der ungleichen Materialmenge und -verteilung verschieden, ganz gleichgültig, in was für einer Umgebung der Erhärtungsprozeß vor sich geht. Es darf daher niemals die mit Achterformen ermittelte Zugfestigkeit des Zementmörtels bei der Berechnung von Zementkonstruktionen benutzt werden, sondern es empfiehlt sich, aus dem vorliegenden reichhaltigen Versuchsmaterial diejenige Wertziffer auszuwählen, welche an Probekörpern ermittelt wurde, deren Zusammensetzung, Materialursprung sowie Form und Abmessungen denjenigen des betreffenden Konstruktionsteils am nächsten kommt.

### § 17. Abmessungen der Probestäbe.

Um die im Vorhergehenden erörterten Einflüsse bei Zerreißversuchen nach Möglichkeit auszuschalten, sind die verschiedenen öffentlichen Materialprüfungsanstalten bestrebt, für alle Versuchsarten Körper übereinstimmender Abmessungen zu benutzen. In erster Linie galt es, für die Prüfung von

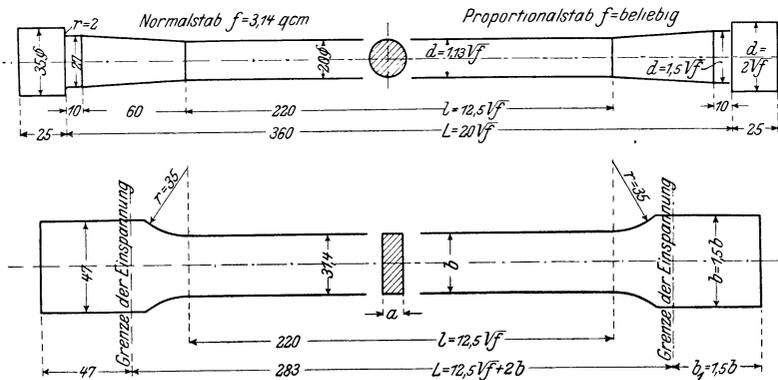


Fig. 23 und 24.

Metallen gleichartige Probekörperformen zu schaffen, und es führten die gemeinschaftlichen Bemühungen dazu, einen Normalstab in das Prüfungswesen einzuführen. Je nach dem Querschnitt werden die Stäbe Normal-, rund- oder Flachstäbe genannt. Die Abmessungen dieser Stäbe sind aus Fig. 23 und 24 zu ersehen. Die des Flachstabes wurden von denen des Rundstabes abgeleitet.

Der Normalrundstab besitzt einen Durchmesser von 20 mm, so daß der Querschnitt  $\frac{d^2 \pi}{4} = \frac{20^2 \cdot \pi}{4} = \pi = 3,14$  qcm ist. Denselben Querschnitt weist der Normalflachstab auf, nur mit dem Unterschiede, daß der Form des Querschnittes weiter Spielraum gelassen ist. Das Verhältnis von

Dicke  $a$  zu Breite  $b$  dieses Stabes kann beliebig von  $\frac{1}{1}$  bis  $\frac{1}{5}$  wechseln. Dieses Zugeständnis ist erforderlich, weil Flachstäbe in der Regel nur aus Blechen hergestellt werden, bei denen die Walzhaut nicht entfernt werden darf. Es besitzen in diesem Falle zwei Flächen des Probestabes noch bei der Prüfung die Walzhaut.

Die Meßlänge beim Normalrundstab ist gleich dem zehnfachen Durchmesser desselben, also 200 mm, und dieselbe Länge ist unter Berücksichtigung der Proportionalität zwischen der Meßlänge und der Wurzel aus dem Querschnitte des Stabes auch für den Normalflachstab in Anwendung.

Die übrigen Abmessungen der Stäbe sind mit Rücksicht auf den Einfluss der Einspannvorrichtungen gewählt.

Wie aus Fig. 23 ersichtlich, besitzt beim Normalrundstab der mittlere zylindrische Teil, auf welchem die Meßlänge abgegrenzt wird, eine Länge von 220 mm. Hieran schließt sich ein schwach kegelförmiger Teil von 60 mm Länge an, der kurz vor dem Einspannkopfe mit 35 mm Durchmesser in einen 10 mm langen zylindrischen Teil mit 27 mm Durchmesser übergeht. In gleicher Weise sind die Abmessungen des Normalflachstabes, wie Fig. 24 zeigt, festgelegt. Es empfiehlt sich zur Erlangung einwandfreier und vergleichbarer Versuchsergebnisse, die Stäbe genau nach Lehren herzustellen.

Da der Normalstab eine verhältnismäßig grosse Menge Versuchsmaterial bedarf, das nicht immer zur Verfügung steht, ist man auch nicht in allen Fällen in der Lage, derartige Stäbe für die Zerreißversuche zu benutzen. Müssen daher Stäbe anderer Abmessungen verwendet werden und wünscht man solche Ergebnisse zu erhalten, die mit den vergleichbar sind, welche man an Normalstäben festgestellt hat, so müssen die Abmessungen der Stäbe proportional denen der Normalstäbe sein. Das wichtigste dabei ist proportionale Bemessung der Meßlänge, wobei das Verhältnis der Meßlänge  $l$  zur Wurzel des Stabquerschnittes  $f$ , also  $l : \sqrt{f}$  maßgebend ist. Dieser Quotient ist beim Normalrundstab  $20,0 : \sqrt{3,14} = 11,3$ , so daß sich die Meßlänge  $l$  für jeden Proportionalstab zu  $11,3 \sqrt{f}$  cm ergibt. Die übrigen Abmessungen werden in derselben Weise von denen der Normalstäbe abgeleitet und können aus den in Fig. 23 und 24 enthaltenen Angaben leicht berechnet werden.

### § 18. Umrechnung der Bruchdehnung auf eine andere Meßlänge.

Bach hat versucht, die Abhängigkeit der Bruchdehnung von der Meßlänge formelmäßig zu bestimmen, um Versuchsergebnisse zu korrigieren, die an Probestäben gewonnen wurden, deren Meßlänge nicht, wie oben verlangt,  $11,3 \sqrt{f}$  betrug. Er ging dabei von der Voraussetzung aus, daß es nicht immer möglich ist, die Meßlänge obigem Werte entsprechend zu wählen, weil entweder die Größe der vorhandenen Probestücke dies nicht gestattet oder weil bei größeren Querschnittsabmessungen die Meßlänge eine verhältnismäßig große Strecke betragen würde. Dieser Fall tritt

z. B. bei Kesselblechen größerer Dicke ein. Da für solche Bleche die Vorschrift besteht, daß die Probestäbe die Walzhaut besitzen müssen, empfiehlt es sich, die Breite des Stabes nicht geringer als die Blechdicke zu machen. Beträgt die Blechdicke z. B. 30 mm, so ist demnach der Querschnitt 900 qmm und die Meßlänge nach der Beziehung  $l = 11,3 \sqrt{f} = 339$  mm. Diese Meßlänge erfordert eine verhältnismäßig große Stablänge, die nicht immer zugänglich ist, weil manche Materialprüfungsmaschinen nur die Einspannung von Stäben beschränkter Länge gestatten. Würde man im vorliegenden Falle die Bruchdehnung auf eine 200 mm lange Meßlänge beziehen, wie es bei der Prüfung von Kesselblechen auf Hüttenwerken allgemein üblich ist, so ergibt sich die ermittelte Bruchdehnung größer, als wenn ein Stab geringeren Querschnittes mit derselben Meßlänge benutzt worden wäre.

Bach stellte an 3 Rundstäben und 3 Flachstäben von je ca. 5,3 qmm Querschnitt, deren Meßlänge, nach der Beziehung  $l = 11,3 \sqrt{f}$  berechnet, 260 mm hätte betragen müssen, die Bruchdehnung für 50, 70, 100, 150, 200 und 260 mm Meßlänge fest. Es ergab sich dabei, daß bei 50 mm Meßlänge die Dehnung 62,1 % für die Rundstäbe und 61,4 % für die Flachstäbe betrug. Bei 260 mm wurden Bruchdehnungen von 31,9 bezw. 29,1 % gefunden. Die Abnahme der Dehnungen erfolgte gesetzmäßig; die jeweilige Bruchdehnung entsprach mit genügender Genauigkeit der Beziehung

$$\varphi = A + \frac{B}{\sqrt{l}},$$

worin  $\varphi$  die Bruchdehnung in Prozenten der Meßlänge,  $l$  die ursprüngliche Meßlänge in Millimeter,  $A$  und  $B$  Erfahrungswerte bedeuten, welche von dem Material und der Querschnittsform abhängen. Diese Werte zeigen für die einzelnen Materialien erhebliche Abweichungen und müssen, sofern sie für das vorliegende Material nicht bekannt sind, jeweils berechnet werden. Es kann dies durch Messung der Bruchdehnung zweier verschieden großer Meßlängen stattfinden.

Ergibt die Messung der Bruchdehnung bei einem vorliegenden Stabe z. B.  $\varphi_{50} = 62,1$  % auf eine Strecke von 50 mm und  $\varphi_{200} = 35,3$  auf eine Strecke von 200 mm, so berechnet sich die Dehnung für eine Meßlänge von 250 mm in folgender Weise:

Es ist

$$\varphi = A + \frac{B}{\sqrt{l}}.$$

Also

$$\varphi_{50} = A + \frac{B}{\sqrt{50}}; \quad \varphi_{200} = A + \frac{B}{\sqrt{200}},$$

$$A = \varphi_{50} - \frac{B}{\sqrt{50}}; \quad B = (\varphi_{200} - A) \cdot \sqrt{200},$$

$$A = 62,1 - (35,3 - A) \cdot \frac{\sqrt{200}}{\sqrt{50}},$$

$$A = 8,5; \quad B = 379.$$

Mithin

$$\varphi_{250} = 8,5 + \frac{379}{\sqrt{250}},$$

$$\varphi_{250} = 32,5 \text{ ‰}.$$

Trotz der Möglichkeit des rechnermäßigen Ausschlusses des Einflusses der Meßlänge auf die Bruchdehnung muß dennoch angestrebt werden, die Probestabformen zu vereinheitlichen und diese Hilfsmittel zur Korrektur des Messungsergebnisses für Sonderfälle aufzusparen. Es ist deshalb auch sehr zu bedauern, daß sich noch nicht alle behördlichen Verwaltungen dem Vorgehen der öffentlichen Prüfungsanstalten angeschlossen und den Normalstab als allgemein übliche Stabform angenommen haben. Besonders verhalten sich darin einige Eisenbahnverwaltungen ablehnend, welche vorläufig noch einen Stab mit 2,5 cm Durchmesser und 20 cm Meßlänge bei den Prüfungen von Schienenmaterial verwendet wissen wollen. Es ist klar, daß die bei diesen Prüfungen gewonnenen Ergebnisse keinen Vergleichswert besitzen und leicht Anlaß zu Fehlschlüssen geben können, wenn die Umstände, unter denen sie festgestellt wurden, nicht bekannt sind. Es muß daher die eindringliche Mahnung ausgesprochen werden, in allen Versuchsberichten die verwendete Stabform sowie Durchmesser und Meßlänge des Probestabes anzugeben.

Die Probestabformen für andere Materialien als Metalle können dagegen nicht nach den vorausgegangenen Erläuterungen gewählt werden. Sie sind vielmehr den jeweiligen Verhältnissen anzupassen und so zu bemessen, daß insbesondere bei Feststellung der elastischen Dehnungen Nebenspannungen vermieden werden und die Größe der Kraftstufen hinreicht, um ihre Ablesung am Kraftanzeiger mit genügender Genauigkeit vornehmen zu können.

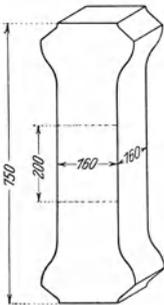


Fig. 25.

Für Beton (s. a. § 280) und Holz sind zweckmäßige Stabformen in Fig. 25 und 26 dargestellt; jene lassen sich auch für Druckversuche benutzen. Bei Her-

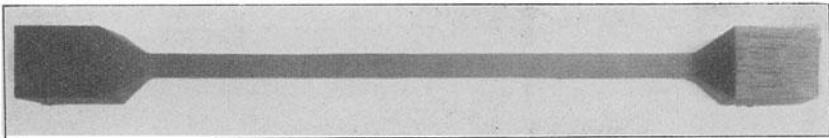


Fig. 26.

stellung der letzteren ist darauf zu achten, daß die Holzfasern parallel zur Stabachse verlaufen und die Stabköpfe unter Berücksichtigung der auf sie wirkenden Scherkräfte bemessen werden.

### § 19. Einspannung der Probestäbe.

Zur Befestigung des Normalrundstabes in der Zerreißmaschine dienen die Verdickungen an den Enden der Probestäbe, die sogen. Stab-

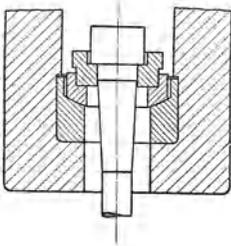


Fig. 27.

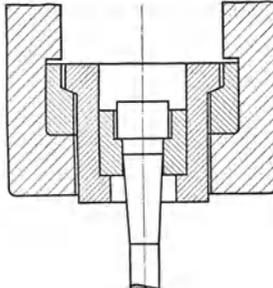


Fig. 28.

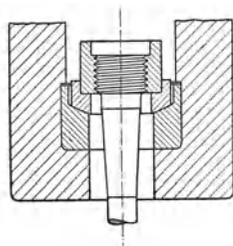


Fig. 29.

köpfe. Entweder werden sie, wie Fig. 27 und 28 zeigen, mit zweiteiligen Ringen durch Stützung in den Einspannköpfen gehalten, oder sie werden nach Fig. 29 mit Gewinde versehen in die Einspannovrichtungen eingeschraubt oder auch nach Fig. 30 mit Beißkeilen eingespannt.

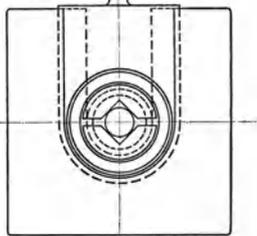
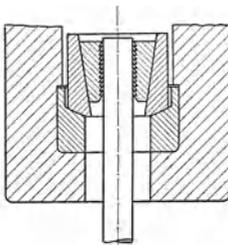


Fig. 30.

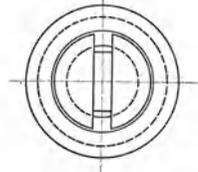
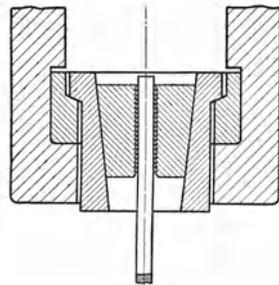


Fig. 31.

Die Befestigung der Normalflachstäbe erfolgt in der Regel mit Beißkeilen (Fig. 31 u. 32) oder nach Fig. 33 mit Bolzen.

Bei der Einspannung der Rundstäbe ohne Gewinde ist darauf zu achten, daß die Auflagerflächen an den Stabköpfen eben sind und die zweiteiligen Ringe gleichmäßig ringsum berühren. Ungenügende Berührung veranlaßt ungleichmäßige Längenänderungen gegenüberliegender Materialfasern des Probestabes, was bei Messung elastischer Dehnungen falsche Ergebnisse veranlaßt. Man überzeuge sich daher bei Einspannung eines Stabes davon, daß zusammengehörige Ringteile Benutzung finden, da nur

gleichzeitig hergestellte gleich hoch sind, und davon, daß die Auflagerfläche des Stabkopfes passend und sauber bearbeitet ist. Als sicherste Einspannung ist die mit Gewinde zu bezeichnen, weil bei sorgfältiger Herstellung des-

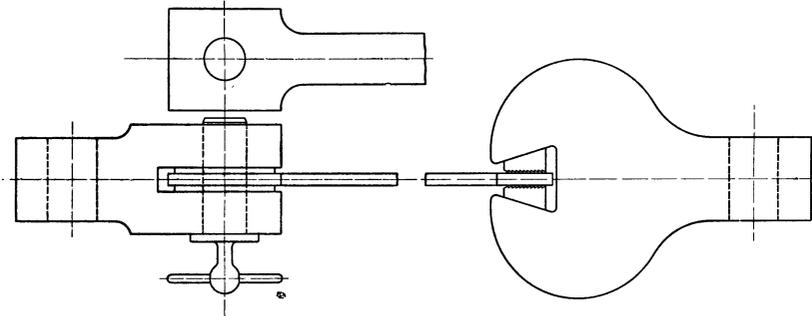


Fig. 33.

Fig. 32.

selben gleichmäßige Inanspruchnahme aller Fasern am Umfange des Stabes gewährleistet ist. Diese Art der Einspannung ist jedoch kostspielig, weil zu den ohnehin hohen Herstellungskosten des Normalstabes noch die des Gewindes treten.

Bei Verwendung von Flachstäben bietet die Einspannung mit Beißkeilen insofern Schwierigkeiten, als gleichmäßiges Anliegen der Keile über die ganze Stabkopfbreite nur schwer erreichbar und somit ungleichmäßige Spannungsverteilung über die Stabbreite unvermeidlich ist. In beschränktem Maße wird diesem Übelstande dadurch abgeholfen, daß man die Flächen mit Rillen versieht, die mit denen der Beißkeile übereinstimmen. Die Übereinstimmung wird unter Vermeidung eines besonderen Fräasers am besten dadurch erreicht, daß man die Flächen mit Wachs überzieht, die Beißkeile daraufdrückt und mit einer Hobelmaschine die dem Wachsabdruck entsprechenden Rillen erzeugt. Die Verschwächung des Stabes durch die Rillen ist ohne Bedeutung, weil der Querschnitt infolge der größeren Kopfbreite immer noch weit größer bleibt als der des prismatischen Stabteiles. Dem Verfasser ist es in seiner langjährigen Praxis noch nie vorgekommen, daß ein derartig vorgerichteter Stab im Kopfe zerrissen wäre. Auch sind Mißerfolge bei Feinmessungen an Flachstäben in der Regel auf andere als diese Einflüsse zurückzuführen gewesen. Bedingung für Gelingen der Versuche ist nur, daß diese Stäbe ebenso wie die Rundstäbe in Einspannvorrichtungen mit kugelförmig gestalteten Widerlagern befestigt werden. Die kugelige Einspannung soll bewirken, daß die beweglichen Teile der Einspannvorrichtung der Maschine sich in die Zugrichtung, d. h. in die Richtung der Stabachse einstellen, so daß kein Biegemoment auf den Stab zur Wirkung gelangt.

Bewährte Konstruktionen von Einspannvorrichtungen mit kugeligen Stabwiderlagern sind in Fig. 27—31 dargestellt.<sup>1)</sup> Zu beachten bei

<sup>1)</sup> Weitere Konstruktionen s. Martens, Materialienkunde I und Denkschrift.

Konstruktion solcher Widerlager ist die Anordnung der Kugelfläche in bezug auf den Stabkopf. Durch einfache Überlegung an Hand der Figuren wird klar, daß die Wirkung der kugeligten Lagerung um so besser ist, je näher der Kugelmittelpunkt der Auflagerfläche des Stabkopfes liegt. Es soll jedoch an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß man sich bei Herstellung der Stabköpfe sowohl als auch bei Justierung der Materialprüfungsmaschine nicht auf die fehlerausgleichende Wirkung der Einspannung verlassen soll. Bei einiger Sorgfalt ist es ein leichtes, gute Stabköpfe anzufertigen, ebenso wie es nur geringe Schwierigkeiten bereitet, die beweglichen Einspannteile der Maschine so zu justieren, daß die Achse des oberen Kopfes mit der des unteren zusammenfällt. Leider läßt in dieser Beziehung die Justierung der Maschinen durch die Lieferanten in manchen Fällen zu wünschen übrig, und es muß dringend geraten werden, die Maschinen in dieser Beziehung selbst zu kontrollieren, wenn man nicht dauernd mit Schwierigkeiten bei der Versuchsausführung zu kämpfen haben will (s. § 156).

Eine Vorrichtung zur Einspannung von Flachstäben mit nicht rechteckigem, sondern trapezförmigem Querschnitte oder mit solchem, bei dem die Stabflächen gewölbt sind, ist in Fig. 34 dargestellt.

Diese Vorrichtung hat sich recht gut bewährt, wenn die Stabschultern 1 und 2 richtig bemessen waren, so daß die bei der Belastung

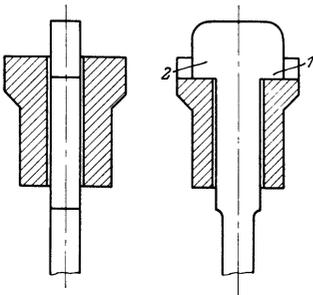


Fig. 34.

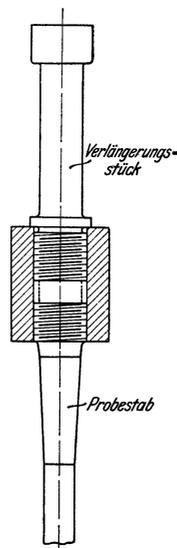


Fig. 35.

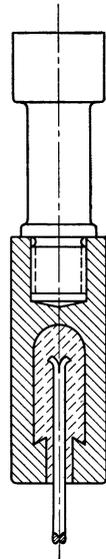


Fig. 36.

des Stabes entstehende Biegebungsbeanspruchung keine Verbiegung derselben hervorbrachte.

Zur Einspannung von Stäben geringer Länge empfiehlt sich die Verwendung von Verlängerungsstücken nach Fig. 35.

Profilstäbe mit unregelmäßig gestaltetem Querschnitt befestigt man am einfachsten durch Vergießen mit Weißmetallkompositionen niedrigen Schmelzpunktes in der aus Fig. 36 ersichtlichen Weise.

Eine geeignete Komposition besteht aus:

68 0/0 Blei, 12 0/0 Antimon, 20 0/0 Zinn.

Probekörper mit niedrigem Schmelzpunkte oder solche, die höheren Temperaturen nicht ausgesetzt werden dürfen, kann man mit der Roseschen Legierung, bestehend aus:

1 Teil Zinn, 1 Teil Blei, 2 Teilen Wismut,

vergießen. Der Schmelzpunkt dieser Legierung liegt derartig niedrig (98°), daß sie in kochendem Wasser geschmolzen werden kann. Bei der Herstellung der Legierung ist jedoch darauf zu achten, daß die einzelnen Bestandteile durch Verrühren innig gemischt werden. Ungentigende Vermischung erhöht den Schmelzpunkt.

Für die Einspannung von Betonprobekörpern zur Ermittlung der Festigkeits- und elastischen Eigenschaften hat sich die in Fig. 37 dargestellte bewährt. Sie ist jedoch nur dann brauchbar, wenn wenigstens der eine Einspannkopf frei nach allen Seiten beweglich angebracht ist und der Probekörper über die ganze Kopfbreite gleichmäßig anliegt. Ungleichmäßige Anlage macht sich bei Feinmessungen durch starke Abweichung der einzelnen Spiegeldrehungen bemerkbar. Die Anordnung von elastischen Zwischenlagen an den Anlageflächen empfiehlt sich nicht, weil dieselben eine ungleichmäßige Kraftübertragung auf den Probekörper begünstigen (s. a. § 280).

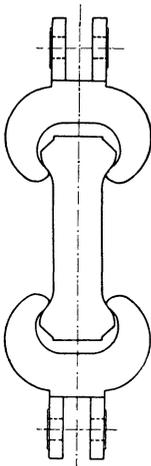


Fig. 37.

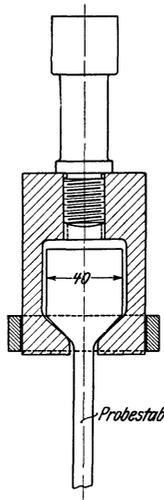


Fig. 38.

Für Zerreißversuche mit Holz (s. § 293) benutzte Verfasser mit gutem

Erfolge die in Fig. 38 dargestellte Einspannvorrichtung. Bei ihrer Verwendung ist jedoch darauf zu achten, daß die Länge des Stabkopfes der Scherfestigkeit des Holzes angepaßt wird, die bei Holzarten mit stark ausgeprägten Unterschieden in der Festigkeit des Frühjahr- und Herbstholzes sehr gering ist<sup>1)</sup> (s. a. § 293).

## § 20. Einfluß der Zeit auf das Ergebnis des Zerreißversuches.

Jeder Körper, der durch Kräfte beansprucht wird, erleidet, wie aus dem früher Erörterten hervorgeht, eine Formänderung, zu deren Ausbildung gewisse Zeit erforderlich ist. Wird dem Körper zur Formänderung nicht genügend Zeit gelassen, so müssen sich dieselben Erscheinungen

<sup>1)</sup> Eine weitere Einspannvorrichtung für Textilstoffe, Papier usw. s. §§ 143 und 144.

bemerkbar machen, wie bei Hinderung der Formänderung durch Querkkräfte infolge von Materialanhäufungen innerhalb des beanspruchten Stabteiles (s. § 16), d. h. die zur Formänderung erforderliche Kraft muß größer sein. Begründet ist diese Eigentümlichkeit der Materialien darin, daß zur Überwindung der inneren Reibung der Moleküle eine gewisse Beschleunigungsarbeit geleistet werden muß, bei der die Kraft um so größer ist, in je kürzerer Zeit die Beschleunigung erfolgen soll. Man verwendet deshalb in den öffentlichen Materialprüfungsanstalten bei Metallen eine Streckgeschwindigkeit entsprechend 1—2 ‰ Dehnungszuwachs pro Minute.

Besonders deutlich zeigt sich der Einfluß bei Zugversuchen mit Zinkblech, Aluminium, Kupfer und Zinn. Je schneller der Versuch durchgeführt wird, desto größer werden die zu den jeweiligen Dehnungen gehörigen Spannungen. Bei diesen Materialien kann aber die Versuchsdauer verhältnismäßig kurz, bis ca. 1 Stunde, gewählt werden, im Gegensatz zu den Materialien mit großen Nachwirkungserscheinungen, wie z. B. Leder. Dieses zeigt noch bei sehr langer Versuchsdauer eine Beeinflussung der Versuchsergebnisse. Versuche von Leloutre, die durch solche von Bach Bestätigung gefunden haben, ergaben, daß die Festigkeit von Leder bei einer Versuchsdauer von

1 Stunde 26 Minuten . . . 301 kg/qcm

und von

166 Tagen nur . . . . . 200 kg/qcm

betrug.<sup>1)</sup>

Man ersieht hieraus, daß die üblichen Zeiten, in denen Materialprüfungen vorgenommen werden, eigentlich nicht für alle Materialien einwandfrei sind. Es muß jedoch als ausgeschlossen bezeichnet werden, daß man allgemein Festigkeitsversuche auf lange Zeiträume ausdehnen kann. Man muß vielmehr bestrebt sein, auf Grund von Erfahrungen bei Konstruktionen auf diese Eigenschaft der Materialien Rücksicht zu nehmen und den Sicherheitsgrad entsprechend zu wählen.

Um bei Eisen und Stahl den Einfluß der Streckgeschwindigkeit sichtbar zu machen, ist es erforderlich, ganz gleichartiges Material bei sehr großen Streckgeschwindigkeiten zu prüfen. Ihre Erzeugung ist nur möglich mit hydraulisch angetriebenen Zerreißmaschinen, bei denen auch die Kraftmessung auf hydraulischem Wege erfolgt. Da aber bei diesen die Beschleunigung der beweglichen Maschinenmassen und die der Manometer in das Resultat der Messung gelangt, kann man nicht mit Sicherheit behaupten, ob die Abweichung der Ergebnisse durch die Materialeigenschaften bedingt ist oder auf die Massenbeschleunigung der Materialprüfungsmaschinenteile zurückgeführt werden muß.

<sup>1)</sup> S. auch Stribeck, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. Jahrg. 1903, S. 559; Le Chatelier, Baumaterialienkunde Jahrg. 1901 u. 1902.

### § 21. Die Wärmevergänge beim Längen von Metallen.

Unterwirft man einen Probestab dem Zerreißversuche und beobachtet seine Temperatur während der Längung, dann bemerkt man eine wesentliche, allmählich steigende Erwärmung. Die Erwärmung ist um so größer, je schneller die Längung des Stabes erfolgte. Der Vorgang findet seine Erklärung darin, daß die zur Formänderung des Stabes aufgewendete Arbeit in Wärme umgesetzt und diese eine Temperaturerhöhung des Stabes verursacht, welche um so mehr bemerkbar wird, je weniger Zeit das Material besitzt, die Wärme durch Strahlung an die Umgebung oder durch Leitung an die Maschinenteile abzugeben. Würde die gesamte zur Längung aufgewendete mechanische Arbeit in molekulare Reibungswärme umgesetzt werden, dann müßte man diese Arbeit durch Messung der Wärmemenge bestimmen können. Dahingehende Versuche sind in neuester Zeit von H. Hort<sup>1)</sup> ausgeführt worden. Er stellte mit einem Wasserkalorimeter die während des Zugversuches durch die Molekularreibung erzeugte Wärmemenge fest und brachte sie in Vergleich mit der aufgewendeten Zerreißarbeit quivalenten Wärmemenge. Es zeigte sich dabei, daß die zur Längung aufgewendete Arbeit sich nicht vollständig in Reibungswärme umsetzt, sondern zum Teil latent wird. Die Größe dieses Teiles ist bei den einzelnen Materialien verschieden und soll im Zusammenhang stehen mit der sogenannten Festigung des Materials, welche es durch mehrmalige Belastung bis zur Fließgrenze erfährt.

Während aber bei Materialspannungen oberhalb der Elastizitätsgrenze eine Erwärmung des Materials eintritt, findet bei Spannungen unterhalb derselben eine Abkühlung statt, deren thermodynamische Erklärung zuerst Thomson gegeben hat. Nach den Ableitungen dieses Forschers ist die bei einer Spannungsänderung  $\Delta \sigma$  pro 1 ccm eines Metalles verschwindende Wärmemenge:

$$c \cdot \Delta t = \frac{T \cdot \alpha \cdot \Delta \sigma}{A},$$

worin  $c$  die spezifische Wärme in Gramm-Kalorien,  $\Delta t$  die Abkühlung,  $T$  die absolute Anfangstemperatur des Probestabes,  $\alpha$  sein Wärmeausdehnungskoeffizient,  $A$  das mechanische Wärmeäquivalent = 42,7 cm-kg/g-Kal. ist.

### § 22. Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit und Dehnung der Materialien.

In unseren modernen Maschinen und Apparaten werden die Materialien nicht immer bei gewöhnlicher Temperatur, d. i. etwa 20°C. benutzt, sondern unter Umständen Temperaturen ausgesetzt, die entweder wesentlich unter oder über den normalen liegen. Bauwerksteile, wie eiserne Träger, Brckenbaumaterial, Eisenbahnschienen und dergl., werden in manchen

<sup>1)</sup> Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 41.

Gegen den Temperaturen von  $-30^{\circ}$  ausgesetzt, während in Dampfüberhitzern das Eisen noch bei  $400^{\circ}$  genügenden Widerstand leisten muß, ebenso wie es in Automotoren, deren Ventilteller sich oft im rotglühenden Zustande befinden, keine Deformationen erleiden darf. Das gleiche gilt für alle Ofenbaumaterialien, z. B. Feuerungsteile der Dampfkessel, die in vielen Fällen bis zur Weißglut erhitzt werden. Es ist deshalb von größter Wichtigkeit, das Verhalten der Materialien bei diesen Temperaturen zahlenmäßig festzustellen und bei ihrer Verwendung den Einflüssen der Temperatur Rechnung zu tragen, indem man die Dimensionen der Bauwerksteile derartig wählt, daß Überbeanspruchungen infolge der Temperatureinwirkung nicht stattfinden.

Zahlreiche Forscher haben sich bereits mit dem Studium der Metalleigenschaften bei hohen und niedrigen Temperaturen beschäftigt und an geeigneter Stelle berichtet. Eine dankenswerte Zusammenstellung aller dieser Arbeiten hat R. Baumann in seiner Schrift „Die Festigkeitseigenschaften der Metalle in Wärme und Kälte“, Stuttgart 1907, gegeben. Wenn auch durch diese Arbeiten die Kenntnis der Metalleigenschaften noch nicht vollständig geklärt wurde, so haben sie doch bereits die Verwendungsgebiete verschiedener Metalle wesentlich erweitert und den Weg gezeigt, der zur planmäßigen Durchführung von Versuchen bei hohen und niedrigen Temperaturen einzuschlagen ist. Die bisher angestellten Versuche erstreckten sich auf die Ermittlung der Zugfestigkeit und teilweise auch der elastischen Eigenschaften von Eisen, Kupfer und seinen Legierungen, Zink und Hartblei. Ein großer Teil der Versuche krankt jedoch daran, daß die chemische Zusammensetzung der untersuchten Metalle nicht ermittelt wurde und somit jede Vergleichbarkeit mit Materialien anderen Ursprungs ausgeschlossen ist.

Von den neueren Versuchen auf diesem Gebiete sind die von Martens, Rudeloff, Bach und Stribeck besonders hervorzuheben. Während Martens, Rudeloff und Bach mit Gas geheizte Öfen zur Erwärmung des in einem Flüssigkeitsbade angeordneten Probestabes benutzten, verwendete Stribeck den in Fig. 39 dargestellten elektrischen Widerstandsofen.<sup>1)</sup> Wegen ihrer bequemen Handhabung und der weitgehenden Regulierbarkeit der Temperatur gebührt diesen Öfen gegenüber allen anderen der Vorzug.

In dem Bericht über seine Versuche (Zeitschr. deutsch. V. d. Ing. 1903, S. 559) stellt Stribeck für einen zweckmäßigen Ofen eine Anzahl Forderungen auf, welche als Leitsätze zur Konstruktion von Öfen gelten können und deshalb hier mitgeteilt sowie erörtert werden sollen.

Die Temperatur des Stabes muß über die Meßlänge gleich sein.

<sup>1)</sup> Auch Martens hat einen elektrischen Widerstandsofen angegeben, s. Denkschrift S. 335; s. a. § 332.

Es ist klar, daß bei elektrischen Widerstandsöfen, welche durch eine Platinspirale oder Platinfolie erwärmt werden, am Anfang der Spirale eine andere Temperatur herrschen muß als am Ende derselben. Es wird daher zweckmäßig sein, die Spirale nicht fortlaufend, sondern mit zwei oder mehr Unterbrechungen anzuordnen und jeden dieser Teile mit einem Regulierwiderstand zu versehen. Durch diese Schaltungsweise ist man in der Lage, die Temperatur jedes Teiles der Porzellanmuffel, welche die Platinspirale trägt, gesondert zu verändern und mit den Temperaturen der übrigen in Einklang zu bringen.

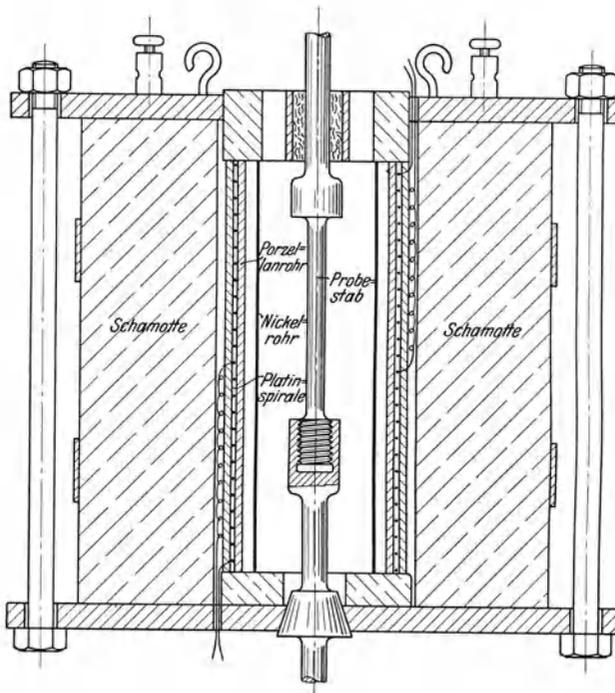


Fig. 39.

Auch den Einfluß der Stabköpfe kann man auf diese Weise unschädlich machen. Es veranlassen nämlich die kalten Stabköpfe eine Wärmeableitung vom Probestabe und somit ungleichmäßige Temperatur in der Meßlänge des Stabes. Heizt man deshalb die Stabenden stärker, so wird diesem Übelstand abgeholfen.

Die mittlere Temperatur des Stabes muß genügend genau bestimmt werden können.

Im Gegensatz zu den Flüssigkeitsöfen befindet sich bei den elektrischen Widerstandsöfen der Probestab in einem Luftbade, welches bei niedrigeren Temperaturen die Wärme von der Muffel auf den Probestab

überträgt. Bei höheren Temperaturen wird die Wärmeübertragung jedoch noch durch Strahlung erheblich befördert, und es ist ohne weiteres ersichtlich, daß in diesem Falle die Temperaturunterschiede zwischen dem Luftbade und dem Probestabe erheblicher sein werden. Würde man also das Temperatur-Meßinstrument nicht unmittelbar am Probestabe, sondern in einiger Entfernung davon im Luftbade anordnen, so würden die Thermometeranzeigen wesentlich von den wirklichen Stabtemperaturen abweichen. Messung der Temperatur unmittelbar am Probestab ist somit unbedingtes Erfordernis, und zwar ist es besonders empfehlenswert, nach dem Vorgehen Stribecks die Thermolemente zur Temperaturmessung im Innern des Stabes anzuordnen. Auf diese Weise erscheint einwandfreie Temperaturmessung gewährleistet. Innerhalb der Meßlänge ist jedoch Einbettung eines Thermolementes in den Probestab ausgeschlossen und Temperaturmessung außerhalb des Stabes nicht zu vermeiden. In diesem Falle muß der Temperaturunterschied für das zu untersuchende Material durch einen Sonderversuch, bei welchem außer dem Thermolement in der Nähe der Staboberfläche noch ein solches im Innern des Stabes angeordnet ist, bestimmt und entsprechend berücksichtigt werden.

Der Temperaturzustand des Stabes darf sich während des Versuches nur möglichst wenig ändern.

Dieser Forderung ist leicht durch Einschaltung von Meßinstrumenten in den Heizstromkreis und Benutzung der Regulierwiderstände zu entsprechen.

Das Stabmaterial darf während des Versuches nicht durch andere Einflüsse als Wärme und Belastung in unzulässigem Maße verändert werden.

Je länger die Dauer eines Versuches ist, desto mehr muß auf fremde Einflüsse geachtet werden. Stribeck erstreckte seine Versuche bis auf 100 Stunden Belastungsdauer und machte dabei die Beobachtung, daß durch die Gegenwart des Sauerstoffes sich besonders bei hohen Temperaturen rasch eine Oxydschicht an der Oberfläche des Materials bildete, welche schon bei geringer Stärke einen wirksamen Schutz gegen weitere Einwirkung des Sauerstoffes auf das Material bildete. Gefördert wurde die Einwirkung nur dann, wenn Teile der Oxydschicht absprangen oder wenn eine Komponente der Legierung bei der Versuchstemperatur stark ausdampft, wie es bei Messing beobachtet wurde.

An dieser Stelle muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß nicht alle Materialien sich gegenüber dem Sauerstoff so günstig verhalten werden, wie die von Stribeck untersuchten. Bei hohen Temperaturen kann sehr leicht der Fall eintreten, daß das Material Sauerstoff aufnimmt und dadurch eine dauernde Veränderung erfährt. Kohlenstoffhaltiges Eisen kann bei langer Einwirkung des Sauerstoffes erheblich entkohlt werden, und es empfiehlt sich deshalb, den Sauerstoff durch Einleitung eines indifferenten Gases, z. B. wasserfreien Stickstoffs, aus dem Ofen zu verdrängen.

Es muß möglich sein, während der Belastung Dehnungsmessungen am Probestabe vorzunehmen.

Die bloße Überlegung lehrt, daß die Erwärmung eines Stabes mit dem elektrischen Widerstandsofen die geeignetste für Dehnungsmessungen

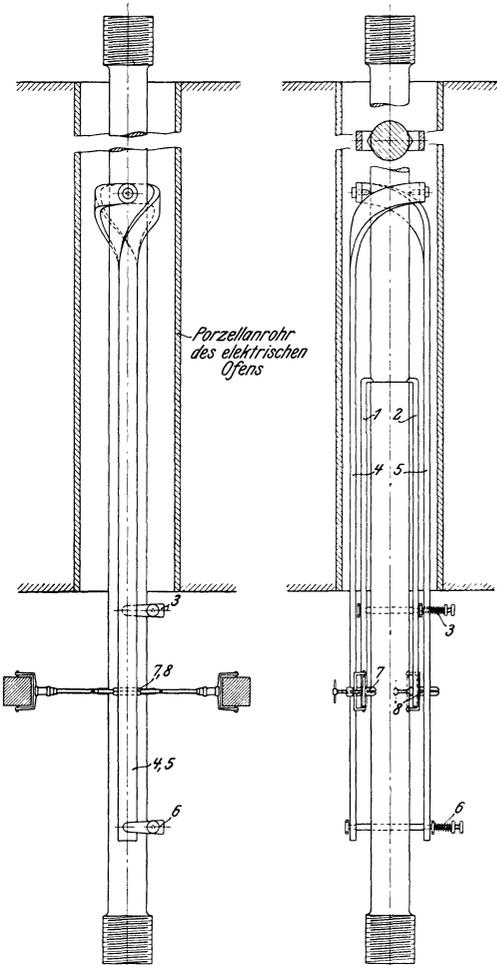


Fig. 40.

mit Spiegelapparaten ist. Wenn auch Rudeloff und Martens Spiegelapparate bei Versuchen unter Benutzung von flüssigen Metallbädern mit Erfolg zur Dehnungsmessung benutzten, muß doch der Dehnungsmessung unter Verwendung elektrischer Heizung der Vorzug gegeben werden, weil die Entfernung der Spiegelapparate aus dem Metallbade vor dessen Abkühlung schwierig ist und dasselbe aus dem heißen Ofen vor Erkaltung ausgeschüttet werden muß. Der elektrische Ofen gestattet dagegen jeden Augenblick durch bloße Verschiebung in der Achsenrichtung des Stabes eine Freilegung und somit bequeme Kontrolle des Meßinstrumentes. Ein weiterer Vorzug darf ferner darin erblickt werden, daß die Spiegelachsen unterhalb des Ofens angebracht werden können und infolgedessen durch die aufsteigende Wärme nicht beeinflußt werden.

Ein vom Verfasser konstruierter Spiegelapparat, bei welchem gegenüber dem Martens- und Rudeloffschen Apparat die Klemmvorrichtungen aus dem Innern des Ofens nach außen verlegt wurden, ist in Fig. 40 dargestellt. Die beiden Meßschienen 1 und 2 werden mit Klemme 3 am Probestabe befestigt, wobei die Schneiden in eine Ringmarke am Stabe eingreifen. Zwei weitere Meßschienen 4 und 5, von denen das Ende, welches die Schneiden trägt, um  $180^\circ$  verwunden ist, werden in die zweite Ringmarke am Stabe eingesetzt und am unteren Ende durch eine Feder-

klemme 6 zusammengezogen, nachdem die beiden Martensschen Spiegelschneiden 7 und 8 zwischen die inneren und äußeren Schienen eingeschaltet worden sind. Die Dehnungsmessung erfolgt in der üblichen Weise, indem die Verschiebung der inneren Schienen gegen die äußeren durch die Drehung der Spiegel bestimmt wird. Die Versuchsausführung bietet insofern gewisse Schwierigkeiten, als bei Temperaturveränderungen nicht nur der Probestab, sondern auch die Meßschienen Längenänderungen erfahren. Dieser Umstand ist jedoch ohne Bedeutung, wenn es sich nur darum handelt, die federnden Längenänderungen des Probestabes zu ermitteln. In diesem Falle genügt mehrmaliger Belastungswechsel, bis gleichbleibende Dehnungsanzeige erreicht ist. Fehlerhaft dagegen sind bei Temperaturschwankungen die Ablesungen, welche den bleibenden Längenänderungen entsprechen, weil sie die Ausdehnungen bzw. Zusammenziehungen des Stabes und der Meßschienen infolge der Temperaturänderungen einschließen. So wichtig auch die Kenntnis der bleibenden Längenänderungen bei Spannungen innerhalb der Elastizitätsgrenze ist, kann für praktische Zwecke auf ihre Feststellung verzichtet werden, weil ihre Größe gegenüber den durch die Temperaturänderung hervorgerufenen verhältnismäßig gering ist.<sup>1)</sup>

Zur Orientierung über das Verhalten von Metallen bei höheren Temperaturen seien im folgenden Ergebnisse von Zugversuchen von Martens mit Eisen, dessen chemische Zusammensetzung leider nicht veröffentlicht wurde, wiedergegeben (s. Baumann S. 18).

Temperatur $t^{\circ}$	Festigkeit kg/qcm an der		Bruchdehnung $\varphi$ ‰	Einschnürung $\psi$ ‰
	Streckgrenze $\sigma_f$	Bruchgrenze $K_z$		
— 20	2470	4120	31,9	55,8
+ 20	2200	3840	30,4	58,6
+ 100	2000	3910	14,1	50,9
+ 200	1990	5030	15,8	41,5
+ 300	1560	4740	20,0	22,9
+ 400	1130	3410	35,0	57,5
+ 500	—	1930	50,3	79,6
+ 600	320	1070	76,7	90,5

Der Verlauf der Linienzüge in Fig. 41 zeigt, daß die Zugfestigkeit des untersuchten Eisens von  $-20^{\circ}$  bis etwa  $+20^{\circ}$  abnimmt, dann bis etwa  $200^{\circ}$  ansteigt und schließlich wieder abnimmt. Die Bruchdehnungen nehmen bis etwa  $100^{\circ}$  ab, um dann wieder größer zu werden. Für die Einschnürung findet sich der kleinste Wert bei etwa  $300^{\circ}$ , und sie wächst sowohl nach den niedrigeren als auch den höheren Temperaturen rasch an.

<sup>1)</sup> Die Anordnung eines elektrischen Ofens bei Zugversuchen mit der Martensschen Materialprüfungsmaschine der Dresdner Versuchsanstalt s. § 127.

Inwieweit diese Versuchsergebnisse für praktische Anwendungen Benutzung finden können, muß dahingestellt bleiben, weil noch nicht nachgewiesen ist, in welchem Maße die chemische Zusammensetzung, die vorausgegangene mechanische Bearbeitung sowie thermische Behandlung, ferner die Dauer

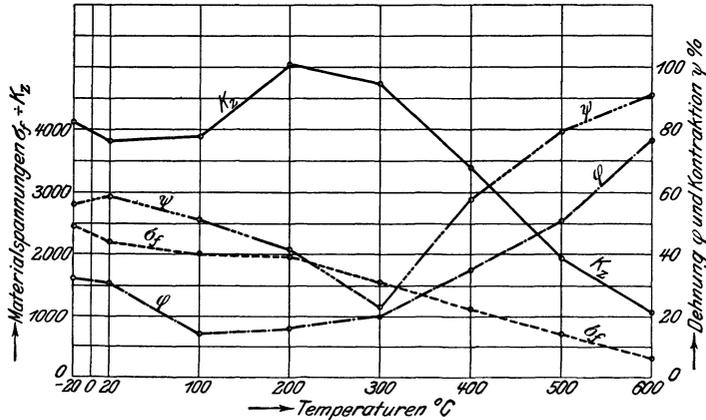


Fig. 41.

des Zerreißversuches und seiner Heizperioden die Ergebnisse beeinflussen. Wegen der Wichtigkeit der Frage des Verhaltens der Metalle bei höheren Temperaturen bedürfen die bereits ausgeführten Versuche dringend der Erweiterung und Bestätigung.

### § 23. Einfluß der thermischen Behandlung auf die Eigenschaften der Materialien.

Durch thermische Behandlung werden die Eigenschaften der Materialien, wie teilweise bereits in § 22 erörtert wurde, beeinflusst. Der Einfluß erstreckt sich aber nicht nur auf Änderung ihrer Eigenschaften, während der Körper abnormalen Temperaturen ausgesetzt ist, sondern er bleibt zum Teil auch bestehen, wenn der Körper wieder auf normale Temperatur gebracht wird. Eingehend festgestellt worden sind diese Einflüsse für die Metalle und insbesondere für das Eisen bei Beanspruchung auf Zug. Da für die Verwendung von Eisen der Einfluß der thermischen Behandlung desselben von hervorragender Bedeutung ist, muß auf diesen Punkt näher eingegangen werden.

Nur wenige Eisenkonstruktionsteile, besonders für den Maschinenbau, kommen zur Verwendung, ohne daß sie irgend einer Behandlung im Feuer ausgesetzt werden. In vielen Fällen werden sie durch Schmieden im erhitzten Zustande in die gewünschte Form gebracht, oder sie werden ausgeglüht, wenn ihre Härte der weiteren Bearbeitung Schwierigkeiten bereitet. Andererseits erfordern manche Konstruktionselemente für ihren Bestand eine gewisse Härte, die nur durch Härten nach vorangegangener Erhitzung erzeugt werden kann. Sowohl das Ausglühen als auch das

Härten bewirkt Änderungen der mechanischen Eigenschaften, die von der Höhe der angewandten Glüh- bzw. Härtetemperatur abhängen und in unmittelbarem Zusammenhange mit dem Kleingefüge des Materials stehen. Während der Einfluß der thermischen Behandlung auf das Kleingefüge im Teil VI: Grundzüge der Metallographie behandelt werden wird, sollen hier nur die Einflüsse auf die Zugfestigkeit erörtert, und soweit erforderlich, durch Versuchsergebnisse belegt werden.

Wie bereits vorausgeschickt, ist die Höhe der angewandten Glüh-temperatur beim Eisen von besonderer Bedeutung, und unter sonst gleichen Bedingungen wird die Zugfestigkeit des Eisens verringert, je höher die Glüh-temperatur gewählt wird. Aber nicht allein die Höhe der Glüh-temperatur beeinflusst die Zugfestigkeit, sondern auch die Glüh-dauer, die Art des Glühens, die Abkühlungsgeschwindigkeit usw. rufen Abweichungen in den Ergebnissen des Zugversuches hervor. Soll deshalb der Einfluß thermischer Behandlung auf Metalle festgestellt werden, so müssen alle diese Faktoren Berücksichtigung finden.

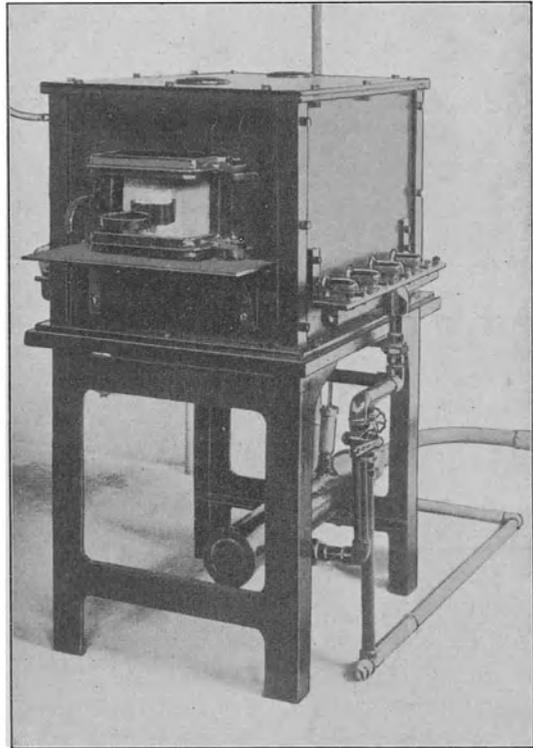


Fig. 42.

Das Glühen muß in Öfen erfolgen, welche einen vollkommenen Schutz des Materials vor Veränderungen infolge der Einwirkung des Feuers oder der Luft gewährleisten. Am besten eignen sich für diese Zwecke Muffelöfen, in denen das Material mit den Feuergasen nicht in Berührung kommt und bei denen der Heizraum luftleer gemacht oder wenigstens mit einem indifferenten Gase zur Vermeidung von Oxydation oder dergl. gefüllt werden kann.

Verfasser benutzte für Glühversuche mit Erfolg den in Fig. 42 dargestellten Gas-Glühofen mit Schamottemuffel. Das Gas tritt mit Luft ge-

mischt an den beiden Seitenwänden durch je 4 Düsen in den Ofen ein, und die Feuergase umspülen infolgedessen die Schamottemuffel gleichmäßig. Die Schamottemuffel wird nach Einsetzen der zu glühenden Metallprobstücke durch eine Schamotteplatte mit feuerfestem Mörtel verschlossen. Zur Bestimmung der Glühtemperatur dienen Thermoelemente (s. § 185), die an den Probstücken befestigt und deren Drähte durch die Muffelwand hindurchgeführt werden. Zur Verdrängung des Sauerstoffes wird reiner, angewärmter Stickstoff durch die Muffel geleitet. Da auch nach Abstellung der Gaszufuhr die erhitzten Ofenwandungen durch Strahlung eine weitere Erwärmung der Muffel und infolgedessen der Probstücke verursachen, muß die Heizung noch vor Erreichung der gewünschten Temperatur abgestellt und, falls dies nicht ausreicht, durch Einblasen kalter Luft mittelst des Gebläses der Ofen abgekühlt werden. Auf diese Weise läßt sich nicht nur eine bestimmte Glühtemperatur erreichen, sondern es ist auch die Möglichkeit vorhanden, die Probstücke mit beliebiger Geschwindigkeit abzukühlen.

Zur Klarstellung des Einflusses der Glühtemperatur auf die mechanischen Eigenschaften der Metalle mögen einige in folgender Tabelle zusammengestellte Ergebnisse von Versuchen Campbells<sup>1)</sup> dienen.

Campbell stellte die Zugfestigkeit und Formänderung mehrerer Stähle mit verschiedenem Kohlenstoffgehalt im ungeglühten Zustande und nach Ausglühen bei Temperaturen von 650<sup>o</sup>—1200<sup>o</sup> fest.

No.	Kohlenstoffgehalt %	Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Einschnürung nach Ausglühen bei °C.									
		0	650	715	760	800	855	905	950	1070	1200
1.	0,70	8200	6690	6240	6030	6620	6420	6350	6360	6290	6330
		17,0	23,0	27,0	27,0	19,0	18,5	18,0	16,5	18,0	16,0
		27,0	33,9	45,2	38,7	20,9	20,7	21,8	20,5	17,9	16,8
2.	1,61	10770	9010	8220	6930	6860	6670	6830	6770	6630	4900
		6,0	—	14,5	20,0	18,5	15,0	11,5	7,5	3,5	3,0
		9,1	8,3	21,5	34,0	19,1	14,2	9,4	6,8	2,6	1,9
3.	2,04	10110	8110	8050	6950	6710	6590	6690	6690	6960	4030
		4,0	6,0	7,0	11,5	12,5	12,0	11,5	6,0	4,5	1,0
		3,0	6,5	6,6	16,2	19,6	13,2	12,6	5,8	2,7	0,4

Bemerkung: Die erste Zahlenreihe jeder Spalte bedeutet die Zugfestigkeit in Kilogramm/Quadratcentimeter, die zweite entspricht der zugehörigen Bruchdehnung in Prozenten, ermittelt an einer Länge von 50,8 mm bei 0,632 qcm Querschnitt, und die dritte der Querschnittszusammenziehung jedes Probstabes in Prozenten.

<sup>1)</sup> Campbell, Metallurgie 1906; Heft 22, s. a. Wawrziniok, Metallurgie 1907, Heft 23.

Eine Vergleichung der Versuchsergebnisse zeigt, daß die Festigkeit des Stahles 1 mit 0,70 % Kohlenstoffgehalt durch die Höhe der Glüh-temperatur verhältnismäßig wenig beeinflußt wird. Auffälliger macht sich dieser Einfluß dagegen bei den beiden anderen Stählen bemerkbar. Während die Festigkeitsabnahme durch das Ausglühen bis zu 715° Glüh-temperatur nicht sehr beträchtlich ist, nimmt sie bei der nur wenig höheren Temperatur von 760° stark zu, ohne jedoch durch weitere Steigerung der Glüh-temperatur bis 1070° eine wesentliche Veränderung zu erfahren. Erst bei 1200° Glüh-temperatur tritt eine weitere, allerdings sehr große Ver-minderung der Festigkeit auf, welcher Umstand darauf hinweist, daß das Material verdorben wurde.

In höherem Grade als die Festigkeit werden Bruchdehnung und Querschnittsverminderung der Probestäbe beeinflußt. Bei dem Stahl 1 verhalten sich diese beiden Faktoren ähnlich wie die Festigkeit, indem sie von 800° Glüh-temperatur an ziemlich konstant bleiben, während bei den beiden anderen Stählen die Formänderung von dieser Temperatur ab stetig abnimmt. Die günstigste Glüh-temperatur liegt zwischen 700 und 800°. Wie bereits vorausgeschickt, dürfen die angeführten Versuchsergebnisse jedoch nur als ein Beispiel des Einflusses des Ausglühens auf die mecha-nischen Eigenschaften von Stahl betrachtet und die gewonnenen Zahlen daher keinesfalls verallgemeinert werden. Die Ergebnisse besitzen nur Vergleichswert für die gleichzeitig untersuchten Stähle, und es ist nicht zu-lässig, dieselben auf Materialien anderer Provenienz zu übertragen.

#### § 24. Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Festigkeitseigenschaften.

Die Festigkeit eines Materials ist immer abhängig von seiner chemischen Zusammensetzung, welche in erster Linie den Gefügeaufbau bedingt. Wenn aber auch eine solche Abhängigkeit nachgewiesen ist, darf eine Verallgemeinerung dieser Behauptung nicht erfolgen und gesagt werden, daß zu einer bestimmten chemischen Zusammensetzung ein bestimmtes Gefüge und dementsprechend eine bestimmte Festigkeit gehöre. Wir haben gesehen, daß mechanische Bearbeitung und thermische Be-handlung die mechanischen Eigenschaften der Metalle erheblich beeinflussen, und wir können mit Bestimmtheit voraussagen, daß bei gleicher chemischer Zusammensetzung zweier Probekörper, die bei ihrer Erzeugung nicht gleichartig behandelt wurden, ihre Prüfung abweichende Resultate zeitigt. Diese beiden Probekörper sind als chemisch ähnlich bzw. gleich, aber in physikalischer Beziehung unähnlich zu bezeichnen. Besitzen dagegen zwei Probekörper gleiche physikalische Beschaffenheit, aber abweichende chemische Zusammensetzung, so sind sie physikalisch ähnlich, aber in chemischer Beziehung ungleich zu nennen. Es ist daraus ersichtlich, daß verschiedene chemische Bestandteile zweier Stoffe sich gegenseitig zu er-setzen und, gleiche Behandlung vorausgesetzt, dieselben mechanischen Eigenschaften zu erzeugen vermögen.

Geleitet von dem Bestreben, die Festigkeitsprüfung durch die chemische Analyse zu ersetzen, stellten verschiedene Forscher Formeln auf, mit deren Hilfe aus der chemischen Zusammensetzung eines Metalles seine Zugfestigkeit berechnet werden soll. Überlegt man auf Grund des weiter oben über mechanische Bearbeitung und thermische Behandlung Gesagten den Wert einer solchen Berechnungsmethode, so wird man zu dem Schlusse gelangen, daß dieselbe, auch wenn alle Voraussetzungen erfüllt sind, nur beschränkte Bedeutung besitzt. In erster Linie wurden solche Formeln für das Kohlenstoff-Eisen aufgestellt, und Deshay, Thurston, Haswell, Bauschinger, Weyrauch, Salom beschränkten sich darauf, die Festigkeit als Funktion des Kohlenstoffgehaltes zu bestimmen, von dem erfahrungsgemäß die Festigkeit in hohem Grade abhängig ist. Osmond, Demange, Webster, Campbell und v. Jüptner gingen weiter und berücksichtigten in ihren Formeln neben dem Kohlenstoff auch die übrigen hauptsächlichsten Komponenten der Legierung. Der letztere Forscher fand mit Hilfe eines sehr reichhaltigen Versuchsmaterials, daß die Beziehung

$$K_z = 2,50 + \frac{2}{3} C + \frac{2}{7} Si + \frac{1}{7} Mn$$

mit seinen Versuchsergebnissen genügende Übereinstimmung lieferte. In der Formel bedeutet 2,50 eine sogen. „Grundfestigkeit“,  $C$  Kohlenstoff,  $Si$  Silizium und  $Mn$  Mangan. Die Faktoren  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{2}{7}$  und  $\frac{1}{7}$  stellen Verhältniszahlen dar, die sich aus den auf 12, 28 und 56 abgerundeten Atomgewichten der Legierungskomponenten ergeben.

Die Grundfestigkeit soll nach Angaben Jüptners für gleiche Erzeugungsbedingungen und gleiche thermische sowie mechanische Behandlung konstant sein. Jüptner gelangt zu dem Schlusse, daß seine Formel den Beweis ihrer Brauchbarkeit dadurch erbracht habe, daß sie auf einigen deutschen und französischen Hüttenwerken täglich statt der mechanischen Prüfung mit Erfolg angewendet und nur zeitweise durch Zerreißversuche kontrolliert wird. Andere Forscher fügten noch Phosphor, Kupfer und Schwefel in die Formel ein und fanden angeblich dadurch die Zuverlässigkeit der Berechnungsmethode erhöht. Für manche Hüttenwerke, in denen stets unter den gleichen Bedingungen und nach denselben Verfahren gearbeitet wird, mag die Verwendung einer solchen Berechnungsmethode zur Fabrikationskontrolle gewisse Vorteile bieten und auch Berechtigung besitzen, aber als unbrauchbar muß sie unter allen Umständen für die allgemeine Materialprüfung bezeichnet werden.

Bei Eisensorten normaler Zusammensetzung ist es in erster Linie der Kohlenstoffgehalt, welcher die Zugfestigkeit variiert. Im allgemeinen wächst die Zugfestigkeit des Eisens, gleichartige Behandlung vorausgesetzt, bis zu einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,9% und fällt dann wieder bei höheren Gehalten.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Näheres hierüber s. Wawrziniok, Metallurgie 1907, Heft 23.

Aber nicht nur der Kohlenstoff allein ist imstande, die Festigkeit des Eisens zu beeinflussen. In gewissen Mengen beigefügt, vermögen auch einige seltene Metalle, wie Nickel, Chrom, Wolfram, Titan usw., den Kohlenstoff zu ersetzen und bei richtiger Wahl der Zusatzmenge die Festigkeit des Eisens in günstigem Sinne zu verändern.

## II. Druckversuche.

### § 25. Die Druckfestigkeit der Materialien.

Ein Körper ist auf Druck beansprucht, wenn äußere Kräfte auf ihn einwirken, die ihn zu verkürzen streben. Da diese Art der Beanspruchung sich von der Zugbeanspruchung nur durch entgegengesetzte Krafrichtung unterscheidet, sind auf sie auch alle Begriffe und Gesetze anwendbar, welche bei der Zugfestigkeit der Materialien erörtert wurden.

Denkt man sich auf den stabförmigen Körper in Fig. 43 die äußeren Kräfte  $P$  wirkend, so erleidet der Körper eine Verkürzung. Da mit jeder Längenänderung eine Querschnittsänderung verbunden sein muß, wird eine Verdickung des Stabes eintreten. Die Länge  $l$  des Körpers geht über in  $l'$  und der Durchmesser  $d$  vergrößert sich auf  $d'$ . Nimmt man an, daß bei Druckbeanspruchung ebenfalls die äußeren Kräfte gleichmäßig über den Stabquerschnitt verteilt angreifen, so ist die durch die äußeren Kräfte in jedem Stabquerschnitt hervorgerufene Normalspannung:

$$\sigma = \frac{P}{f}.$$

Die Verkürzung des Stabes bezeichnet man ebenfalls wie die Verlängerung beim Zugversuch mit  $\lambda$  und die der Dehnung entsprechende verhältnismäßige Verkürzung als Quetschung mit  $\varepsilon$ . Es ist

$$\lambda = l - l'$$

und

$$\varepsilon = \frac{l - l'}{l} = \frac{\lambda}{l}.$$

In Prozenten der ursprünglichen Stablänge ausgedrückt, ist die Verkürzung

$$\varphi = \frac{\lambda}{l} \cdot 100\%.$$

Die Querschnittsvergrößerung ist, ausgedrückt in Prozenten des ursprünglichen Querschnitts:

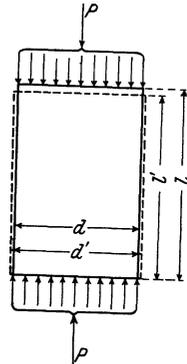


Fig. 43.

$$\psi = \frac{f' - f}{f} \cdot 100$$

$$\psi = \left( \frac{f'}{f} - 1 \right) \cdot 100 \text{ ‰}$$

Für das Elastizitätsgesetz gilt ebenfalls die Beziehung

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma.$$

$\alpha$  wird bezeichnet als Dehnungskoeffizient oder auch Quetschungskoeffizient. Letztere Bezeichnung ist wenig im Gebrauche, und sie erscheint auch überflüssig, weil man die Zusammendrückung ohne weiteres als eine negative Dehnung betrachten kann. Es ist daher auch üblich geworden, alle Kräfte und auch Längen- sowie Querschnittsänderungen bei Druckbeanspruchung zur Unterscheidung der bei Zugbeanspruchung auftretenden mit einem negativen Vorzeichen zu versehen. Im vorliegenden Buche ist dieses Vorgehen jedoch nicht befolgt worden, da es bei Anfängern Rechenfehler veranlaßt und eine Verwechslung der Begriffe als ausgeschlossen gelten darf.

Hinsichtlich der Formänderungen innerhalb der Fließgrenze und der Nachwirkungserscheinungen gilt das unter I. Zugversuche Gesagte.

Verfolgt man den Verlauf der Verkürzungen beim Druckversuch als Funktion der Belastungen, so ergibt sich ein Diagramm, welches für solche Körper, die durch Druckbeanspruchung zum Bruche gebracht werden können, demjenigen bei Zugversuchen ähnlich und unter Umständen sogar kongruent ist.

Die meisten Materialien, welche bei Zugbeanspruchung eine Proportionalitäts- und eine Streck- bzw. Fließgrenze besitzen, zeigen bei denselben Materialspannungen beim Druckversuch ebenfalls diese ausgeprägten Punkte.

Hierbei wird die Streck- bzw. Fließgrenze auch als Quetschgrenze bezeichnet.

Während aber durch Zugbeanspruchung der Zusammenhang aller Körper aufgehoben werden kann, ist dies bei Druckbeanspruchung von Körpern aus gewissen formbaren Materialien nicht immer möglich. Solche Materialien, z. B. Blei, Flußeisen und dergl., werden unter der Last zusammengedrückt, vergrößern mehr und mehr ihren Querschnitt, bis sie schließlich zu einer dünnen Folie ausgepreßt sind, ohne daß eine Trennung ihrer Teile eintritt. Bei ihnen ist somit die Feststellung einer Höchstspannung, die der Bruchgrenze beim Zugversuch entspricht, nicht möglich und die sogen. Druckfestigkeit des Materials als Gütemaßstab nicht feststellbar. Man benutzt in solchen Fällen die Spannung an der Fließgrenze als Gütemaßstab, weil hier bereits eine derartige Formänderung des Materials eintritt, daß seine Benutzung über diese Spannung hinaus nicht angängig ist.

Ebenso wie beim Zugversuch verläuft die Längen- und Querschnittsänderung nicht gleichmäßig über den ganzen Probestab. Ist ein zylindrischer

Stab gegenüber seinem Durchmesser verhältnismäßig lang, so erleidet er an irgend einer Stelle seiner Länge eine Ausbauchung, die der Einschnürung beim Zugversuch entspricht und ebenfalls die Zone der größten Formänderung des Stabes darstellt. Im allgemeinen tritt aber diese Art der Formänderung nicht auf, weil die Länge der Probestäbe für einwandfreie Druckversuche begrenzt ist und infolgedessen keine örtliche Ausbauchung entstehen kann. Vielmehr nimmt der ganze Probekörper an der Ausbauchung teil, indem die zylindrische Form in Tonnenform übergeht. Die Tonnenform entsteht dadurch, daß das Material durch die Reibung an den Preßplatten, zwischen denen es der Druckbeanspruchung unterworfen wird, zusammengehalten wird, während es nach der Mitte des Körpers hin frei ausweichen kann.

Für die Durchführung eines Druckversuches zur Ermittlung des Dehnungskoeffizienten usw. empfiehlt sich folgendes Schema (s. S. 50).

### § 26. Form der Probekörper.

Von noch größerer Wichtigkeit als beim Zugversuche ist die Form der Probekörper beim Druckversuche. Da es beim Druckversuche erforderlich ist, den Probekörper zwischen ebene Flächen einzuspannen und die Belastung genau zentrisch wirken zu lassen, bietet sowohl die Herstellung der Probekörper als auch ihre Lagerung in der Prüfungsmaschine gewisse Schwierigkeiten. Der Körper muß genau ebene und parallele Endflächen besitzen. Um Knickbeanspruchung auszuschließen, darf seine Länge in bezug auf den Durchmesser ein gewisses Maß nicht überschreiten. Die Probekörper müssen einander geometrisch ähnlich sein, wenn sie unter der Voraussetzung gleichen Materials geometrisch ähnliche Formänderungen und gleiche Festigkeitsziffern aufweisen sollen.

Als Normalform der Probekörper bei Druckversuchen gilt der Würfel. Es bedeutet dies, daß

$$\frac{\sqrt{f}}{l} = 1$$

ist. Bei Wahl dieses Verhältnisses in der Körperform findet das Ähnlichkeitsgesetz Bestätigung; alle mit solchen Körpern aus gleichem Material angestellten Druckversuche ergeben gleiche Festigkeiten.

Wählt man das Verhältnis  $\frac{\sqrt{f}}{l} < 1$ , so tritt die Gefahr der Knickbeanspruchung des Körpers auf. Ist die Wahl eines solchen Verhältnisses in der Körperform nicht zu umgehen, wie es bei Elastizitätsmessungen der Fall ist, so muß der Einspannung des Probekörpers ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Für Feinmeß-Druckversuche mit Metallen benutzt Verfasser Kreiszyylinder mit 10 qcm Querschnitt und 127 mm Länge, entsprechend einem Verhältnis  $\frac{\sqrt{f}}{l} = \frac{1}{4}$ . Als Feinmeßlänge findet dabei eine Strecke von 5 cm

**Druckversuch mit Dehnungsmessung.**

Maschine: 150 t-Pressen.

Material: Flußstahl.

Abmessungen des Probestabes:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Durchmesser } d = 3,585 \text{ cm.} \\ \text{Querschnitt } f = 10,09 \text{ qcm.} \\ \text{Meßlänge } l = 7,2 \text{ cm.} \end{array} \right.$

Feinmeßinstrument: Martens, Spiegel 5 und 6 mit Feinmeßlänge  $l' = 5 \text{ cm}$   
und Umsetzungsverhältnis  $n = \frac{1000}{1}$ .

Belastung $P$  kg	Fernrohrablesung		Mittel aus beiden Ab- lesungen	Elastische Längen- änderung der Fein- meßlänge	Berechnungen:  <b>I. Elastische Eigen- schaften.</b>  Dehnung des Probestabes: $\varepsilon = \frac{\lambda}{l'} = \frac{0,0004525}{5}$ $\varepsilon = 0,0000905 \text{ cm,}$  bei Druckspannung: $\sigma = \frac{P}{f} = \frac{2000}{10,09}$ $\sigma = 198,1 \text{ kg/qcm.}$  Dehnungskoeffizient: $\alpha = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{0,0000905}{198,1}$ $\alpha = 0,000000457 =$ $= \frac{1}{2190000}$  <b>II. Qualitätszahlen.</b>  Spannung an der Quetsch- oder Fließgrenze: $\sigma_f = \frac{P_f}{f} = \frac{39400}{10,09}$ $\sigma_f = 3905 \text{ kg/qcm.}$  Spannung an der Bruch- grenze: $\sigma_{\max} = K = \frac{P_{\max}}{f} =$ nicht feststellbar.
	links mm	rechts mm	Längen- änderung der Fein- meßlänge mm	mm	
1000	0	0			
3000	4,4	4,3	4,35	} 0,00435	
1000	0	0	0		
5000	8,9	8,8	8,85	} 0,00885	
1000	0	0	0		
7000	13,6	13,2	13,40	} 0,01340	
1000	0	0	0		
9000	17,9	17,8	17,85	} 0,01785	
1000	0	0	0		
11000	22,6	22,2	22,40	} 0,02240	
1000	0	0	0		
13000	27,3	26,7	27,00	} 0,02695	
1000	0,1	0,0	0,05		
15000	32,0	31,0	31,50	} 0,03145	
1000	0,1	0,0	0,05		
17000	36,4	36,0	36,20	} 0,03605	
1000	0,2	0,1	0,15		
19000	41,0	40,7	40,85	} 0,04060	
1000	0,3	0,2	0,25		
21000	46,0	45,5	45,75	} 0,04505	
1000	0,8	0,6	0,70		
23000	51,0	50,6	50,80	} 0,04965	
1000	1,2	1,1	1,15		
25000	56,8	56,5	56,65	} 0,05415	
1000	2,6	2,4	2,50		
27000	63,6	63,3	63,45	} 0,05870	
1000	4,8	4,7	4,75		
29000	71,5	71,3	71,40	} 0,06315	
1000	8,3	8,2	8,25		
31000	81,5	81,4	81,45	} 0,06765	
1000	13,9	13,7	13,80		
33000	94,6	94,5	94,55	} 0,07210	
1000	22,6	22,3	22,45		
35000	108,9	108,5	108,70	} 0,07675	
1000	32,0	31,9	31,95		
39400	Fließgrenze				

Verwendung. Die mit solchen Körpern gewonnenen Versuchsergebnisse dürfen als einwandfrei bezeichnet werden. Es empfiehlt sich, die Abmessungen der Probekörper stets den Kraftleistungen der zur Verfügung stehenden Materialprüfungsmaschinen anzupassen, d. h. die Querschnitte derartig zu bemessen, daß die Belastungsintervalle am Kraftanzeiger mit Genauigkeit abgelesen werden können. Benutzt man nämlich geringe Querschnitte, so ergeben sich auch geringe Belastungen, und die Folge davon ist Vergrößerung des prozentualen Ablesungsfehlers der Belastung.

Die Herstellung der Probekörper aus Metall erfolgt am besten auf der Drehbank, und zwar empfiehlt es sich zur Erzeugung der Druckflächen, die Körper exzentrisch auf die Planscheibe zu spannen und nach dem letzten Drehspan mit einer Drehbank-Schleifvorrichtung ebenzuschleifen. Bei zentrischer Aufspannung ist niemals eine völlig ebene Fläche erzeugbar.

Probekörper aus natürlichen und künstlichen Steinen werden in der Dresdner Versuchsanstalt in der Weise hergestellt, daß aus dem Bruchgestein mit der Steinsäge würfelförmige Stücke herausgesägt und dann auf einer Steinschleifmaschine, welche zwei gegenüberliegende Seitenflächen gleichzeitig bearbeitet, ebengeschliffen werden (s. § 201).

Für die Prüfung von Mauerziegeln werden dieselben halbiert, die beiden Hälften mit Zementbrei übereinander gemauert und die Oberflächen, auf die bei der Prüfung der Druck ausgeübt wird, mit Zementmörtel 1 : 1 abgeglichen (s. § 213).

Die Abgleichung der Druckflächen wird auch bei andern Probekörpern mit ungleichmäßiger Oberflächenbeschaffenheit ausgeführt. Die Methode hat sich gut bewährt, ist einfach, und wie Versuche erwiesen haben, stimmen die dabei ermittelten Festigkeitszahlen mit solchen überein, welche an Körpern mit geschliffenen Druckflächen festgestellt wurden.

In bezug auf die Methode der Ziegelprüfung muß jedoch erwähnt werden, daß die mit aus zwei Teilen zusammengesetzten Probekörpern gewonnenen Festigkeitszahlen nicht der tatsächlichen Materialfestigkeit entsprechen, sondern daß die Materialfestigkeit höher ist, wenn sie an Würfeln ermittelt wird, die aus den Ziegeln herausgesägt werden. Da die Ziegelprüfung aber im allgemeinen nur eine Güteprüfung ist und die wirkliche Ziegelfestigkeit im Mauerwerk niemals voll ausgenutzt werden kann, genügt die Methode.

Die Festigkeit von Mauerwerk (s. § 312), welches im Verbands mit Mörtel hergestellt wurde, ist daher ebenfalls niedriger als die Druckfestigkeit des Ziegelmaterials und mithin auch niedriger als die an Probekörpern aus zwei Ziegelhälften ermittelte. Z. B. ergab sich die Festigkeit von Ziegeln, ermittelt an Würfeln mit 60 mm Kantenlänge, die aus den Ziegeln herausgesägt und geschliffen wurden, zu 510 kg/qcm. Die Prüfung von Probekörpern, welche aus zwei Ziegelhälften mit Zementbrei zusammengemauert und abgeglichen worden waren, lieferte 377 kg/qcm Druckfestig-

keit und die Festigkeitsermittlung von würfelförmigen Mauerwerkskörpern mit 51 cm Kantenlänge, die 28 Tage alt und mit Mörtel 1 : 4 aufgemauert worden waren, nur 115 kg/qcm.

Setzt man die Würfel Festigkeit des Materials gleich 100, so ergibt sich ein Verhältnis der Druckfestigkeiten von

$$100 : 74 : 22.$$

Man erkennt an diesem Beispiele, daß es unzulässig ist, die Druckfestigkeit des einzelnen Ziegels oder gar die Würfel Festigkeit des Materials der Berechnung von Mauerwerk zugrunde zu legen.

Zu verwerfen ist die Anwendung von nachgiebigen Zwischenlagen zur Druckverteilung bei unebenen Druckflächen.

Verwendet man nämlich als Zwischenlage ein Material, dessen Festigkeit an der Fließgrenze geringer als die Druckfestigkeit des zu prüfenden Materials ist, so fließt bei Erreichung der Fließgrenze das Material der Zwischenlage seitwärts ab, und die Wirkung ist nicht nur aufgehoben, sondern es wirken jetzt die leicht verschiebbaren Materialteilchen der Zwischenlagen in den Poren und Höhlungen der Druckflächen sprengend auf den Probekörper. Die ermittelte Festigkeit ist niedriger, als wenn ohne Zwischenlage geprüft worden wäre. Finden dagegen solche Zwischenlagen Verwendung, deren Fließgrenze höher als die Bruchgrenze des untersuchten Materials liegt, so kann die Zwischenlage wegen nicht vorhandener Formänderungsfähigkeit nicht zur Wirkung gelangen und die ermittelte Festigkeit ist gleich der, welche ohne Zwischenlage erhalten worden wäre.

Besonders deutlich erhellt der Einfluß der Höhe des Probekörpers auf das Ergebnis des Druckversuches aus Versuchen Bachs mit Blei und Gußeisen. Er benutzte 3 Gußeisen- bzw. Bleizylinder verschiedener Höhe aber gleichen Querschnittes für Druckversuche und erhielt die aus folgenden Tabellen ersichtlichen Ergebnisse.

#### Gußblei.

No. der Versuchsreihe	Höhe cm	Durchmesser cm	Querschnitt qcm	Spez. Gewicht	Belastung in kg/qcm, bei welcher das Material	
					noch nicht ausweicht	ausweicht
1.	7,05	3,52	9,76	11,37	46	51
2.	3,47	3,53	9,79	11,36	59	69
3.	1,01	3,48	9,51	11,35	105	126

**Gußeisen.**

Zugfestigkeit 1860 kg/qcm.

No. der Versuchs- reihe	Höhe cm	Durch- messer cm	Querschnitt qcm	Druck- festigkeit kg/qcm
1.	4,00	1,99	3,11	7232
2.	1,98	1,98	3,08	7500
3.	1,00	1,99	3,11	8579

Man ersieht aus den Zusammenstellungen, daß durch Verminderung der Höhe der Probekörper sowohl beim Gußeisen als auch beim Blei die Druckfestigkeit erheblich gestiegen ist.

**§ 27. Einspannung der Probekörper.**

Wie bereits in § 26 erörtert, bietet beim Druckversuch die Einspannung der Probekörper gewisse Schwierigkeiten, die einestils auf den Probekörper selbst und andernteils auf die Einspannvorrichtungen zurückzuführen sind. Die beiden Druckplatten der Prüfungsmaschine, zwischen welche der Probekörper eingespannt wird, müssen ebenso vollkommen eben sein, wie die Endflächen des Probekörpers, und außerdem müssen sie derartig geführt sein, daß ihre Mittelpunkte ihre gegenseitige Lage während des Versuches niemals ändern können. Andererseits wird von den Druckplatten verlangt, daß sie sich der Probekörperform anpassen, indem sie sich selbsttätig einstellen, wenn die beiden Endflächen der Probekörper nicht genau parallel sind. Es müssen deshalb die beiden Druckplatten in Kugelschalen gelagert sein (Fig. 44), welche Anordnung Beweglichkeit des Probekörpers unter der Lastwirkung gewährleistet. Ist nur eine Druckplatte mit Kugelschale versehen, so sei es bei Maschinen

vertikaler Anordnung die obere, weil dann der Probekörper beim Einbringen in die Prüfungsmaschine auf fester Unterlage stehend die Platte bei Beginn der Belastung verdreht und auf diese Weise

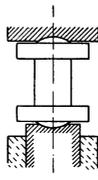


Fig. 44.

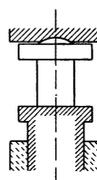


Fig. 45.

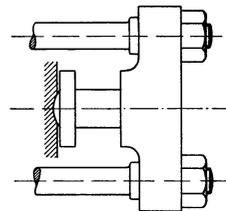


Fig. 46.

zum gleichmäßigen Anliegen bringt (s. Fig. 45). Bei Maschinen horizontaler Anordnung soll diejenige Preßplatte beweglich sein, welche während des Belastungsvorganges das Widerlager am Maschinengestell bildet (s. Fig. 46).

Die Längsachse des Probekörpers muß genau mit der Mittelachse der Prüfungsmaschine bzw. der Druckplatten zusammenfallen; daher ist

der Einstellung des Probekörpers auf die Mitte der Druckplatten besondere Beachtung zu schenken. Geschieht dies nicht, so ist exzentrische Belastung des Probekörpers die Folge und das Versuchsergebnis in unkontrollierbarer Weise beeinflusst.

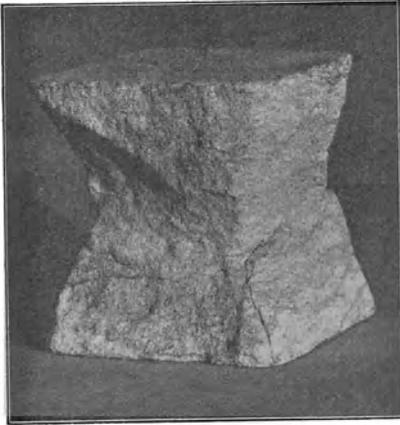


Fig. 47.

Die Aufstellung des Probekörpers auf der Druckplatte wird durch Anreißen konzentrischer Quadrate auf der letzteren erleichtert.

An dieser Stelle sei auch noch auf einen Übelstand aufmerksam gemacht, welchen manche Prüfungsmaschinen für Druckversuche besitzen. Er beruht darin, daß bei Verwendung nur einer Kugellagerung die Traverse, welche als zweites Widerlager benutzt wird, sich durchbiegt und die ehemals ebene Widerlagerfläche während des Versuches in eine gekrümmte übergeht. Die Folge davon ist ungleichmäßige Druckverteilung

über die Endfläche des Probekörpers und Auftreten von Biegungsspannungen im Probekörper. Auch zu schwach konstruierte Widerlagsplatten mit Kugellagerung zeigen manchmal diesen Übelstand, insbesondere dann, wenn die Kugel nicht genau in die Schale eingepaßt ist. Es empfiehlt sich deshalb, vor Ingebrauchnahme solcher Maschinen eine Prüfung zur Feststellung dieser Fehler vorzunehmen.

Grobe Fehler lassen sich leicht in der Weise feststellen, daß man einen Probekörper mit sorgfältig eben bearbeiteten Endflächen in die Maschine bringt und zwischen Druckflächen und Widerlager weißes Papier in Kontakt mit Blaupapier anordnet. Bei gleichmäßiger Druckverteilung über die Endfläche des Probekörpers muß das weiße Papier mit gleichmäßiger Intensität blau gefärbt werden, während es bei ungleichmäßiger Druckverteilung an den Stellen stärkeren Druckes dunkler gefärbt wird.

Sorgfältige Prüfungen müssen dagegen mit Feinmeßinstrumenten ausgeführt werden. Die Prüfung einer Betonpresse für 300 t Belastung, Bauart Martens (§ 130), die in der Dresdner Versuchsanstalt vorgenommen wurde, ergab bei der Maximalbelastung eine Durchbiegung der Mitte des Widerlagerquerhauptes gegenüber den Angriffspunkten der Maschinsäulen von 0,204 mm. Auf den als Druckplatte dienenden mittleren Teil von 320.320 mm Fläche des Querhauptes entfiel dabei eine Durchbiegung von 0,063 mm.

Wenn diese Durchbiegung auch als verhältnismäßig gering zu bezeichnen ist, ist sie dennoch geeignet, das Versuchsergebnis bei der Prüfung spröder Körper zu beeinflussen. Die Fabriken müssen daher bestrebt sein, durch reichliche Bemessung des Querhauptes den Fehler zu verkleinern oder durch Anordnung einer in Kugelschale gelagerten Druckplatte auszuschalten.

### § 28. Bruchformen.

Die Bruchform eines Materials ist bei Druckbeanspruchung unmittelbar von seiner Zähigkeit bezw. Sprödigkeit abhängig. Spröde Materialien, wie Gesteine oder auch Gußeisen, gelangen durch Zertrümmerung zum Bruche. Es lösen sich an den Mantelflächen des Probewürfels oder des Probeylinders Platten bezw. Ringstücke ab, welche an den Druckflächen scharfkantig und nach der Mitte zu dicker sind. Werden diese Platten bezw. Ringstücke entfernt, bevor die Tragfähigkeit des Probekörpers vollständig vernichtet ist, so zeigen sich zwei pyramidale bezw. kegelförmige Bruchstücke, deren Grundflächen die Druckflächen des Probekörpers sind und deren Spitzen, einander zugekehrt, sich berühren. Bei fortgesetzter Steigerung der Druckkraft schieben sich die beiden Bruchstücke gegeneinander ab.

In Fig. 47 ist die Bruchform eines Sandsteinwürfels und in Fig. 48 diejenige eines Gußeisenzyinders wiedergegeben.

Fig. 49 zeigt die Bruchform eines Hartgußprobekörpers, der durch „Abschiebung“ zum Bruche gelangt ist. Diese Art Bruchform ist in erster Linie auf Fehler in der Führung der beiden Preßplatten der Materialprüfungsmaschine zurückzuführen. Ist nämlich die Möglichkeit vorhanden, daß die eine Preßplatte sich gegen die andere zu verschieben vermag, so entsteht eine exzentrische Belastung des Probekörpers, welche Nebenspannungen

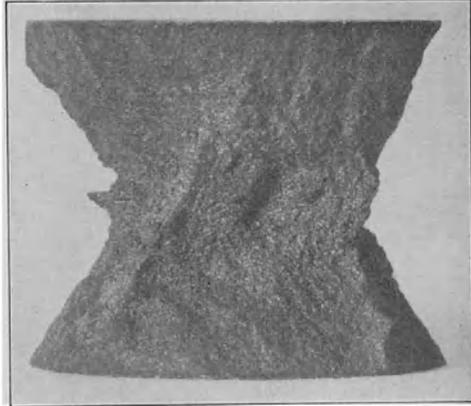


Fig. 48.

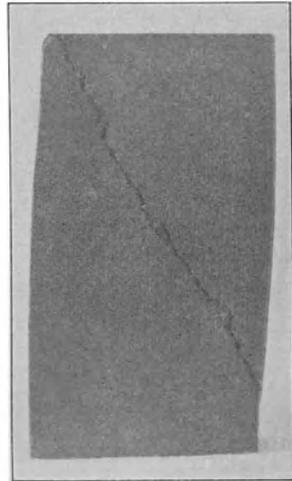


Fig. 49.

im Material hervorruft, die eine anormale Ausbildung der Bruchform bedingen. Bei würfelförmigen Körpern oder bei Zylindern, deren Länge gleich dem Durchmesser ist, verlaufen die Bruchflächen im allgemeinen unter  $45^{\circ}$  zur Mittelachse des Probekörpers geneigt. Bei Körpern größerer Länge nimmt die Bruchfläche auch eine andere Neigung an.

Formbare Materialien, wie Blei, Flußeisen, Schweißeisen, Bronze, Kupfer usw., pflegen sich auszubauchen, ohne daß Teile abgelöst werden. Manchmal entstehen auf den Mantelflächen der Probekörper Risse, welche parallel zur Achse des Körpers oder geneigt dazu verlaufen. Die Risse deuten darauf hin, daß infolge der großen Dehnung des Materials an den Mantelflächen die Zugfestigkeit überschritten worden ist. Sie entstehen besonders oft bei Schweißeisen, dessen Dehnungsfähigkeit wegen der Schweißnähte senkrecht zur Faserrichtung des Materials gering ist.

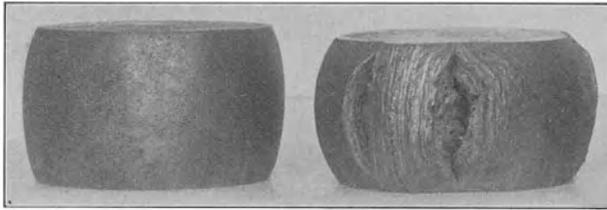


Fig. 50.

Fig. 51.

Fig. 50 zeigt einen Flußeisenkörper und Fig. 51 einen Probekörper aus Schweißeisen nach dem Druckversuch (s. a. § 355). Im allgemeinen nimmt die Oberfläche solcher Materialien auch ein mehr oder weniger rauhes Aussehen an. Es rührt daher, daß die härteren Materialteilchen aus den sie umgebenden weicheren herausgedrückt werden. Besonders auffällig tritt diese Erscheinung bei den Bronzen zutage.

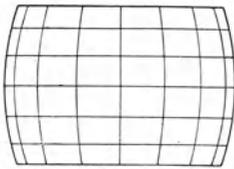


Fig. 52.

Auch die Art der Spannungsverteilung beim Druckversuche läßt sich an den Bruchformen der formbaren Materialien studieren. Versieht man nämlich einen Bleizylinder an den Mantelflächen durch Anreißen feiner Striche mit einem quadratischen Netzwerk, so zeigen nach dem Druckversuche die angerissenen Quadrate nach den Enden des Körpers zu eine größere Zusammendrückung desselben als nach der Mitte zu (s. Fig. 52). Sie weisen aber auch nach, daß das Material von den Endflächen aus nach dem Innern des Körpers gedrückt wurde, weil trotz geringerer Zusammendrückung die Quadrate in der Mitte des Körpers in Rechtecke größeren Flächeninhaltes übergegangen sind.

Legt man 6 Bleizylinder übereinander und beansprucht sie gemeinsam durch eine Druckkraft bis über die Fließgrenze hinaus, so erleiden

sie, von außen gesehen, genau die gleiche Formänderung wie der oben erwähnte Bleizylinder. Durchschneidet man denselben jedoch in diametraler Richtung, so zeigt sich, daß die einzelnen Zylinder die in

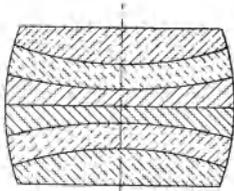


Fig. 53.

Fig. 53 dargestellte Form angenommen haben.

Während die beiden mittleren Zylinder in ihrer Berührungsfäche eben geblieben sind, haben die Berührungsfächen der übrigen konkave bzw. konvexe Form angenommen und die Mitte der Zylinder hat mit Ausnahme der beiden Endkörper die größte

Zusammendrückung erfahren. Die Bruchform zeigt somit deutlich, daß

1. die Reibung an den Druckflächen das Material an der Ausdehnung hindert,
2. die Druckwirkung in der Mitte des Probekörpers am größten ist,
3. das Material nach der Mitte der Länge des Körpers zu am leichtesten ausweichen kann (s. Fig. 54 und 55).

Eine Bruchform, welche ihrem Aussehen nach den im Vorhergehenden geschilderten ähnlich ist, weist Holz auf. Je nach dem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes und dem Unterschiede der Festigkeit des Frühjahrs- und Herbstholzes in den einzelnen Jahrringen zeigt Holz wechselnde Bruchformen. Völlig im Vakuumtrockenschrank ausgetrocknetes Holz besitzt einen splittrigen Bruch (s. Fig. 56), ähnlich der Bruchform spröder

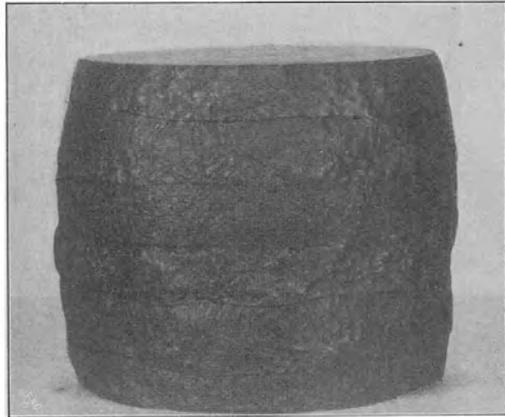


Fig. 54.

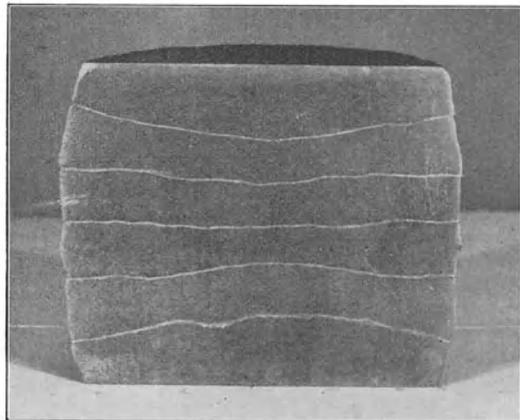


Fig. 55.

Materialien. Nasses Holz mit geringen Unterschieden in der Festigkeit des Frühjahrs- und Herbstholzes, wie sie tropische Hölzer besitzen, zeigt die in Fig. 57 abgebildete Bruchform. Es entstehen durch Knickung

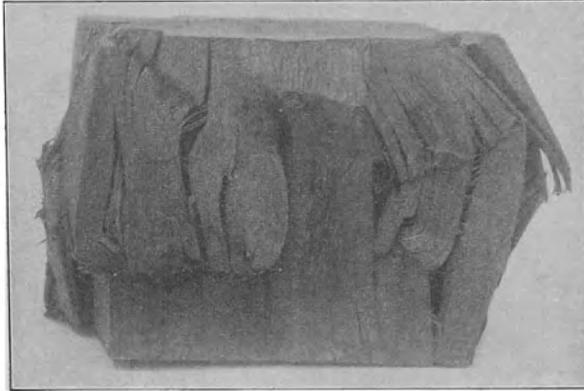


Fig. 56.

der einzelnen Holzfasern zwei Keile an Stelle der Druckpyramiden, welche von zwei gegenüberliegenden Mantelflächen Platten abheben, ohne sie aber abzusprenge. Ungleichmäßige Druckverteilung ruft ebenfalls, wie bei anderen Materialien, den Bruch durch Abschieben hervor.

### § 29. Einfluß der Richtung der Beanspruchung auf das Festigkeitsergebnis.

Völlig isotrope Materialien besitzen nach allen Richtungen gleiche Festigkeit. Da solche Materialien aber selten sind, muß der Eigenschaft der Materialien, nach verschiedenen Richtungen abweichende Festigkeit zu besitzen, Rechnung getragen werden. Besonders sind die geschichteten Materialien mit diesem Nachteil behaftet. Zu ihnen gehören alle Gesteine mit ausgesprochener Lagerrichtung, wie Schiefer, Sandstein usw., ferner insbesondere Holz, dessen Festigkeit parallel zur Faserrichtung sehr erheblich von der senkrecht dazu vorhandenen abweicht. Während diese Verschiedenheit für Zugbeanspruchung nur untergeordnete Bedeutung besitzt, weil solche Materialien auf Zug fast nie beansprucht werden, muß dieser Eigenschaft bei Druckbeanspruchung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Festigkeitsversuche des Verfassers mit Cottaer Sandstein ergaben die in folgender Tabelle enthaltenen Mittelwerte. Die für die Versuche benutzten Probekörper waren sauber geschliffene Würfel mit 5 cm Kantenlänge, die vor der Prüfung 24 Stunden lang bei 60° getrocknet worden waren.

Bezeichnung des Materials	Druckfestigkeit		Verhältnis der Festigkeiten
	senkrecht zur Lagerrichtung	parallel zur Lagerrichtung	
Gute harte Bank . . . .	420	360	1 : 1,16
Guter Sänder . . . . .	283	256	1 : 1,10
Gute gelbe Bank . . . .	380	341	1 : 1,11
Gute weiße Bank . . . .	384	372	1 : 1,03

Auffälliger als bei dem untersuchten Sandstein sind die Festigkeitsunterschiede bei Holz.

Nach Versuchen des Verfassers mit verschiedenen Holzarten beträgt die Druckfestigkeit von Kiefernholz normaler Beschaffenheit, ermittelt an Würfeln mit ca. 8 cm Kantenlänge bei 15 %

Feuchtigkeitsgehalt, parallel zur Faserrichtung 327 kg/qcm und senkrecht zur Faserrichtung nur 19,4 kg/qcm. Diese Festigkeit sinkt mit höherem

Feuchtigkeitsgehalt und erreicht bei 93 %

Feuchtigkeitsgehalt 162 kg/qcm parallel zur Faserrichtung und 5,3 kg senkrecht dazu.

Dieser Unterschied in der Druckfestigkeit ist wieder

auf die verschieden große Festigkeit des Frühjahr- und Herbstholzes zurückzuführen. Im Frühjahr wächst in der Heimat der Kiefer infolge erhöhter Saftzufuhr der Baum schneller und nach dem Herbst zu immer langsamer. Die Folge davon macht sich in den Jahrringen bemerkbar, indem der dem Frühjahrsholzansatz entsprechende Jahresring breit und weich, während der im Herbst entstandene dicht und hart ist. Ein Holzprobekörper ist demnach als ein aus weichen und harten Platten zusammengesetzter zu betrachten. Wird ein solcher Körper parallel zur Plattenrichtung auf Druck beansprucht, so nehmen einzig und allein die härteren Platten infolge ihrer geringeren Zusammendrückbarkeit die Kraft auf. Wirkt dagegen der Druck senkrecht auf die Fläche der Platten, so wird die Druckkraft durch die härteren Platten auf die weicheren übertragen und

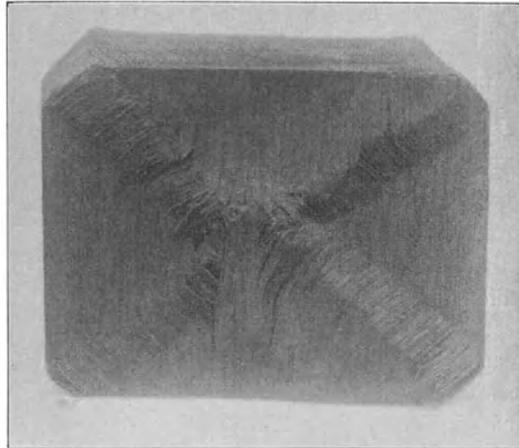


Fig. 57.

das Material der letzteren infolge seiner geringen Festigkeit zwischen den einzelnen Platten herausgedrückt. Die Fig. 58 läßt dies deutlich erkennen.

Bei Beanspruchung eines solchen Holzkörpers senkrecht zur Faserrichtung, aber parallel zur Richtung der Tangente an die Jahresringe ist die Druckfestigkeit etwas höher als vorher. Diese Eigenschaft ist darin begründet, daß hier auch nur die härteren Platten die Kraft aufnehmen,

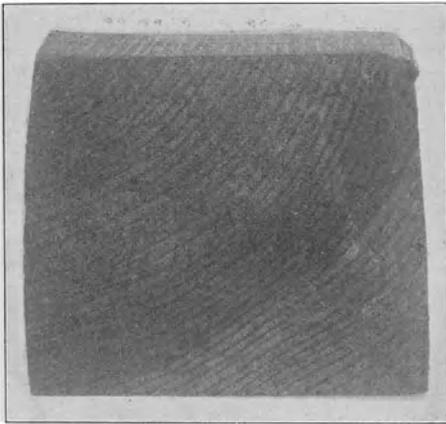


Fig. 58.

wie bei Beanspruchung parallel zur Faserrichtung. Es kann aber die Festigkeit in diesem Falle nicht diejenige parallel zur Faserrichtung erreichen, weil einerseits die Festigkeit des Herbstholzes senkrecht zur Faserrichtung geringer ist als parallel dazu und andererseits das Ausknicken der einzelnen Jahresringplatten bei Druckbeanspruchung durch die Krümmung der Jahresringe begünstigt wird.

Bei denjenigen Holzarten, welche keine so scharf ausgeprägten Unterschiede in den Jahresringen aufweisen wie das Kiefernholz, ist auch der Festigkeitsunterschied nicht so erheblich. Eichenholz, welches bei 12% Feuchtigkeit 505 kg/qcm Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung aufwies, ergab bei Beanspruchung senkrecht dazu 82 kg/qcm. Noch geringer sind die Verschiedenheiten bei manchen tropischen Hölzern, welche infolge gleichmäßigeren Wachstums weniger ausgeprägte Jahresringe besitzen. Eine Eukalyptusart aus Australien, Tallowwood, ergab bei 16% Feuchtigkeit eine Druckfestigkeit von 638 kg/qcm bzw. 130 kg/qcm.

### § 30. Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Materialien auf die Druckfestigkeit.

Bei allen Materialien, welche imstande sind, Feuchtigkeit aufzunehmen, beeinflußt diese die Festigkeit in mehr oder minder hohem Maße. Für Metalle kommt diese Eigenschaft naturgemäß nicht in Betracht, dagegen aber für fast alle andern Bau- und Konstruktionsmaterialien. Bei einwandfreien Prüfungen muß deshalb stets der Feuchtigkeitsgehalt des Probekörpers bestimmt bzw. der Feuchtigkeitsgehalt einer Norm entsprechend geregelt werden.

Schon bei Gesteinen mit geringen Porositätsgraden macht sich der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Druckfestigkeit bemerkbar.

Es besaß z. B. ein Porphyr, dessen Raumgewicht 2,33 betrug, im trockenen Zustande eine Druckfestigkeit von 1206 kg/qcm und nach 120 stündiger Wasserlagerung, während welcher 3,7 % Feuchtigkeit aufgenommen worden waren, eine solche von 1026 kg/qcm. Ein Granatpyroxen mit dem Raumgewichte 2,895 und 0,059 Porositätsgrad ergab im trockenen Zustande eine Druckfestigkeit von 1950 kg/qcm und bei 4,1 % Feuchtigkeitsgehalt eine solche von 1530 kg/qcm.

Am auffälligsten macht sich der Einfluß bei Holz bemerkbar. Verfasser stellte für einige Holzarten folgende Zahlen fest:

#### Kiefernholz.

Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung . . . . .	668 kg/qcm	327 kg/qcm	162 kg/qcm
bei einem Feuchtigkeitsgehalt von . . . . .	1 %	15,5 %	93 %.

#### Tallowwood.

(Australische Eukalyptusart.)

Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung . . . . .	886 kg/qcm	638 kg/qcm	517 kg/qcm
bei einem Feuchtigkeitsgehalt von . . . . .	2 %	16,8 %	45,5 %.

#### Karry.

(Australische Eukalyptusart.)

Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung . . . . .	1013 kg/qcm	628 kg/qcm	442 kg/qcm
bei einem Feuchtigkeitsgehalt von . . . . .	2,9 %	13 %	49,1 %.

Der Umfang der Angaben könnte auf Grund der vorhandenen Versuchsergebnisse noch erheblich erweitert werden. Dies soll jedoch unterbleiben, weil bereits aus den vorliegenden Werten der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes sowohl auf die Gesteine als auch auf das Holz ersichtlich ist.

### III. Biegeversuche.

#### § 31. Die Biegefestigkeit der Materialien.

Ein stabförmiger Körper ist auf Biegung beansprucht, wenn die äußeren Kräfte senkrecht zur Richtung der Stabachse wirken und in jedem Querschnitte ein Kräftepaar hervorrufen, dessen Ebene senkrecht auf der Querschnittsebene steht.

Der bei *A* eingespannte prismatische Stab *AB* (Fig. 59) sei am Ende *B* mit der Kraft *P*, welche in der Ebene der einen Hauptachse des

Stabquerschnittes angreift, belastet. Die Kraft ergibt alsdann für den um  $x$  von  $A$  entfernten Querschnitt  $C$  ein Kräftepaar, dessen Moment  $M_b = P \cdot (l - x)$ , ist und eine in Richtung der Querschnittsebene wirkende Kraft  $P$ , die für den vorliegenden Fall jedoch außer acht gelassen werden kann. Die Kraft  $P$  des Kräftepaares bewirkt eine Krümmung des Stabes, welche zur Folge hat, daß zwei benachbarte, ehemals parallel zueinander liegende Querschnitte des Probstabes diesen Parallelismus verlieren und Richtungen annehmen, die sich in einem Punkte, dem Krümmungsmittelpunkte, schneiden. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die anfänglich ebenen Querschnitte auch nach der Krümmung eben und senkrecht zur Stabachse bleiben.

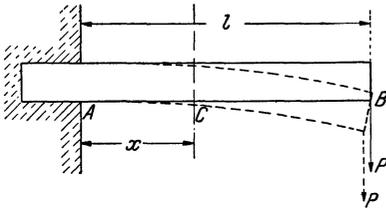


Fig. 59.

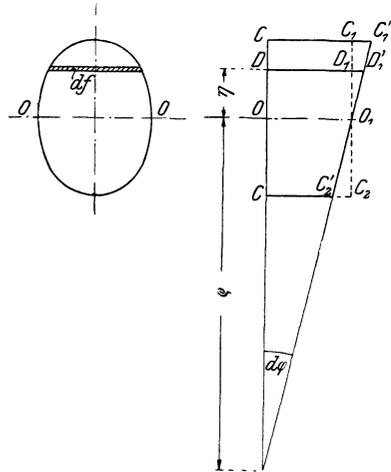


Fig. 60.

Denkt man sich das in Fig. 60 dargestellte,  $dx$  lange, nach dem Radius  $\rho$  gebogene Stück  $OO_1$  aus dem Stabe herausgeschnitten und betrachtet die Formänderung desselben gegenüber der ursprünglichen Form, so erkennt man, daß die oberhalb der Faserschicht  $OO_1$  liegenden Fasern eine Verlängerung und die unterhalb liegenden eine Zusammendrückung erfahren haben. Die Faserschicht  $OO_1$  hat sich dagegen an der Formänderung nicht beteiligt, sie ist weder länger noch kürzer geworden und wird deshalb als „neutrale Faserschicht“ bezeichnet. In bezug auf den Querschnitt liegt diese Schicht in derjenigen Hauptachse des Querschnittes, welche die Ebene der äußeren Kräfte  $P$  senkrecht schneidet. Diese Hauptachse heißt deshalb „neutrale Achse“ oder, weil sowohl die Dehnungen als auch die Spannungen in ihr gleich Null sind, auch „Nullachse“.

Die in der Entfernung  $\eta$  von der neutralen Schicht liegende Faserschicht  $DD_1$ , hat sich um den Betrag  $D_1D_1'$  verlängert. Die dieser Verlängerung entsprechende verhältnismäßige Dehnung  $\varepsilon$  ergibt sich mit Rücksicht darauf, daß  $DD_1 = OO_1 = CC_1 = dx$  ist, zu:

$$\varepsilon = \frac{DD_1' - DD_1}{DD_1} = \frac{D_1D_1'}{OO_1} = \frac{\eta \cdot d\varphi}{dx}. \quad (1)$$

Diese Dehnung  $\varepsilon$  ist hervorgerufen durch eine Spannung  $\sigma$ , welche sich unter Zugrundelegung des Hookeschen Gesetzes

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma$$

zu

$$\sigma = \frac{\eta \cdot d\varphi}{\alpha \cdot dx} \quad (2)$$

berechnet.

Die Spannungen  $\sigma$  stellen innere Kräfte dar, deren algebraische Summe, wenn Gleichgewicht herrschen soll, gleich Null und deren Moment gleich und entgegengesetzt dem Momente der äußeren Kraft sein muß.

Die erste Bedingung ist erfüllt, wenn (s. Fig. 60)

$$\int \sigma df = 0 \quad (3)$$

genommen über den ganzen Querschnitt ist.

Da der Quotient  $\frac{d\varphi}{dx}$  für sämtliche Flächenstreifen des Querschnittes konstant und

$$\sigma = \frac{\eta}{\alpha} \cdot \frac{d\varphi}{dx} \text{ ist,}$$

ergibt sich

$$\int \frac{\eta}{\alpha} \cdot df = 0. \quad (4)$$

Nimmt man an, daß der Dehnungskoeffizient  $\alpha$  für Zug- und Druckbeanspruchung gleich groß ist und zwischen Spannung und Dehnung Proportionalität herrscht, so gilt

$$\int \eta \cdot df = 0, \quad (5)$$

d. h. die neutrale Achse, in der, wie wir oben gesehen haben, die Spannungen und Dehnungen gleich Null sind, geht durch den Schwerpunkt des Querschnittes.

Die zweite Gleichgewichtsbedingung fordert, daß

$$\int \sigma \cdot df \cdot \eta = M_b \text{ ist.} \quad (6)$$

Setzt man für  $\sigma$  unter Berücksichtigung der vorstehenden für den Dehnungskoeffizienten erwähnten Bedingungen den oben aus dem Hookeschen Gesetz abgeleiteten Wert ein, so ergibt sich:

$$M_b = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{d\varphi}{dx} \int \eta^2 df. \quad (7)$$

$\int \eta^2 df$  ist das Trägheitsmoment des Querschnittes, bezogen auf die Schwerpunkts- bzw. Neutralachse  $OO$ , und wird allgemein mit  $\Theta$  bezeichnet.

Aus 
$$M_b = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{d\varphi}{dx} \cdot \Theta \quad (8)$$

wird, da

$$\sigma = \frac{\eta}{\alpha} \cdot \frac{d\varphi}{dx} \text{ ist,}$$

$$\sigma = \frac{M_b}{\Theta} \cdot \eta. \quad (9)$$

Dies bedeutet, daß die Spannungen proportional ihrem Abstände von der Nullachse sind (wie Fig. 61 zeigt). Bezeichnet man den Abstand der am weitesten von der Nullachse entfernten Faserschicht mit  $e$ , so ergibt sich die größte Materialspannung auf der Zugseite des Stabes zu

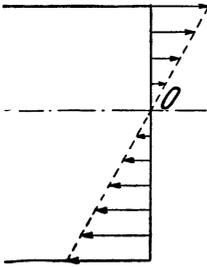


Fig. 61.

$$\sigma_z = \frac{M_b}{\Theta} \cdot e_z \quad (10)$$

und auf der Druckseite zu

$$\sigma_d = \frac{M_b}{\Theta} \cdot e_d. \quad (11)$$

Wie bereits oben angedeutet, schneiden sich die Richtungen der beiden im gebogenen Stabe betrachteten Querschnittsebenen im Krümmungsmittelpunkte der Stabachse, d. i. der elastischen Linie. Bezeichnet man den dazugehörigen Krümmungsradius mit  $\varrho$ , so ergibt sich:

$$\varrho = \frac{dx}{d\varphi} = \frac{\Theta}{\alpha \cdot M_b} \quad (12)$$

oder die Krümmung:

$$\frac{1}{\varrho} = \alpha \cdot \frac{M_b}{\Theta}. \quad (13)$$

Der Krümmungsradius für eine Kurve ist allgemein:

$$\varrho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\pm \frac{d^2y}{dx^2}}. \quad (14)$$

Der Faktor  $1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$  darf wegen der Kleinheit der in Betracht kommenden Durchbiegungen gleich 1 gesetzt werden, so daß sich die Krümmung ergibt zu:

$$\frac{1}{\varrho} = \pm \frac{d^2y}{dx^2}. \quad (15)$$

Führt man diesen Wert in die obige Beziehung für die Krümmung ein, so erhält man allgemein das biegende Moment

$$M_b = \pm \frac{\Theta}{\alpha} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}. \quad (16)$$

Für den in der beliebigen Entfernung  $x$  von der Einspannstelle des Stabes befindlichen Querschnitt war das biegende Moment:

$$M_b = P(l - x), \quad (17)$$

so daß sich ergibt:

$$P(l - x) = \frac{\Theta}{\alpha} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}. \quad (18)$$

Unter der bereits früher gemachten Voraussetzung, daß der Dehnungskoeffizient  $\alpha$  für Zug- und Druckbeanspruchung gleich groß und der Stabquerschnitt über die ganze Länge konstant ist, ergibt die Integration obiger Gleichung:

$$\frac{\theta}{\alpha} \cdot \frac{dy}{dx} = P \left( lx - \frac{x^2}{2} \right) + C. \quad (19)$$

Da mit genügender Annäherung die ehemals gerade Stabachse in der Einspannstelle als Tangente der gekrümmten, d. i. der elastischen Linie betrachtet werden darf, so ist für

$$x = 0 \text{ auch } \frac{dy}{dx} = 0, \text{ also auch } C = 0,$$

mithin 
$$\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{\theta} \cdot P \left( l - \frac{x}{2} \right) \cdot x. \quad (20)$$

Hieraus folgt, daß für  $x = 0$  auch  $y = 0$  wird. Die Integration der Gleichung gibt die Gleichung der elastischen Linie:

$$y = \frac{\alpha}{\theta} \cdot \frac{P}{2} \left( l - \frac{x}{3} \right) \cdot x^2. \quad (21)$$

Die Durchbiegung des gewichtslos gedachten, einseitig eingespannten Stabes am Ende ergibt sich hieraus, indem  $x = l$  gesetzt wird, zu:

$$y = \frac{\alpha}{\theta} \cdot \frac{P}{2} \cdot \left( l - \frac{l}{3} \right) l^2;$$

$$y = \frac{\alpha}{\theta} \cdot \frac{P}{3} \cdot l^3. \quad (22)$$

Dieser Belastungsfall kommt im Materialprüfungswesen fast niemals und bei der Prüfung von Konstruktionsteilen selten vor.

Am wichtigsten ist der Fall (nach Fig. 62), daß der Stab an seinen Enden frei aufliegt und in der Mitte durch eine Einzelkraft belastet wird. Dieser Belastungsfall kann aus demjenigen einseitiger Einspannung insofern unmittelbar abgeleitet werden, als angenommen wird, daß der Stab in der

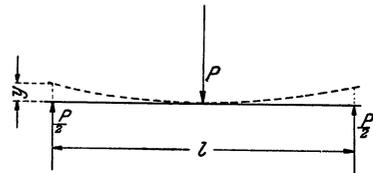


Fig. 62.

Mitte am Kraftangriffspunkte eingespannt und an den Enden durch den Widerlagerdruck belastet wird. Das biegende Moment ist demnach:

$$M_b = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot l}{4} \quad (23)$$

und die größte Materialspannung im gefährlichen Querschnitte nach Gleichung (9):

$$\sigma = \frac{P \cdot l}{4} \cdot \frac{e}{\theta}. \quad (24)$$

Führt man in die Gleichung der elastischen Linie für  $P$  und  $l$  die entsprechenden Werte  $\frac{P}{2}$  und  $\frac{l}{2}$  ein, so ergibt sich unter Vernachlässigung des Eigengewichtes des Stabes die Durchbiegung seiner Enden gegenüber der Mitte zu:

$$y = \frac{\alpha}{\theta} \cdot \frac{P}{6} \cdot \frac{l^3}{8},$$

$$y = \frac{\alpha}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{\theta}. \quad (25)$$

Diese Gleichung wird in der Regel benutzt, um den Dehnungskoeffizienten bezw. Elastizitätsmodul eines Materials mit Hilfe des Biegeversuches zu ermitteln. Mißt man nämlich die zu einer gewissen Belastung  $P$  gehörige Durchbiegung eines Stabes mit konstantem Trägheitsmomente  $\theta$ , so ergibt sich unter den Voraussetzungen, für welche die allgemeine Gleichung der elastischen Linie anwendbar ist, der Dehnungskoeffizient

$$\alpha = 48 \cdot \frac{y}{P} \cdot \frac{\theta}{l^3} \quad (26)$$

und der Elastizitätsmodul

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{l^3}{48} \cdot \frac{P}{\theta \cdot y}.$$

Bei dieser Berechnungsmethode ist jedoch zu beachten, daß das Verhältnis der Querschnittshöhe zur Länge des Probestabes eine gewisse Größe nicht überschreitet. Besitzt nämlich der Probestab gegenüber der Länge eine verhältnismäßig große Querschnittshöhe, so wird die Durchbiegung durch die Schubkraft, welche die äussere Kraft hervorruft, sowie durch die Reibungskräfte an den Auflagern beeinflusst und der Dehnungskoeffizient wird zu groß gefunden.

Da durch die Schubspannungen und durch die Reibungskräfte nicht allein der Dehnungskoeffizient, sondern auch die Biegefestigkeit beeinflusst wird, schreibt der Internationale Verband für die Materialprüfungen der Technik für die Prüfung von Gußeisen Stäbe vor, die bei 100 cm Stützweite quadratischen Querschnitt mit 3,0 cm Seitenlänge besitzen. Dieses Verhältnis 1 : 33,3 empfiehlt sich auch für alle anderen Materialien, und es ist anzustreben, zur Vergleichbarkeit der gewonnenen Einzelwerte stets dieses Verhältnis von Querschnittshöhe zu Stützweite bei Biegeversuchen zu benutzen. Ist diese Forderung nicht zu erfüllen, so kontrolliere man das Versuchsergebnis durch Rechnung unter Benutzung der Gleichungen<sup>1)</sup> für die Festigkeit eines auf Biegung und Schub beanspruchten Stabes.

Die Größe des Einflusses, welchen das Verhältnis — Querschnittshöhe zu Stützweite des Probestabes — ausübt, ist aus den im folgenden wiedergegebenen Versuchen des Verfassers mit Gußeisenstäben zu ersehen. Es wurden je 5 Stäbe mit quadratischem Querschnitte von  $3,0 \times 3,0$  cm

<sup>1)</sup> Siehe Bach, Elastizität und Festigkeit, Berlin 1905, S. 445.

aus demselben Maschinengußeisen, dessen Zerreißeigigkeit durch 5 Versuche zu 1435 kg/qcm ermittelt worden war, dem Biegeversuche bei verschiedenen Stützweiten unterzogen. Die mittlere Biegefestigkeit der Stäbe betrug:

Stützweite cm	Verhältnis von Querschnitts- höhe zu Stützweite	Biege- festigkeit kg/qcm	Zunahme der Biege- festigkeit %
100	1 : 33,3	2300	—
50	1 : 16,7	2400	4,3
40	1 : 13,3	2510	9,2
30	1 : 10,0	2590	12,6
20	1 : 6,7	2630	14,4

Eine weitere Möglichkeit zur Berechnung des Dehnungskoeffizienten aus den Ergebnissen des Biegeversuches bietet die Gleichung (20):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{\theta} \cdot P \left( l - \frac{x}{2} \right) \cdot x.$$

Berücksichtigt man nämlich, daß bei dem in Fig. 59 dargestellten Belastungsfall  $\frac{dy}{dx}$  gleich der trigonometrischen Tangente des Winkels ist, welchen die gebogene Stabachse im Angriffspunkte der Kraft  $P$  mit der ehemals geraden Stabachse bildet, so ist für das Ende  $B$  des Stabes, da  $x = l$  ist,

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= \frac{\alpha}{\theta} \cdot P \left( l - \frac{l}{2} \right) \cdot l, \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{\alpha}{\theta} \cdot \frac{P \cdot l^2}{2}. \end{aligned} \quad (28)$$

$\beta$  ist stets ein sehr kleiner Winkel, so daß man die Tangente des Winkels gleich dem Bogen setzen kann. Es ist alsdann der Dehnungskoeffizient

$$\alpha = \frac{2 \beta \cdot \theta}{P \cdot l^2} \quad (29)$$

und der Elastizitätsmodul

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{P \cdot l^2}{2 \beta \cdot \theta}. \quad (30)$$

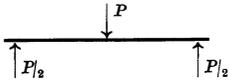
Diese letzte Berechnungsweise wird dann angewandt, wenn aus irgend einem Grunde die Messung der Durchbiegung des Stabes nicht zugänglich ist, aber für Bestimmung des Winkels  $\beta$  Mittel zu Gebote stehen.

Der Gang eines zweckmäßig ausgeführten Biegeversuches zur Ermittlung der Materialkonstanten ist aus folgendem Schema ersichtlich.

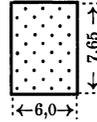
**Biegeversuch mit Feinmessung.**

Maschine: 150 t-Pressen von Amsler-Laffon & Sohn. Material: Flußeisen.

Feinmeßinstrument: Zeigerapparate mit Umsetzungsverhältnis  $n = \frac{400}{1}$ .

Belastungsweise:  Stützweite  $l = 100$  cm.

Abmessungen des gefährlichen Querschnittes: cm



Trägheitsmoment  $\Theta = 223,85$  cm<sup>4</sup>

Abstand der am stärksten gespannten Faser von der Neutralachse  $e = 3,825$  cm.

Belastung <i>P</i> kg	Ablesung am Feinmeßinstrument		Mittel aus beiden Ab- lesungen <i>a</i>	Elastische Durch- biegung $y = \frac{a}{n}$ cm	Berechnungen. Durchbiegung: $y = \frac{\alpha \cdot P \cdot l^3}{48 \cdot \Theta}$ Dehnungskoeffizient: $\alpha = \frac{48 \cdot y \cdot \Theta}{P \cdot l^3}$ $\alpha = \frac{1}{E} = \frac{1}{2135200}$ Biegungsspannung an der Biege- bzw. Fließgrenze: $\sigma_b = \frac{P \cdot l}{4} \cdot \frac{e}{\Theta}$ $\sigma_b = 5340$ kg/qcm.
	links	rechts			
200	0	0	0	0	
400	34,4	36,0	35,2	0,008 525	
200	1,0	1,2	1,1		
600	71,0	71,4	71,2	0,017 225	
200	2,2	2,4	2,3		
800	106,9	107,5	107,2	0,025 950	
200	3,1	3,7	3,4		
1000	143,1	143,3	143,2	0,034 675	
200	4,3	4,7	4,5		
1200	178,7	179,3	179,0	0,043 400	
200	5,3	5,5	5,4		
1400	214,8	215,2	215,0	0,052 100	
200	6,4	6,8	6,6		
1600	250,9	251,3	251,1	0,060 825	
200	7,6	8,0	7,8		
1800	286,5	287,3	286,9	0,069 550	
200	8,5	8,9	8,7		
2000	322,8	323,4	323,1	0,078 275	
200	9,8	10,2	10,0		
2200	358,8	359,2	359,0	0,086 975	
200	10,9	11,3	11,1		
2400	395,0	395,2	395,1	0,095 725	
200	11,9	12,5	12,2		
12500	Fließgrenze				

### § 32. Bestimmung des Trägheitsmomentes.

Für die Bestimmung des Trägheitsmomentes komplizierterer Querschnitte, insbesondere solcher mit unregelmäßig gestalteten Begrenzungen, ist das graphische Verfahren nach Mohr dem rechnerischen vorzuziehen, um so mehr, als es neben dem Trägheitsmomente noch die Lage des Schwerpunktes genau liefert.

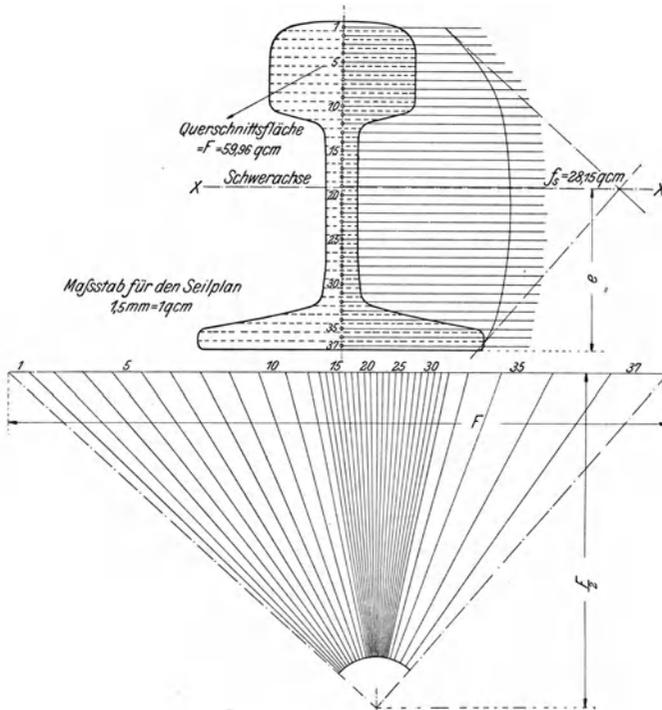


Fig. 63.

Es wird bei diesem Verfahren die Querschnittsfläche durch parallel zur Achse gezogene Geraden in Flächenstreifen zerlegt, die so schmal gemacht werden müssen, daß die einzelnen Streifen mit genügender Genauigkeit als Rechtecke oder Trapeze gelten können. Hierauf bestimmt man den Inhalt eines jeden Flächenstreifens und denkt sich dieselben parallel zur Achse als Schwerkraft in dem Schwerpunkte des Streifens angreifend. Mit diesen Kräften zeichnet man ein Kräftepolygon mit einem Polabstande, der gleich der halben Summe aller Kräfte ist, und konstruiert das zugehörige Seilpolygon. Der Schnittpunkt der beiden äußersten Polygonseiten gibt alsdann die Schwerpunktsachse des Querschnitts und der Inhalt der vom Seilpolygon umschlossenen Fläche, multipliziert mit der Querschnittsfläche, liefert das gesuchte Trägheitsmoment, bezogen auf die Schwerpunktsachse.

Je schmäler die Flächenstreifen genommen werden, desto genauer ergibt sich der gesuchte Wert. Aus Fig. 63 ist die graphische Bestimmung des Trägheitsmomentes einer Eisenbahnschiene sächs. Normalprofil No. 6 ersichtlich.

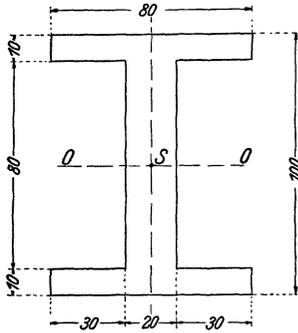


Fig. 64.

Für zusammengesetzte Querschnitte wird das Trägheitsmoment in folgender Weise berechnet: Den nebenstehend dargestellten Querschnitt (Fig. 64) kann man sich aus einem rechteckigen entstanden denken, indem von beiden Seitenhälften des Querschnittes je ein Rechteck von  $30 \cdot 80$  mm Fläche entfernt wurde. Der Schwerpunkt liegt infolge der symmetrischen Gestalt des Querschnittes in dessen Mitte, also im Abstände von 50 mm von der unteren Querschnittsbegrenzung. Das Trägheitsmoment,

bezogen auf die Achse  $OO$ , ist mithin

$$\theta = \frac{1}{12} \cdot 8,0 \cdot 10,0^3 - 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 3,0 \cdot 8,0^3 \right)$$

$$\theta = 666,6 - 2 \cdot 128$$

$$\theta = 410,6 \text{ cm}^4.$$

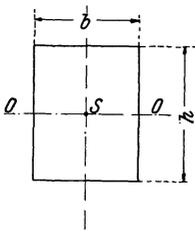


Fig. 65.

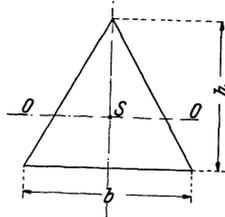


Fig. 66.

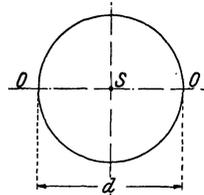


Fig. 67.

In bezug auf die Schwerpunktsachse  $OO$  ist das Trägheitsmoment für den rechteckigen Querschnitt (Fig. 65):

$$\theta = \frac{1}{12} b h^3, \quad (1)$$

für den dreieckigen Querschnitt (Fig. 66):

$$\theta = \frac{1}{36} b h^3, \quad (2)$$

für den kreisförmigen Querschnitt (Fig. 67):

$$\theta = \frac{\pi}{64} d^4. \quad (3)$$

für den elliptischen Querschnitt (Fig. 68):

$$\theta = \frac{\pi}{4} \cdot a^3 b, \quad (4)$$

für den kreisringförmigen Querschnitt (Fig. 69):

$$\theta = \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - d_0^4). \quad (5)$$

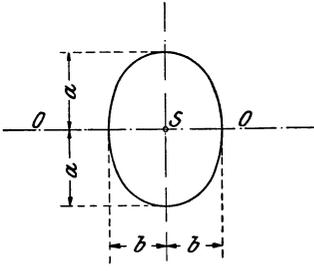


Fig. 68.

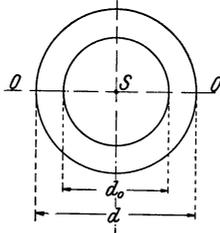


Fig. 69.

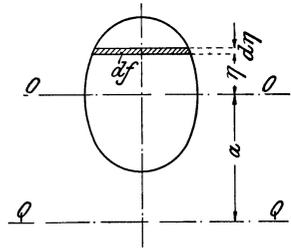


Fig. 70.

Die Benutzung der in § 31 entwickelten Hauptgleichungen setzt die Kenntnis des Trägheitsmomentes der verwendeten Probestäbe voraus.

Für den in Fig. 70 dargestellten Querschnitt ist das Trägheitsmoment in bezug auf die Schwerpunktsachse  $OO$ :

$$\theta = \int \eta^2 \cdot df.$$

Benötigt man dagegen das Trägheitsmoment  $\theta'$  eines solchen Querschnittes, bezogen auf eine andere Achse  $QQ$ , die im Abstände  $a$  parallel zur Schwerpunktsachse verläuft, so ist

$$\theta' = \theta + a^2 f, \quad (6)$$

worin  $f$  den gesamten Stabquerschnitt bedeutet.

### § 33. Verlauf der Formänderungen beim Biegeversuch.

Verfolgt man den Verlauf eines Biegeversuches, indem man in einem Koordinatensystem die Durchbiegungen als Funktion der Belastungen bzw. Materialspannungen aufzeichnet, so ergibt sich ein ähnliches Diagramm, wie es beim Zug- oder Druckversuche erhalten wurde (s. Fig. 71).

Ist für das vorliegende Material  $\alpha$  konstant, so ist nach Gleichung (25) die Durchbiegung innerhalb einer gewissen Grenze pro-

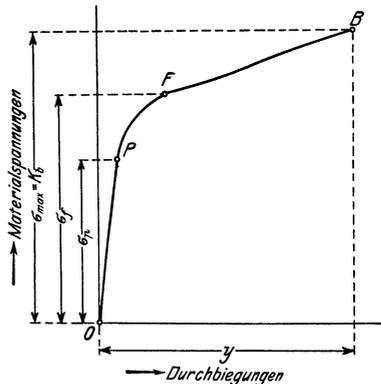


Fig. 71.

portional der äußeren Kraft  $P$  und, da nach Gleichung (24)  $\sigma$  proportional  $P$  ist, auch proportional der Materialspannung  $\sigma$ . Die Diagrammkurve ist demnach in ihrem Anfange von 0 bis zu dem Punkte  $P$  eine Gerade, weicht dann in sanfter Krümmung bis zum Punkte  $F$  von der Geraden ab, um hiernach plötzlich in Richtung der  $y$ -Achse allmählich ansteigend bis zum Punkt  $B$  zu verlaufen. Diese markanten Punkte sind mit denen des Spannungs-Dehnungsdiagrammes beim Zugversuche identisch.

$P$  ist die Proportionalitätsgrenze,

$F$  ist die Fließgrenze, die beim Biegeversuche auch Biegegrenze genannt wird, und

$B$  ist die Bruchgrenze des Materials.

Die zu diesen Punkten gehörigen Grenzwerte der Belastungen bezw. Spannungen und Durchbiegungen werden zweckmäßig mit den Indizes  $p$ ,  $f$ ,  $B$  oder  $\max$  bezeichnet.

Die Proportionalitätsgrenze und die Fließgrenze werden dadurch hervorgerufen, daß in der am stärksten gespannten Faser des Probestabes die Proportionalitäts- bzw. Fließgrenze des Materials für Zug- oder Druckbeanspruchung erreicht ist. Beide Grenzen sind im Diagramm jeweils mehr oder weniger deutlich ausgeprägt, je nachdem die Formänderungen des Materials des Probestabes entsprechend dem Hooockeschen Gesetz stattfinden oder hinsichtlich der Fließgrenze eine plötzliche Dehnungszunahme vorhanden ist.

Die Bruchgrenze kann nur bei solchen Stäben festgestellt werden, deren Material genügend Sprödigkeit besitzt, um durch allmähliche Steigerung der Durchbiegung in der am stärksten beanspruchten Faser zum Bruche gebracht zu werden. Stäbe aus zähem Material biegen sich dagegen immer mehr und mehr durch, ohne zum Bruche zu gelangen. Sie lassen sich unter Umständen, ohne zu brechen, so weit deformieren, daß die beiden Stabenden einander unmittelbar berühren. Als Gütemaßstab gilt bei diesen Materialien, ebenso wie beim Druckversuche, die Spannung an der Fließgrenze.

Naturgemäß sind die Durchbiegungen des Probestabes abhängig von den Dehnungen, die das Material des Stabes durch die Normalspannungen in den einzelnen Querschnitten erfährt. Da diese Dehnungen nicht nur elastische, sondern auch bleibende sind, machen sich bei Belastungswechseln eines auf Biegung beanspruchten Stabes neben den federnden auch bleibende Durchbiegungen bemerkbar, und man erhält, ebenso wie beim Zug- und Druckversuche, ein Belastungs-Durchbiegungsdiagramm sowohl für federnde als auch für bleibende Durchbiegungen. Zur Berechnung des Dehnungskoeffizienten sind natürlich nur die federnden Dehnungen innerhalb der Elastizitäts- bzw. Proportionalitätsgrenze heranzuziehen.

### § 34. Biegeversuche mit Materialien, die das Hookesche Gesetz nicht erfüllen.

Sämtliche in den vorstehenden Paragraphen gegebenen Entwicklungen beziehen sich nur auf solche Körper, welche über ihre ganze Länge gleichartigen, gleichgroßen Querschnitt besitzen und deren Material bei Zug- oder Druckbeanspruchung das Hookesche Gesetz erfüllt. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, so müssen die Berechnungsweisen den vorliegenden Verhältnissen entsprechend geändert werden. Da im Materialprüfungswesen Körper mit wechselndem Querschnitte fast nie vorkommen, muß hinsichtlich der dafür erforderlichen Berechnungsweisen auf die einschlägigen Lehrbücher über Elastizitäts- und Festigkeitslehre verwiesen werden.

Näher ist dagegen auf die Vorgänge einzugehen, die bei der Prüfung von Körpern eintreten, deren Material nicht dem Hookeschen Gesetz entspricht. Wie Bach u. a. nachgewiesen haben und bereits in § 4 erörtert worden ist, wachsen bei Gußeisen, Kupfer, Bronze, Sandstein, Granit, Zementmörtel, Zementbeton usw. die Dehnungen rascher als die Spannungen. Betrachtet man daher unter der von Anfang an gemachten Annahme, daß die Querschnitte bei der Biegung eben bleiben, die Spannungsverteilung in einem solchen Stabe, so kommt man zu dem Schlusse, daß wohl die Dehnungen proportional ihrem Abstände von der Neutralachse wachsen, die zugehörigen Spannungen sich aber nach einer Gesetzmäßigkeit verteilen, wie wir sie bei Zug- oder Druckbeanspruchung gefunden haben. Da die Dehnungen schneller anwachsen als die Spannungen, gehört zu den geringer gedehnten Stabfasern eine verhältnismäßig größere Materialspannung als zu den stärker gedehnten, weiter von der Neutralachse abstehenden Fasern, und es erhellt hieraus, daß das Stabmaterial in der Nähe der Neutralachse in höherem Maße zur Widerstandsleistung gegen die Wirkung der äußeren Kraft herangezogen wird, als das entfernter liegende, d. h. es wird das in der Nähe der Neutralachse angehäuften Material besser ausgenutzt. Die Folge davon ist, daß die Widerstandsfähigkeit eines Balkens, dessen Material sich in dieser Weise verhält, gegen Biegung größer ist, als die Berechnung nach der üblichen Biegleichung ergibt.

Da bei diesen Materialien ferner die Dehnungskoeffizienten für Zug- und Druckbeanspruchung ungleich sind, kann die Neutralachse des Stabes nicht zugleich Schwerpunktsachse der Querschnitte sein. Sie ist vielmehr nach oben oder unten verschoben, je nachdem der Dehnungskoeffizient für Zug größer oder kleiner ist. Bei Gußeisen z. B. ist der Dehnungskoeffizient für Zugbeanspruchung größer als der für Druck, und die Folge davon ist, daß die Neutralachse unterhalb der Schwerpunktsachse liegt.

Im allgemeinen ist bei allen Materialien der Abstand der Neutralachse von der Schwerpunktsachse nur gering; seine Größe hat bei den zahlreichen Biegeversuchen des Verfassers mit prismatischen Gußeisen-

und Betonbalken rechteckigen Querschnittes nie 8 0/10 der Querschnittshöhe überschritten. Dieser Betrag ist so gering, daß er für praktische Zwecke außer acht gelassen werden darf. Bei exakten Untersuchungen ist die Vernachlässigung dieses Umstandes jedoch nicht angängig; man ist gezwungen, die Lage der Neutralachse durch Versuch unmittelbar zu bestimmen oder graphisch nach einem von Bach angegebenen Verfahren zu ermitteln.

Die Ermittlung durch Versuch geschieht in einfachster Weise, indem man die Dehnungen  $\epsilon_z$  bzw. Zusammendrückungen  $\epsilon_d$  der äußersten Fasern eines Probestabes (Fig. 72) auf der Zug- bzw. Druckseite mit Spiegelapparaten bestimmt und unter der Annahme, daß die Querschnitte bei der Biegung eben bleiben, die Höhe des Stabes im Verhältnis der jeweiligen Dehnungen teilt.

Es ist:

$$e_d = e_z \cdot \frac{\epsilon_d}{\epsilon_z}.$$

Nach einem Verfahren von Bach wird die Lage der Neutralachse im Augenblicke des Bruches eines auf

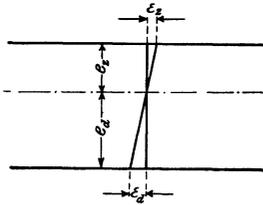


Fig. 72.

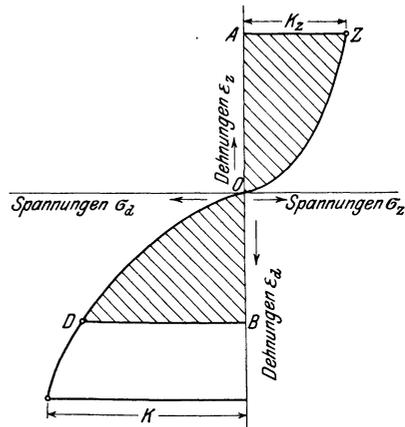


Fig. 73.

Biegung beanspruchten Körpers graphisch derart bestimmt, daß man (wie Fig. 73 zeigt) in einem Koordinatensystem die Spannungs-Dehnungsdiagramme des Materials für Zug- bzw. Druckbeanspruchung, welche durch Sonderversuche ermittelt wurden, aufträgt.

Der Inhalt beider Diagrammflächen stellt die Zerreiß- bzw. Zerdrückarbeit des betreffenden Materials dar. Da, wie ersichtlich, beim vorliegenden Material die Zerreißarbeit geringer ist als die Zerdrückarbeit, muß der Bruch des auf Biegung beanspruchten Stabes durch Zerreißen der am stärksten auf Zug beanspruchten Fasern erfolgen. Maßgebend für die Festigkeit des Stabes ist mithin die Zerreißfestigkeit  $K_z$ .

Nach Gleichung (3) (S. 41) muß, wenn Gleichgewicht der Kräfte herrschen soll, die Summe aller inneren Kräfte gleich Null sein. Dies bedingt, daß im Augenblicke des Bruches auch die Zerreißarbeit gleich der bis dahin geleisteten Zerdrückarbeit ist. Auf Grund dieser Bedingung ist nur erforderlich, durch Planimetrieren der Diagrammfläche für die Zerreißarbeit  $OAZ$  ihre Größe zu bestimmen und durch Probieren einen

gleichgroßen Teil  $ODB$  der Diagrammfläche für die Zerdrückarbeit abzutrennen. Die Strecke  $DB$  stellt alsdann die Materialspannung dar, welche auf der Druckseite im Augenblicke des Bruches geherrscht hat, und die Strecke  $OB$  gibt die dazugehörige Zusammendrückung der äußersten Stabfaser. Aus dem Verhältnisse der beiden Strecken  $OA$  und  $OB$  ist dann, wie bei dem vorher beschriebenen Verfahren, die Lage der Neutralachse zu berechnen.

So bestechend auch das Verfahren erscheint, ist es insofern nicht ganz einwandfrei, als es nicht immer zugänglich ist, die Zug- und Druckversuche an Probestäben vorzunehmen, die aus dem Biegestabe selbst herausgearbeitet wurden. Die Abweichungen der Materialbeschaffenheit einer Materialgattung sind so bedeutend, daß man die beim Zug- und Druckversuche gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres mit den Vorgängen beim Biegeversuche an einem Körper anderen Ursprunges in Zusammenhang bringen darf. Das Verfahren der direkten Messung der Dehnungen am Probestabe ist darum stets vorzuziehen, wenn es sich nur darum handelt, die Lage der neutralen Schicht bei Spannungen innerhalb der Elastizitätsgrenze festzustellen. Kommen dagegen stärkere Deformationen bis über die Elastizitäts- oder gar Fließgrenze in Frage, wie es bei Materialien mit größerer Zähigkeit der Fall ist, dann versagen beide Verfahren. Die Stabquerschnitte bleiben dann bei weiter fortschreitender Durchbiegung nicht mehr eben; es ist die Hauptvoraussetzung, die dem Verfahren zugrunde liegt, nicht mehr erfüllt. Bei derartig großen Deformationen ist aber die Kenntnis der Lage der neutralen Schicht von untergeordneter Bedeutung, und es erübrigt sich, an dieser Stelle darauf einzugehen.

Bei solchen Materialien, deren Dehnungskoeffizient für Zug und Druck gleich und für alle Spannungen konstant ist, ergibt sich die Biegefestigkeit gleich der Zugfestigkeit, gleichgültig, welche Form der Querschnitt des Probestabes besitzt. Anders verhalten sich jedoch Körper aus Materialien, deren Dehnungskoeffizient variabel ist. Infolge der besseren Ausnutzung des Materials in der Nähe der Neutralachse (s. S. 73) ist die durch Versuch ermittelte Biegefestigkeit größer als die Zugfestigkeit und die Verteilung des Materials in bezug auf die Höhe des Probestabes von wesentlichem Einflusse auf das Ergebnis des Biegeversuches. Diejenigen Stäbe, deren Querschnitte so ausgestaltet sind, daß in der Nähe der Neutralachse Materialanhäufung vorhanden ist, werden also eine höhere Biegefestigkeit aufweisen, als Stäbe, deren Material in größerer Entfernung von der Neutralachse zusammengedrängt ist. Versuche Bachs mit einem Gußeisen ohne Gußhaut, dessen Zugfestigkeit 1369 kg/qcm betrug, zeigten in anschaulicher Weise die Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Querschnittsform.<sup>1)</sup> Sie lieferten den Nachweis der bereits eben aus-

<sup>1)</sup> Siehe Bach, Elastizität und Festigkeit, Berlin 1905, S. 249.

gesprochenen Annahme hinsichtlich der Materialverteilung in bezug auf die Neutralachse.

Bach brachte die Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Querschnittsform mit guter Annäherung zum Ausdruck durch die Beziehung

$$K_b = \mu_0 \sqrt{\frac{e}{z_0}} \cdot K_z.$$

Hierin bedeutet (Fig. 74):

$\mu_0$  einen Koeffizienten, der abhängig ist von der Querschnittsform und auf Grund der Versuche ermittelt wurde zu:

1,2 für Querschnitte, welche oben und unten durch eine wagerechte Gerade begrenzt werden,

1,33 für Querschnitte, welche oben und unten durch einen Punkt begrenzt werden,

$z_0$  den Abstand des Schwerpunktes des auf der einen Seite der Neutralachse liegenden Teiles der Querschnittsfläche von dieser Achse,

$e$  den Abstand der am stärksten gespannten Faser.

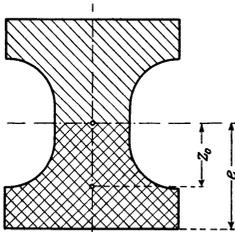


Fig. 74.

Man erkennt hieran, welche große Bedeutung die Form des Probestabes für das Versuchsergebnis besitzt und wie notwendig es ist, bei Materialprüfungen diesem Umstande Beachtung zu schenken.

Einen weiteren Einfluß auf das Ergebnis des Biegeversuches übt die Beschaffenheit der Oberfläche des Probestabes aus. Gegossene Materialien besitzen gewöhnlich an ihrer Oberfläche eine härtere Schicht, die sogenannte Gußhaut, welche gegenüber dem übrigen Material eine verhältnismäßig geringe Dehnungsfähigkeit besitzt. Versuche Bachs mit Gußeisen haben auch diese Frage geklärt und nachgewiesen, daß die Gußhaut die Biegefähigkeit eines Stabes ungünstig beeinflusst. Die Festigkeit und auch die Durchbiegung eines Stabes mit Gußhaut erwiesen sich geringer als diejenige bearbeiteter Stäbe. Dieser Umstand wird dadurch bedingt, daß die Gußhaut infolge ihrer geringen Dehnungsfähigkeit zerreißt, dadurch die Oberflächenspannung des Stabes vernichtet und der Bruch früher eingeleitet wird, als bei einem Stabe, der keine so harte Deckschicht besitzt.

### § 35. Messung der Durchbiegungen.

Wie wir in § 31 gesehen haben, muß bei Biegeversuchen, die den Zweck verfolgen, die Biegefestigkeit eines Materials festzustellen, die Kraft ermittelt werden, die erforderlich ist, den Bruch des Probestabes herbeizuführen. Man hat also nur nötig, die maximale, von der Prüfungsmaschine geäußerte Kraft festzustellen. Umständlicher dagegen wird die Versuchsausführung, sobald außer der Biegefestigkeit auch die Durch-

biegungen bei verschiedenen Belastungsstufen ermittelt werden müssen. In diesem Falle bedarf es verschiedener Instrumente und Vorrichtungen, deren zweckmäßige Verwendung von Fall zu Fall zu überlegen ist.

Ein einwandfreies Instrument zur Messung der Durchbiegung eines auf Biegung beanspruchten Stabes muß so beschaffen sein, daß es nur Bewegungen mißt, welche die Mitte der Stabachse gegenüber den vertikal über den Widerlagern befindlichen Punkten der Stabachse ausführt.

Für solche Versuche, bei denen es nur darauf ankommt, annähernd die Durchbiegung der Stabmitte gegenüber den Enden festzustellen, genügt die Anwendung eines Zeigers, dessen Drehpunkt an den unbeweglichen Widerlagern der Prüfungsvorrichtung befestigt wird.

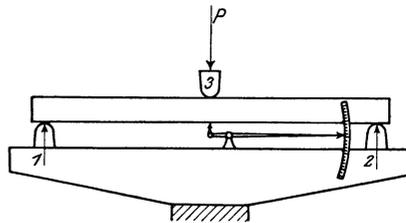


Fig. 75.

In Fig. 75 ist die Anwendungsweise schematisch dargestellt. Wie ersichtlich, werden bei dieser Anordnung auch

Zusammendrückungen als Durchbiegungen gemessen, die das Stabmaterial an den Widerlagern 1 und 2 erleidet. Besser ist bereits eine Anordnung, bei der drei Zeiger Anwendung finden, die auf schweren Stativen befestigt sind, welche auf dem Fußboden stehen und die Bewegung der Stabenden und der Stabmitte gegenüber dem Fußboden messen. Hierbei läßt sich bereits durch Verwendung von Zeigerapparaten (s. § 175) eine Feinheit der Messung erzielen, welche hinreicht, die zur Berechnung des Dehnungskoeffizienten

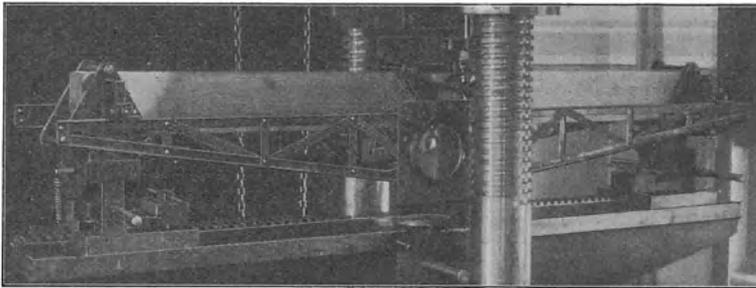


Fig. 76.

erforderlichen Durchbiegungen festzustellen. Es kommt nur darauf an, die Meßapparate unmittelbar am Probekörper angreifen zu lassen.

Eine in der Dresdner Versuchsanstalt verwendete Vorrichtung zur Messung der Durchbiegungen bei Feinmeßversuchen zur Ermittlung des Dehnungskoeffizienten von Metallen bei Biegebungsbeanspruchung ist in Fig. 76 dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus zwei Gitterträgern,

an denen in der Mitte Zeigerapparate befestigt sind. Die Gitterträger werden mit Haltern derart an dem Probestabe angebracht, daß die Spitzen der Schrauben in der Neutralachse des Stabes angreifen. In der Stabmitte wird ebenfalls mit Spitzenschrauben in der neutralen Schicht ein Halter befestigt, der zur Bewegungsübertragung auf den Zeigerapparat dient. Der Gitterträger ist mit sorgfältig gelagerten Gleitführungen mit den Haltern an den Stabenden befestigt und verhindert durch die Gleitführungen eine Durchbiegung des Gitterträgers bei Durchbiegung des Probestabes. Das Übersetzungsverhältnis der Zeigerapparate ist 1:400. Aus den im § 170 erwähnten Gründen finden auch hier Messungen auf gegenüberliegenden Seiten des Probestabes statt.

Bei Versuchen, wo Unfälle durch plötzlichen Bruch des Körpers zu befürchten sind und die verhältnismäßig kostbaren Instrumente nicht gefährdet werden dürfen, empfiehlt sich zur angenäherten Messung der Durchbiegungen folgendes Verfahren. Man bringt in der Mitte und an den Enden des Probekörpers fein geteilte Maßstäbe aus widerstandsfähigem Material an und liest mit Fadenkreuz-Fernrohren die Verschiebungen der erwähnten Punkte des Probestabes gegenüber dem Fußboden ab.

Sind Kathetometer vorhanden, so kann man durch ihre Verwendung den Genauigkeitsgrad dieser Meßmethode erhöhen, indem man durch Einstellung des Instrumentes auf Fixpunkte des Probestabes dessen Bewegung gegenüber dem Fußboden feststellt.

Auch Spiegelapparate lassen sich bei Biegeversuchen mit Vorteil verwenden. In den meisten Fällen sind sie jedoch vermeidbar, weil die Genauigkeit der Zeigerapparate völlig ausreicht. Verfasser verwendete Martenssche Spiegelprismen in Verbindung mit dem in Fig. 76 dargestellten Apparate, indem an Stelle der Zeigerapparate Spiegelprismen zwischen die Träger und die Halter eingefügt wurden. Diese Anordnung findet auch Anwendung, um einem größeren Zuhörerkreise die Durchbiegungen eines Stabes zu demonstrieren, indem in der § 172 beschriebenen Weise ein Lichtstrahl in die Spiegel projiziert und von da auf eine allen Zuhörern sichtbare Skala reflektiert wird.

Ist aus irgend einem Grunde die Messung der Durchbiegung des Probestabes nicht zugänglich, dann kann die auf S. 67 erwähnte Methode in der Weise angewendet werden, daß an den Enden des Probestabes ein Spiegel befestigt wird, mit dem die Neigung der Stabenden gegen die ehemals gerade Stabachse gemessen wird. Die Spiegel werden mit Wachs an den Stabenden befestigt; ihre Drehung wird mit Skalen-Fernrohren abgelesen. Die Berechnung des Dehnungskoeffizienten geschieht alsdann nach Gleichung (29) bzw. (30) (§ 31) unter Berücksichtigung der Stützungsart des Probestabes.

Ragen die Enden des Probestabes erheblich über die Widerlager hinaus, dann wird die Messung fehlerhaft, weil die Spiegel außer einer Drehung auch eine Verschiebung erleiden. Der Fehler wird vermieden,

wenn die Spiegel mit Haltern versehen werden, womit man sie nach Fig. 77 an den Seitenflächen des Probestabes, und zwar in der neutralen Schicht vertikal über den Widerlagern befestigt. Bei dieser Befestigungsweise erfahren die Spiegel nur eine Drehung.

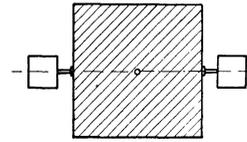


Fig. 77.

### § 36. Stützung des Probekörpers.

Der Konstruktion der Widerlager ist bei Vorrichtungen zur Beanspruchung von Probestäben auf Biegung ebenso große Aufmerksamkeit zu schenken wie den Einspannvorrichtungen beim Zug- bzw. Druckversuche.

Es sind dabei folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Die Widerlager müssen allseitig beweglich sein, um sich etwaigen Verwindungen des Probekörpers anpassen und seiner Durchbiegung folgen zu können.
2. Die Oberfläche der Widerlager soll abgerundet und derart beschaffen sein, daß der Längenänderung des Probekörpers bei starker Durchbiegung kein Widerstand entgegengesetzt wird.
3. Die Widerlager sind mit Zwischenlagen zu versehen, wenn ihr Eindringen in den Probekörper infolge zu hohen spezifischen Flächendruckes zu befürchten ist.

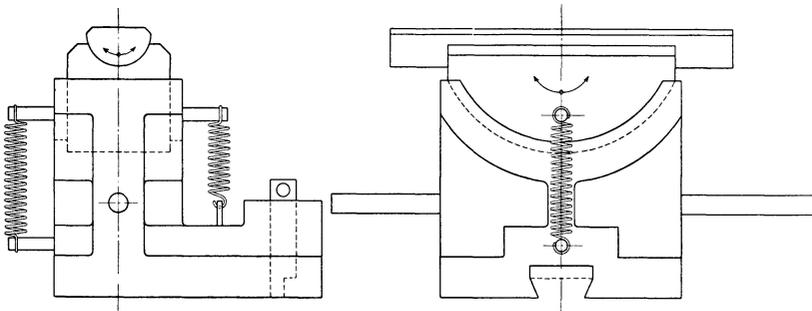


Fig. 78.

Der ersten und zweiten Bedingung genügen die Widerlager der Amslerschen Prüfungsmaschinen, welche in Fig. 78 dargestellt sind. Der Körper stützt sich dabei an den Enden gegen Rollen, welche um ihre Achse drehbar und außerdem so gelagert sind, daß sie sich in einer Ebene senkrecht zur Stabachse zu drehen vermögen. Die Drehbarkeit um ihre Achse ermöglicht, daß bei fortschreitender Durchbiegung des Probekörpers, die eine Ausdehnung der unteren Faserschicht zur Folge hat, die Rolle sich dreht und der Körper mithin auf dem Widerlager nicht zu gleiten braucht. Die zweite Bewegung gewährleistet Aufliegen des Probekörpers auf den Widerlagern, auch wenn eine Verwindung der Enden des Probekörpers gegenüber der Mitte stattfinden sollte.

Die dritte Bedingung muß erfüllt sein, wenn die Druckfestigkeit des Materials in der Richtung, in der die äußere, auf Durchbiegung hinielende Kraft wirkt, verhältnismäßig gering ist. In diesem Falle dringen die als Angriffspunkte der äußeren Kräfte dienenden Rollen oder Schneiden in das Material ein, verringern auf diese Weise den Stabquerschnitt und verursachen eine vorzeitige Zerstörung des Stabes. Man verwendet in solchen Fällen Zwischenlagen, deren Art und Abmessungen den jeweiligen Materialeigenschaften angepaßt werden müssen, um keine Hinderung der Durchbiegung des Probekörpers hervorzurufen. Als vorteilhaft hat sich bei vielen Materialien eine Platte aus feuchtem Kiefernholz von ca. 15—25 mm Dicke erwiesen, die mit den Hirnflächen zwischen Probekörper und Widerlager geschaltet wird. Infolge ihrer leichten Biegefähigkeit verhindert eine solche Hirnholzplatte nicht die Durchbiegung des Probekörpers, gewährleistet aber durch ihre genügend große Druckfestigkeit in Richtung der Holzfasern eine gleichmäßige Verteilung des Auflagerdruckes auf eine größere Fläche des Probekörpers.

### § 37. Besondere Biegeversuche.

Die bisher behandelten Punkte bezogen sich auf Biegeversuche, welche den Zweck haben, die Biegefestigkeit sowie die elastischen Eigenschaften von Materialien an besonders dafür ausgestalteten Probekörpern zu ermitteln. Anders liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, Körper zu untersuchen, bei denen in umgekehrter Weise nicht die Probekörper der Versuchsausführung entsprechend gewählt werden können, sondern diese der Art des Probeobjektes angepaßt werden muß. Es gehören hierher Biegeversuche mit Eisenkonstruktionsteilen, ferner die Probelastungen von Brücken, Massivdecken und sonstigen Bauwerksteilen (s. § 304).

Bei Bearbeitung der Versuchsergebnisse derartiger Probekörper können die angegebenen Formeln und Berechnungsweisen nicht benutzt werden, weil in den meisten Fällen die Voraussetzungen nicht erfüllt sind, die bei Ableitung der Formeln gemacht wurden. Es muß bei solchen Versuchen geprüft werden, ob die Stützung der Probekörper als frei aufliegend oder eingespannt zu betrachten ist, ob eine Biegebungsbeanspruchung vorliegt oder Nebenspannungen bei Beanspruchung des Probekörpers auftreten. In gewissen Fällen darf auch das Eigengewicht des Probekörpers nicht vernachlässigt werden. Alle diese Gesichtspunkte müssen vor Inangriffnahme des Versuches genau überlegt werden, um die anzustellenden Messungen den Forderungen anzupassen, die dahingehende Berechnungen erheischen.

## IV. Knickungsversuche.

### § 38. Die Knickfestigkeit.

Ein stabförmiger Körper ist auf Knickung beansprucht, wenn die in Richtung seiner Längsachse wirkende Druckkraft nicht allein Druckspannungen in den einzelnen Stabquerschnitten hervorruft, sondern auch Zugspannungen veranlaßt, welche Verbiegungen des Stabes zur Folge haben. Diese Zugspannungen werden dadurch verursacht, daß bei verhältnismäßig langen, auf Druck beanspruchten Probestäben

1. die Druckkraft nicht genau mit der Stabachse zusammenfällt,
2. die Stabachse keine gerade Linie ist,
3. das Material nicht an allen Stellen des Probestabes gleichartig ist.

Wären alle diese Bedingungen erfüllt, so könnten nur Druckspannungen in jedem Stabquerschnitte auftreten, und es wären die im Abschnitte über Druckfestigkeit gegebenen Berechnungen anzuwenden.

Zur Veranschaulichung der Knickungsbeanspruchung eines Stabes diene folgender Versuch. Spannt man einen möglichst geraden Stab  $AB$  mit gleichförmigem Querschnitte (s. Fig. 79) in vertikaler Lage an dem unteren Ende ein und belastet ihn an dem oberen freien Ende mit einem Gewichte  $P$ , so wird die ehemals gerade Stabachse eine Krümmung erleiden; das obere Ende des Stabes entfernt sich um eine Strecke  $y$  aus seiner ehemaligen Lage. Durch diese Lagenveränderung des Gewichtes  $P$  entsteht in jedem Stabquerschnitte ein biegendes Moment, welches an der Einspannstelle gleich  $P \cdot y$  ist. Diesem Momente halten die im Stabmaterial auftretenden inneren Kräfte das Gleichgewicht. Erteilt man jetzt dem Stabe durch eine zusätzliche Kraft eine stärkere Krümmung und nimmt alsdann die Kraft wieder weg, so kehrt er in seine ursprüngliche Lage wieder zurück. Er ist im stabilen Gleichgewichte, d. h. die algebraische Summe der Momente der inneren Kräfte ist gleich dem äußeren Momente. Vergrößert man allmählich das Gewicht  $P$ , so nimmt die Krümmung des Stabes ebenfalls zu, bis bei einem bestimmten Gewichte  $P_0$  die Widerstandsfähigkeit des Stabes aufhört und das Gewicht zu Boden sinkt. Entfernt man hierauf das Gewicht von dem Stabe, so richtet er sich wieder auf, kehrt aber in seine ehemalige vertikale Lage nicht wieder zurück, weil er durch die starke Krümmung eine bleibende Formänderung erlitten hat.

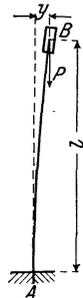


Fig. 79.

Die Kraft  $P_0$ , bei der die Knickung erfolgt, nennen wir Knickbelastung und definieren sie in folgender Weise. Die Knickbelastung ist diejenige Kraft, welche gerade ausreicht, einen in Richtung der Stabachse belasteten stabförmigen Körper so weit zu verbiegen, daß Gleichgewicht zwischen dem äußeren biegenden Momente und der Summe der Momente der inneren Kräfte nicht mehr besteht.

Folgen wir bei Entwicklung der Gleichungen: „Bach, Elastizität und Festigkeit“, so ergibt sich, wenn

$P$  die in Richtung der ursprünglichen Stabachse wirkende Kraft,

$P_0$  die Knickbelastung,

$\theta$  das der Biegung gegenüber in Betracht kommende Trägheitsmoment des Stabquerschnitts (in der Regel das kleinere der beiden Hauptträgheitsmomente),

$l$  die Länge des Stabes,

$\alpha$  der Dehnungskoeffizient

ist, folgendes:

Für den um  $x$  von  $A$  abstehenden Querschnitt des Probestabes (Fig. 80) ist das biegende Moment, dessen Ebene den Querschnitt in einer der beiden Hauptachsen schneidet:

$$M_b = P(a + y' - y). \quad (1)$$

Da nach Gleichung (16) § 31

$$M_b = \pm \frac{\theta}{\alpha} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \text{ ist,}$$

ergibt sich:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\alpha \cdot P}{\theta} \cdot (a + y' - y). \quad (2)$$

Setzt man

$$\frac{\alpha \cdot P}{\theta} = n^2 \quad \text{und} \quad a + y' - y = -z,$$

so folgt:

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{d^2 y}{dx^2} = -n^2 \cdot z.$$

Dieser Gleichung entspricht unter Voraussetzung, daß  $\alpha$  und  $\theta$  konstante Größen sind, das Integral:

$$z = C_1 \cdot \sin(nx) + C_2 \cdot \cos(nx)$$

oder

$$y - a - y' = C_1 \sin(nx) + C_2 \cdot \cos(nx).$$

Die beiden Integrationskonstanten  $C_1$  und  $C_2$  sind dadurch bestimmt, daß für den Punkt  $A$ , also für  $x = 0$ ,

$$y = 0 \quad \text{und} \quad \frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{ist,}$$

d. h.

$$C_2 = -a - y'; \quad C_1 = 0.$$

Hieraus folgt:

$$y = (a + y') \cdot [1 - \cos(nx)]. \quad (3)$$

Für  $x = l$  wird  $y = y'$ , also:

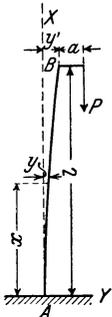


Fig. 80.

$$y' = (a + y') \cdot [1 - \cos(nl)],$$

$$y' = a \cdot \frac{1 - \cos(nl)}{\cos(nl)} = a \left[ \frac{1}{\cos(nl)} - 1 \right],$$

$$y' = a \left[ \frac{1}{\cos\left(l \cdot \sqrt{\frac{\alpha P}{\theta}}\right)} - 1 \right]. \quad (4)$$

Die Gleichung der elastischen Linie ergibt sich alsdann zu:

$$y = a \cdot \frac{1 - \cos(nx)}{\cos(nl)} = a \cdot \frac{1 - \cos\left(x \sqrt{\frac{\alpha P}{\theta}}\right)}{\cos\left(l \cdot \sqrt{\frac{\alpha P}{\theta}}\right)}. \quad (5)$$

Bei völliger Knickung, d. h. bei Beanspruchung des Stabes durch die Knickbelastung  $P_0$ , wird:

$$y' = a \cdot \infty,$$

d. h.

$$\cos\left(l \sqrt{\frac{\alpha P_0}{\theta}}\right) = 0,$$

$$l \sqrt{\frac{\alpha P_0}{\theta}} = \frac{\pi}{2},$$

$$P_0 = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{l^2}. \quad (6)$$

Wird die äußere Kraft  $P$ , welche auf den Stab  $A-B$  wirkt, nach Fig. 81 gerade geführt,



Fig. 81.



Fig. 82.

so verhält sich jede der beiden Stabhälften  $\frac{l}{2}$  genau so wie der vorige Stab.

Die Knickbelastung ergibt sich demnach zu:

$$P_0 = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{(0,5l)^2},$$

$$P_0 = \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{l^2}. \quad (7)$$

Ist der Stab nach Fig. 82 beansprucht, d. h. an beiden Enden eingespannt und gerade geführt, so daß die ehemals gerade Stabachse nach der Ausbiegung in den Einspannstellen Tangente zur gekrümmten Stabachse ist, so liegen bei Punkt  $E$  und  $C$  Wendepunkte der elastischen Linie, und es verhalten sich die Endstücke  $AC$  und  $BE$  wie der Stab in Fig. 80, während das mittlere Stück  $CDE$  dem Stabe in Fig. 81 entspricht.

Diese Erwägung ergibt für die beiden Endstücke je von der Länge  $\frac{l}{4}$  nach Gleichung (6):

$$P_0 = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{\left(\frac{l}{4}\right)^2},$$

$$P_0 = 4 \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{l^2},$$

für das Mittelstück, dessen Länge  $\frac{l}{2}$ , nach Gleichung (7):

$$P_0 = \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{\left(\frac{l}{2}\right)^2},$$

$$P_0 = 4 \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{l^2}.$$

Folglich gilt auch für den ganzen Stab bei Beanspruchung nach Fig. 82:

$$P_0 = 4 \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\theta}{l^2}. \tag{8}$$

### § 39. Einspannung der Probekörper beim Knickversuche.

Aus den Ableitungen ersieht man, daß die Größe der Knickbelastung in erster Linie von der Art der Einspannung abhängig ist. Je vollkommener die Einspannung eines Stabes an beiden Enden ist, desto größer ist seine Widerstandsfähigkeit gegen Ausknicken. Die Gleichungen heißen die Eulerschen Gleichungen, und ihre Anwendung ist nach den Versuchen Bauschingers und Tetmayers für alle Fälle des Materialprüfungswesens zulässig. Die Abhängigkeit der Knickfestigkeit von der Art der Einspannung des Probestabes weist darauf hin, daß bei Knickversuchen der Ausbildung der Einspannvorrichtungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

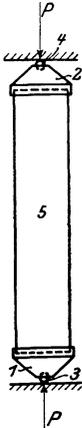


Fig. 83.

Der erste Fall der Knickung nach Gleichung (6) (S. 83) kommt für das Materialprüfungswesen im allgemeinen nicht in Betracht. Dagegen werden Versuche nach dem Belastungsschema Fig. 81 und 82 des öfteren ausgeführt. Die Einspannung der Probekörper nach Belastungsschema Fig. 81 erfolgt in der Weise, daß die Enden der Probekörper mit Armierungen versehen werden, welche sich mit Spitzen oder

Kugeln gegen die Widerlager der Materialprüfungsmaschine stützen und so allseitige Beweglichkeit des Probekörpers während der Belastung gewährleisten.

Eine vom Verfasser für die Dresdner Versuchsanstalt konstruierte Armierung, die bei Knickversuchen mit Körpern von geringen Abmessungen benutzt wird, ist in Fig. 83 dargestellt. Sie besteht aus den Stahlplatten 1 und 2, welche am Probekörper 5 angebracht werden und Stahlkugeln 3 und 4 tragen, mit denen sich der Körper gegen die Widerlager

der Prüfungsmaschine stützt. Bedingung bei dieser Vorrichtung ist, daß sie genau zentrisch zum Probekörper angeordnet wird.

Fig. 223 § 141 zeigt die Einspannvorrichtungen der 1000 t Materialprüfungsmaschine der Dresdner Versuchsanstalt, welche Verfasser für Knickversuche mit Eisenbetonsäulen bis zu 4,5 m Länge konstruierte. Die Vorrichtungen sind im wesentlichen denen der Werdermaschine nachgebildet und bestehen aus den kugelig gelagerten Preßplatten 11 u. 12, die in Hohlkugeln des Kolbens bzw. des Widerlagers der Maschine ruhen und bei Ausbiegung des Probekörpers sich allseitig zu bewegen vermögen. Die Schrauben 15 an den Preßplatten ermöglichen Festlegung der Preßplatten bei den Versuchen nach Belastungsschema Fig. 82. Der Einstellung der Schrauben ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Es empfiehlt sich, den Probekörper erst mit geringer Belastung unter Benutzung der Kugellagerung einzuspannen und erst, wenn man sich überzeugt hat, daß die Preßplatten an allen Stellen der Endflächen des Probekörpers gleichmäßig zur Anlage gelangt sind, die Schrauben so weit zu verstellen, bis die Unbeweglichkeit der Preßplatte gesichert ist.

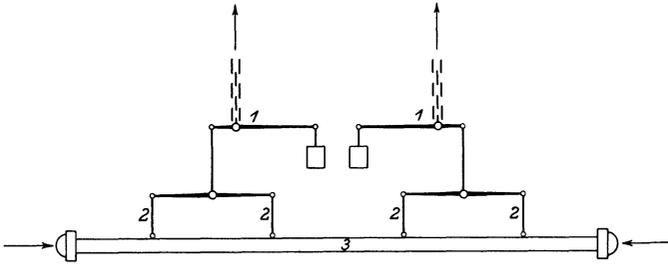


Fig. 84.

Bei Maschinen horizontaler Anordnung der auf Knickung zu prüfenden Probekörper veranlaßt das Eigengewicht einseitige Ausbiegung des Probekörpers und begünstigt infolgedessen die Knickung nach dieser Richtung. Um den Einfluß des Eigengewichtes auszuschalten, muß dieses ausbalanciert werden, indem man den Probekörper aufhängt. Die Aufhängungsvorrichtung muß jedoch so beschaffen sein, daß der Probekörper ungehindert nach allen Richtungen auszubiegen vermag.

Bauschinger benutzte für diesen Zweck eine Vorrichtung nach Schema Fig. 84. Sie gestattete infolge Anordnung der einseitig beschwerten doppelarmigen Hebel 1, die am Maschinengestelle befestigt waren, daß die Aufhängestangen 2 den Bewegungen des Probekörpers 3 zu folgen vermochten, ohne daß die in der Aufhängevorrichtung wirkende Kraft eine Änderung erfuhr.

Die doppelarmigen Hebel können auch durch Federn ersetzt werden, welche an den Stangen 2 angreifen und vor Belastung des Probekörpers derart anzuspinnen sind, daß sie sein gesamtes Gewicht zu tragen ver-

mögen. Die beim Ausbiegen des Probekörpers entstehende Vergrößerung oder Verringerung der Federspannungen übt einen nur unwesentlichen Einfluß auf die Entlastung des Probekörpers aus.

#### § 40. Messung der Formänderungen.

Wie die Formeln (6) bis (8) (§ 38) zeigen, genügt für Ermittlung des Dehnungskoeffizienten  $\alpha$  durch Knickversuche die Feststellung der zur Knickung erforderlichen Kraft  $P$  und des Trägheitsmomentes. Die Feststellung des Trägheitsmomentes bietet keine Schwierigkeiten, solange wir es mit Körpern zu tun haben, deren Querschnitte nach allen Richtungen hin in bezug auf den Schwerpunkt das gleiche Trägheitsmoment besitzen. Kommen dagegen Körper in Betracht, deren Trägheitsmoment nach den verschiedenen Richtungen verschieden ist, so muß zur Feststellung der

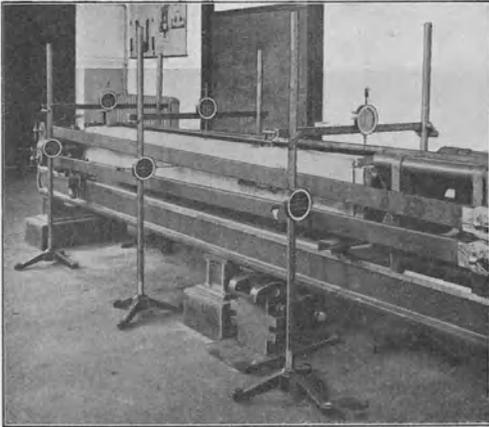


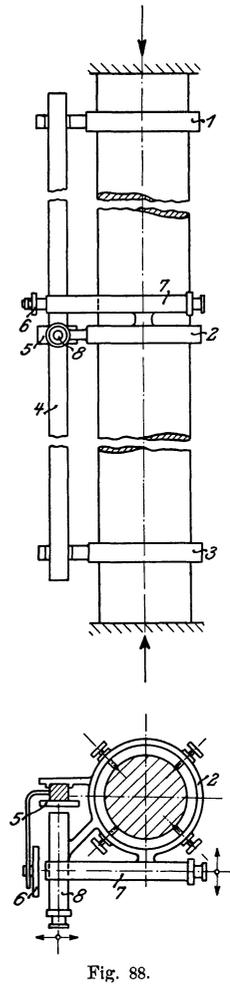
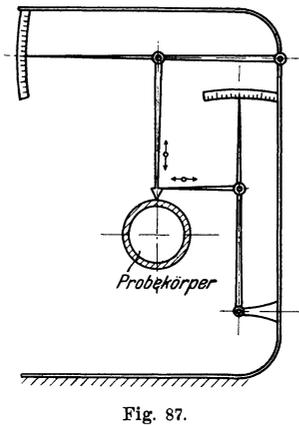
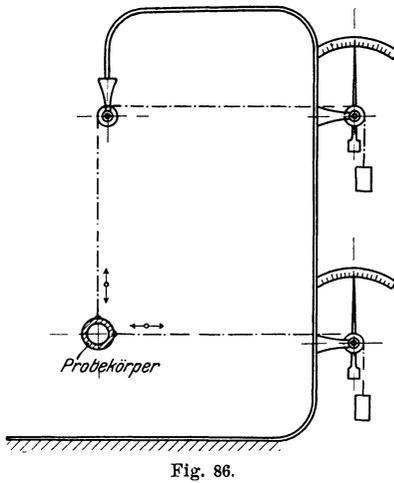
Fig. 85.

Achse, in bezug auf welche das Trägheitsmoment zu bestimmen ist, die Richtung ermittelt werden, nach der der Körper ausbiegt. Es geschieht in der Weise, daß man die Ausbiegungen des Probekörpers räumlich in bezug auf zwei vertikal zueinander stehende Richtungen feststellt und aus den Messungsergebnissen graphisch die Richtung der Ausbiegung ermittelt.

Da stets mit einer Verschiebung des Probekörpers auf seinem Widerlager zu rechnen ist, genügt es nicht allein, die Ausbiegung der Mitte des Körpers zu bestimmen, sondern es muß ihre Bewegung gegenüber den Enden des Probekörpers festgestellt werden. In der Dresdner Versuchsanstalt werden zu diesen Messungen Zeigerapparate benutzt (s. § 175), welche an schweren Stativen befestigt werden, die ohne Berührung mit der Prüfungsmaschine auf dem Fußboden des Maschinenraumes stehen. Die Zahnstange der Apparate lehnt sich dabei unter Ausschluß jeglicher Zwischenglieder, die das Messungsergebnis trüben könnten, gegen den Probekörper und überträgt auf diese Weise die Bewegungen unmittelbar auf den Zeiger. Die Anordnung der Apparate, welche bei der Prüfung von Eisenbetonsäulen mit der Werdermaschine (§ 126) benutzt wird, ist aus Fig. 85 ersichtlich.

An Stelle der Zeigerapparate können natürlich auch andere Meßinstrumente, wie Mikrometerschrauben oder Hebelapparate, Verwendung finden. Bauschinger benutzte Hebelapparate in der aus Fig. 86 und 87 ersichtlichen Anordnung.

Eine weitere Meßvorrichtung Bauschingers ist in Fig. 88 schematisch dargestellt.



Er befestigte an dem Probekörper mit Spitzenschrauben die drei Ringe 1, 2, 3, von denen die beiden äußeren 1 und 3 eine Latte 4 trugen, die in ihrem mittleren Teile bei 5 und 6 mit feinen Millimeterteilungen versehen war. Mit zwei an dem mittleren Ringe, den Millimeterteilungen gegenüber angebrachten Mikroskopen 7 und 8 wurden alsdann die Bewegungen des Ringes 2 gegenüber den Ringen 1 und 3 abgelesen. Es

erübrigte sich bei dieser Meßmethode, die Berechnung der Ausbiegung des Probekörpers innerhalb der Meßlänge durch Subtraktion der Ablesungen an den Zeigerapparaten am Ende von denen der Zeigerapparate in der Mitte des Probekörpers festzustellen. Die Ablesungen ergaben unmittelbar die Ausbiegung der Mitte gegenüber den Enden der Meßlänge.

Die ersten den praktischen Verhältnissen angepaßten Knickversuche wurden von Bauschinger ausgeführt, der darüber in den Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königl. Technischen Hochschule in München Heft 15, Jahrg. 1887 berichtete.

## V. Scher- und Lochversuche.

### § 41. Die Schubfestigkeit.

Ein Körper ist auf Schub beansprucht, wenn die auf ihn wirkenden äußeren Kräfte in den einzelnen Körperelementen keine Normalspannungen, sondern nur solche Spannungen hervorrufen, deren Richtung mit den Ebenen der Begrenzungsflächen der Körperelemente zusammenfällt. Da diese Spannungen auf eine Verschiebung benachbarter Körperelemente gegeneinander hinwirken, werden sie im Gegensatze zu den Normalspannungen, welche dieses Bestreben nicht äußern, Schubspannungen genannt und, bezogen auf die Querschnittseinheit, mit  $\tau$  bezeichnet.

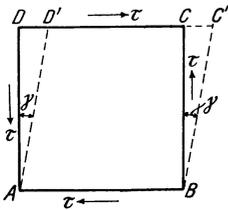


Fig. 89.

Denkt man sich aus einem stabförmigen Körper, auf den senkrecht zur Stabachse äußere Kräfte wirken, ein würfelförmiges Körperelement (Fig. 89) herausgelöst, so wird durch in den Begrenzungsflächen auftretende Schubspannungen  $\tau$  die Form des Würfels geändert, indem die ehemals rechten Kantenwinkel  $DAB$  und  $ABC$  in den spitzen Winkel  $D'A'B'$  und den stumpfen  $A'B'C'$  übergehen. Der Winkel  $DAB$  wird um den Betrag  $\gamma$  vermindert und der Winkel  $ABC$  um den gleichen Betrag vergrößert. Die Größe der Winkeländerung ergibt sich aus der Beziehung:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{DD'}{DA} = \frac{CC'}{CB}.$$

Da  $\gamma$  stets ein sehr kleiner Winkel ist, kann die Tangente gleich dem Bogen gesetzt werden, und somit ist

$$\gamma = \frac{DD'}{DA} = \frac{CC'}{CB}.$$

Diese Beziehung stellt die verhältnismäßige Verschiebung des Punktes  $D$  bzw.  $C$  gegenüber den Punkten  $A$  und  $B$  dar und wird deshalb Schiebung oder Gleitung genannt.  $\gamma$  ist somit die Strecke, um die sich zwei in der

Entfernung 1 voneinander befindliche parallele Flächen unter der Wirkung der Schubspannung  $\tau$  gegeneinander verschieben. Die Größen  $\gamma$  und  $\tau$  stehen also in unmittelbarer Beziehung zueinander, die ausgedrückt wird durch die Gleichung:

$$\gamma = \beta \cdot \tau. \tag{1}$$

$\beta$  bedeutet darin den Schubkoeffizienten, dessen Definition lautet: Der Schubkoeffizient  $\beta$  stellt diejenige Strecke dar, um welche sich zwei in der Entfernung 1 voneinander befindende parallele Flächenelemente unter Einwirkung der Schubspannung von 1 kg gegeneinander verschieben. Der reziproke Wert des Schubkoeffizienten wird als Schubelastizitätsmodul oder auch als Schubmodul bezeichnet.

Die Definitionen zeigen, daß zwischen Schiebung, Schubspannung und Schubkoeffizienten dieselben Beziehungen bestehen, wie zwischen Dehnung, Normalspannung und Dehnungskoeffizienten. Sie setzen aber auch voraus, daß der Schubkoeffizient  $\beta$  innerhalb eines gewissen Spannungsbereiches konstant ist.

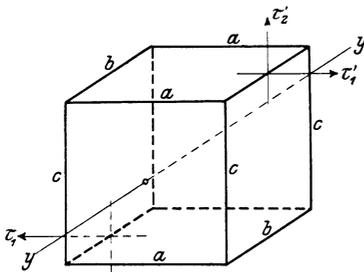


Fig. 90.

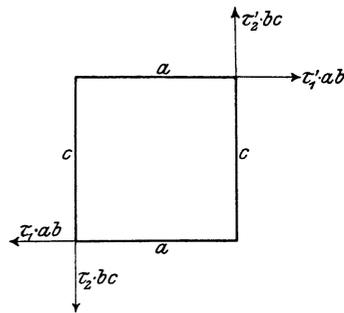


Fig. 91.

Auf das in Fig. 89 gezeichnete würfelförmige Körperelement wirkten in den Begrenzungsflächen die Schubspannungen  $\tau$ . Sie veranlaßten eine Schiebung des Würfels und waren miteinander im Gleichgewicht. Läßt man an den Kanten von der Länge  $a b c$  des Würfels (s. Fig. 90 und 91) die Schubspannungen  $\tau_1 \tau_2$  und  $\tau_1' \tau_2'$  als Kräfte, deren Resultierende gleich  $\tau_1 \cdot a b$ ,  $\tau_2 \cdot b c$ ,  $\tau_1' \cdot a b$ ,  $\tau_2' \cdot b c$  ist, wirken und stellt in bezug auf die Drehachse  $YY'$ , die parallel bzw. senkrecht zu den Würfel­flächen gerichtet ist, die Momentengleichung auf, so muß

$$\tau_1 \cdot a b \cdot \frac{c}{2} - \tau_2 \cdot b c \cdot \frac{a}{2} + \tau_1' \cdot a b \cdot \frac{c}{2} - \tau_2' \cdot b c \cdot \frac{a}{2} = 0 \text{ sein.} \tag{2}$$

Da  $\tau_1'$  bzw.  $\tau_2'$  von  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$  nur um unendlich kleine Größen voneinander verschieden sind, können die Differenzen gegenüber den endlichen Größen  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$  vernachlässigt werden, so daß in der Momentengleichung

$$\tau_1 = \tau_1' \quad \text{und} \quad \tau_2 = \tau_2'$$

gesetzt werden darf.

Dies veranlaßt, daß

$$\tau_1 - \tau_2 = 0$$

und

$$\tau_1 = \tau_2, \quad (3)$$

d. h. die beiden senkrecht zur Würfelkante  $b$  stehenden Schubspannungen  $\tau_1$  und  $\tau_2$  sind einander gleich, und wenn Gleichgewicht der inneren Kräfte herrschen soll, müssen stets beide gleichzeitig vorhanden sein.

Wird somit ein Körper auf Schub beansprucht, so treten nicht allein Schubspannungen parallel zu den äußeren Kräften auf, sondern sie werden stets durch solche begleitet, die senkrecht zu der Richtung dieser Kräfte stehen.

Infolge der parweisen Wirkung der Schubspannungen geht der in Fig. 92 dargestellte Würfelschnitt  $ABCD$  in den Rhombus  $ABC'D'$  über. Die Diagonale  $AC$  wird verlängert und die Diagonale  $BD$  verkürzt. Das Verhältnis der Schiebung zur Verlängerung ist dabei 1 : 2, so daß sich die Dehnung bezw. Zusammendrückung gleich der halben Schiebung ergibt.

Nach „Bach, Elastizität und Festigkeit“ ist der Schubkoeffizient:

$$\beta = 2 \frac{m+1}{m} \cdot \alpha, \quad (4)$$

so daß das Verhältnis des Dehnungskoeffizienten zum Schubkoeffizienten sich ergibt zu:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{m}{2(m+1)}. \quad (5)$$

Wenn  $\alpha$  und  $\beta$  durch Versuche bestimmt werden, läßt sich  $m$  für die einzelnen Materialien berechnen. In der

Regel ist  $m$  eine zwischen 3 und 4 liegende Zahl, so daß der Dehnungskoeffizient von  $\alpha = \frac{3}{8} \beta$  bis  $\frac{2}{5} \beta$  variieren kann.

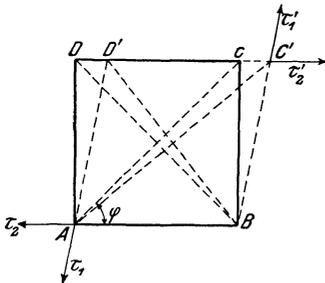


Fig. 92.

## § 42. Der Scherversuch.

Nach der gegebenen Definition der Schubbeanspruchung dürfen die äußeren Kräfte keine Normalspannungen im Innern des Probekörpers hervorrufen. Dieser Bedingung kann nur genügt werden, wenn die äußere Kraft, welche das Abschieben zweier benachbarter Querschnitte des Körpers veranlaßt, unmittelbar in der begrenzenden Querschnittsebene angreift. Praktisch ist diese Voraussetzung unerfüllbar, weil Kräfte nur durch materielle Übertragungsglieder auf einen Körper ausgeübt werden können, die selbst genügend stark dimensioniert werden müssen, um genügende Widerstandsfähigkeit zu besitzen. Nur eine Schere mit unendlich dünnen Schneiden würde eine reine Schubbeanspruchung eines Körpers hervorzurufen vermögen. Dickere Schneiden würden nach Fig. 93, sobald sie

auch nur bis zu sehr geringer Tiefe in den Körper eingedrungen sind, ein biegendes Moment  $S \cdot a$  erzeugen, dessen Größe um so mehr zunimmt, je tiefer die Schneiden eindringen.

Man ersieht hieraus, daß bei Schubversuchen mit Scheren die Schubkraft stets ein biegendes Moment hervorruft, welches reine Schubbeanspruchung unmöglich macht. Nur im Augenblick der Schneidenberührung (Fig. 94) liegt annähernd reine Schubbeanspruchung vor; diese erzeugt in dem beanspruchten Querschnitte  $f$  Schubspannungen  $\tau$ , die an allen Stellen des Querschnittes als gleichgroß zu betrachten sind.

Unter dieser Annahme ergibt sich die Größe der Schubkraft zu

$$S = \tau \cdot f, \tag{6}$$

d. h. die Schubkraft  $S$  ist gleich dem Produkte aus Schubspannung und beanspruchtem Querschnitte.

Da es, wie die obigen Ausführungen gezeigt haben, nicht möglich ist, die Schubfestigkeitskonstanten durch Schubversuche festzustellen, aber das Bedürfnis vorliegt, die Kräfte zu kennen, welche zur Trennung eines Körpers durch Scheren erforderlich sind, hat man im Materialprüfungswesen zur Vermeidung von Verwechslungen diese Art von Versuchen nicht als Schubversuche, sondern als Scherversuche bezeichnet und den dabei auftretenden Materialspannungen den Namen Scherspannungen gegeben. Als Scherfestigkeit wird alsdann der Widerstand  $\tau$ , den ein Körper dem Verschieben seiner Teilchen innerhalb eines Querschnittes entgegensetzt, bezeichnet. Die Berechnung der Spannung geschieht dabei nach Formel (6) unter der Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung über den ganzen Querschnitt.

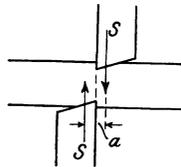


Fig. 93.

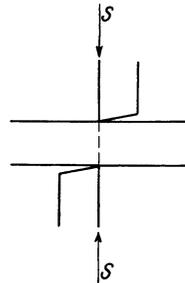


Fig. 94.

### § 43. Vorrichtungen für Scherversuche.

Eine Vorrichtung für Scherversuche nach dem Schema Fig. 94 ist in Fig. 200 § 126 dargestellt. Sie findet in Verbindung mit der Biegevorrichtung der Werdermaschine Anwendung, indem der Probekörper gegen das am Maschinengestell befestigte Messer gestützt und durch das bewegliche Messer, welches von dem Kolben der Maschine gegen den Probekörper gedrückt wird, abgeschert wird.

Zu beachten ist bei dieser Versuchsanordnung, daß das bewegliche Messer reibungslos gerade geführt und nicht einseitig belastet wird. Diese Art der Abscherung bezeichnet man als einschnittige im Gegensatze zu der nach Schema Fig. 95, wo zwei parallele Querschnitte des Probekörpers gleichzeitig beansprucht werden (zweischchnittige Abscherung).

Im allgemeinen wird bei Scherversuchen mit Metallen die letzte Anordnung, d. h. zweischnittige Abscherung benutzt. Sie bietet gegenüber

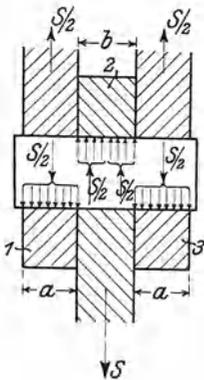


Fig. 95.

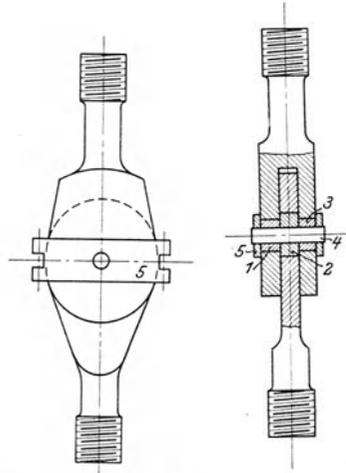


Fig. 96.

jener den Vorzug der Einfachheit, weil dabei mit zylindrischen Probekörpern operiert werden kann, deren Stützung keine Schwierigkeiten

bereitet. Eine Vorrichtung, die in Verbindung mit Zerreißmaschinen Anwendung findet, ist in Fig. 96 dargestellt.

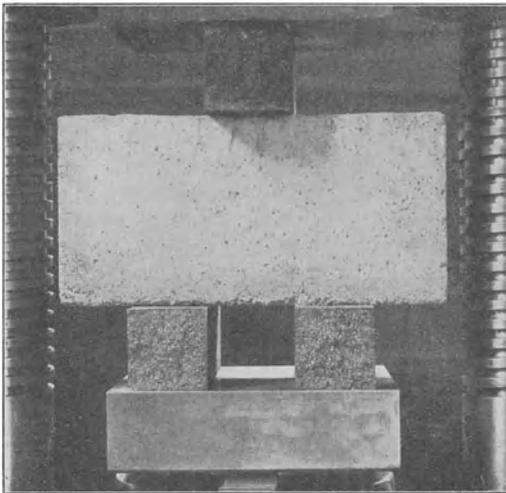


Fig. 97.

Bei ihr bestehen die kraftübertragenden Teile aus den gehärteten Stahlringen 1, 2, 3, in welche der Probekörper 4 genau eingepaßt werden muß, wenn annähernd gleichmäßige Kraftverteilung gewährleistet sein soll. Bei der

Versuchsausführung ist darauf zu achten,

daß die Stahlringe sich mit ihren Seitenflächen dicht berühren. Ist die Berührung nicht genügend gesichert, so werden durch die fortschreitende Deformation des Probekörpers die Ringe auseinandergeschoben und infolge-

dessen nicht mehr zwei unmittelbar benachbarte Querschnitte auf Abscherung beansprucht. Die Klemme 5 hat daher die Aufgabe, diese seitliche Verschiebung zu verhindern.

Bei der Prüfung von Bausteinen, Beton und dergl. gelangt auch eine Vorrichtung nach Fig. 97 zur Verwendung.<sup>1)</sup>

#### § 44. Berechnung der Scherfestigkeit.

Die Berechnung der Versuchsergebnisse erfolgt bei beiden Vorrichtungen nach der gleichen Methode unter Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung über beide beanspruchte Querschnitte. Bezeichnet  $f$  den Querschnitt des zylindrischen Probekörpers, so ergibt sich die Scherfestigkeit  $\tau_s$  aus der Scherkraft  $S$  zu:

$$\tau_s = \frac{S}{2f}. \quad (7)$$

Will man auch das beim Abscheren auftretende Biegemoment bei der Berechnung berücksichtigen, so muß man von der Betrachtung ausgehen, daß im Augenblicke der Berührung der Scherbacken mit dem Probekörper eine Kraftverteilung nach Fig. 95 vorliegt. Die auf den mittleren Backen 2 wirkende Scherkraft  $S$  verteilt sich gleichmäßig über die Backenbreite und erzeugt auf den als Widerlager dienenden äußeren Backen 1 und 3 ebenfalls gleichmäßig verteilte Stützdrücke. Die Größe des dadurch im mittleren Querschnitte des Probekörpers wachgerufenen Biegemomentes ergibt sich nach

$$M_b = \frac{S}{2} \left( \frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - \frac{S}{2} \cdot \frac{b}{4}$$

$$\text{zu} \quad M_b = \frac{S}{4} \left( a + \frac{b}{2} \right). \quad (8)$$

Dieses Moment wirkt jedoch, wie vorausgeschickt, nur im Augenblicke der ersten Berührung der Scherbacken. Beginnt dagegen der Körper sich infolge des Biegemomentes zu verbiegen, so heben sich die Enden des Probekörpers, wenn auch nur in geringem Maße, innerhalb der Lose in den Scherbacken von ihren Widerlagern ab, und die Resultierende der Stützdrücke rückt um so weiter nach der Mitte, je größer die Biegung innerhalb der Scherbacken möglich ist.

Gelangen schließlich die Enden des Probekörpers an den gegenüberliegenden Innenseiten der Scherbacken zum Anliegen, so entstehen dort Widerlagerdrücke und Reibungskräfte, welche in bezug auf den mittelsten Querschnitt des Probekörpers dem ersteren entgegengesetzt wirkende Biegemomente erzeugen. Ihre Größe läßt sich allerdings

<sup>1)</sup> Näheres s. Mörsch, Scher- und Schubfestigkeit des Eisenbetons (Schweizerische Bauzeitung Bd. XLIV, No. 26 und 27) sowie Beton und Eisen, 1906, S. 289, und Mörsch, Der Eisenbetonbau, 1906.

rechnerisch nicht ermitteln, aber durch Versuche so weit feststellen, daß behauptet werden darf, die Vereinigung beider Momente ergibt im Augenblicke des Bruches ein Moment, dessen Größe annähernd gleich dem oben abgeleiteten ist. Selbstverständlich läßt sich diese Behauptung nur mit spröden Körpern beweisen, welche bereits durch geringe Biegung zum Bruche gebracht werden können.

Prüft man Gußeisen oder harten Stahl nach dem Schema Fig. 95, so macht sich der Eintritt des Biegungsbruches durch Geräusch bei einer Kraft bemerkbar, welche nur wenig von der nach Gleichung (8) berechneten Biegekraft abweicht. Je nach der Sprödigkeit des Materials ist der Bruch des Körpers vollständig oder teilweise. Bei Gußeisen, Bronze, Hartkupfer zerreißen gewöhnlich nur die Fasern auf der Zugseite, während im übrigen der Zusammenhang des Körpers gewahrt bleibt. Wird nach Eintritt des Biegungsbruches die Scherkraft  $S$  (Fig. 95) weiter gesteigert, so erfolgt schließlich die zweiseitige Trennung des Probekörpers in derselben Weise wie bei formbaren Materialien. Die auf diese Weise ermittelte Scherfestigkeit ist etwa 30% größer als die aus Torsionsversuchen ermittelte Schubfestigkeit desselben Materials.

#### § 45. Bruchformen beim Scherversuch.

In Fig. 98 und 99 sind Bruchstücke von Probekörpern, die dem Scherversuche unterworfen wurden, abgebildet.

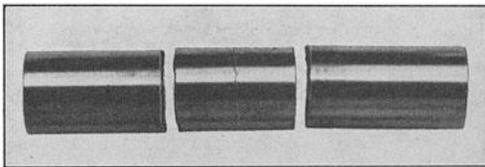


Fig. 98.

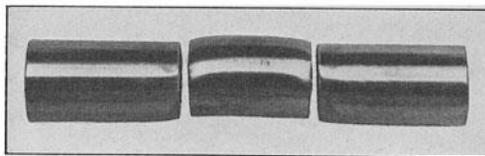


Fig. 99.

Die Bruchstücke Fig. 98, welche aus Gußeisen bestehen, zeigen deutlich den Biegebruch im mittleren Stabteile, während die Stücke Fig. 99 neben der Form der Scherflächen auch die starken Deformationen erkennen lassen, welche formbare Materialien, im vorliegenden Falle Flußeisen, vor Eintritt des Abscherens erleiden.

#### § 46. Bedeutung des Scherversuches.

Wie die Erläuterungen gezeigt haben, besitzen Scherversuche für das eigentliche Materialprüfungswesen nur untergeordnete Bedeutung. Die dabei ermittelten Zahlenwerte können als Festigkeitszahlen bei Berechnung von Konstruktionsteilen keine Verwendung finden, weil die neben den

Schubspannungen auftretenden Biegungsspannungen überwiegen und somit in erster Linie für die Sicherheit des Bauwerkes maßgebend sind. Wenn deshalb ein Konstruktionsteil auf Abscherung beansprucht erscheint, ist stets zu prüfen, ob nicht die auftretenden Biegungsspannungen gefährlicher sind als die Scherspannungen.

Dagegen sind die Scherfestigkeitszahlen wertvoll für den Konstrukteur von Scheren, der zur Berechnung der Übersetzungsverhältnisse von Hebel-scheren oder zur Bemessung der Zylinder von hydraulisch betriebenen Scheren Unterlagen benötigt.

### § 47. Der Lochversuch.

Ein Sonderfall des Scherversuches ist der Lochversuch. Auch er dient nicht zur Ermittlung irgendwelcher Materialeigenschaften, obgleich er für diesen Zweck bereits mehrfach als Ersatz für den Zerreißversuch in Vorschlag gebracht wurde, sondern er besitzt nur insofern besonderes Interesse, als er die Unterlagen zur Berechnung der Abmessungen von Stanzen liefert.

Im allgemeinen ist der Vorgang des Lochens bzw. des Stanzens der gleiche wie beim Scheren, nur wird dabei nicht die Trennung eines Körpers durch Zerschneiden bewirkt, sondern es wird aus einem Körper nach örtlicher Verdichtung des Materials mit einem Stempel, ein der Stempelgröße entsprechendes Stück herausgeschert. Den Stempel nennt man bei den dazu verwendeten Vorrichtungen ebenso wie bei den Stanzen die Patrize und die mit entsprechender Höhlung versehene Unterlage die Matrize. Da die Hohlform der Matrize gegenüber der äußeren Form der Patrize zur Erzielung geeigneter Wirkung größer gemacht werden muß, treten auch beim Lochversuche Biegungsbeanspruchungen des Probekörpers auf, die noch von besonderen Druckspannungen begleitet werden. Beim Auftreffen des Stempels tritt wie beim Scherversuche erst eine Verdichtung des Materials auf einer Fläche ein, welche dem Stempelquerschnitte entspricht. Es entsteht auf dem zu lochenden Körper eine Vertiefung, deren Ränder nach der Körperoberfläche zu scharf gekrümmt sind, und erst wenn die lochende Kraft eine derartige Größe erlangt hat, daß die dadurch hervorgerufene Materialspannung gleich der Abscherfestigkeit des Materials ist, erfolgt das Ausstoßen des Putzens.

Durchschneidet man ein gelochtes Blech, z. B. Schweißblech, in Richtung eines Lochdurchmessers und ätzt die vorher glatt geschliffene Schnittfläche mit einer schwachen Säure, so erkennt man deutlich die Formänderungen, welche das Blech in der Lochbegrenzung erlitten hat. Die einzelnen Materialfasern sind nicht nur verbogen, sondern auch durch feine Risse getrennt worden, die oft bis auf größere Strecken vom Lochrande aus in das Material des Bleches verlaufen.

Eine vom Verfasser konstruierte, in der Dresdner Versuchsanstalt benutzte Vorrichtung zur Ausführung von Lochversuchen ist in Fig. 100

dargestellt. Sie besteht aus dem Gehäuse 1, welches in der Mitte mit einer Bohrung versehen ist, an deren oberem Ende ein gehärteter und geschliffener Stahlring 2, die Matrize, angeordnet ist. Der Probekörper 3 wird mit der Schraube 4 gegen die Matrize gepreßt und schließlich durch den Stempel 5, welcher kreisrunden Querschnitt besitzt, beansprucht. Die Löcher 6 bzw. 7 dienen zum Angriff von Hackenschlüsseln zwecks Lösen oder Zusammenschrauben der Vorrichtung. Die Schraube 4 hat den Zweck, den Stempel gerade zu führen und außerdem das Aufbiegen des Probekörpers zu verhindern. Die Bohrung der Matrize 2 ist konisch und außerdem am oberen Ende 0,5 mm weiter als der Stempeldurchmesser. Die Konizität begünstigt das Austreten des ausgelochten Materials, indem

sie seine Ausdehnung gestattet. Zu den Vorrichtungen sind Stempel mit 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 cm Durchmesser vorhanden, zu denen Matrizen mit 1,05, 1,55, 2,05, 2,55, 3,05 cm Weite gehören.

Die Benutzung der Vorrichtung geschieht in der Weise, daß das Gehäuse auf die eine Preßplatte einer Materialprüfungsmaschine für Druckversuche gesetzt und der Stempel unter Vermittelung der anderen Preßplatte durch den Krafterzeuger belastet wird. Die Kraftanzeige der Prüfungsmaschine entspricht alsdann der zum Lochen erforderlichen Kraft. Wie bei allen Materialprüfungen ist auch beim Lochversuche mit gleich-

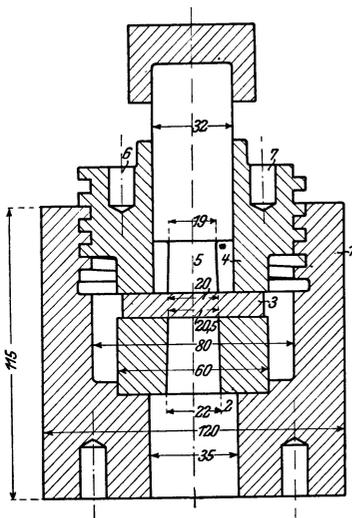


Fig. 100.

bleibender Geschwindigkeit zu belasten, da die Deformationen, welchen das Material unterworfen wird, eine gewisse Zeit zur Ausbildung benötigen.

#### § 48. Berechnung der Lochfestigkeit.

Die Berechnung der Lochfestigkeit geschieht unter denselben Voraussetzungen wie die der Scherfestigkeit nach der Beziehung

$$S_L = \tau_L \cdot f,$$

worin  $S_L$  die zum Lochen erforderliche Kraft,  $f = d \cdot \pi \cdot s$  den beim Lochen abgesicherten Querschnitt und  $\tau_L$  die Lochfestigkeit bedeutet.

Stellt man die Lochfestigkeit  $\tau_L$  für verschiedene Blechdicken  $s$  fest und führt dieselbe Versuchsreihe unter Verwendung von Matrizen verschiedener Weite durch, so ergeben die Versuche wesentlich voneinander abweichende Werte. Erhöhung der Dicke des Probekörpers liefert höhere Lochfestigkeit, und Vergrößerung des Matrizendurchmessers verringert sie.

Es soll hier noch erwähnt werden, daß der Lochversuch nicht identisch ist mit der Lochprobe, die zu den technologischen Proben gehört und weiter unten (s. § 74) behandelt werden wird.

## VI. Verdrehungsversuche.

### § 49. Die Verdrehungsfestigkeit.

Ein stabförmiger Körper ist auf Verdrehung beansprucht, wenn die auf ihn wirkenden äußeren Kräfte in jedem Querschnitt nur ein Kräftepaar erzeugen, dessen Ebene senkrecht zur Längsachse des Körpers steht.

Der zylindrische Körper (Fig. 101) mit der Achse  $AB$  sei bei  $A$  eingespannt und am freien Ende  $B$  durch das Kräftepaar  $PP$  beansprucht. Durch das Kräftepaar wird im Querschnitt  $A$  des Stabes ein Moment wachgerufen, welches mit dem des Kräftepaares im Gleichgewichte steht. Die einzelnen Stabquerschnitte werden gegeneinander verdreht, so daß jede

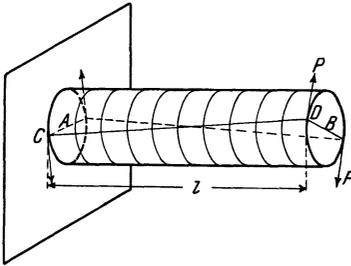


Fig. 101.

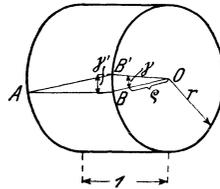


Fig. 102.

Mantellinie  $CD$  des Zylinders in eine Schraubenlinie übergeht, die beweist, daß gleichweit voneinander abstehende Querschnitte um gleichviel gegeneinander verdreht werden.

Parallelkreise auf der Oberfläche des Probestabes ändern ihr Aussehen bei der Verdrehung nicht, sie bleiben parallel, und weisen somit nach, daß die einzelnen Stabquerschnitte auch nach der Verdrehung eben bleiben und ihre senkrechte Lage zur Stabachse beibehalten.

Betrachtet man die Formänderung des in Fig. 102 dargestellten Stückes des Probestabes von der Länge  $l$ , so ergibt sich, daß die Mantellinie  $AB$  des Stabes die Lage  $AB'$  eingenommen und der Punkt  $B$  sich somit um die Strecke  $BB' = \gamma'$  verschoben hat. Diese Strecke  $\gamma'$  heißt Schiebung und steht in unmittelbarer Abhängigkeit von der Größe des Momentes des äußeren Kräftepaares. Durch die Verdrehung des Stabes ist der Radius  $OB$  in die Lage  $OB'$  übergegangen, und jeder Punkt des Radius  $OB$  hat sich um eine Strecke verschoben, die seinem Abstände  $\rho$  vom Querschnittsmittelpunkte proportional ist.

Es ist  $\gamma : \gamma' = \varrho : r$ ,

mithin  $\gamma = \gamma' \cdot \frac{\varrho}{r}$ . (1)

Nach Gleichung (1) (§ 41) ist für einen beliebigen Punkt des Radius  $OB$  im Abstände  $\varrho$  von der Achse des Stabes die der Schiebung entsprechende Schubspannung  $\tau = \frac{\gamma}{\beta}$ ,

und für den Punkt  $B$   $\tau' = \frac{\gamma'}{\beta}$ ,

da  $\gamma = \gamma' \cdot \frac{\varrho}{r}$ ,

ist  $\tau = \frac{\gamma'}{\beta} \cdot \frac{\varrho}{r}$ . (2)

Die Richtung der Schubspannung  $\tau$  steht senkrecht auf dem Querschnittsradius und ist proportional dem Abstände von der Stabachse, wenn  $\beta$  konstant ist. Die Verteilung der Schubspannungen läßt sich somit durch eine Gerade  $BB''$  bzw.  $CC''$  (Fig. 103) darstellen, worin  $CC'' = \tau$  und  $BB'' = \tau'$  ist. Ist dagegen  $\beta$  veränderlich, so ist die Spannungskurve keine Gerade, sondern eine gekrümmte Kurve, die ihre konvexe Seite der Geraden  $BO$  zu- oder abkehrt, je nachdem, ob die Schiebungen schneller oder langsamer wachsen als die Schubspannungen.

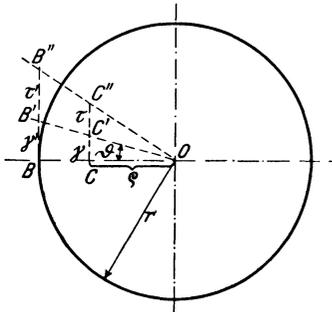


Fig. 103.

Da innere Kräfte, d. s. die Schubspannungen, sich mit dem Momente  $M_a$  des äußeren Kräftepaars im Gleichgewicht befinden müssen, ist

$$M_a = \int \tau \cdot df \cdot \varrho, \quad (3)$$

worin  $df$  das in  $C$  liegende Flächenelement bezeichnet. Setzt man

$$\tau = \frac{\gamma'}{\beta} \cdot \frac{\varrho}{r},$$

so ist

$$M_a = \frac{\gamma'}{r} \int \frac{1}{\beta} \cdot \varrho^2 \cdot df.$$

Unter der Voraussetzung, daß  $\beta$  konstant ist, ergibt sich alsdann

$$M_a = \frac{\gamma'}{r \cdot \beta} \cdot \int \varrho^2 \cdot df; \quad (4)$$

$\int \varrho^2 \cdot df$  stellt das polare Trägheitsmoment des Stabquerschnittes dar, welches gleich der Summe beider äquatorialen Trägheitsmomente, bezogen auf die beiden Hauptachsen des Querschnittes, ist. Es ist somit

$$M_a = \frac{\gamma'}{r \cdot \beta} \cdot (\theta_1 + \theta_2), \quad M_a = \frac{\tau'}{r} \cdot (\theta_1 + \theta_2). \quad (5)$$

$$M_a = \frac{\gamma'}{r \cdot \beta} \cdot \theta_p, \quad M_a = \frac{\tau'}{r} \cdot \theta_p. \quad (6)$$

Verdrehungsversuche zur Ermittlung der Materialkonstanten werden mit zylindrischen Probestäben ausgeführt. Das polare Trägheitsmoment des Stabquerschnittes ist dabei in Anbetracht von Gleichung (3) (§ 32):

$$\theta_p = \theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{64} d^4 + \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{32} d^4. \quad (7)$$

Demnach 
$$M_a = \frac{\tau'}{r} \cdot \frac{\pi}{32} d^4,$$

$$M_a = \tau' \cdot \frac{\pi}{16} d^3.$$

Mithin 
$$\tau' = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{M_a}{d^3}, \quad (8)$$

d. h. die Bruchspannung läßt sich berechnen, wenn die Prüfungsmaschine das Drehmoment im Augenblicke des Bruches anzeigt.

Für Bestimmung des Schubkoeffizienten muß die Verdrehung gemessen werden, welche zwei um die Entfernung 1 voneinander abstehende parallele Querschnitte durch das Drehmoment erleiden. Nach Fig. 103 ist der Verdrehungswinkel

$$\vartheta = \frac{\gamma'}{r},$$

d. h. der Verdrehungswinkel ist gleich der Schiebung an der Oberfläche des Stabes, dividiert durch den Radius des Probestabes.

Unter Benutzung von Gleichung (6) ergibt sich alsdann:

$$M_a = \vartheta \cdot \frac{\theta_p}{\beta}.$$

Also 
$$\beta = \frac{\vartheta \cdot \theta_p}{M_a},$$

$$\vartheta = \frac{\vartheta \cdot d^4 \pi}{M_a \cdot 32}. \quad (9)$$

Da die der Messung zugängliche Schiebung  $\gamma'$  zweier um 1 voneinander entfernten Querschnitte an der Oberfläche des Probestabes einen sehr kleinen Wert besitzt, wird zur Verkleinerung des Messungsfehlers die Schiebung an einer größeren Länge  $l$  des Probestabes festgestellt. Unter der oben gemachten Voraussetzung, daß alle gleichweit voneinander abstehenden Querschnitte des Probestabes sich um gleiche Winkel gegeneinander verdrehen, ist der Verdrehungswinkel:

$$\gamma = \frac{\mathcal{J}_l}{l}$$

und somit 
$$\beta = \frac{\mathcal{J}_l \cdot d^4 \cdot \pi}{M_a \cdot l \cdot 32} \quad (10)$$

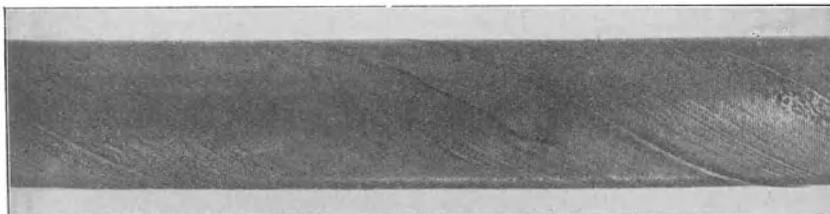


Fig. 104.

Da nach Gleichung (3) (§ 41) die Schubspannungen stets paarweise auftreten, müssen außer den in den einzelnen Querschnittsebenen wirkenden Spannungen auch solche auftreten, die auf Abschieben der Stabelemente parallel zur Stabachse hinwirken. Bei geschichteten Materialien, wie Schweißeisen und dergl., bei denen die Schubfestigkeit des Materials parallel zur Faserrichtung geringer ist als senkrecht dazu, macht sich die Wirkung dieser Spannungen durch Risse an der Oberfläche des Probstabes bemerkbar (Fig. 104). Die

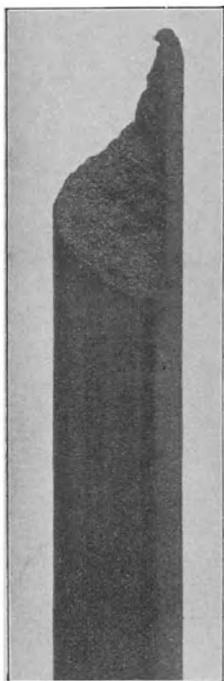


Fig. 105.



Fig. 106.

Risse stellen die Schweißnähte dar, deren Zusammenhang infolge der zwischenliegenden Oxydschicht bereits durch geringe Beanspruchungen gelöst wird.

### § 50. Bruchformen beim Verdrehungsversuch.

Bei spröden, wenig formbaren Materialien, wie Glas, Gußeisen und dergl. erfolgt der Bruch des Probstabes auf einer Schraubenfläche, die  $45^\circ$  zur Stabachse geneigt ist (s. Fig. 105, Gußeisen).

Zur Erklärung dieser Bruchform kann die in § 41 gegebene Erläuterung benutzt werden, wonach die Schubspannungen von Normalspannungen begleitet sind, deren Richtung mit der Richtung der Schubspannungen einen Winkel von  $45^{\circ}$  einschließen. Da bei den genannten spröden Materialien die Dehnbarkeit sehr gering ist, wird durch die auftretenden oben genannten Normalspannungen die Trennung der Stabelemente in Richtung der Diagonalen der Verkürzungen bewirkt, deren geometrischer Ort eine Schraubenfläche ist.

Zylindrische Körper aus formbaren Materialien, wie Flußeisen, weisen eine Bruchform auf (Fig. 106), die sich als ebene Fläche senkrecht zur Stabachse darstellt. Bei diesen Materialien wird der Bruch durch die Schubspannungen veranlaßt, da die Dehnungsfähigkeit des Materials sehr groß ist und ein Zerreißen der Körperelemente infolge zu starker Dehnung ausgeschlossen ist.

#### § 51. Einfluß der Querschnittsform des Probestabes.<sup>1)</sup>

Allen vorausgegangenen Erörterungen lag die Annahme zugrunde, daß die Stabquerschnitte auch nach erfolgter Verdrehung noch eben sind und daß der Schubkoeffizient konstant ist.

Beide Voraussetzungen sind jedoch bei nur wenigen Materialien erfüllt. Die erste Voraussetzung gilt überhaupt nur für Probestäbe mit kreisförmigem Querschnitt. Unterwirft man nämlich einen zylindrischen Probestab, dessen Oberfläche durch Parallelkreise und Längslinien in Quadrate geteilt ist, dem Verdrehungsversuche, so gehen die Quadrate in Rhomben über (s. Fig. 107), ohne daß die Parallelkreise ihre Lage ändern; nur die Längslinien nehmen die Form von Schraubenlinien an.

Anders dagegen verhält sich ein in gleicher Weise behandelter Stab mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitte. Die Quadrate nehmen ebenfalls rhombische Gestalt an, aber nicht in der Weise, daß alle Rhomben gleiche Winkel besitzen wie beim zylindrischen Stabe, sondern mit der Abweichung, daß die Rhombenwinkel dem rechten Winkel um so mehr gleichkommen, je näher der Rhombus der Stabkante liegt. Die ehemals geraden Querlinien am rechteckigen Probestabe nehmen die aus Fig. 108

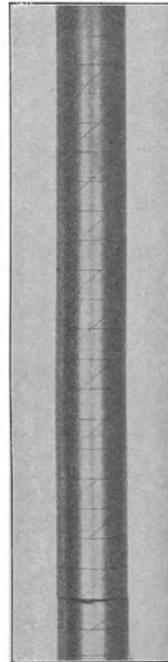


Fig. 107.

<sup>1)</sup> Bach, Versuche über die Drehungsfestigkeit von Körpern mit trapezförmigem und dreieckigem Querschnitt (Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 33, S. 71).

und 109 ersichtliche Form an, welche darauf hinweist, daß die Schiebung, d. i. die Änderung des rechten Winkels (s. § 41), an den Kanten des Probestabes Null und in der Mitte der breiteren Querschnittsseite (Fig. 109) ein Maximum ist. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß die Spannungsverteilung über den Stabquerschnitt nicht gleichmäßig erfolgt, sondern daß die Schubspannung an dem Punkte der Staboberfläche am größten ist, welcher der Stabmitte am nächsten liegt. Die Formänderung der Querlinien beweist ferner, daß die einzelnen Stabquerschnitte nicht wie beim zylindrischen Stabe eben geblieben sind, sondern sich gewölbt haben.

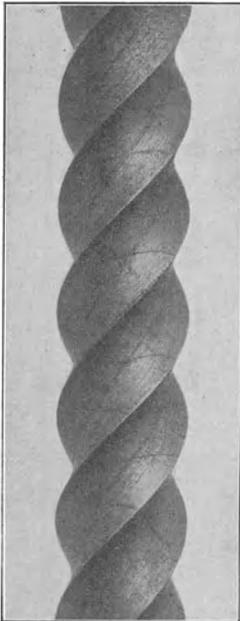


Fig. 108.

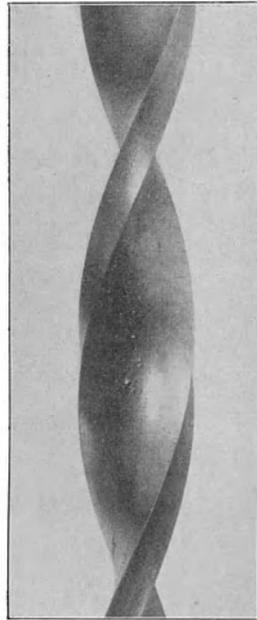


Fig. 109.

Während beim rechteckigen Probestabe nur die beiden Symmetrieachsen des Querschnittes in einer Ebene verbleiben und die übrigen Flächenteile die Krümmung erleiden, behalten bei Probestäben mit quadratischem Querschnitt auch die Querschnittsdiagonalen ihre Lage gegenüber den Symmetrieachsen bei. Bei Stäben mit quadratischem Querschnitt sind darum auch die Schiebungen und Schubspannungen in beiden Seitenmitten gleichgroß.

Auf Grund einer großen Reihe von Versuchen, die Bach zum Studium des Einflusses der Querschnittsform auf die Verdrehungsfestigkeit angestellt hat, empfiehlt er, um diesem Einflusse Rechnung zu tragen, in Gleichung (6, § 49) den Berichtigungskoeffizienten  $\varphi$  einzuführen. Die

Gleichung (6) besagt, daß das Drehmoment gleich dem Produkt aus Schubspannung und der Summe beider Hauptträgheitsmomente dividiert durch den Abstand der am stärksten gespannten Materialfaser ist, d. h. für den kreisförmigen Querschnitt, da beide Hauptträgheitsmomente gleich sind:

$$M_d = \frac{\tau'}{r} \cdot 2 \theta.$$

Allgemein 
$$M_d = \varphi \cdot \frac{\tau'}{r} \cdot \theta.$$

Hierin bedeutet  $\varphi$  den Berichtigungskoeffizienten.

Es ist nach Bach:

$\varphi = 2$ , für den kreisförmigen und kreisringförmigen sowie für den elliptischen Querschnitt, und

$\varphi = \frac{8}{3}$  für den rechteckigen Querschnitt;

$\theta$  bedeutet das kleinere der beiden Hauptträgheitsmomente und

$r$  den Abstand der am stärksten gespannten Materialfaser, d. i. die der Stabmitte am nächsten liegende Faser der Staboberfläche.

### § 52. Formänderungen beim Verdrehungsversuche.

Die Ausführung von Verdrehungsversuchen geschieht in der Regel derart, daß das verdrehende Moment stufenweise gesteigert und neben dem Drehmomente der zu jeder Stufe gehörige Verdrehungswinkel gemessen wird. Trägt man die Versuchsergebnisse graphisch auf, indem man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die den Drehmomenten entsprechenden Schubspannungen als Funktion der Schiebungen einzeichnet, so ergibt sich für formbare Materialien mit konstantem Schubkoeffizienten  $\beta$  eine Kurve (Fig. 110), die den Spannungs-Dehnungsdiagrammen bei durch Normalspannungen beanspruchten Stäben ähnlich ist. Die ausgezeichneten Punkte heißen:  $P$  = Proportionalitätsgrenze,  $D$  = Drehgrenze,  $B$  = Bruchgrenze;  $\tau_p$ ,  $\tau_d$ ,  $\tau_{max}$  bzw.  $\gamma_p$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_{max}$  sind die zugehörigen Schubspannungen bzw. Schiebungen. Da der Schubkoeffizient  $\beta$  nur aus den elastischen Schiebungen berechnet werden kann, müssen die elastischen Verdrehungen ermittelt werden. Ebenso ist zur Feststellung der Elastizitätsgrenze die Messung der bleibenden Verdrehungen erforderlich. Der Verlauf der Kurven für die elastischen und bleibenden Formänderungen ist ähnlich. Es erübrigt sich jedoch, die

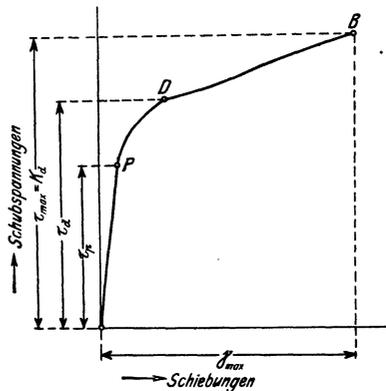


Fig. 110.

Messung der elastischen Formänderungen über die Proportionalitätsgrenze hinaus auszudehnen, da die Voraussetzungen, welche der Ableitung des Schubkoeffizienten zugrunde gelegt wurden, nur so lange erfüllt sind, als Proportionalität zwischen Schubspannung und Schiebung besteht.

Da die Rückbildung der stattgehabten Formänderung in jedem Falle eine gewisse Zeit benötigt und desto langsamer vonstatten geht, je mehr sie sich der ursprünglichen Form nähert, machen sich auch hier Nachwirkungen bemerkbar, die bei Versuchen nur durch genügend lange Dauer der Entlastung mit genügender Annäherung ausgeschaltet werden können.

Die zur Verdrehung des Probestabes aufgewendete Formänderungsarbeit ergibt sich aus dem Spannungs-Schiebungsdiagramm durch Bestimmung seines Inhaltes unter Berücksichtigung des Maßstabes, in dem das Diagramm gezeichnet wurde, in gleicher Weise wie im § 14 erläutert.

### § 53. Beispiel eines Verdrehungsversuches zur Ermittlung der Materialkonstanten s. Tabelle S. 105.

### § 54. Einspannung der Probestäbe beim Verdrehungsversuch.

Zur Befestigung der Probestäbe in den Materialprüfungsmaschinen bedient man sich der in Fig. 111—113 dargestellten Vorrichtungen. Die

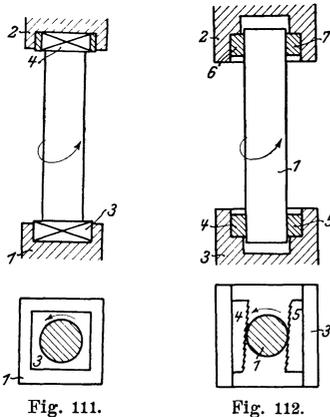


Fig. 111.

Fig. 112.

älteste Art der Einspannung ist die nach Fig. 111, welche bereits Bauschinger benutzte und die auch Bach für seine Verdrehungsversuche mit Gußeisen aufnahm. Sie besteht aus den mit quadratischen Aushöhlungen versehenen Einspannköpfen 1 und 2, in die die Köpfe 3 und 4 der Probestäbe unmittelbar oder unter Verwendung von Beilagen eingesetzt werden. Die Benutzung solcher Probestäbe empfiehlt sich jedoch nur bei Versuchen mit gegossenen Materialien, wenn sie unmittelbar in

der benötigten Form hergestellt werden können. Ist man gezwungen, zylindrische Probestäbe ohne Köpfe zu verwenden, so geschieht ihre Befestigung mit Beißkeilen nach Fig. 112.

Der Probestab 1 wird in der Mitte der Einspannköpfe 2 und 3 angeordnet und durch die Beißkeile 4 und 5 bzw. 6 und 7 eingeklemmt. Infolge des auf den Stab wirkenden Drehmomentes dringen die Zähne der Beißkeile in das Material ein und fassen den Stab um so fester, je mehr das Drehmoment wächst. Wegen der Hinderung der Deformation durch die Beißkeile erfolgt bei solchen Stäben in der Regel der Bruch unmittelbar neben den Einspannstellen. In der Dresdner Versuchsanstalt werden daher bei Verdrehungsversuchen zur Ermittlung der Material-

**Verdrehungsversuch mit Messung der Schiebungen.**

Maschine: Amsler-Laffon & Sohn.

Material: Flußstahl.

Stabform: Proportionalzerreistab.

Feinmeßinstrument: Spiegelapparat.

Halbmesser des Probestabquerschnittes  
 $r = 1,25$  cm.

Feinmeßlänge  $l = 19$  cm.

Skalenabstand  $A = 115$  cm.

Polares Trägheitsmoment  $\Theta_p =$   
 $3,836$  cm<sup>4</sup>.

Skalenablesung mm.

Umsetzungsverhältnis  $n = \frac{\gamma}{a} = \frac{r}{2A}$ .

Drehmoment $M_a$ mkg	Ablesung unten mm	Ablesung oben mm	Gesamte Ver- drehung der Meßlänge	Elastische Ver- drehung der Meßlänge $a$	Berechnungen.
10	0	0	0		<p><b>I. Elastische Eigenschaften.</b></p> <p><math>a</math> pro 5 mkg ausgeglichen = 6,86.</p> <p>Schiebung:  <math>\gamma = \beta \cdot \tau</math>  <math>\gamma_1 = \frac{a \cdot r}{2 \cdot A \cdot l} =</math>  <math>= \frac{0,686 \cdot 1,25}{230 \cdot 19} = 0,000196,</math></p> <p>wenn  <math>\tau_1 = \frac{r \cdot M_a}{\Theta_p} = \frac{1,25 \cdot 500}{3,836} =</math>  <math>= 163,1</math> kg/qcm.</p> <p><math>\beta = \frac{1}{G} = \frac{\gamma_1}{\tau_1} = \frac{0,000196}{163,1} =</math>  <math>= \frac{1}{832000}</math>.</p> <p><b>II. Gtezahlen.</b></p> <p>Spannung an d. Fließgrenze  <math>\tau_f = \frac{r \cdot M_{af}}{\Theta_p} =</math>  <math>= \frac{1,25 \cdot 6800}{3,836} = 2217</math> kg/qcm.</p> <p>Spannung a. d. Bruchgrenze:  <math>K a = \tau_{max} = \frac{r \cdot M_{a,max}}{\Theta_p} =</math>  <math>= \frac{1,25 \cdot 17200}{3,836} = 5670</math> kg/qcm.</p> <p>Gesamte Verdrehung von  1 cm Meßlänge = 97°.</p>
15	14,9	7,8	7,1	7,0	
10	3,1	3,0	0,1		
20	29,8	15,7	14,1	13,9	
10	6,0	5,8	0,2		
25	44,0	22,9	21,1	20,8	
10	8,2	7,9	0,3		
30	57,8	29,8	28,0	27,7	
10	10,3	10,0	0,3		
35	71,9	37,0	34,9	34,5	
10	12,6	12,2	0,4		
40	85,7	43,8	41,9	41,4	
10	14,4	13,9	0,5		
45	98,9	50,0	48,9	48,3	
10	15,6	15,0	0,6		
50	113,2	56,9	56,3	55,1	
10	18,4	17,2	1,2		
55	126,9	63,2	63,7	61,9	
10	20,4	18,6	1,8		
60	142,1	69,9	72,2	68,7	
10	23,5	20,0	3,5		
65	159,1	76,2	82,9	75,6	
10	29,4	22,1	7,3		
68	Fließgrenze				
172	Bruchgrenze				

konstanten Zerreiprobestbe in Normalform (s. S. 27) benutzt, deren Köpfe in der oben beschriebenen Weise in der Maschine befestigt werden. Bei solchen Stäben liegt die Bruchstelle stets im zylindrischen Teile.

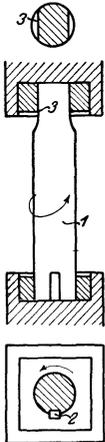


Fig. 113.

An einigen Prüfungsstellen werden auch Einspannvorrichtungen nach Fig. 113 benutzt, bei denen die Befestigung des Stabes 1 mit Feder und Nut 2 oder mit Abflachungen 3 an den Enden geschieht. Diese Vorrichtungen bewirken jedoch Schwächungen des Probestabes, die den Bruch an diesen Stellen zur Folge haben.

### § 55. Messung der Formänderung.

Die Messung des Verdrehungswinkels geschieht im allgemeinen durch Zeiger- oder Spiegelapparate. In Fig. 114 ist ein Zeigerapparat dargestellt, der unmittelbar die durch Verdrehung des Stabes bewirkte Verschiebung der Klemme 1 gegenüber der Klemme 2 durch den Zeiger 4 am Gradbogen 3 abzulesen gestattet. Die Vorrichtung ist brauchbar, solange es sich darum handelt, größere Verdrehungswinkel zu messen. Ungeeignet wird sie jedoch, sobald die Größe kleiner Verdrehungswinkel bestimmt werden soll, wie es bei Messungen zur Ermittlung des Schubkoeffizienten erforderlich ist.

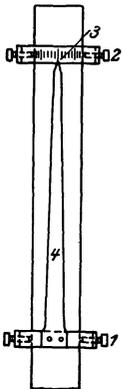


Fig. 114.

Bauschinger benutzte dazu zwei Fernrohre, die nach Fig. 115 durch Klemmen an dem Probestabe 1 derart befestigt waren, daß die optischen Achsen der Fernrohre 2 die Stabachse senkrecht kreuzten. Er stellte den Fernrohren gegenüber Skalen 3 auf, an denen die Verdrehung der zwischen beiden Fernrohrklemmen liegenden Meßstrecke festgestellt werden konnte. Infolge des verhältnismäßig großen Gewichtes der Fernrohre eignet sich die Vorrichtung nur zur Anbringung an Stäben größerer Abmessungen.

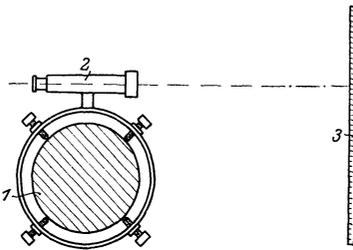


Fig. 115.

Die einfachste Vorrichtung, welche sich an Stäben aller Abmessungen und bei allen Maschinenformen benutzen laßt, besteht aus zwei Spiegeln mit Klemmen, die am Stabe in einer gewissen als Meßstrecke dienenden Entfernung befestigt und deren gegenseitige Verdrehung mit Ablesefernrohren und Skalen festgestellt wird.

Die Vorrichtung ist aus Fig. 116 ersichtlich. Das Übersetzungsverhältnis kann beliebig durch Vergrößerung der Skalenentfernung vergrößert werden. Es ergibt sich der Verdrehungswinkel  $\alpha$  des Stabes gegenüber dem Fernrohrstandpunkt aus der Beziehung:

$$\alpha = \frac{a}{2A};$$

$a$  bedeutet hierin die Ablesung an der kreisförmig gekrümmten Skala und  $A$  den Abstand der Stabmitte von der Skala.

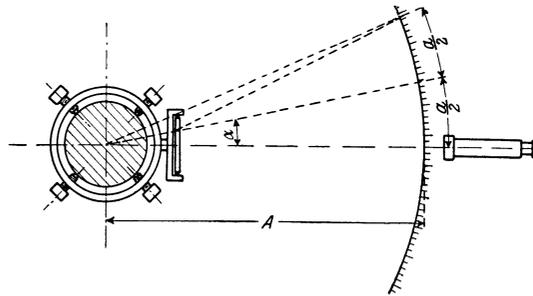


Fig. 116.

## VII. Versuche mit stoßweiser Beanspruchung.

### § 56. Die Schlagfestigkeit.

Im Gegensatz zu den im Vorausgehenden besprochenen Beanspruchungsweisen, bei denen als Maß der Festigkeit die durch die äußere Kraft hervorgerufene Materialspannung im Augenblicke des Bruches gilt, wird die Schlagfestigkeit allgemein ausgedrückt durch eine Arbeit, und zwar die, welche erforderlich ist, den Probekörper zum Bruche zu bringen. Wir haben es also im ersten Falle mit Kräften und im zweiten Falle mit Arbeiten zu tun. Jene werden durch statische, diese durch dynamische Beanspruchung erzeugt.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß manche Materialien gegen statische Beanspruchungen große Widerstandsfähigkeit besitzen, während sie schon durch verhältnismäßig geringfügige Stöße zerstört werden. Da nun im Maschinenbetriebe reine statische Beanspruchungen selten vorkommen, ist es von besonderer Wichtigkeit, das Verhalten der Materialien bei dynamischen Beanspruchungen kennen zu lernen.

Schon frühzeitig kam man zu der Einsicht, daß die Prüfung der Materialien durch den Schlagversuch von Wichtigkeit sei, und untersuchte Schienen, Radbandagen und dergl. unter dem Fallwerke. Da diese Prüfungsmethode jedoch keine Unterlagen für Berechnung der Abmessungen der Konstruktionselemente lieferte und der Bau von Materialprüfungsmaschinen für statische Beanspruchungen Fortschritte gemacht hatte, gab man der letzten Prüfungsmethode ihrer Einfachheit wegen den Vorzug, bis man die erste neuerdings neben jener, wenn auch in abgeänderter Form, wieder aufgenommen hat.

Während manche Materialien bei statischer Beanspruchung ein großes Formänderungsvermögen aufweisen, zeigen sie beim Schlagversuch

keines oder nur sehr geringes; sie erweisen sich als spröde. So lassen sich unverletzte Eisenbahnschienen bei statischer Beanspruchung fast so weit zusammenbiegen, daß die beiden Schenkel des Probestückes aufeinander zu liegen kommen. Bei dynamischen dagegen unter dem Fallwerke bricht die Schiene ohne große Formänderung. Der Grund für dieses Verhalten ist darin zu suchen, daß bei Schlagbeanspruchung, wo die Formänderung plötzlich innerhalb des Bruchteiles einer Sekunde vollzogen werden muß, die einzelnen Probekörpererelemente keine Zeit haben, ihre gegenseitige Lage ohne Aufgabe des Zusammenhanges zu ändern.

Wie in § 22 erörtert wurde, ist bei Eisen der Einfluß der Temperatur auf das Ergebnis des Zerreißversuches und mithin auch des Biegeversuches innerhalb Temperaturen von  $-20^{\circ}$  bis  $+20^{\circ}$  nicht bedeutend. Anders ist das Verhältnis jedoch bei Schlagversuchen, wo mit abnehmender Temperatur die Schlagfestigkeit ganz wesentlich geringer wird. Charpy fand, daß Metalle, welche bei  $+20^{\circ}$  einen Bruchwiderstand von 24 mkg leisteten, bei  $-20^{\circ}$  nicht mehr als 2—3 mkg vertrugen.

Schlagversuche werden ausgeführt durch Beanspruchung der Probestäbe auf Zug, Druck und Biegung.

### § 57. Der Schlagzerreiversuch.

Die Prüfung auf Zug hat nur geringere Bedeutung erlangt, weil es nicht möglich war, mit den bekannten Fallwerken den Schlag unmittelbar auf das Probestück wirken zu lassen. Es waren vielmehr Zwischenglieder notwendig, deren Abmessungen nicht zu gering sein durften und infolge dessen einen Teil der vom Fallgewichte geleisteten Arbeit in sich aufnahmen. Da die Größe dieses Teiles der geleisteten Arbeit unbestimmbar ist, war es nicht möglich, die wirklich zur Formänderung des Probestückes aufgewendete Schlagarbeit mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Martens spricht, auf Grund einer größeren Reihe von Zerreißversuchen unter dem Fallwerke, die Überzeugung aus, daß die Formänderungen beim Fallzerreiversuche genau so verlaufen, wie beim Zerreißversuche unter ruhig wirkender Last. Hiernach hat es also keinen Zweck, den normalen Zerreißversuch durch den Fallzerreiversuch ersetzen oder ergänzen zu wollen.

Wichtiger als der Schlagzerreiversuch ist der Schlagdruckversuch — Stauchversuch genannt —.

### § 58. Der Stauchversuch.

Es können bei diesem genau die gleichen Probekörper verwendet werden, wie beim gewöhnlichen Druckversuche, und das fallende Gewicht kann seine gesamte, beim Auftreffen noch vorhandene Energie an das Probestück abgeben. Selbstverständlich wird auch hier nicht die ganze abgegebene mechanische Energie in das Probestück hineingelegt, sondern ein Teil geht ebenfalls durch Übertragung auf den Amboß verloren. Da

die Größe der Arbeitsverluste nicht meßbar ist, begnügt man sich, da ja die Versuche überhaupt nur als Vergleichsversuche betrachtet werden dürfen, die gesamte vom fallenden Gewichte geleistete Arbeit zu bestimmen.

Bedeutet  $G$  die Größe des Fallgewichtes in Kilogramm und  $h$  die Fallhöhe in Zentimeter, so ist die für einen Schlag aufgewendete Arbeit

$$A = G \cdot h \text{ cmkg.}$$

Bezieht man die Arbeit auf die Volumen- oder Gewichtseinheit des Probekörpers, so ist die spezifische Schlagarbeit  $a$ , wenn  $v$  das Volumen in Kubikzentimeter und  $g$  das Gewicht in Gramm des Probekörpers darstellt:

$$a = \frac{G \cdot h}{v} \text{ cmkg pro Kubikzentimeter}$$

und

$$a' = \frac{G \cdot h}{g} \text{ cmkg pro Gramm.}$$

Wird die Schlagarbeit durch mehrere Schläge geleistet, so ist die gesamte Schlagarbeit gleich der Summe aller einzelnen Arbeiten. Bezeichnet  $i$  die Anzahl der ausgetübten Schläge, dann ist die gesamte Arbeit, welche zur Deformation des Probekörpers erforderlich war,

$$A = i \cdot G \cdot h,$$

oder, wenn die Einzelarbeiten verschiedene Größe besaßen,

$$A = A_1' + A_2' + A_3' + \dots A_n'.$$

Dasselbe gilt für die Formänderungen. Jeder Schlag bewirkt eine Verkürzung  $\lambda$  des Probekörpers, die gleich der Differenz der ursprünglichen und der durch den Schlag erzeugten Länge ist. Die spezifische Verkürzung, Stauchung genannt, ist dann

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l},$$

wenn  $\lambda$  die Verkürzung und  $l$  die Länge des Körpers vor dem Schlage bedeutet. Bei Erzeugung der Verkürzung durch mehrere Schläge ist die gesamte Stauchung analog der gesamten Schlagarbeit

$$\varepsilon = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots \lambda_n}{l}.$$

Im vorhergehenden war als Maß für die Schlagfestigkeit die Arbeit  $G \cdot h$  eingeführt worden. Diese Arbeit kann geleistet werden durch ein großes Gewicht  $G$  und geringe Fallhöhe  $h$ , oder durch geringes Gewicht  $G$  und große Fallhöhe  $h$ . Beide Methoden benützen die gleiche Arbeitsmenge und müssen somit auch gleiche Formänderung liefern. Die Geschwindigkeit aber, mit der das fallende Gewicht auftrifft, ist in beiden Fällen verschieden. Nach Versuchen von Kick mit Bleikörpern, bei denen Endgeschwindigkeiten von 7,75 und 2,22 m in Frage kamen, spielen diese Geschwindigkeitsunterschiede in bezug auf das Ergebnis keine Rolle. Auch von anderer Seite angestellte Versuche weisen nach, daß die Geschwindigkeit,

solange sie innerhalb gewisser Grenzen bleibt, nur einen unwesentlichen Einfluß auf das Ergebnis ausübt.

Anders ist es dagegen, wenn die Geschwindigkeit des auftreffenden Gewichtes sehr hoch gesteigert wird. Bei Beschießversuchen zeigen z. B. manche Metalle nur geringe Widerstandsfähigkeit, trotzdem sie bei der Schlagprobe gutes Verhalten aufweisen. Da jedoch derartig hohe Geschwindigkeiten für Schlagversuche nicht in Frage kommen, kann man sich mit der vorausgegangenen Äußerung begnügen und die Geschwindigkeit als einflußlos betrachten.

Vergleicht man die Stauchungen zweier Probekörper, von denen der eine durch einen einzigen Schlag und der andere durch mehrere Schläge aber mit gleicher Gesamtarbeit deformiert worden ist, so ergibt sich, daß die Stauchung des ersten größer als die des letzten ist. Der Grund für dieses Verhalten liegt in folgendem Umstande. Bei einmalig fallendem Gewichte wird neben der Arbeit zur bleibenden Formänderung die Arbeit für die elastische Formänderung nur einmal geleistet und die Materialteilchen werden nur einmal beschleunigt. Bei mehrfachen Schlägen dagegen muß die bereits vom vorhergegangenen Schläge geleistete Arbeit zur elastischen Formänderung wiederholt werden, und auch die Materialteilchen müssen aufs neue beschleunigt werden. Diese wiederholt geleisteten Arbeiten zur Erzeugung der elastischen Formänderung und zur Beschleunigung der Massenteilchen müssen somit um den genannten Betrag größer werden. Bei manchen Materialien wird dieser Betrag noch vergrößert durch die Veränderungen, welche die Eigenschaften des Materials infolge der Verdichtung beim Schlagen erleiden. Auch die bei jedem Schläge größer werdende Auftrefffläche des Fallgewichtes am Probekörper wirkt auf Vergrößerung der zur Deformation erforderlichen Arbeit hin. Für praktische Zwecke kann aber der Einfluß der Schlagzahl außer acht gelassen werden, weil die zufälligen Versuchsfehler im allgemeinen größer sind, als die durch die genannten Vorgänge hervorgerufenen.

Diejenige spezifische Schlagarbeit, welche den Bruch des Probekörpers gerade durch einen einzigen Schlag herbeiführt, heißt nach Kick der Bruchfaktor und ist bei gleichem Material und ähnlicher Form der Probekörper eine Konstante, die als Maßstab für die Güte des Materials benutzt werden kann. Da dieser Bruchfaktor nur für solche Materialien bestimmbar ist, die durch Schlagbeanspruchung zu Bruche gehen, empfiehlt es sich, bei der Prüfung formbarer Materialien den Versuch derart durchzuführen, daß man die Arbeit bestimmt, welche erforderlich ist, den Probekörper um ein bestimmtes Maß zu stauchen.

Martens schlägt daher vor, den Begriff des Bruchfaktors unter der Bezeichnung Stauchfaktor zu erweitern und als Stauchfaktor diejenige spezifische Schlagarbeit in  $\text{cmkg}/\text{cem}$  zu bezeichnen, die aufgewendet werden muß, um einen Körper bestimmter Grundform durch einen einzigen Schlag gerade zum Bruche zu bringen oder um 80% seiner Länge zu

stauchen. Die Bruchformen beim Stauchversuche mit einem einzigen Schläge sind die gleichen wie beim Druckversuche mit ununterbrochener Belastung. Formbare, zylindrische Körper nehmen Tonnenform an, spröde dagegen werden zertrümmert, indem sich Druckkegel bilden. Auch die durch mehrere Schläge erzeugten Bruchformen weichen in ihrem Aussehen nicht von solchen ab, die durch ruhig wirkenden Druck entstehen. Bedingung ist nur, daß der Körper beim Druckversuche jedesmal nach der einem Schläge entsprechenden Deformationsarbeit entlastet wird.

### § 59. Der Schlagbiegeversuch.

Der wichtigste Schlagversuch ist der nach Art eines Biegeversuches und er hat neuerdings in einfacher Form große Verbreitung erlangt. Es soll daher diese Art des Schlagversuches eingehend behandelt und das vom Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik empfohlene Versuchsverfahren besonders ausführlich dargelegt werden.

Die ältesten Schlagbiegeversuche wurden ebenso wie die Schlagzerreiß- und Stauchversuche unter dem Fallwerke ausgeführt, während die neueren als Kerbschlagbiegeproben mit dem Pendelhammer (s. § 65) vorgenommen werden. Bei beiden Vorrichtungen wird der entsprechend gestaltete Probekörper auf zwei Stützen gelagert und in der Mitte seiner freien Länge durch ein fallendes Gewicht beansprucht.

## a) Versuche mit dem Fallwerke.

### § 60. Konstruktionsgrundsätze der Fallwerke.

Für Schlagbiegeversuche mit dem Fallwerke kommt fast ausschließlich Eisenbahnmaterial in Frage, welches nach den Abnahmevorschriften des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen auf Schlagfestigkeit geprüft werden muß. In erster Linie sind es Schienen, Achsen und Radbandagen, welche diesem Versuche unterworfen werden.

Da beim Schlagversuche das Versuchsergebnis, wie weiter oben erläutert, durch das Gewicht des Fallbären und seine Geschwindigkeit beeinflußt wird, ist es notwendig, allorts Fallwerke gleicher Abmessungen zu benutzen, wenn die gewonnenen Ergebnisse Vergleichbarkeit besitzen sollen. Durch den Verband für die Materialprüfungen der Technik sind daher Vorschläge für ein Normalfallwerk gemacht worden, dessen Konstruktion folgenden neueren Grundsätzen entspricht:

1. Das gewöhnliche Bärgewicht sei 1000 oder 500 kg. In besonderen Fällen sind kleinere Bärgewichte zuzulassen.
2. Die Bärmasse kann aus Gußeisen, gegossenem oder geschmiedetem Stahl bestehen.
3. Die Bärform ist so zu wählen, daß der Schwerpunkt der ganzen Bärmasse möglichst tief liegt.
4. Die Schwerlinie des Bären muß in die Mittellinie der Bärführungen fallen.

5. Besondere Marken auf dem Amboß (der Schabotte) sollen diese Mittellinie kenntlich machen.
6. Das Verhältnis der Führungslänge des Bären zur Lichtweite zwischen den Führungen soll größer als 2 : 1 sein.
7. Die Führungsschienen sollen senkrecht stehen. Die Reibung des Bären soll durch Glätten der Berührungsflächen möglichst vermindert werden. Schmierung mit Graphit wird empfohlen.
8. Es ist eine besondere Hammerbahn aus geschmiedetem Stahl einzusetzen und durch Schwalbenschwanz und Keil durchaus zentrisch zur Schwerlinie des Bären zu befestigen. Durch besondere Marken ist die Erfüllung dieser Bedingung kenntlich zu machen.
9. Die Hammerbahn soll nach einem Halbmesser von 150 mm abgerundet sein. Bei Schlagversuchen, bei denen die Anwendung eines der Querschnittsform des zu prüfenden Stückes entsprechenden Aufsatzstückes vorgeschrieben ist, z. B. bei Schlagbiegeversuchen mit Radreifen, muß das Aufsatzstück oben eine ebene Anschlagfläche haben.
10. Die Aufsatzstücke müssen leicht sein, wenn möglich 20 kg wiegen.
11. Die Auslösevorrichtung für den Bären soll so beschaffen sein, daß sie den freien Fall des Bären nicht beeinflußt.
12. Es ist eine Einrichtung zu treffen, durch die das zufällige Herabfallen des Bären verhindert wird.
13. Die Schabotte (Amboß) soll aus einem Stück Gußeisen bestehen und ihr Gewicht mindestens das 10fache des Bärgewichtes betragen.
14. Das Fundament soll möglichst unelastisch aus einem festen Mauerkörper gebildet sein, dessen Größe durch die Baugrundverhältnisse bedingt ist, aber mindestens das 6fache der Schabotte betragen soll.
15. Die Auflagerstücke für den Probekörper sind an der Schabotte gut zu befestigen.
16. Es sind Einrichtungen zu treffen, durch die das Herausspringen der Versuchsstücke aus den Auflagern verhindert wird, jedoch ohne die Stoßbeanspruchung des Stückes hierdurch zu beeinflussen.
17. Die Teilung zum Ablesen der Fallhöhe soll in Zentimetern und verschiebbar ausgeführt werden.

Als Maß für die Fallhöhe wird 6 m empfohlen, weil Schlagwerke bis zu solcher Fallhöhe leichter in geschlossenen Räumen untergebracht und zuverlässiger gebaut werden können als höhere. Als Konstruktionsmaterial für die Fallwerke soll nur Eisen zur Verwendung gelangen. Es müssen auch Vorkehrungen getroffen werden, welche beim Aufschlagen des Fallbärs ein Kippen oder seitliches Ausweichen des Schienenstückes verhüten.

Außer diesen Konstruktionsgrundsätzen sind noch Forderungen mannigfachster Art zu berücksichtigen. Insbesondere sind es die Eisenbahnverwaltungen, welche diesen Grundsätzen noch verschiedene Forderungen anfügen. Sie beziehen sich aber weniger auf die Konstruktion der Fall-

werke als auf die Manipulationen bei ihrer Benutzung. Es soll hier nicht weiter auf diese Einzelheiten eingegangen, sondern nur auf die einschlägigen Vorschriften verwiesen werden. Unter Berücksichtigung dieser wird es leicht sein, auf Grund der vorausgegangenen Ausführungen das Schlagwerk selbst als auch die Versuchsausführung den Bedingungen entsprechend zu modifizieren.

### § 61. Kontrolle der Fallwerke.

Vor Benutzung eines Fallwerkes ist dasselbe auf ordnungsmäßigen Gang zu prüfen. Insbesondere ist festzustellen, ob der Bär sich frei in seiner Führung bewegt. Das Probestück ist so einzustellen, daß der Treffpunkt am Stück genau in der Mitte der Hammerbahn liegt. Auch eine zeitweilige Eichung des Fallwerkes ist ebenso dringend erforderlich, wie die der übrigen Materialprüfungsmaschinen (s. § 156). Die Eichung der Fallwerke erfolgt mit Normalkupferzylindern, die aus bestem Stehbolzenkupfer hergestellt und zweckmäßig von dem Kgl. Materialprüfungsamte Groß-Lichterfelde bezogen werden, welches für diese Normalschlagkörper die Längenänderung angibt, die sie bei bestimmter Schlagarbeit

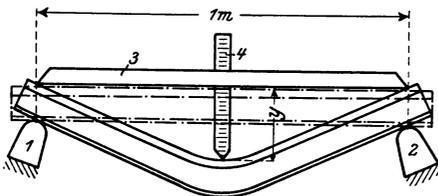


Fig. 117.



Fig. 118.

unter einem vorschriftsmäßigen Fallwerke erfahren. Schlagwerke, bei denen die mit Normalschlagkörpern festgestellte Schlagarbeit um mehr als 2% geringer ist als die, welche sich durch Multiplikation des Bärgewichtes mit der Fallhöhe ergibt, sind nicht benutzbar. Die Differenzen rühren in erster Linie von der Reibung her, welche in den Bärführungen auftritt, und es ist gegebenenfalls zu prüfen, ob die Führungen genau senkrecht stehen und zwischen Bär und Führungsschienen genügend Spiel vorhanden ist.

### § 62. Ausführung eines Schlagbiegeversuches.

Die Ausführung eines Schlagbiegeversuches zur Beanspruchung z. B. einer Eisenbahnschiene auf Biegung geschieht in folgender Weise. Die Schiene, welche 1,3 m Länge besitzen und frei von Lasenschraubenlöchern sowie sichtbaren Fehlerstellen sein muß, wird auf den nach Fig. 117 geformten Stützen 1 und 2 gelagert. Auf die Fahrbahn der Schiene wird hiernach in der Mitte der Stützweite ein Aufsatzstück nach Fig. 118 gesetzt, das zur Übertragung des Schlages auf die Schiene dient. Nachdem man sich überzeugt hat, daß die Mitte des Aufsatzstückes

genau in der Mittellinie des Fallbären liegt, d. h. die Schiene genau zentriert und die zur Messung der Fallhöhe an der Führungsbahn des Bären verschiebbar angebrachte Skala der Schienenhöhe entsprechend eingestellt ist, betätigt man die Auslösevorrichtung des Bären. Hierauf wird der Bär wieder hochgezogen; die Schienen werden auf Risse oder sonstige Veränderungen untersucht. Die durch den Schlag entstandene Durchbiegung  $y$  wird mit einem Tiefenmaße nach Fig. 117 gemessen. Das Tiefenmaß besteht aus einer Holzschiene 3 von 1 m Länge (die Enden der Schiene werden zweckmäßig mit Metallarmierung versehen), in deren Mitte ein Schieber 4, mit Millimeterteilung, angebracht ist.

### § 63. Beispiel von Lieferungsvorschriften für Schienen.

Für die einzelnen Schienenarten und Schienenprofile sind in den Lieferungsbedingungen hinsichtlich der Schlagarbeit besondere Vorschriften gemacht. Z. B. sollen bei Lieferung für die Kgl. Sächs. Staatseisenbahnen die Arbeitsleistung (Fallhöhe  $\times$  Bärgewicht) und die Anzahl der Schläge betragen:

für Fahrschienen nach Form Ib . . .	2	Schläge mit 1500 kg,
"      "      Va . . .	3	"      "      3000 "
"      "      VI . . .	4	"      "      3000 "
für Rillenschienen . . . . .	4	"      "      3000 "
für Zungenschienen nach Form Ib . .	2	"      "      1500 "
"      "      Va . . .	2	"      "      3000 "
"      "      VI . . .	3	"      "      3000 "

Die Schläge sind mit derselben Arbeitsleistung fortzusetzen, bis folgende Durchbiegungen erreicht sind:

- a) bei Fahrschienen und Backenschienen
 

der Form Ib mindestens . . . .	150 mm,
"      "      Va      "      . . . .	110 "
"      "      VI      "      . . . .	100 "
- b) bei den Schienen zum Bau von Herzstücken
 

der Form Va mindestens . . . .	80 mm,
"      "      VI      "      . . . .	75 "
- c) bei den Zungenschienen (Blockschienen)
 

der Form Ib, Va und VI mindestens	150 mm,
-----------------------------------	---------
- d) bei den Rillenschienen . . . . .
 75 mm. |

Nach Erreichung dieser Durchbiegungen sind die Probestücke nochmals einer eingehenden Untersuchung in bezug auf Risse oder sonstige Veränderungen zu unterziehen.

Zu beachten ist, daß, wie bereits bei den Stauchversuchen erwähnt:

1. ein einzelner Schlag mit großer Arbeitsleistung eine größere Durchbiegung hervorbringt als mehrere Schläge derselben Arbeitsleistung;
2. bei gleicher Arbeitsleistung mit schwereren Bären eine größere Durchbiegung erzielt wird.

Sollen also Versuchsergebnisse Vergleichbarkeit besitzen, dann müssen sie unter ganz gleichen Verhältnissen gewonnen sein.

Die beim Schlagbiegeversuch auftretenden Formänderungen und Brucherscheinungen stimmen im allgemeinen mit den beim gewöhnlichen Biegeversuche (§ 33) erörterten überein. An den auf Zug beanspruchten Stellen der Probekörper sind Fließfiguren und bei Körpern mit Walzhaut auch „Abwerfen“ zu beobachten. Während aber die Temperatur beim gewöhnlichen Biegeversuche innerhalb gewisser Grenzen nur geringen Einfluß auf das Festigkeitsergebnis und auf die Ausbildung der Bruchformen äußert, macht sich dieser Einfluß beim Schlagbiegeversuch in hohem Maße bemerkbar. Alle Versuche müssen daher bei annähernd gleicher Temperatur (etwa 17°) ausgeführt werden. Bereits Temperaturen von wenigen Graden unter Null lassen manche Materialien spröde erscheinen.

## **b) Versuche mit dem Pendelhammer (Kerbschlagbiegeprobe).**

### **§ 64. Konstruktionsgrundsätze für Pendelhämmer und allgemeines.**

Während es bei den Versuchen mit dem Fallwerke nicht möglich ist, bei Eintritt des Bruches die vom Probekörper aufgenommene Schlagarbeit festzustellen, gestatten dies die mit Pendelhämmern. Die Konstruktion dieser Hämmer basiert auf derjenigen der ballistischen Fallwerke. Es wird bei ihnen ein um eine horizontale Achse schwingender Hammer verwendet, dessen Stiel ein oder mehrere Meter Länge besitzt. Den Hammer hebt man bis zu bestimmter Höhe an und läßt ihn dann fallen. Auf seinem Wege trifft er in der Vertikallage auf den in einem Schraubstocke eingespannten oder sonstwie gelagerten Probekörper, zerschlägt ihn und schwingt über die Vertikallage hinaus. Da aus dem Hammergewichte und dem nach Zertrümmerung des Probekörpers zurückgelegten Wege die dem Hammer noch innewohnende lebendige Kraft bestimmbar ist, kann die zur Zertrümmerung aufgewendete Schlagarbeit berechnet werden. Man erkennt hieraus, daß die Prüfung mit dem Pendelhammer zweckmäßiger ist, als die mit Fallwerken. Der Probekörper wird mit einem einzigen Schlage zum Bruche gebracht und die aufgewendete Arbeit kann einwandfrei bestimmt werden. Hammergewicht und Fallhöhe bleiben für alle Versuche unverändert.

Da in den letzten Jahren an der Ausbildung dieses Prüfungsverfahrens mit Hämmern eifrig gearbeitet wurde und auch der Internationale Verband für die Materialprüfungen der Technik die Wichtigkeit dieser Prüfungsmethode anerkannte, entstanden verschiedene Konstruktionen von Pendelhämmern. Ihre Grundsätze sowie die angewendeten Versuchsmethoden sind in einer sehr wertvollen Zusammenstellung in Stahl und Eisen 1907 No. 31 und 32 von Leber angegeben worden. Da auf diese Einzelheiten hier nicht näher eingegangen werden kann und der Deutsche

Verband für die Materialprüfungen der Technik bereits in seiner Hauptversammlung 1907<sup>1)</sup> die Gesichtspunkte für Konstruktion von Normalschlagwerken und für die Versuchsausführung gegeben hat, sollen nur diese hier mitgeteilt und erläutert werden.

Demnach ist zur weiteren Klarstellung der Eignung der Versuchsmethode sowie zur Festlegung von Normalien die Kerbschlagprobe unter folgenden Gesichtspunkten vorzunehmen.

1. Die Kerbschlagprobe ist mit dem Charpyschen Pendelhammer auszuführen.
2. Es sind drei Typen von Pendelhämmern vorzusehen. Sie sollen 250, 75 und 10 mkg Schlagarbeit zu leisten imstande sein.
3. Die Probestücke sollen folgende Abmessungen besitzen: Länge 160 mm bei 30 . 30 mm quadratischem Querschnitte, in der Mitte der Länge ein Loch von 4 mm Durchmesser, welches nach der Seite aufgeschnitten wird. Die übrigbleibende Querschnittshöhe soll 15 mm betragen (der Kerb wird „Rundkerb“ genannt).

Bei dünnen Proben, z. B. Blechen von geringerer Dicke als 30 mm, wird die Querschnittshöhe des Stabes entsprechend der Blechdicke gewählt. Die übrigen Abmessungen des Probestabes bleiben unverändert.

Probestücke, für deren Prüfung der Hammer mit 10 mkg Schlagarbeit ausreicht, können geringere Abmessungen erhalten. Es genügt eine Länge von 100 mm bei quadratischem Querschnitte von 8—10 mm. Als Einkerbung ist ein scharfer Kerb von 2 mm Tiefe und 45° Winkel zu benutzen. (Der Kerb wird „scharfer Kerb“ genannt.)

4. Die Probestücke sind kalt abzutrennen und dürfen nachträglich nicht erwärmt werden.
5. Von Blechen sind Lang- und Querproben zu entnehmen, der Schlag hat immer parallel zur Blechebene zu erfolgen.
6. Die Versuchstemperatur ist anzugeben. In der Regel sind die Proben bei gewöhnlicher Temperatur vorzunehmen (15—20°). In besonderen Fällen können andere Temperaturen vorgeschrieben werden.
7. Beim Versuche wird nur die zum Durchschlagen des Stabes benötigte lebendige Kraft gemessen.
8. Der gewonnene Wert heißt „spezifische Schlagarbeit“ und ist auf 1 qcm als Flächeneinheit zu beziehen.
9. Die bei der Kerbschlagprobe entwickelte Eigenschaft des Materials heißt „Kerbzähigkeit“.

Wie bereits vorausgeschickt, soll die Kerbschlagprobe mit dem Charpyschen Pendelhammer ausgeführt werden, da erkannt wurde, daß

---

<sup>1)</sup> Siehe Ehrensberger, Die Kerbschlagprobe im Materialprüfungswesen; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 1974.

die Verfahren von Barba, Frémont, Heyn, Guillery für die Praxis des Materialprüfungswesens weniger geeignet sind. Barba und Frémont benutzten Fallwerke, Heyn Handhammer, Guillery mißt den Geschwindigkeitsverlust eines Schwungrades nach dem Durchschlagen der Probe. Mit dem Charpyschen Hammer dagegen wird der Energieverlust festgestellt, den der freifallende Pendelhammer durch das Zerschlagen des Probestabes erleidet.

Als Konstruktionsgrundsätze für Pendelhämmer wurden dem Sinne nach folgende anerkannt:

1. Die Schlagwerke sind so zu konstruieren, daß sie überall als ganzes hingestellt werden können.
2. Besondere Aufmerksamkeit ist der Konstruktion des Pendels zu schenken.
  - a) Das Pendel muß in Kugellagern schwingen.
  - b) Der Schwerpunkt des Pendels ist tief zu legen. Es muß deshalb am unteren Ende schwer und im Gestänge sehr leicht, aber dennoch stabil ausgeführt werden.
  - c) Die Schwerpunkte von Pendelmasse und Gestänge sowie der Schwerpunkt des Probestabes und der Treffpunkt der Schlag-  
schneide müssen zur Vermeidung von Vibrationen in der Schwer-  
punkts-Schwingungsebene des ganzen Pendels liegen.
  - d) Das Stoßzentrum soll ebenfalls zur Vermeidung von Vibrationen  
bei dem 250 mkg-Schlagwerk etwa 50 mm und beim 75 mkg-  
Schlagwerk etwa 25 mm über dem Probestabschwerpunkte liegen.  
Beim 10 mkg-Schlagwerk mögen diese beiden Punkte ungefähr  
zusammenfallen.
3. Die Stützweite der Probestäbe soll bei dem ersten und zweiten Schlag-  
werke 120, bei dem dritten 70 mm betragen.
4. Die beiden großen Schlagwerke werden zum Aufziehen der Pendel mit  
Handwinden versehen.
5. Zur Vernichtung der lebendigen Kraft des Pendels nach vollendetem  
Versuch ist an dem Schlagwerke eine Bremse anzubringen, welche  
durch eine einzige Hebelbewegung die Festlegung des Pendels gestattet.
6. Es ist eine Vorrichtung anzubringen, welche die Schwingungsweite  
des Pendels aufzeichnet.

In Fig. 119—121 sind die drei vom Verbands vorgeschlagenen Aus-  
führungsformen von Schlagwerken wiedergegeben und in § 136 die Kon-  
struktionseinzelheiten des Normal-Pendelschlagwerkes von Mohr & Feder-  
haff erläutert.

Beim Schlagwerke für 250 mkg (Fig. 119) beträgt das Pendelgewicht  
85 kg und die größte Fallhöhe ist 2,94 m, beim Schlagwerke für 75 mkg  
(Fig. 120) entsprechend 33 kg und 2,28 m, beim Schlagwerke für 10 mkg  
(Fig. 121) entsprechend 8,2 kg und 1,22 m. Diese angegebenen größten

Fallhöhen werden naturgemäß nicht immer eingestellt, weil selten die volle lebendige Kraft der Fallwerke benötigt wird. Bei geringerem Schlagwiderstande des Probestabes arbeitet man daher auch mit geringerer Energie, trotzdem die Auftreffgeschwindigkeit des Pendels alsdann verschiedene

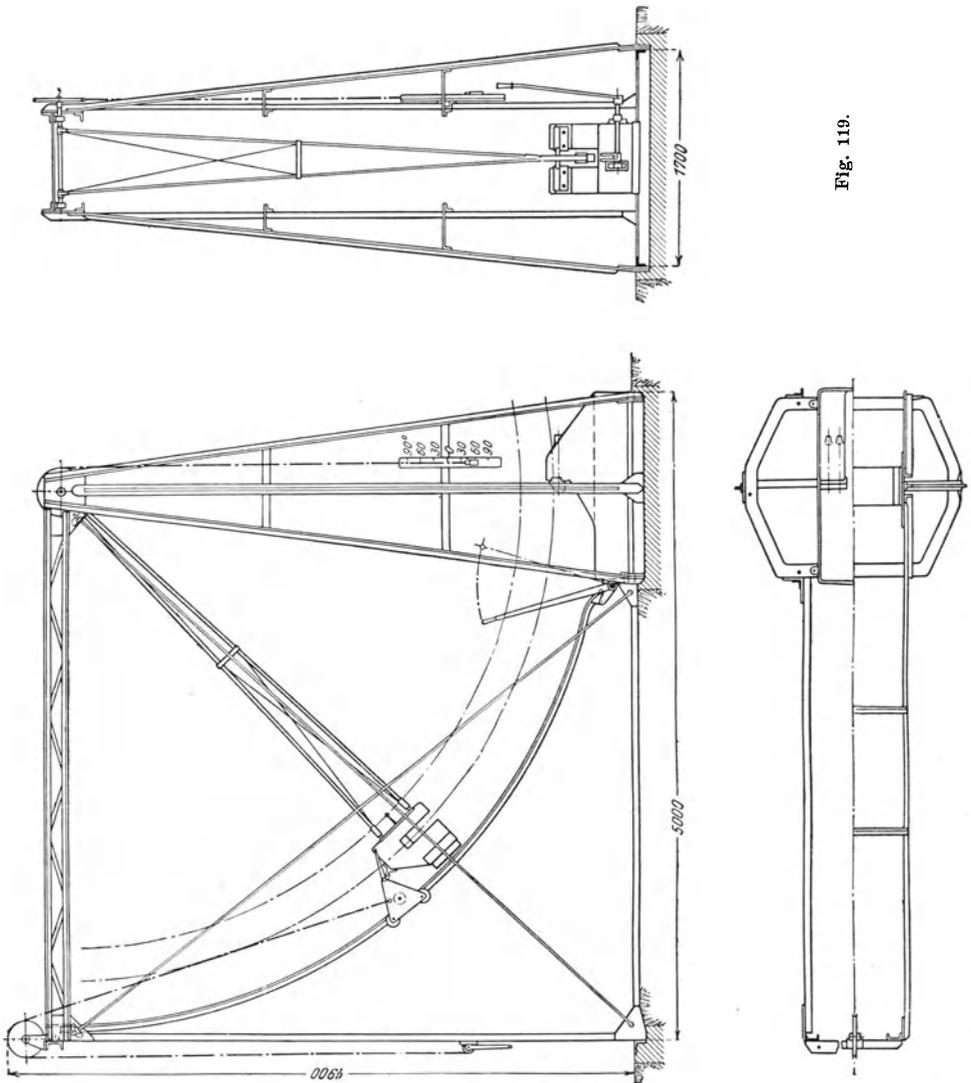


Fig. 119.

Größe besitzt. Auf das Versuchsergebnis übt dies aber keinen Einfluß aus. Versuche haben erwiesen, daß bei der Kerbschlagprobe die Auftreffgeschwindigkeit erst dann einen Einfluß äußert, wenn sie die durch die Konstruktion der Schlagwerke gezogenen Grenzen wesentlich überschreitet. Stribeck hat dies versuchsweise dadurch festgestellt, daß er die Probestäbe nicht mit dem Schlagwerke, sondern mittels Geschöß zum Bruche brachte.

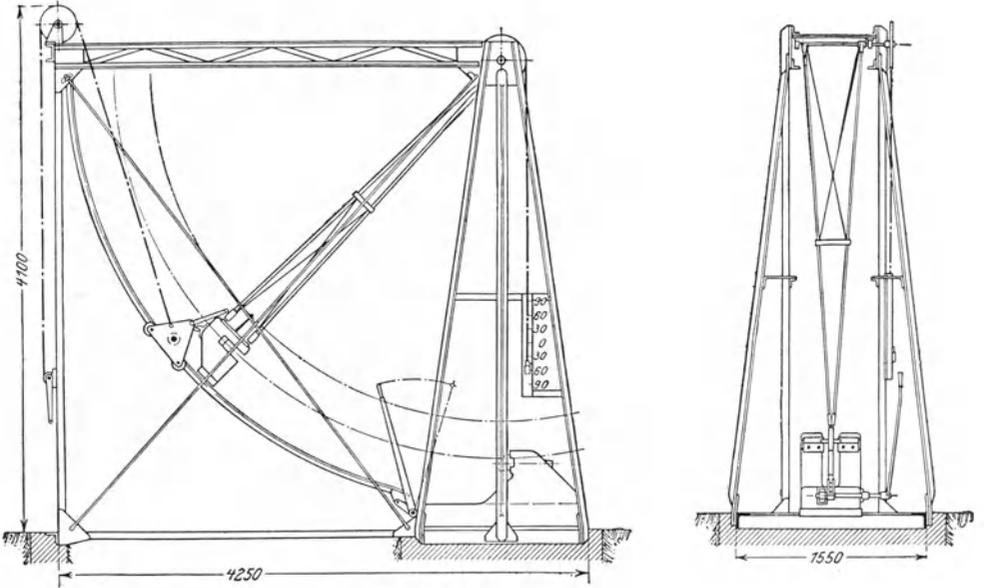


Fig. 120.

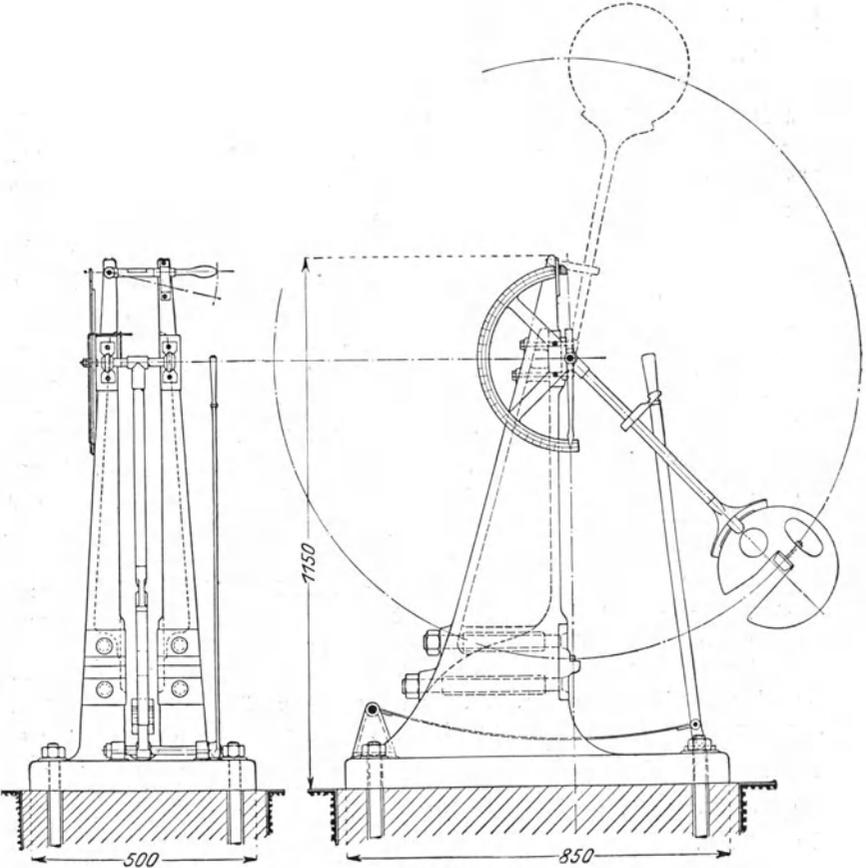


Fig. 121.

### § 65. Ausführung einer Kerbschlagbiegeprobe.

Der Vorgang beim Versuch ist folgender:

Man berechnet schätzungsweise die zum Durchschlagen des Probestabes erforderliche lebendige Kraft des Pendels und hebt es in eine dieser Kraft entsprechende Höhe. Hierauf lagert man den Probestab auf dem Amboß und stellt die Vorrichtung zur Aufzeichnung der Schwingungsweite ein. Nachdem man sich überzeugt hat, daß alles in Ordnung ist, betätigt man die Auslöseklinke des Pendels. Das Pendel durchschlägt mit einem Schläge den Probestab, schwingt über seine Vertikallage hinaus und muß bei der Rückschwingung zur Vernichtung der noch vorhandenen Kraft mit der vorgesehenen Hemmvorrichtung gebremst werden.

Die zum Durchschlagen des Probestabes verbrauchte lebendige Kraft berechnet sich alsdann aus der Differenz der dem Pendel beim Auftreffen innewohnenden und der nach dem Zerschlagen noch vorhandenen Energie. Jene ist gleich dem Produkte aus Fallhöhe und Pendelgewicht, diese gleich dem Produkte aus Steighöhe und Pendelgewicht. Der durch Reibung in dem Kugellager des Pendels vernichtete Teil von Energie kann bei der Berechnung wegen seiner geringfügigen Größe vernachlässigt werden.<sup>1)</sup>

Die Messung der Steighöhe erfolgt bei dem kleineren Schlagwerk von 10 mkg wie bei Charpy durch einen Schleppezeiger, der beim Durchschwingen der Nulllage durch das weiter schwingende Pendel bis zur höchsten Lage mitgenommen wird.<sup>2)</sup> Bei den beiden größeren Schlagwerken dient dazu folgende Vorrichtung.

Auf der Drehachse des Pendels befindet sich eine Scheibe, um welche ein dünner Draht geschlungen ist, der am freien Ende durch ein gerade geführtes Gewicht beschwert wird. Bei hochgezogenem Pendel befindet sich dieses Gewicht in seiner tiefsten Lage. Es steigt, sobald das Pendel gelöst wird, und erreicht seine Höchstlage, wenn das Pendel umkehrt. Da das Gewicht aber beim Zurückschwingen des Pendels ebenfalls zurückgeht, ist mit ihm ein kleiner Schleppezeiger verbunden, der in der Höchstlage des Gewichtes verbleibt und diese somit dauernd markiert. Unter dem Schleppezeiger befindet sich eine Rolle, an deren Teilung unmittelbar der Schwingungswinkel oder die Fall- bzw. Steighöhe abgelesen werden kann.

---

<sup>1)</sup> Der Verlust kann aber auch ein für alle Male durch Versuch bestimmt werden, indem man das Pendel mehrere Male hin und her schwingen läßt und aus der Verminderung des Ausschlages die Reibungswiderstände berechnet.

<sup>2)</sup> Schleppezeiger leisten einen Widerstand, der das Ergebnis des Schlagversuches fehlerhaft gestalten würde, wenn man seine Größe nicht berücksichtigte. Man kann den Reibungsverlust experimentell bestimmen, indem man das Pendel das eine Mal mit dem Schleppezeiger ausschwingen läßt und das andere Mal den Versuch wiederholt, ohne den Zeiger zurückzudrehen. Der Betrag, um welchen der Zeiger beim zweiten Versuch weiterschoben wird, entspricht der Reibung.

Rechnungsbeispiel:

Pendelgewicht . . . . .	33 kg.
Fallhöhe . . . . .	1,200 m.
Steighöhe . . . . .	0,327 m.
Beanspruchter Probestabquerschnitt .	4,5 qcm.

Die verbrauchte Schlagarbeit ist mithin

$$33 \cdot (1,200 - 0,327) \text{ mkg} = 28,8 \text{ mkg}$$

und die spezifische Schlagarbeit

$$\frac{28,8}{4,5} = 6,4 \text{ mkg/qcm.}$$

### § 66. Einfluß der Form und der Temperatur des Probestabes auf das Versuchsergebnis.

Die vom Verbandsrat angenommene Probestabform weicht von der Charpyschen nur im Lochdurchmesser ab. Charpy versah seine Probestäbe mit einem Loche von 6 mm Durchmesser im Gegensatze zu dem angenommenen von 4 mm. Die Abweichung war insofern berechtigt, als die Versuche zeigten, daß bei Verwendung eines 4 mm-Loches der Unterschied zwischen sprödem und weichem Material deutlicher in die Erscheinung trat, als bei Benutzung von Probestäben mit 6 mm-Loch, trotzdem diese Versuche geringere Werte für die Kerbzähigkeit lieferten.

Die geringsten Werte erhält man bei der Kerbschlagprobe, wenn scharfe Kerbe in den Probestäben benutzt werden. Am auffälligsten zeigt sich der Unterschied zwischen scharfem und Rundkerb bei sprödem Stahl, weniger bei sehr zähem Stahl.

Mit abnehmender Stabdicke nimmt sowohl bei scharfem Kerb als auch bei Rundkerb der Wert für die Kerbzähigkeit des Stahles zu, und es ist deshalb die Verwendung der normalen Stabform in allen Fällen ebenso wie beim Zerreißversuch anzustreben. Der Anwendung scharfer Kerbe steht die Schwierigkeit ihrer Herstellung entgegen. Es ist schwer, einen scharfen Kerb herzustellen, weil sich die Spitzen des Hobelstahles oder Fräasers sehr bald abnutzen. Die Erzeugung des Rundkerbes dagegen ist äußerst einfach, es wird mit dem Bohrer das Loch von 4 mm Durchmesser hergestellt<sup>1)</sup> und nach der Oberseite des Stabes hin durch einen Sägeschnitt geöffnet.

Besondere Aufmerksamkeit bei Ausführung der Kerbschlagprobe ist der Temperatur des Probestabes zu widmen. Versuche haben gezeigt, daß die Kerbzähigkeit von Stahl bei niedrigen Temperaturen erheblich geringer ist als bei normalen (s. § 56). Es ergab die normengemäße

<sup>1)</sup> Es empfiehlt sich, das Loch nach dem Bohren mit einer Präzisionsreißahle auf den genauen Durchmesser aufzureiben.

Kerbschlagprobe, mit ein und demselben Material ausgeführt, eine spezifische Schlagarbeit

von	4,24	mkg	bei	—	20 °,
„	16,29	„	„	—	1 „
„	24,69	„	„	+	20 „
„	33,90	„	„	+	200 „.

Der größte Unterschied macht sich bei Temperaturen unter 0° bemerkbar. Während der Abfall in der spezifischen Schlagarbeit bei einem Temperaturunterschiede von +20° bis —1° nur 34% beträgt, ist derselbe bei einer Temperaturabnahme von —1° bis —20° bereits 74%. Die Kerbschlagprobe muß daher bei ca. 15—25° ausgeführt werden, wenn nicht besondere Umstände die Anwendung anderer Temperaturen fordern.

## VIII. Dauerversuche.

### § 67. Schwingungsfestigkeit.

Unter Schwingungsfestigkeit versteht man nach Weyrauch diejenige größte Spannung, welche ein Material bei oftmaliger Beanspruchung von einem positiven Maximum nach einem gleich großen negativen gerade noch zu ertragen vermag. Die Versuche zur Feststellung dieser Spannung heißen Dauerversuche und werden mit besonderen Materialprüfungsmaschinen ausgeführt. Während bei den bisher besprochenen Versuchen der Probekörper durch einmalig bis zur Bruchgrenze gesteigerte Belastung geprüft wurde, wird derselbe bei Dauerversuchen durch eine weit unter der oben erwähnten Bruchgrenze liegende Kraft, aber durch millionenmalige Beanspruchung zum Bruche gebracht.

Die ersten planmäßigen Dauerversuche wurden von Wöhler im Jahre 1870 angestellt (s. Zeitschrift für Bauwesen 1870) und von Bauschinger sowie Spangenberg ergänzt bzw. fortgesetzt. Die von Wöhler benutzten Maschinen befinden sich neben den modernen, von Martens erdachten, im Materialprüfungsamt Großlichterfelde.

Wenn auch die Dauerversuche für die Wissenschaft und ausführende Technik von hervorragender Bedeutung sind, ist doch nicht zu erwarten, daß sie zur Ermittlung der Materialkonstanten allgemein zur Anwendung gelangen werden. Da das vorliegende Buch aber in erster Linie als Handbuch für die praktische Materialprüfung dienen soll, kann auf weitere Erläuterungen der Dauerversuche verzichtet werden. Umfassende Auskunft über diese Versuche nebst Einrichtungen gibt Martens, Materialienkunde, und Martens, Denkschrift zur Eröffnung des Kgl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde, sowie verschiedene zerstreut erschienene Aufsätze in Dinglers polytechnisches Journal 1905—1907, Journal of the Iron and Steel Institute 1905 usw.

## IX. Die technologischen Proben.

### § 68. Allgemeines.

Unter der Bezeichnung „technologische Proben“ faßt man alle diejenigen Versuche zusammen, welche dazu dienen, ohne Ausführung von Kraft- oder Formänderungsmessungen ein Urteil über das vorliegende Material zu schaffen, d. h. auf Grund bloßer Beobachtung des Verhaltens eines Materials, bei verschiedenartiger Beanspruchungsweise, die Güte desselben festzustellen.

Diese Proben stellen die einfachste Art der Materialprüfung dar, da sie sich in jedem Fabrikbetriebe, wenn erforderlich, ohne maschinelle Hilfsmittel ausführen lassen und bei geschickter Durchführung dem geübten Beobachter viele Anhaltspunkte zur Beurteilung eines Materials bieten.

Naturgemäß kommen sie nur für die Metallprüfungen in Frage. Die hierher gehörigen Versuche sind folgende.

1. Die Schmiedeproben:
  - a) die Ausbreitprobe, b) die Polterprobe, c) die Umbördelungsprobe, d) die Stauchprobe, e) die Aufornprobe, f) die Lochprobe, g) die Schweißprobe, h) die Aufrollprobe;
2. die Beiz- und Ätzproben;
3. die Biegeproben:
  - a) die Kaltbiegeprobe, b) die Warmbiegeprobe;
4. besondere Proben:
  - a) die Hin- und Herbiegeprobe, b) die Verwindungsprobe, c) die Kugeldruckprobe.

### a) Schmiedeproben.

#### § 69. Die Ausbreitprobe.

Bei dieser Probe wird ein Flachstab, der aus dem zu untersuchenden Material, in der Regel Blech, auf kaltem Wege herausgearbeitet wurde, mit der nach einem Radius von 15 mm abgerundeten Hammerfinne in rot-warmem Zustande bearbeitet. Die Hammerschläge sind parallel zur Walzrichtung des Materials zu führen, und es ist darauf zu achten, daß die Temperatur des Probestückes keine zu große Verminderung erfährt; das Probestück ist nötigenfalls aufs neue zu erhitzen. Die Bearbeitung ist so lange fortzusetzen, bis das Probestück sich auf ein bestimmtes Maß, im allgemeinen bis auf das  $1\frac{1}{2}$ —2 fache seiner ursprünglichen Breite, ausgedehnt hat. Risse dürfen dabei nicht entstanden sein.

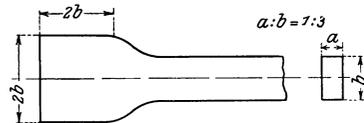


Fig. 122.

Der Probestab soll ein Breitenverhältnis  $a : b = 1 : 3$  haben und auf eine Länge  $L = 1,5—2b$  ausgebreitet oder ausgestreckt werden (s. Fig. 122).

Als Maß für die Ausbreitung  $Ag$  von  $b$  auf  $b'$  oder für die Streckung  $Sg$  von  $l$  auf  $l'$  gilt der bei der Ribbildung erreichte Wert von  $Ag = \frac{b' - b}{b} \cdot 100$  oder  $Sg = \frac{l' - l}{l} \cdot 100\%$ .

### § 70. Die Polterprobe.

Die Polterprobe wird an einem kreisrund geschnittenen Bleche, das nach einigen Abnahmevorschriften 600 mm Durchmesser besitzen muß, in kirschtrotglühendem Zustande ausgeführt, indem das Blech mit Hammer schlägen in ein Gesenk nach Fig. 123 eingetrieben wird. Nach dieser Bearbeitung darf das Blech weder auf der Unterseite noch auf der Oberseite Risse oder Abblätterungen aufweisen. Je nach der Dicke des Bleches darf dasselbe während des Versuchs einmal oder mehrmals erwärmt werden.

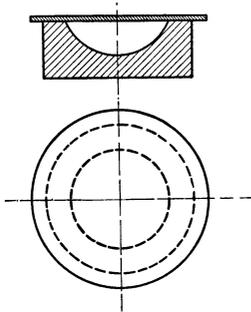


Fig. 123.

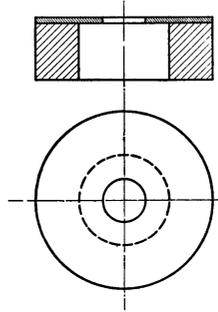


Fig. 124.

### § 71. Die Umbördelungsprobe.

Für diese Probe wird aus dem zu untersuchenden Bleche ein kreisringförmiges Probestück von ca. 600 mm äußerem und 140 mm innerem Durchmesser herausgeschnitten, kirschtrotglühend gemacht und sein innerer Rand durch Hämmern auf einer Polterplatte nach Fig. 124 entsprechend deren Lochdurchmesser bis  $90^\circ$  umbördelt. Bei dieser Bearbeitung dürfen sich weder am Rande noch in der Rundung des ausgetriebenen Halses Risse oder schadhafte Stellen irgendwelcher Art zeigen. Je nach der vorliegenden Blechdicke können dem Probestücke mehrere Hitzen gegeben werden.

### § 72. Die Stauchprobe.

Die Stauchprobe kommt im allgemeinen nur bei Nietmaterial in Anwendung. Sie erstreckt sich auf die Stauchung des Nietkopfes und des Nietschaftes mit dem Hammer. Der Nietkopf muß sich dabei in glühendem Zustande, ohne Risse zu erhalten, so flach schlagen lassen, daß seine Höhe gleich einem Bruchteile des Nietdurchmessers (etwa  $\frac{1}{3}$ ) wird. Ein Nietschaft, dessen Länge  $h$  gleich seinem Durchmesser  $d$  ist, muß sich in rotwarmem Zustande bis auf ein gewisses Maß (etwa  $\frac{1}{3}$ ) seiner Höhe zusammenstauchen lassen, ohne Risse zu erhalten.

Bei Vergleichsversuchen gilt als Maß für die Stauchung  $Stg$  eines Körpers mit  $L = 2d$ , der bei der Ribbildung erreichte Wert von

$$Stg = \frac{L - L'}{L} \cdot 100\%.$$

### § 73. Die Aufdornprobe.

Die Aufdornprobe wird derart ausgeführt, daß im hellrotglühenden Zustande des Bleches ein kegelförmiger Dorn mit leichten Hammerschlägen in das Probestück eingetrieben und das entstandene Loch hiernach mit immer größeren Dornen so lange erweitert wird, bis Kantenrisse entstehen.

Das Verhältnis der Querschnittseiten des Probestabes soll  $a : b = 1 : 5$  und der Durchmesser des Loches gleich  $2a$  sein. Die Auftreibdorne sollen auf 10 mm Länge um 1 mm im Durchmesser wachsen. Als Maßstab für die Erweiterung  $Eg$  des Loches gilt der bei der Ribbildung erreichte Wert von  $Eg = \frac{d' - d}{d} \cdot 100\%$ , worin  $d$  der Durchmesser des zuerst hergestellten Loches und  $d'$  der erweiterte Durchmesser ist.

### § 74. Die Lochprobe.

Bei der Lochprobe wird mit einem Stempel, dessen Durchmesser gleich der Dicke des zu lochenden Bleches bzw. Probestreifens ist, das Probestück im glühenden Zustande mehrfach gelocht und dabei festgestellt, wie nahe man das Loch an den Rand setzen kann, ohne daß das Stück aufreißt.

Das Breitenverhältnis  $a : b$  des Probestreifens soll dabei größer als 1 : 5 sein.

Als Maß des Widerstandes gegen das Ausreißen gilt das Verhältnis zwischen der Probendicke und dem doppelten Abstände des Lochrandes von der Kante des Probestückes. (Die Lochprobe darf nicht mit dem Lochversuch [s. § 47] verwechselt werden.)

### § 75. Die Schweißprobe.

Manche Lieferungsbedingungen schreiben auch Schweißversuche vor. Sie werden so vorgenommen, daß man einen Flachstab von dem Material abtrennt, in zwei Hälften teilt und ohne Anwendung von Schweißpulver diese in einer Hitze wieder zusammenschweißt.

Die Vollkommenheit der Schweißung wird dadurch nachgewiesen, daß der geschweißte Stab in der Schweißstelle sich um einen gewissen Winkel ohne Trennung der Schweißnaht verbiegen läßt.

Auch durch Zerreißversuche kann die Vollkommenheit der Schweißung geprüft werden; dabei darf der Probestab nicht in der Schweißstelle zerreißen.

### § 76. Die Aufrollprobe.

Zur Feststellung unganzer Stellen in Winkeleisenmaterial pflegt man auch Proben auszuführen, deren Art die Figuren 125—129 ver-

deutlichen. Es wird dabei ein nach Fig. 125 vorgeschchnittenes Winkel-eisenstück in kaltem Zustande nach Fig. 126 ausgebreitet und dann nach Fig. 127—129 zusammengerollt.

Bei dieser Bearbeitung darf das Probestück keine Risse erhalten.

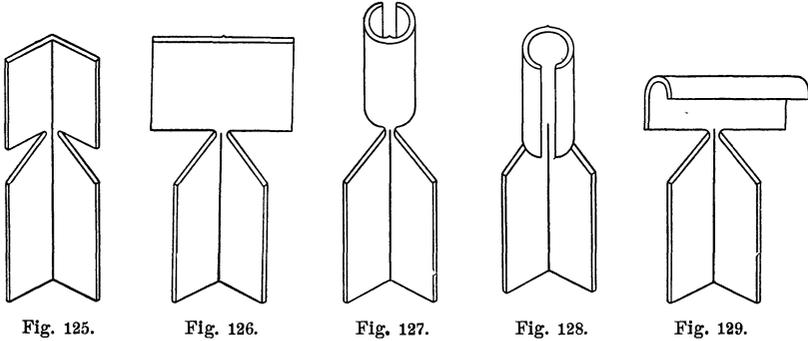


Fig. 125.

Fig. 126.

Fig. 127.

Fig. 128.

Fig. 129.

## b) Die Beiz- und Ätzproben.

### § 77. Allgemeines.

Nach manchen Lieferungsvorschriften müssen Bleche, Profilträger und dergl. der Beiz- oder Ätzprobe unterzogen werden, die dazu dient, Schlackeneinschlüsse freizulegen oder bei Profilträgern, Eisenbahnschienen und dergl. unganze Stellen nachzuweisen.

Die Beizung oder Ätzung wird mit verdünnter Salzsäure (s. § 339) oder Schwefelsäure erzeugt; zur Vermeidung des Rostens wird nach dem Ätzen die noch anhaftende Säure durch Eintauchen in Kalkmilch oder Sodalösung neutralisiert. Hierauf wird das Probestück mit Wasser abgespült, getrocknet und mit Firnis angestrichen.

Da diese Probe eigentlich nicht mehr in das Gebiet der technologischen Proben, sondern in das der makroskopischen Gefügeuntersuchung gehört, soll hier nicht näher darauf eingegangen, sondern nur auf die späteren einschlägigen Paragraphen (§ 349—356) verwiesen werden.

## c) Biegeproben.

### § 78. Allgemeines.

Die Biegeproben sind besonders geeignet, Aufschluß über die Zähigkeit der Materialien zu geben. Sie werden an Probestäben von etwa 150—300 mm Länge, deren Breite etwa gleich der vierfachen Dicke sein soll, mit besonderen Maschinen oder unter Benutzung eines Hammers mit Amboß oder auch eines Schraubstockes ausgeführt.

Wegen der Einfachheit der erforderlichen Mittel ist die Biegeprobe mit Hammer oder Schraubstock am meisten verbreitet. Wenn sie auch nicht als einwandfrei bezeichnet werden darf, bietet sie dennoch einen

ganz guten Einblick in die Beschaffenheit des Materials. Sie wird derart ausgeführt, daß der Probestab nach Fig. 130 auf den Amboß gelegt, mit einem Vorschlaghammer angedrückt und durch leichte Schläge mit dem Hammer vorgebogen wird. Hierauf stellt man den gebogenen Stab nach Fig. 131 auf den Amboß und schlägt ihn weiter zusammen, bis er bricht oder die beiden Schenkel aufeinanderliegen. Man kann ihn auch in einen kräftigen Schraubstock einspannen und zusammendrücken.

Zuverlässig und für Vergleiche geeignet ist die Biegeprobe nur dann, wenn sie maschinell ausgeführt wird. Die Maschinen müssen die Probestäbe mit langsam und stetig wirkender Kraft biegen, wobei die Zugseite des beanspruchten Stabes stets dem Auge sichtbar bleiben muß.

Entweder erfolgt die Biegung des Stabes durch Mitteldruck gegen zwei Stützen oder durch Beanspruchung des freien Endes bei einseitiger Einspannung. Je nach der Art der Einspannung oder Stützung unterscheidet man:

Biegung über Dorn und freie Biegung.

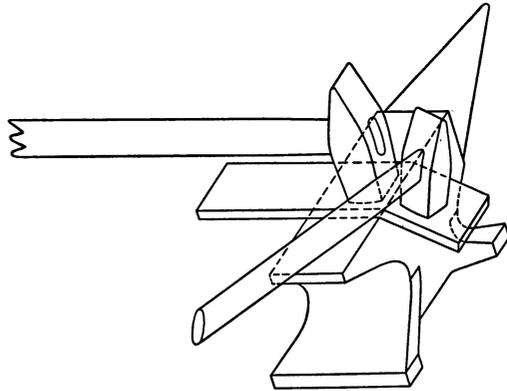


Fig. 130.

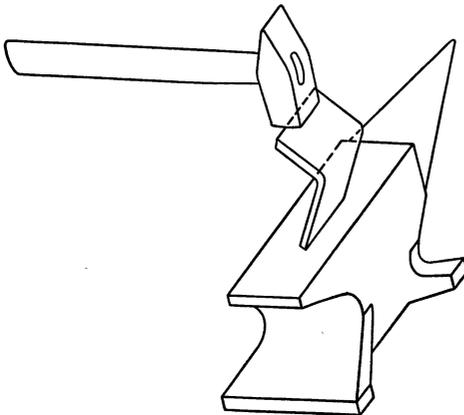


Fig. 131.

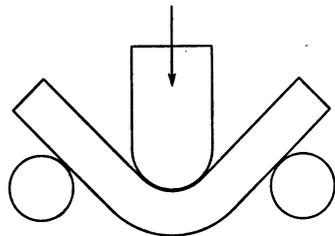


Fig. 132.

Bei der ersten Methode erfolgt die Biegung des Probestabes gezwungen über einen Dorn, wobei die innere Seite des Probestabes satt an dem Dorn anliegt (s. Fig. 132). Bei der zweiten Methode wird der Probestab frei um eine abgerundete Kante des Druckstempels oder der Einspannbacke gebogen. Bei der Biegeprobe über Dorn muß der Durchmesser des Dornes der Probendicke angepaßt werden; er soll ein Vielfaches der Probendicke betragen.

Zur Beurteilung des Materials dient das Verhältnis zwischen Probendicke  $a$  und dem Krümmungshalbmesser  $\rho$  der neutralen Schicht beim Eintritt von deutlichen Rissen. Als Gütemaßstab dagegen wird die Biegegröße  $Bg$  benutzt. Sie ist nach Tetmajer:  $Bg = 50 \cdot \frac{a}{\rho}$ .

Die Feststellung der Größe des Krümmungshalbmessers erfolgt mit Lehren oder auf graphischem Wege, indem man den gebogenen Probestab auf ein Blatt Papier legt, den Stab mit einem Zeichenstift umfährt und dann den Krümmungshalbmesser auf dem Papiere bestimmt.

An manchen Prüfungsstellen werden auch Biegeproben mit verletzten Probestäben ausgeführt. Es werden dabei die Probestäbe entweder mit

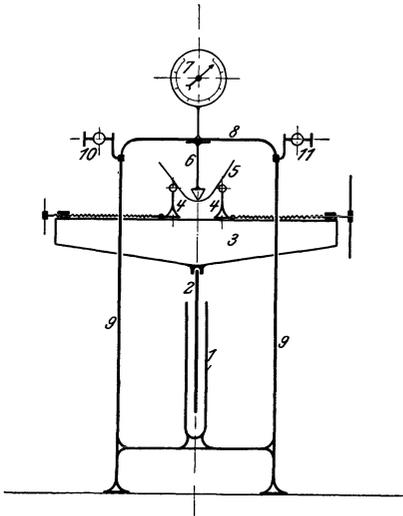


Fig. 133.

einer Einkerbung auf der späteren Zugseite oder mit Lochung versehen. Werden diese Prüfungsmethoden in Anwendung gebracht, so empfiehlt es sich, für die Einkerbung einen unter  $90^\circ$  zugespitzten Hobelstahl zu benutzen und die Einkerbung bis auf 0,2 der Probendicke reichen zu lassen. Bei Benutzung gelochter Probestäbe soll die Breite des Stabes gleich seiner fünffachen Dicke sein und der Lochstempel einen Durchmesser besitzen, der gleich der doppelten Stabdicke ist.

Die Feststellung der ersten Risse am Probestabe bietet dem unübten Beobachter insofern gewisse Schwierigkeiten, als er einerseits

Walzhautrisse oder auch Fließfiguren als Materialzerstörungen betrachtet und andererseits wirkliche Materialzerstörungen nicht erkennt, weil die Risse manchmal derart fein sind, daß sie nur bei scharfer und aufmerksamer Beobachtung festgestellt werden können.

Fig. 133 veranschaulicht den Konstruktionsgrundsatz der für Biegeproben bestimmten Faltmaschine von Amsler-Laffon & Sohn.

Im Zylinder 1 der hydraulischen Presse steigt beim Einpressen von Drucköl der Kolben 2 in die Höhe. Auf dem Kolben 2 liegt ein Biegebalken 3 mit zwei verstellbaren Widerlagern 4. Auf diese wird der Probestab 5 gelegt und gegen den darüberstehenden Stempel 6 gepreßt.

Zum Messen der Kraft dient ein Federmanometer 7, das am Querhaupt 8 des Maschinengestells 9 befestigt ist. Die beiden Ventile 10 und 11 werden zum Steuern des Kolbens benutzt.

Fig. 134 zeigt die Ausführungsform einer solchen Maschine für 70 t Kraftäußerung.

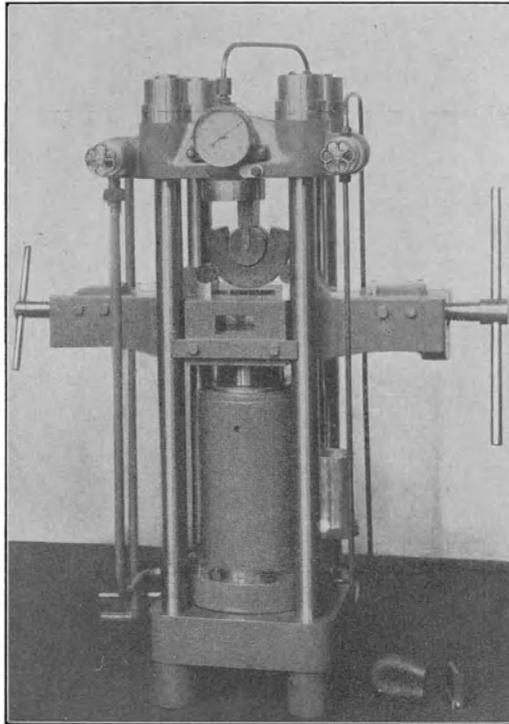


Fig. 134.

### § 79. Die Kaltbiegeprobe.

Für die Kaltbiegeprobe ist der Probestab in kaltem Zustande, d. h. bei normaler Zimmertemperatur so abzutrennen, daß er keine Formänderungen erleidet. Es sind also keine Scheren zu benutzen, sondern je nach den Verhältnissen der Probestab herauszusägen, herauszufräsen oder in ähnlicher Weise zu erzeugen.

Die Prüfung erfolgt bei derselben Temperatur oder wenn das Material später niedrigen Temperaturen ausgesetzt werden soll, wenn angängig, auch bei solchen Temperaturen. Bei niedriger Temperatur werden manche Metalle brüchig; man nennt sie frostbrüchig.

Manche Metalle sind auch vor der Biegeprobe gewissen Behandlungen zu unterwerfen. Sie sind zu glühen oder nach erfolgtem Glühen in Wasser abzuschrecken oder das Glühen erfolgt durch Erhitzen des Probestabes in einer der Eigenart des Metalles angepaßten Weise mit nachfolgendem

langsamen Abkühlen. Z. B. wird Eisen bis auf Hellrotglut, d. s. etwa  $800^{\circ}$ , Kupfer bis etwa  $600\text{--}700^{\circ}$  erhitzt. Probestäbe aus Eisen, welche abzuschrecken sind, werden bis  $800^{\circ}$  erhitzt und dann in Wasser von  $15\text{--}30^{\circ}$  unter Umrühren schnell abgekühlt. Die Prüfung derartig vorbehandelter Stäbe hat den Zweck festzustellen, ob das Material Härbarkeit besitzt. Sie macht sich bei der Kaltbiegeprobe dadurch bemerkbar, daß der Stab im Gegensatz zu dem nicht abgeschreckten zum Bruche gelangt, ohne eine erhebliche Durchbiegung zu erfahren.

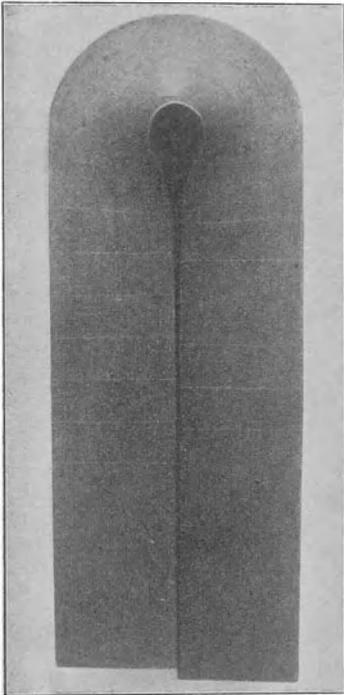


Fig. 135.

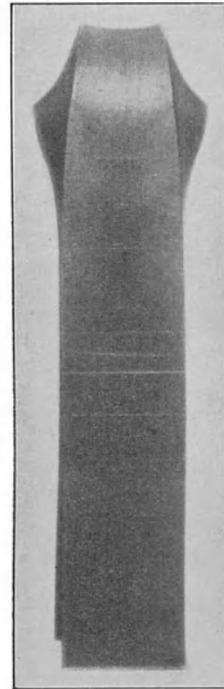


Fig. 136.

Stark formbare Materialien, wie Flußeisen, erleiden bei der Kaltbiegeprobe keinen Bruch. Die beiden Enden des Probestabes lassen sich, wie Fig. 135 zeigt, bis zur gegenseitigen Berührung zusammenbiegen, ohne daß eine Trennung der einzelnen Materialfasern stattfindet. Auf der Zugseite hat der Probestab eine sehr große Dehnung und auf der Druckseite eine ebensolche Zusammendrückung erlitten. Da jene eine Quersammenziehung und diese eine Ausdehnung zur Folge haben muß, hat sich die Breite des ehemals quadratischen Probestabes von der neutralen Schicht nach außen hin verringert und nach der anderen Seite zu vergrößert.

Der ehemals quadratische Querschnitt hat Trapezform angenommen, wobei die Seiten des Trapezes leicht gekrümmt sind (s. Fig. 136).

Ermittelt man durch Ausmessen der Abstände der einzelnen gekrümmten Linien voneinander (s. Fig. 135) diejenige Stabschicht, in der eine Längenänderung nicht stattgefunden hat, also die in § 31 als neutrale Faserschicht bezeichnete Zone, so ergibt sich für sie eine Lage, die erheblich von der Querschnittsmitte abweicht. Da aber das vorliegende Material ein solches ist, bei dem die neutrale Schicht bei Beginn der Biegung in der Querschnittsmitte liegen muß, so ist nachgewiesen, daß die neutrale Schicht während der Biegung eine Verlegung erleidet, die um so größer ist, je weiter die Biegung getrieben wird. Auch die in § 31 gemachte Voraussetzung, daß die Querschnitte des Stabes auch nach der Biegung noch eben sind, bestätigt sich hierbei nicht, da die auf dem nicht ge-

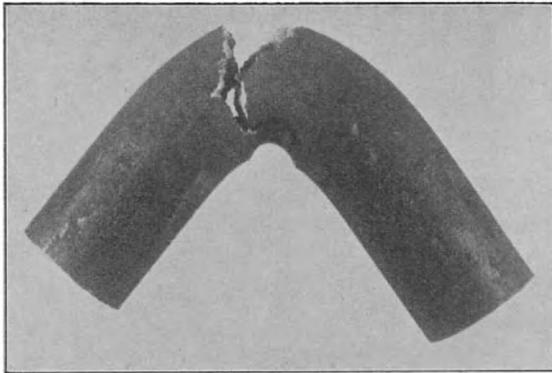


Fig. 137.

bogenen Stabe angerissenen Geraden in stark gekrümmte Kurven übergegangen sind.

Das Beispiel lehrt, daß die bei Ableitung der Formeln in § 31 gemachten Annahmen und Voraussetzungen nur innerhalb gewisser Spannungsintervalle Gültigkeit besitzen. Bedenkt man, daß das Hookesche Gesetz auch nur für Spannungen innerhalb der Elastizitätsgrenze anwendbar ist und jenes Gesetz allen Ableitungen zugrunde gelegt wurde, so ist ersichtlich, daß die Verhältnisse hinsichtlich der Spannungsverteilung im gebogenen Stabe sich von der Elastizitätsgrenze ab ändern und um so verwickelter werden, je weiter die Durchbiegung fortschreitet.

In Fig. 137 sind die Bruchstücke eines der Biegeprobe unterworfenen Schweißstabs dargestellt. Trotzdem der Biegewinkel noch verhältnismäßig gering ist, hat bereits eine völlige Trennung der Materialfasern stattgefunden. Die Zerstörung ist bei diesem Stabe in erster Linie dadurch hervorgerufen worden, daß die Dehnungsfähigkeit des Schweißstabs nicht

ausreichte, die verhältnismäßig große Längsdehnung zu liefern, welche die große Stabdicke bedingte.

### § 80. Die Warmbiegeprobe.

Die Warmbiegeproben werden als Blauwarmbiegeproben und Rotwarmbiegeproben ausgeführt. Sie sind insofern für Eisen wichtig, als dasselbe bei den diesen Zuständen entsprechenden Temperaturen mehr oder weniger große Brüchigkeit besitzt.

Die Erwärmung der Probestäbe für diese Versuche erfolgt am besten in Glühöfen oder Metallbädern. Wenn Temperaturmessungen nicht zugänglich sind, kann man die gehörige Erwärmung für die Blauwarmprobe, welche 300° beträgt, dadurch feststellen, daß man die Anlauffarbe des Eisens an einer blank gemachten Stelle beobachtet. Ist die Farbe blau und beständig, so ist die Temperatur richtig. Verschwindet die blaue Farbe dagegen wieder, so ist der Probestab zu heiß. Erscheint die blaue Anlauffarbe überhaupt nicht, so ist die Temperatur zu niedrig. Für die Rotwarmprobe muß das Eisen eine Temperatur von 600° besitzen, die den Probestab im Dunkeln deutlich rot erscheinen läßt.

Bricht das Eisen bei der Blauwarmprobe, so nennt man es „blaubrüchig“. Manches Eisen, welches bei der Kaltbiegeprobe und bei der Rotwarmbiegeprobe tadelloses Verhalten zeigte, erhält bei der Blauwarmbiegeprobe Risse. Die Erscheinung der Brüchigkeit des Eisens bei Rotwärme heißt „Rotbruch“. Sie rührt von gewissen Bestandteilen im Eisen her, deren Einfluß die Brüchigkeit zuzuschreiben ist. In erster Linie sind es Schwefel und Sauerstoff, die dem Eisen Rotbruch verleihen.

Manchmal weist das Eisen, insbesondere Schweiß Eisen, eine dem Rotbruche ähnliche Erscheinung auf, die zu Verwechslungen Anlaß geben kann. Sie wird durch mechanisch beigemengte fremde Körper verursacht, die in der Schmiedetemperatur nicht flüssig werden, somit schichtenartig in dem Material eingelagert bleiben und infolgedessen bei der Biegeprobe Kantenrisse veranlassen. Man bezeichnet diese Eigenschaft des Eisens als Faulbrüchigkeit oder Faulbruch.

## d) Besondere Proben.

### § 81. Die Hin- und Herbiegeprobe.

Ein Sonderfall der technologischen Biegeprobe ist die sogenannte Hin- und Herbiegeprobe, die zur Prüfung von Drähten ausgeführt wird. Es ist dazu ein besonderer Apparat (Fig. 138) erforderlich, dessen Konstruktionsgrundsatz aus Fig. 139 ersichtlich ist.<sup>1)</sup> Der Draht wird an dem einen Ende zwischen die Klemmbacken eines Schraub- oder Klemmstockes eingespannt und das andere freie Ende mit einem Hebel, der für den Draht ein Führungsstück besitzt, mit mäßiger Geschwindigkeit hin

<sup>1)</sup> Ein weiterer Apparat ist in § 155 beschrieben.

und her gebogen. Die Klemmbacken müssen mit einer Abrundung bestimmten Halbmessers versehen und derart geformt sein, daß die Möglichkeit geboten ist, den Draht um 180° zu verbiegen.

Als Gütemaßstab gilt die Anzahl der Biegungen um 180°, welche der Draht zu erleiden vermag, ohne zu brechen. Die Biegung um 180°

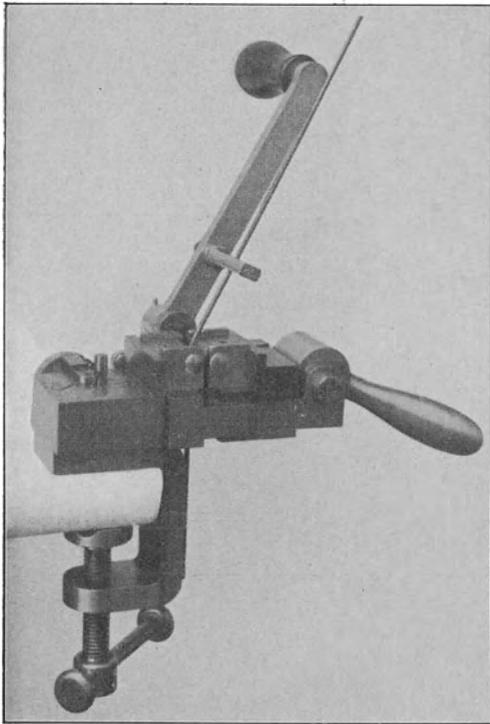


Fig. 138.

setzt sich zusammen aus der Biegung des Drahtes von der Anfangslage aus um 90° nach rechts oder links und um 90° in die Anfangslage zurück. Die

Biegungen haben abwechselnd nach rechts und links zu erfolgen. Der Bruch ist als eingetreten zu betrachten, wenn der Draht an der Biegestelle einen deutlich sichtbaren Querriß aufweist.

Im allgemeinen müssen Flußeisendrähte bei der

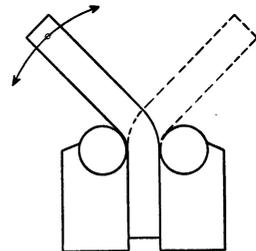


Fig. 139.

Hin- und Herbiegeprobe die in folgender Zusammenstellung angegebenen Biegungen ertragen ohne zu brechen (s. a. § 108).

Drahtdicke . . . . .	6	5	4	3	2,5	2	1,7 mm.
Biegezahl . . . . .	6	7	8	8	10	14	16
Abrundungsradius der Klemmbacken	10 mm			5 mm.			

### § 82. Die Verwindungsprobe.

Diese Probe wird ebenfalls, wie die Hin- und Herbiegeprobe, zur Güteprüfung von Drähten ausgeführt. Es wird mit einer Maschine der Draht um seine Achse verdreht und dabei die Anzahl der Verwindungen gezählt. Die Verwindungszahl dient als Gütemaß.

Der Probedraht soll zwischen den Einspannvorrichtungen eine freie Länge besitzen, die gleich der 75fachen Drahtdicke, mindestens aber gleich 15 cm ist. Die Einspannung des Drahtes erfolgt mit Beißkeilen, in denen er durch Reibung festgehalten wird.

Die Maschine darf der Entwicklung etwaiger Längenänderungen des Drahtes während des Versuchs kein Hindernis bereiten, sie soll aber auch so beschaffen sein, daß der Draht beständig unter gleichbleibender Spannung erhalten wird.

Im allgemeinen müssen Flußeisendrähte folgende Verwindungszahlen besitzen.

Drahtdicke . . . . .	6	5	4	3	2,5	2	1,7
Verwindungszahl . . . . .	16	19	23	28	30	32	38

Fig. 140 zeigt das Schema eines für die Verwindungsprobe geeigneten Apparates von Amsler-Laffon & Sohn.

Der Probestab 1, in den Einspannköpfen 2 und 3 festgehalten, wird durch das Gewicht 4 an dem Hebel 5 gespannt. Der Exzenterhebel 6

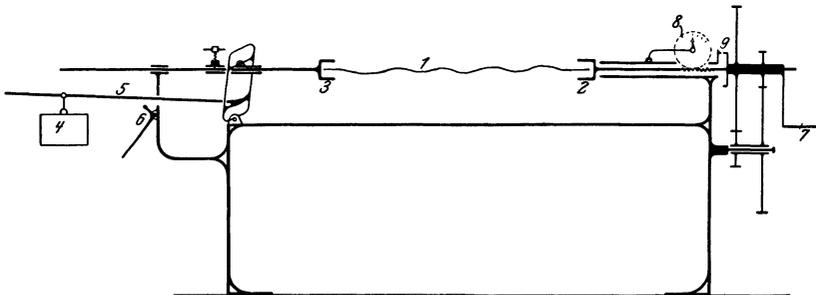


Fig. 140.

verhindert beim Einstellen die Wirkung des Gewichtes 4, und es läßt sich der gegen Drehen gesicherte Einspannkopf 3 in die richtige Lage zum Probestab 1 verschieben. Der Antrieb zum langsamen Verwinden geschieht mit der Kurbel 7 durch doppelte Stirnradübersetzung. Das Umstellen der Kurbel 7 auf direkten Angriff am Einspannkopf 2 erlaubt ein rasches Verdrehen. Die Anzahl der Verwindungen zeigt die Scheibe 9 an; Bruchteile hiervon werden an dem mit Skala versehenen Schneckenrädchen 8 abgelesen. Die zum Verwinden nötige Kraft läßt sich mit diesem Apparat nicht messen. Soll auch diese festgestellt werden, so ist eine in § 154 beschriebene Torsionsmaschine zu verwenden.

Aus Fig. 141 ist die Ausführungsform des Apparates nach Schema Fig. 140 ersichtlich.

### § 83. Die Kugeldruckprobe.

Eine besondere technologische Probe ist die sogen. Kugeldruckprobe, die bei Abnahmeprüfungen mit Eisenbahnschienen ausgeführt wird. Sie erinnert an die in § 92 erläuterte Brinellsche Kugelprobe, ist aber mit ihr nicht identisch. Nach den Bedingungen für die Lieferung von Fahrschienen, Zungenschienen usw. der Kgl. Sächs. Staatseisenbahnen

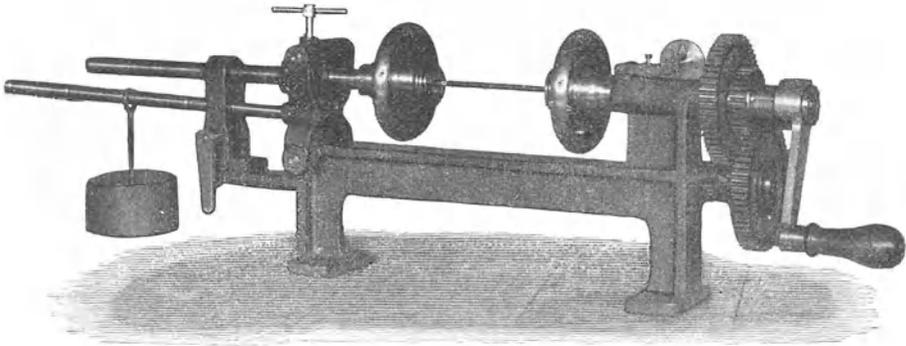


Fig. 141.

soll diese Probe neben den Zerreißversuchen vorgenommen werden, und zwar darf sie die Hälfte der vorgeschriebenen Zerreißproben ersetzen.

Hierzu wird ein Stück Schiene von 200—300 mm Länge von dem vorher dem Schlagversuche unterzogenen Versuchsstücke kalt abgetrennt und eine Gustahlkugel von 19 mm Durchmesser oben in die Mitte oder in die Seite des Schienenkopfes eingedrückt.

Bei einem Druck von 50000 kg darf die Eindrucktiefe der Kugel nicht weniger als 3,0 mm und nicht mehr als 5,5 mm betragen.

## X. Versuche zur Bestimmung der Härte der Materialien.

### § 84. Allgemeines.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Bezeichnungen hart und weich als Gegensätze für die Beschaffenheit von Körpern angewendet, ohne daß man in der Lage ist, anzugeben, wo die Grenze zwischen Härte und Weichheit zu suchen sei. Ebenso wie die Bezeichnung Kälte nur einen geringeren Grad von Wärme bedeutet, stellt die Weichheit nur einen geringeren Grad von Härte dar. Da die Begriffsfestlegung daher sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist, empfiehlt es sich, im Materialprüfungswesen die Bezeichnung Weichheit zu vermeiden und das Maß der Härte eines Körpers in irgend einer Weise anzugeben. Ein solches Vorgehen begegnet aber insofern gewissen Schwierigkeiten, als die Härte-

bestimmungsverfahren nicht für alle Materialien einheitlich verwendbar sind und es bisher noch nicht gelungen ist, Verfahren zu finden, mit denen man die Härte von Metallen, Gesteinen und anderen Stoffen in gleichartiger Weise feststellen kann. Alle möglichen Eigenschaften der Materialien sind herangezogen worden, um aus ihnen den Grad der Härte abzuleiten, und nur sehr wenige Vorschläge sind es, welche einigen Erfolg gezeitigt haben.

In erster Linie waren es die Festigkeitseigenschaften, zu denen man die Härte in Abhängigkeit zu bringen suchte, und zwar bot der Fließvorgang beim Zugversuche mit Metallen einige Anknüpfungspunkte, indem von verschiedenen Seiten behauptet wurde, daß die Fließgrenze um so höher läge, je größer die Härte des Materiales sei. Da aber viele Materialien keine Fließgrenze besitzen und, wie Bauschinger nachgewiesen hat, bei manchen Materialien die Fließgrenze durch Überbeanspruchung verlegt werden kann, auch nach § 5 die Fließgrenze nur auf einer Vereinbarung hinsichtlich der bleibenden Stabdehnung beruht, muß diesen Methoden wenigstens für die praktische Materialprüfung jede Berechtigung abgesprochen werden.

Zu einem ebenfalls auf Festigkeitseigenschaften beruhenden Härtemaß gelangte Kick durch seine Versuche mit allseitig umschlossenen Körpern. Er stellte fest, daß spröde Körper, z. B. Gips, wenn sie in gleichfalls spröde aber härtere und schmelzbare Körper, z. B. Schwefel, und dieser in noch härtere, z. B. Kupfer, eingeschlossen werden, sich mit den Hüllen biegen lassen, ohne zu brechen. Es bedeutet dies, daß spröde Körper durch allseitig auf sie einwirkenden Druck bildsamer werden. Ferner hat sich ergeben, daß solche allseitig umschlossenen Körper von gleicher Härte auch gleiche Scherfestigkeit haben, und die Umkehrung dieses Ergebnisses führte zu der Folgerung, daß Körper gleicher Scherfestigkeit auch gleiche Härte besitzen. Nach Kick würde somit die Scherfestigkeit gleichzeitig ein Maß für die Härte eines Körpers geben.

Auch die chemische Zusammensetzung hat man mit der Härte in Beziehung zu bringen versucht, indem man insbesondere für Werkzeugstahl Härteskalen aufstellte, die den Kohlenstoffgehalt zur Grundlage hatten. Überlegt man aber nach den in § 23 gegebenen Erörterungen, welchen Einfluß die thermische und mechanische Behandlung allein schon auf die Eigenschaften des Stahles ausübt, so gelangt man zu dem Schlusse, daß auch diese Methode nicht geeignet ist, ein Härtemaß, wenn auch nur für Stahl, zu liefern. Weiter hat es nicht daran gefehlt, die elektrische Leitfähigkeit, die Magnetisierbarkeit usw. zur Aufstellung von Härteskalen heranzuziehen. Nach Benedicks ist die Härte der Elemente proportional der Atomkonzentration, d. i. spezifisches Gewicht dividiert durch Atomgewicht.

Eine sorgfältige Erwägung aller vorgenannten Vorschläge führt zu dem Schlusse, daß alle Vorschläge wohl für wissenschaftliche Zwecke benutzbar sind, aber für die praktische Materialprüfung nicht in Frage

kommen können. Die Ausführung der Versuche begegnet mannigfachen Schwierigkeiten und die Ergebnisse lassen es in den weitaus meisten Fällen nicht zu, unmittelbar Schlüsse auf die Eigenschaften des vorliegenden Materials zu ziehen. Die praktische Materialprüfung erfordert Methoden, die ohne weitgehende Vorbereitung der Probekörper in jederzeit kontrollierbarer Weise sofort ein Härtemaß liefern.

Martens legt in seiner „Materialienkunde“ den Ausführungen über die Härte der Materialien folgende Definition zugrunde:

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen (härteren) Körpers entgegengesetzt.

### § 85. Einteilung der Härteprüfungsverfahren.

Legt man die im vorigen Paragraphen genannte Härte-Definition zugrunde, so gelangt man nach Martens zu der folgenden Einteilung der Härteprüfungsverfahren.

#### Gruppe I. Die Eindringungsverfahren.

Hierbei erleidet der zu prüfende Körper gegenüber dem eindringenden während des Versuches keine Ortsveränderung.

Die Gruppe enthält die Unterabteilungen:

Eindruckverfahren und  
Einhiebsverfahren.

##### a) Eindruckverfahren.

Bei diesem Verfahren werden eigenartig gestaltete Stempel mit stoßfrei wirkendem Druck in die Oberfläche des zu prüfenden Körpers eingedrückt und dabei

die Eindringungstiefe bei konstantem Drucke oder  
der zur Erzeugung einer bestimmten Eindringungstiefe erforderliche Druck

gemessen.

##### b) Einhiebsverfahren.

Bei diesem Verfahren werden die Stempel durch fallende Gewichte in das zu prüfende Material eingetrieben und dabei

die Eindringungstiefe bei gleicher Schlagleistung oder  
die zur Erzeugung einer bestimmten Eindringungstiefe erforderliche Schlagleistung

gemessen.

#### Gruppe II. Die Ritzverfahren.

Bei den Ritzverfahren wird entweder der eindringende Körper gegen den zu prüfenden oder umgekehrt dieser gegen den eindringenden Körper verschoben.

Die Gruppe enthält ebenfalls zwei Unterabteilungen, nämlich:

a) Ritzen des zu prüfenden Körpers mit mehreren solchen bekannter Härte und

- b) Ritzen des zu prüfenden Körpers mit einem einzigen bekannter Härte.

Zu a. Bei diesem Verfahren wird die Härte des zu prüfenden Körpers vergleichsweise mit Hilfe einer Reihe von verschiedenen harten Körpern bestimmt.

Zu b. Bei der Ritzung mit einem einzigen Körper bekannter Härte wird dieser gegen den zu prüfenden Körper gedrückt und dabei gemessen entweder:

1. der Druck, welcher erforderlich ist, um während einer Weg- oder Zeiteinheit einen bestimmten Teil des Probekörpers abzarbeiten, oder
2. die Menge Material, welche während einer Weg- oder Zeiteinheit durch den ritzenden Körper unter bestimmtem Drucke von dem zu prüfenden Körper abgehoben wird, oder
3. der Druck, welcher nötig ist, um durch den ritzenden Körper einen Riß von bestimmter Breite in der Oberfläche des zu prüfenden Körpers zu erzeugen, oder
4. die Spurbreite, welche durch den ritzenden Körper unter bestimmter Belastung in der Oberfläche des zu prüfenden Körpers hervorgerufen wird.

## Gruppe I. Die Eindringungsverfahren.

### a) Eindruckverfahren.

Bei diesem Verfahren werden im allgemeinen Stempel aus gehärtetem Stahl benutzt, von denen einige Formen in Fig. 142—145 dargestellt sind.

#### § 86. Methode von Middelberg.

Hierbei werden Stempel nach Fig. 142 benutzt. Die Stempelschneide besitzt einen Winkel von  $30^{\circ}$  und ist nach einem Radius von 25 mm gekrümmt. Der Anpressungsdruck  $P$  der Schneide an den zu prüfenden Körper soll 292 kg betragen. Das Maß für die Härte bildet dabei die Länge  $l$  des Eindruckes, welchen der Stempel unter der Wirkung des Anpressungsdruckes erzeugt.

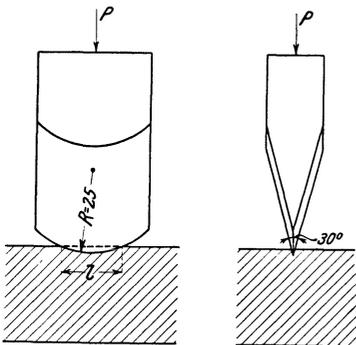


Fig. 142.

#### § 87. Methode von Calvert und Johnson.

Bei dieser Methode wird die Härte durch die Kraft  $P$  gemessen, welche imstande ist, einen Stahlstempel mit 1,25 mm Durchmesser

nach Fig. 143 im Verlauf einer halben Stunde 3,5 mm tief in das zu prüfende Material einzudrücken.

### § 88. Methode von Kerpely.

Nach den Vorschlägen von Kerpely soll ein Kreiskegel aus Stahl nach Fig. 144 mit konstanter Kraft in das zu prüfende Material eingedrückt und als Maß der Härte der Durchmesser  $\delta$  des Eindruckes an der Körperoberfläche festgestellt werden.

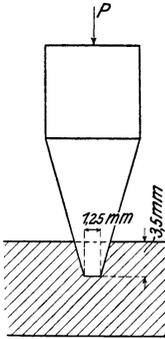


Fig. 143.

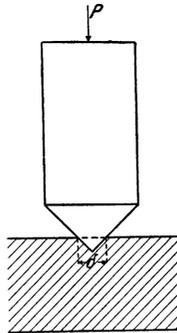


Fig. 144.

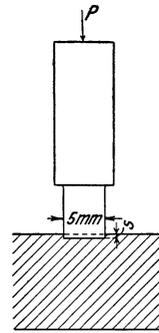


Fig. 145.

### § 89. Methode von Kirsch.<sup>1)</sup>

Kirsch drückt Stempel nach Fig. 145 gegen die Oberfläche des Materials und bestimmt den Druck, der angewendet werden muß, damit bei spröden Körpern ein Sprung oder bei zähen gerade der erste bleibende Eindruck  $s$  entsteht.

### § 90. Methode von Rudeloff und Föppl.

Bei Härtebestimmungen nach dieser Methode werden zwei kreuzweise übereinandergelegte halbe Kreiszyylinder aus dem zu untersuchenden Material mit allmählich wachsender Kraft gegeneinandergedreßt und als Maß der Härte diejenige Kraft bestimmt, welche gerade erforderlich ist, einen Sprung oder einen bleibenden Eindruck hervorzurufen.

### § 91. Methode von Auerbach.

Die Methode von Auerbach beruht auf der von Hertz<sup>2)</sup> (1882) gegebenen, mathematisch begründeten Definition der Härte und der von ihm empfohlenen Bestimmungsmethode.

Hertz führt aus: Die Härte eines Körpers wird gemessen durch den Normaldruck auf die Flächeneinheit, welcher im Mittelpunkte einer kreisförmigen Druckfläche herrschen muß, damit in einem Punkte des Körpers die Spannungen eben die Fließgrenze erreichen.

<sup>1)</sup> Kirsch, Mitteilungen aus dem Technolog. Gew.-Mus. in Wien 1891 S. 108.

<sup>2)</sup> Hertz, Gesammelte Werke, I, S. 193.

Auerbach<sup>1)</sup> benutzte für seine Versuche Platten aus durchsichtigen Körpern (von etwa 8 mm Dicke), gegen die er Linsen (von 1—30 mm Krümmungsradius) aus dem gleichen Material mit allmählich wachsender Kraft drückte. Die Druckfläche maß er während des Versuchs aus und beobachtete bei spröden Körpern gleichzeitig das Auftreten des ersten Sprunges, um die Überschreitung der Elastizitätsgrenze festzustellen. Bei formbaren Körpern war dieses Verfahren nicht zugänglich. Auerbach fand aber, daß die spezifische Pressung in der Druckfläche zwar erst anwuchs, aber von einer bestimmten Belastung an unveränderlich blieb, so hoch auch die Belastung gesteigert wurde. Der Höchstwert der Belastung erwies sich von der Krümmung abhängig, und Auerbach wählte als Maß für die Härte das Produkt aus spezifischer Pressung und dem Werte  $\sqrt[3]{\rho}$ , worin  $\rho$  den Krümmungsradius bedeutet. Für spröde Körper dagegen benutzte er den in gleicher Weise umgerechneten Wert der spezifischen Pressung bei Eintritt des ersten Sprunges. Auch die Methode von Auerbach leidet daran, daß die zu untersuchenden Körper erst weitgehender Vorbereitungen bedürfen, und ist somit umständlich.

Wesentlich einfacher, dabei aber auch zuverlässiger, ist die neuerdings in Aufnahme gekommene Härtebestimmung nach der

### § 92. Methode von Brinell (Brinellsche Kugelprobe).

Die Methode besteht darin, daß eine gehärtete Stahlkugel von 10 mm Durchmesser durch meßbaren, stoßfrei wirkenden Druck in die Oberfläche des zu prüfenden Materials eingetrieben und der größte Durchmesser des Eindruckes gemessen wird. Dividiert man alsdann die größte angewandte Druckkraft in Kilogrammen durch die Fläche in Quadratmillimetern der gebildeten sphärischen Vertiefung, so erhält man die „Härtezahl“ als Maß der absoluten Härte. Je größer die Härtezahl, desto größer ist die Härte des Materials.<sup>2)</sup>

Während nach Hertz bzw. Auerbach die Belastung nicht so hoch getrieben werden darf, daß bleibende Formänderungen eintreten, berücksichtigt dies die Methode von Brinell nicht. Hertz bzw. Auerbach will, daß bei den Versuchen die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird. Berücksichtigt man aber, daß bei Metallen und überhaupt formbaren Körpern schon der geringste Druck eine bleibende Vertiefung in dem zu untersuchenden Material hervorbringt, so ist klar, daß die Hertz'schen Methoden für alle Metalle nicht anwendbar sind und man sich mit

<sup>1)</sup> Auerbach, Absolute Härtemessung (Exners Repertorium der Physik Bd. 27). — Derselbe (Annalen der Physik und Chemie 1891, Bd. 43). — Derselbe, Die Härteskala im absoluten Maße (Annalen der Physik und Chemie 1896, Bd. 58).

<sup>2)</sup> S. Meyer, Untersuchungen über Härteprüfung und Härte; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 645.

Methoden begnügen muß, auf welche die Elastizitätstheorie keine Anwendung finden kann, die aber durch Vergleichsbestimmungen mit genügender Annäherung ein Maß für die Härte der verschiedenen Materialien liefern.

Die Ausführung der Härteprüfung nach Brinell kann mit jeder Materialprüfungsmaschine erfolgen, die mit einer Vorrichtung für Druckversuche versehen ist. Ist eine solche Vorrichtung, wie es bei Zerreißmaschinen im allgemeinen der Fall ist, nicht vorhanden, so wird das von Brinell bereits benutzte Hilfsmittel gute Dienste leisten. Er brachte am oberen und unteren Einspannkopf der Zerreißmaschine ein Gehänge an, dessen Konstruktion aus Fig. 146 ohne weiteres klar wird. Spezialmaschinen zur Härteprüfung nach Brinell sind auf S. 142 und in § 137 beschrieben; die letztere gestattet neben Feststellung der Kraft gleichzeitig die Bestimmung der Eindrückungstiefe.

Die Durchführung des Versuches geschieht in folgender Weise. Der zu prüfende Körper 1 wird auf der unteren Preßplatte der Prüfungsmaschine gelagert und durch die Kugel 2, welche in eine Haltevorrichtung 3 eingepaßt ist, auf örtlichen Druck beansprucht. Der Druck soll bei Eisen  $\frac{1}{4}$  Minute und bei weniger harten Metallen  $\frac{1}{2}$  Minute wirken. Zur Erlangung vergleichbarer Ergebnisse muß sowohl die Kugel einen bestimmten Durchmesser, als auch der zu prüfende Gegenstand stets gleiche Hauptabmessungen besitzen.

Brinell empfiehlt, als „Normalkugel“ eine Kugel von 10 mm Durchmesser zu benutzen und den Probestücken 10 mm Dicke bei 35 mm Breite zu geben. Er stellte Versuche an, wobei sich ergab, daß Bleche von 35 mm Breite und 2,5 bzw. 5 mm und 10 mm Dicke nach seiner Methode gleiche Härte aufwiesen. Wurden dagegen Bleche mit 17 mm Breite verwendet, dann quoll das Material infolge des Kugeleindruckes seitlich aus dem Probestreifen heraus.

Da die Eindringungstiefe der Kugel außer vom Durchmesser in erster Linie von der Höhe der Kraft abhängt, die zum Eindringen der Kugel benutzt wird, ist es erforderlich, für die Größe der anzuwendenden Kraft bestimmte Werte zugrunde zu legen. Brinell bemißt daher den Druck  $P$  derartig, daß der Eindringungswinkel (s. Fig. 147) niemals größer als  $90^\circ$  wird. Als Kräfte kommen in Betracht je nach der Art des Materials 5000, 3000, 1000, 500 und 200 kg, für Eisen wird in der Regel 3000 kg und für weichere Metalle 500 kg als Belastung gewählt. Die Messung des Durchmessers  $d$  des Kugeleindruckes erfolgt am besten mit

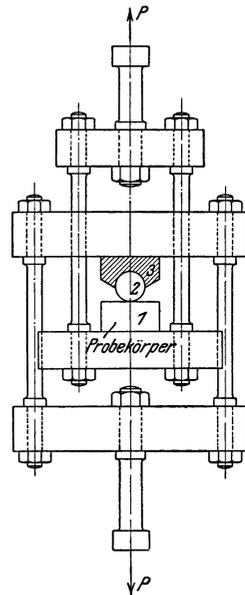


Fig. 146.

einem Komparator (s. § 169) oder Okularschraubenmikrometer (s. § 167). Die Härtezahl selbst kann der Tabelle S. 144 entnommen werden.

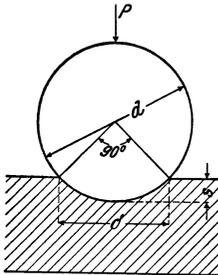


Fig. 147.

Die Methode hat auf Hüttenwerken und in industriellen Betrieben bereits vielfach Anwendung gefunden, um so mehr, als sie von verschiedenen Seiten als Ersatz der Zerreißprobe empfohlen wird.

Brinell und Dillner haben Versuche zur Ermittlung der Beziehung zwischen Zerreißfestigkeit und Härtezahl ausgeführt und gefunden, daß Härtezahl und Zugfestigkeit proportional sind. Das Produkt aus Härtezahl und einem Koeffizienten, der für jedes Material besonders ermittelt werden muß, soll gleich der Zugfestigkeit des Materials sein.

Als Koeffizienten schlägt Dillner für Stahl auf Grund seiner Versuche mit schwedischem Stahle folgende Werte vor:

Für Härtezahlen	Druckrichtung bei der Kugelprobe	
	senkrecht	parallel
	zur Walzrichtung	
unter 175 . . . . .	0,362	0,354
über 175 . . . . .	0,344	0,324

Die größten Abweichungen zwischen der aus der Härtezahl berechneten und der versuchsweise bestimmten Zugfestigkeit betrug im höchsten Falle 6 %. Charpy<sup>1)</sup> bestätigt die Dillnerschen Versuchsergebnisse auf Grund eigener Versuche, bei denen er für französisches Stahlmaterial Koeffizienten von 0,351 bzw. 0,336 feststellte. Die Druckrichtung bei der Kugelprobe war dabei parallel zur Walzrichtung des Materials.

Versuche von Dillner und Breuil zur Untersuchung der von Brinell angedeuteten Abhängigkeit der Streckgrenze und Dehnung der Materialien von den Härtezahlen lieferten Ergebnisse, welche Abweichungen von 10—20 % zeigten. Sie haben somit nachgewiesen, daß beide Faktoren rechnerisch aus der Härtezahl nicht bestimmbar sind.

Eine sehr zweckmäßige Maschine zur Ausführung der Kugeldruckprobe, welche auch Brinell für seine Versuche benutzte, ist in Fig. 148 abgebildet.<sup>2)</sup> Es ist eine hydraulische Presse, deren Gestell 1 einen Fuß 2 besitzt, in welchen eine Schraubenspindel 3 eingesetzt ist. Die Schraubenspindel trägt an ihrem oberen Ende eine in Kugelschale gelagerte Preß-

<sup>1)</sup> Versuche von Charpy s. Dinglers polytechnisches Journal 1903, Bd. 318, S. 188 u. a. 1902, Bd. 317, S. 419.

<sup>2)</sup> Konstruktion und Ausführung der Aktiebolaget Alpha. Stockholm 1 (Schweden).

platte 4, auf welche das zu prüfende Probestück 5 gelegt wird. Je nach der Größe des Probestückes wird die Preßplatte durch Verstellen der Schraubenspindel 3 mit dem Handrade 6 dem mit Kugel 7 versehenen Preßstempel 8 genähert. Der Preßstempel ist zur Abdichtung in den Zylinder der im Oberteil des Maschinengestells angeordneten hydraulischen Presse 9 eingeschliffen (s. § 120). Das durch die Dichtungsflächen tretende Öl wird am unteren Ende des Zylinders gesammelt und durch die Rohrleitung 10 dem Sammelgefäß 11 zugeführt, aus dem es durch den Trichter 12 wieder in den Ölbehälter der hydraulischen Presse zurückgegossen werden kann. Der Preßdruck wird mit der Handpumpe 13 erzeugt und durch Manometer 16, dessen Teilung Kilogramme angibt, gemessen. Zur Vermeidung von Fehlern bei unrichtiger Anzeige des Manometers ist die Presse mit einer Vorrichtung versehen, die das Einstellen eines ganz bestimmten Druckes ohne Benutzung des Manometers gestattet. Die Vorrichtung, ein Druckregler, entspricht in ihrer Anordnung einem Gewichtsakkumulator, dessen Druckraum mit dem Zylinder der hydraulischen Presse 9 in Verbindung steht. Die Flüssigkeitspressung im Akkumulator kann durch Auflegen entsprechend bezeichneter Gewichtsstücke 15 geregelt und somit auf 500, 1000, 1500, 2000, 2500 und 3000 kg Preßstempeldruck eingestellt werden. Es ist nur darauf zu achten, daß sich während des Versuches der Druckregler in Schwebelage befindet.

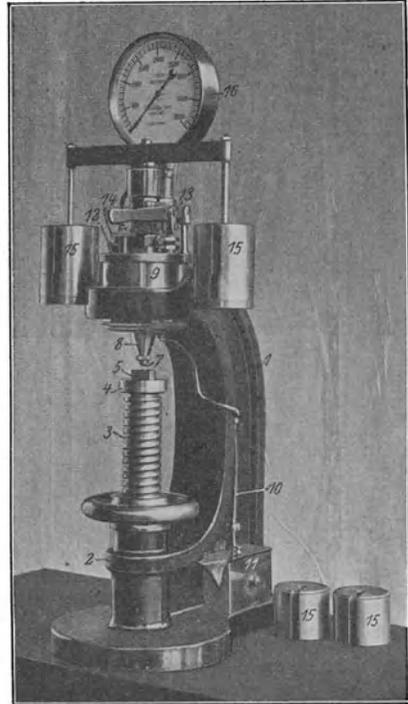


Fig. 148.

Die Ausführung eines Versuches geschieht in folgender Weise. Das eben bearbeitete Probestück wird auf die Preßplatte gelegt und diese so hoch geschraubt, daß sich die Kugel und das Probestück berühren. Hierauf wird durch Schließen des Ventils 14 die Verbindung zwischen dem Preßzylinder und seinem Ölbehälter unterbrochen und die Handpumpe 13 so lange betätigt, bis der Druckregler schwebt und das Manometer den gewünschten Druck anzeigt. Nach etwa  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  Minute Druckwirkung ist die Deformation des Probestückes beendet und die Entlastung

**Tabelle der Härtezahlen**

für bestimmte Durchmesser des Eindruckes einer Kugel mit 10 mm  
Durchmesser bei 3000 und 500 kg Probedruck.

Durchmesser des Kugel- eindruckes mm	Härtezahl bei Probe- druck von kg		Durchmesser des Kugel- eindruckes mm	Härtezahl bei Probe- druck von kg	
	3000	500		3000	500
2,00	946	158	4,50	179	29,7
2,05	898	150	4,55	174	29,1
2,10	857	143	4,60	170	28,4
2,15	817	136	4,65	166	27,8
2,20	782	130	4,70	163	27,2
2,25	744	124	4,75	159	26,5
2,30	713	119	4,80	156	25,9
2,35	683	114	4,85	153	25,4
2,40	652	109	4,90	149	24,9
2,45	627	105	4,95	146	24,4
2,50	600	100	5,00	143	23,8
2,55	578	96	5,05	140	23,3
2,60	555	93	5,10	137	22,8
2,65	532	89	5,15	134	22,3
2,70	512	86	5,20	131	21,8
2,75	495	83	5,25	128	21,5
2,80	477	80	5,30	126	21,0
2,85	460	77	5,35	124	20,6
2,90	444	74	5,40	121	20,1
2,95	430	73	5,45	118	19,7
3,00	418	70	5,50	116	19,3
3,05	402	67	5,55	114	19,0
3,10	387	65	5,60	112	18,6
3,15	375	63	5,65	109	18,2
3,20	364	61	5,70	107	17,8
3,25	351	59	5,75	105	17,5
3,30	340	57	5,80	103	17,2
3,35	332	55	5,85	101	16,9
3,40	321	54	5,90	99	16,6
3,45	311	52	5,95	97	16,2
3,50	302	50	6,00	95	15,9
3,55	293	49	6,05	94	15,6
3,60	286	48	6,10	92	15,3
3,65	277	46	6,15	90	15,1
3,70	269	45	6,20	89	14,8
3,75	262	44	6,25	87	14,5
3,80	255	43	6,30	86	14,3
3,85	248	41	6,35	84	14,0
3,90	241	40	6,40	82	13,8
3,95	235	39	6,45	81	13,5
4,00	228	38	6,50	80	13,3
4,05	223	37	6,55	79	13,1
4,10	217	36	6,60	77	12,8
4,15	212	35	6,65	76	12,6
4,20	207	34,5	6,70	74	12,4
4,25	202	33,6	6,75	73	12,2
4,30	196	32,6	6,80	71,5	11,9
4,35	192	32	6,85	70	11,7
4,40	187	31,2	6,90	69	11,5
4,45	183	30,4	6,95	68	11,3

kann vorgenommen werden. Durch Öffnen des Ventils 14 fließt das Öl aus dem Preßzylinder in den Behälter zurück und die im Innern des Zylinders befindliche Schraubenfeder hebt den Preßstempel mit der Kugel wieder vom Preßstück ab.

### § 93. Methode von Stribeck.

Diese Methode ähnelt derjenigen von Brinell und unterscheidet sich von dieser dadurch, daß sie die Anschmiegung des zu prüfenden Körpers an die als Werkzeug dienende Stahlkugel berücksichtigt. Nach Versuchen von Stribeck ist die Anschmiegung einflußlos, wenn die Kugelbelastung  $P \leq 2000 d^2$  kg ist.  $d$  bedeutet dabei den Kugeldurchmesser in Zentimeter. Bei Wahl dieser Belastung ist es ohne Belang, ob die Oberfläche des zu prüfenden Körpers konkav oder konvex gekrümmt ist; die Härtezahlen sind immer vergleichbar, auch wenn sie mit Kugeln verschiedenen Durchmessers gewonnen wurden. Bei grundlegenden Versuchen verdient nach Stribeck die Härteprüfung durch Gegeneinanderdrücken gleicher Kugeln (s. § 105), die aus demselben Material und unter den gleichen Umständen hergestellt wurden, allen anderen Verfahren vorgezogen zu werden.

Als Maß für die Härte gilt die spezifische Pressung, welche sich bei der Belastung  $P = 2000 d^2$  ergibt.

### § 94. Methode von Ludwik.

Die Methode von Ludwik<sup>1)</sup> ist der Kerpelyschen unter Benutzung der Brinellschen Forschungsergebnisse nachgebildet. Ludwik benutzt, ebenso wie Kerpely, zur Härteprüfung einen gehärteten Stahlstempel mit kegelförmiger Spitze (Fig. 149), die beim Versuche mit meßbarer Kraft in vertikaler Richtung gegen das Probestück gepreßt wird. Er gibt dem Kegel einen Spitzenwinkel von  $90^\circ$  und mißt außer dem Anpressungsdrucke die Eindringungstiefe der Spitze.

Bedeutet  $P$  den Anpressungsdruck in Kilogramm,  $d$  den Durchmesser des Hohlkegelschnittes in der Oberflächenebene des Probestückes gemessen in Millimeter,  $t$  die zum Durchmesser  $d$  gehörige Eindringungstiefe der Spitze in Millimeter, dann ist die Ludwiksche Härtezahl, die sogen. „Kegeldruckhärte“

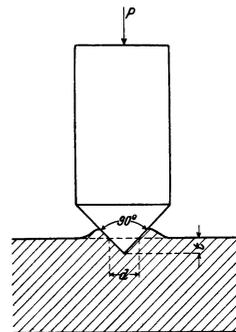


Fig. 149.

<sup>1)</sup> Ludwik, Über Härtebestimmung usw. (Baumaterialienkunde 1907, Heft 8, 9, 10); s. a. Meyer, Untersuchungen über Härteprüfung und Härte (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 645).

$$= \frac{P}{\frac{d^2 \pi}{4} \cdot \sqrt{2}}.$$

Ihre Definition lautet somit:

Die Kegeldruckhärte eines Materials wird dargestellt durch die Kraft in Kilogramm/Quadratzentimeter, welche erforderlich ist, um einen rechtwinkligen Kreiskegel normal in dasselbe bis zu beliebiger Tiefe einzudrücken.

Da die Messung der Eindringungstiefe einfacher ist als die Durchmesserbestimmung des Kegelschnittes und beide Faktoren proportional sind, bestimmt Ludwik nicht den Durchmesser des Kegelschnittes, sondern die Eindringungstiefe der Spitze. Diese Methode besitzt einen weiteren Vorzug insofern, als die Eindringungstiefe während des Versuches bestimmbar ist und somit ohne Entlastung des Stempels jederzeit die Kegeldruckhärte berechnet werden kann.

Da die beanspruchte Druckfläche

$$f = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \sqrt{2} = 1,11 d^2 = 4,44 t^2$$

war, ist die Kegeldruckhärte auch

$$= \frac{P}{4,44 t^2}.$$

### b) Einriebverfahren.

#### § 95. Methode von Uchatius.

Bei dieser Methode wird ein Meißel ähnlicher Form wie bei der Methode von Middelberg benutzt. Er unterscheidet sich von dem jener Methode nur dadurch, daß die Schneide nicht scharf, sondern abgerundet ist. Die Beanspruchung des Probekörpers geschieht in der Weise, daß der Meißel durch ein aus 0,25 m Höhe herabfallendes Gewicht von 2 kg gegen das Probestück gestoßen wird. Als Härtemaß ist die Länge des Kerbes zu betrachten, welche durch den Meißel erzeugt wird.

#### § 96. Methode von Spangenberg.

Auch diese Methode stimmt annähernd mit der Middelbergschen überein. Es wird dabei der Meißel, anstatt mit ruhigem, Druck durch ein fallendes Gewicht gegen das Probestück gedrückt. Als Härtemaß gilt auch hier die Länge des eingestoßenen Kerbes.

#### § 97. Methode von Keep.

Keep benutzte einen gehärteten Stahlstempel nach Fig. 150, der an der Druckfläche 100 kleine Pyramiden trug. Mit einer geringen Anzahl

Pyramidenspitzen beginnend, wurde diese Zahl unter Ausübung eines Schlagmomentes von 288 cmkg auf den Stempel allmählich so weit vergrößert, bis die Pyramiden auf dem Probestücke gerade noch sichtbare Eindrücke hervorbrachten. Als Härtemaß wurde die Anzahl der zuletzt in Anwendung gewesenen Pyramidenspitzen benutzt.

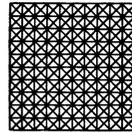
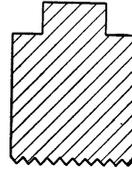


Fig. 150.

**§ 98. Methode von Muschenbröck.**

Bei dieser Methode wird ein kleiner Stab aus dem zu untersuchenden Material mit einem Meißel durch so viele Schläge gleicher Schlagleistung beansprucht, bis eine Trennung des Stabes in zwei Teile erzielt ist. Als Härtemaß ist dabei die Schlagarbeit bzw. die Anzahl Schläge zu betrachten, welche die Trennung bewirkte.<sup>1)</sup>

**Gruppe II. Die Ritzverfahren.**

**§ 99. Methode von Moß.**

Diese Methode der Mineralogen ist das älteste in Anwendung befindliche Härtebestimmungsverfahren. Es wird dabei kein absolutes Maß für die Härte gewonnen, sondern es wird die Härte des zu untersuchenden Körpers relativ zu der als bekannt angenommenen Härte bestimmter Materialien festgestellt.

Die sogen. Moßsche Härteskala enthält 10 Stufen, die durch 10 bestimmte Mineralien abgegrenzt sind.

Die Mineralien sind:

- |                                  |   |   |
|----------------------------------|---|---|
| 1. Talk . . . . .                | } | mit dem Fingernagel ritzbar.            |
| 2. Steinsalz oder Gips . . . . . |   |   |
| 3. Kalkspat . . . . .            |   | Härte einer Kupfermünze.                |
| 4. Flußspat.                     |   |   |
| 5. Apatit . . . . .              | } | gewöhnliches Fensterglas hat Härte 5,5. |
| 6. Feldspat . . . . .            |   |   |
| 7. Quarz . . . . .               | } | ritzen Glas.                            |
| 8. Topas . . . . .               |   |   |
| 9. Korund . . . . .              | } | schneiden Glas.                         |
| 10. Diamant . . . . .            |   |   |

<sup>1)</sup> Ein von Shore und Héroult erfundener Apparat zur Bestimmung der Härte von Materialien, der Skleroskop genannt wird, ist in der Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge Heft 17 vom 15. März 1908 beschrieben. Die Bestimmung geschieht in der Weise, daß man eine Stahlkugel auf die gehärtete Fläche fallen läßt und die Höhe mißt, bis zu welcher die Stahlkugel zurückspringt. Die Bestimmung beruht demnach auf der Annahme, daß eine

Die Benutzung geschieht in der Weise, daß der Probekörper mit einem der vorgenannten Mineralien geritzt und dasjenige ermittelt wird, welches einen deutlich sichtbaren Riß auf dem Körper hervorruft. Wird ein Material, daß alle vorhergehenden Mineralien der Moßschen Reihe selbst ritzt, von Quarz deutlich geritzt, so liegt seine Härte zwischen 6 und 7.

#### § 100. Methode von Gollner.

Gollner stellte sich ebenso wie Moß eine Härteskala auf, indem er sich Probierstifte aus verschiedenen harten Materialien herstellte und sie mit Härtezahlen versah. Mit diesen Stiften ritzte er bei vertikaler Stiftstellung unter stets gleicher Belastung sauber polierte Flächen des Materials und bestimmte die Nummer desjenigen Stiftes, welcher gerade einen sichtbaren Riß auf der Fläche hervorbrachte. Die Nummer des vorhergehenden Stiftes, welcher keinen Riß erzeugte, war dann die Härtezahl des geprüften Materials.

#### § 101. Methode von Müller.

Müller empfiehlt, zur Härtebestimmung der Metalle eine Reihe Stahlstäbe von Naturhärte aus reinem Zementstahl zu benutzen, deren Kohlenstoffgehalt stetig um 0,1 % steigt. Die Stäbe sollen Spitzen besitzen, mit denen in ähnlicher Weise wie bei der Gollnerschen Methode polierte Flächen der Probekörper geritzt werden. Wird dann z. B. ein Material vom Stäbchen No. 7 gerade geritzt, so soll demselben die Härte No. 6 zugesprochen werden.

#### § 102. Methode von Turner.

Auf einer Schlißfläche des Probematerials werden mit einem Diamanten Striche gezogen. Die Kraft, mit welcher der Diamant gegen die Fläche gedrückt wird, erfährt so lange eine Verringerung, bis die vom Diamanten gezogenen Striche dem bloßen Auge nicht mehr sichtbar sind.

Als Härtemaß gilt alsdann die Belastung des Diamanten, welche gerade einen noch sichtbaren Strich verursacht.

#### § 103. Methode von Martens.

Diese Methode ist aus der Turnerschen abgeleitet und darf als vollkommenste sowie zuverlässigste Ritzhärtebestimmungsmethode<sup>1)</sup> bezeichnet werden. Während bei der Turnerschen Methode die Härtezahl von der mehr oder weniger großen Wahrnehmungsfähigkeit des beobachtenden Auges abhängt, macht sich Martens von diesem Einflusse unabhängig, indem er die Belastung des Diamanten feststellt, die zur Erzeugung eines Striches bestimmter Breite erforderlich ist, oder die Strichbreite ermittelt, auf die zu untersuchende Fläche fallende Stahlkugel um so höher zurückspringt, je härter diese Fläche ist.

<sup>1)</sup> S. a. Meyer, Untersuchungen über Härteprüfung und Härte, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 645.

die der Diamant unter bestimmter Belastung erzeugt. Letztere Ausführungsweise führt schneller zum Ziele, weil die Messung der Strichbreite sich in einfachster Weise mit einem Komparator (s. § 169) oder Okularschraubenmikrometer (s. § 167) bewerkstelligen läßt. Will man dennoch

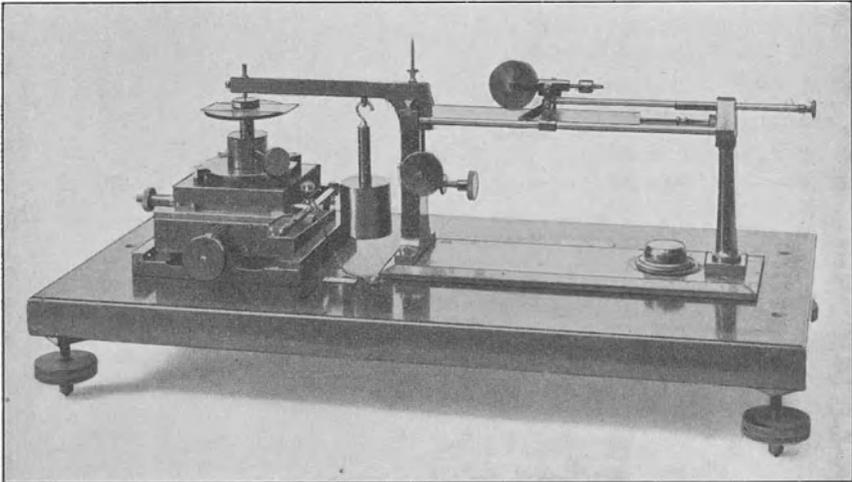


Fig. 151.

die erste Anwendungsweise der Methode wählen, so verfährt man am besten in der Weise, daß man unter verschiedener Belastung des Diamanten eine Anzahl Parallelstriche zieht, ihre Breite mißt und dann in einem Koordinatensysteme die Strichbreiten als Funktion der Belastungen aufträgt.

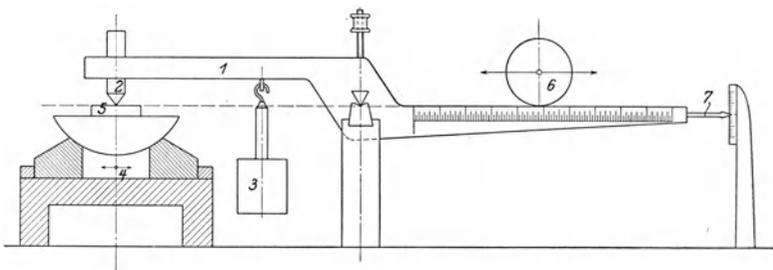


Fig. 152.

Aus der erhaltenen Kurve ist es alsdann leicht möglich, diejenige Belastung in Gramm zu ermitteln, die einer bestimmten Strichbreite, z. B.  $10 \mu$ ,<sup>1)</sup> entspricht.

Zur Ausführung der Versuche konstruierte Martens einen Ritzhärteprüfer, der in Fig. 151 abgebildet ist. Der Konstruktionsgrundsatz ist aus Fig. 152 ersichtlich. An dem linken Ende des doppelarmigen

<sup>1)</sup> S. § 168 Anmerkung.

Waghebels 1 ist ein Diamant 2 mit kegelförmiger Spitze von nahezu  $90^{\circ}$  Spitzenwinkel befestigt, der durch die Wirkung des Gewichtes 3 gegen das auf dem Schlitten 4 liegende Probestück 5 gedrückt wird. Auf dem rechten Ende des doppelarmigen Waghebels, der eine Teilung besitzt, kann ein Laufgewicht 6 hin und her bewegt und eine Entlastung des Diamanten bewirkt werden. Zeiger 7 dient zur Sichtbarmachung der Gleichgewichtslage des Waghebels.

Die Probekörper müssen ebene, sauber geschliffene und polierte Flächen erhalten, damit bei Messung der Strichbreite keine Irrtümer durch Schleifrisse unterlaufen können.

## XI. Zähigkeit und Sprödigkeit.

### § 104. Allgemeines.

Ebenso wie die Weichheit einen geringeren Grad von Härte bedeutet, ist unter Sprödigkeit ein geringerer Grad von Zähigkeit zu verstehen. Im allgemeinen bezeichnet man einen Körper als zähe, wenn er bei verhältnismäßig hoher Festigkeit eine große Formänderungsfähigkeit besitzt. Spröde dagegen wird ein Körper genannt, der schon bei geringen Formänderungen zerbricht.

Wie es an und für sich fast unmöglich ist, die Begriffe Zähigkeit und Sprödigkeit streng voneinander zu trennen, so schwierig ist es, ein Maß für diese Begriffe festzulegen. Abgesehen von den nicht annehmbaren Vorschlägen, den Unterschied zwischen Streckgrenze und Bruchgrenze als Zähigkeitsmaß anzunehmen, wurde empfohlen, die Dehnbarkeit oder auch die bleibende Dehnung allein als Maßstab für die Zähigkeit zu benutzen. In Anlehnung an diese letzten Vorschläge benutzt Martens die Querschnittszusammenziehung als Maß für die Zähigkeit.

Der Vorschlag Reisers, den Unterschied zwischen Streckgrenze und Bruchgrenze gemeinsam mit der Dehnbarkeit zur Beurteilung der Zähigkeit zu benutzen, führt nach Martens zu einem mit den praktischen Erfahrungen gut in Einklang kommenden Maße. Es ist nämlich die Zähigkeit des Materials:

$$Z = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_f} \cdot \frac{\varphi}{100}.$$

Hierin bedeutet  $\sigma_{\max}$  die Zugfestigkeit,  $\sigma_f$  die Spannung an der Fließgrenze und  $\varphi$  die Bruchdehnung des Materials in Prozenten der ursprünglichen Meßlänge.<sup>1)</sup>

Zur Bestimmung der Zähigkeit von Kugeln verwendet Stribeck die Formänderungsarbeit und bezeichnet als Maß für die Zähigkeit  $Z$  die

<sup>1)</sup> Eine den Gegenstand behandelnde Studie s. Ludwik, Zeitschr. für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1908, S. 327; s. a. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1901 und 1907, No. 37, 38, 39; ferner Schwinning, ebenda 1901, Heft 10.

Arbeitsaufnahme, bezogen auf die Volumeneinheit einer zwischen zwei gleichen Kugeln gedrückten Kugel bis zum Eintritt des ersten Sprunges (s. § 105).

## XII. Besondere Versuche.

### § 105. Prüfung von Stahlkugeln.

Bei dem umfangreichen Verwendungsgebiet gehärteter Stahlkugeln machte sich das Bedürfnis geltend, die höchste Belastung festzustellen, welche diese Kugeln auszuhalten vermögen. Zuerst stellte man die Bruchbelastung der Kugeln fest, indem man sie zwischen zwei ebenen gehärteten Stahlplatten auf Druck beanspruchte. Die dabei erhaltenen Zahlen legte man unter Einführung eines Sicherheitskoeffizienten der Berechnung von Kugellagern u. dergl. zugrunde. Durch viele Mißerfolge bei Herstellung von Kugellagern angeregt, ging man den Ursachen nach, auf die dieselben

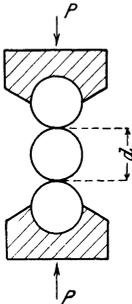


Fig. 153.

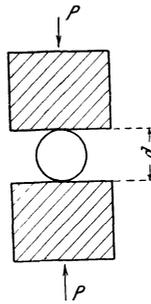


Fig. 154.

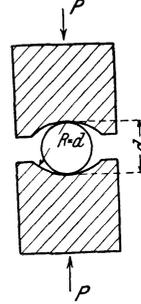


Fig. 155.

zurückzuführen sind, und fand, daß die Mißerfolge in zu hoher Belastung der Kugeln ihren Grund hatten. Trotzdem bei Berechnung der Lager ein großer Sicherheitsgrad angenommen wurde (es wurde etwa  $\frac{1}{8}$  der Bruchlast als zulässige Belastung in die Rechnung eingeführt), kamen die Kugeln beim Betriebe zum Bruche. Es mußte dies darauf zurückgeführt werden, daß bei der Prüfung der Kugeln entweder eine Bruchbelastung ermittelt wurde, die viel höher als die tatsächliche war, oder durch andere Ursachen die Zerstörung der Kugeln veranlaßt wurde.

Die Nachforschungen bestätigten beide Annahmen. Sie wiesen nach, daß bei richtiger Versuchsanordnung die tatsächliche Festigkeit nur ein Bruchteil der bei der Prüfung zwischen ebenen Platten ermittelten war, und daß bereits bei noch niedrigerer Belastung eine Beschädigung der Kugel durch Auftreten eines Sprunges beobachtet werden konnte. Eingehend studiert wurden diese Verhältnisse zuerst von Stribeck. Stribeck stellte fest, daß die Belastungsfähigkeit einer Stahlkugel abhängig ist von der Form der Oberfläche der Preßplatten. Er belastete Stahlkugeln zwischen zwei ebensolchen Kugeln (s. Fig. 153), zwischen zwei ebenen Platten (Fig. 154) und zwischen Stempeln mit hohlkugeligen Druckflächen (Fig. 155) bestimmten Halbmessers. Das Ergebnis war folgendes:

Setzt man die Tragfähigkeit der Kugel bei der ersten Belastungsart gleich 1, so beträgt sie nach der zweiten 1,55- und nach der dritten 1,95-mal so viel. Man erkennt daran, daß die Bruchbelastung von Kugeln gleichen Durchmessers um so größer ist, je inniger die Druckflächen sich an die Kugeln anschmiegen. Bedenkt man ferner, daß die von Stribeck gefundenen Verhältniszahlen nur dann Gültigkeit besitzen, wenn die Preßplatten infolge ausreichender Härte keine weitgehenden Deformationen erleiden, dann sieht man ein, daß die Tragfähigkeit der Kugeln bei ihrem Eindringen in die Preßplatten infolge der größeren Anschmiegung scheinbar eine weitere Erhöhung erfährt.

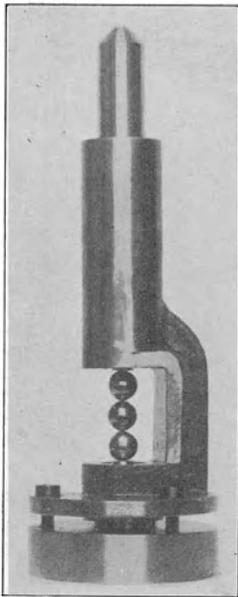


Fig. 156.

Für die Kugelprüfung kann deshalb nur die Methode nach dem ersten Belastungsschema, wobei Eindringen nicht zu befürchten ist, „nämlich Kugel zwischen zwei ebensolchen Kugeln gleichen Durchmessers“ in Frage kommen. Da die Einstellung von drei Kugeln übereinander unmittelbar zwischen die Preßplatten einer Materialprüfungsmaschine wegen der Eindringungsgefahr nicht zugänglich ist, empfiehlt sich die Verwendung einer Führungsvorrichtung nach Fig. 156. Die Vorrichtung liefert Amsler-Laffon & Sohn, Schaffhausen. Die Benutzung derselben erfolgt in Verbindung mit

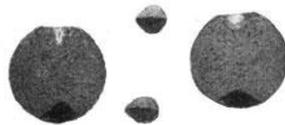


Fig. 157.

einer Materialprüfungsmaschine für Druckversuche. Die Kugeln werden zwischen den Führungsstempeln der Vorrichtung angeordnet und dann durch die Presse belastet. Das Ausrichten der Kugeln geschieht in einfachster Weise mit einem kleinen Lineal aus Winkeleisen. Da die Lage der beiden äußeren Kugeln durch ihre Zentrierung in den Stahlstempeln gesichert ist, muß man darauf achten, daß beim Ausrichten nur an die mittlere Kugel gedrückt wird. Nach Einstellung und leichter Belastung der Kugeln treffe man Sicherheitsvorkehrungen gegen die bei Eintritt des Bruches weggeschleuderten Bruchstücke. Die besten Dienste verrichtet ein aus mehreren Teilen bestehender Holzkasten, der die Vorrichtung umschließt. Auch ein Stück kräftigen Tuches leistet bereits gute Dienste. Der Bruch tritt mit lautem Knalle ein, und die Bruchstücke zeigen das aus Fig. 157 ersichtliche Aussehen. Sie bestehen in der Regel

aus vier Teilen, von denen die zwei oben und unten liegenden, kegelförmigen Stücke besonders bemerkenswert sind. Diese Bruchform entsteht, wenn die Kugeln ohne Unterbrechung bis zur Zerstörung belastet werden.

Entlastet man dagegen die Kugel während des Versuchs wiederholt, dann tritt einerseits der Bruch bei einer niedrigeren Belastung, und zwar während einer Entlastungsperiode ein, und andererseits fehlen die oben erwähnten Druckkegel, die Kugel zerspringt in einer Meridianebene in zwei gleiche Teile.

Die Ursache der höheren Tragfähigkeit der Kugel bei ununterbrochener Belastungssteigerung ist darin begründet, daß bei fortschreitender Belastung die beiden bereits teilweise auseinandergesprungenen Kugelhälften durch die Reibung an den Preßplatten zusammengehalten (s. § 28) und erst nach Überschreitung der Scherfestigkeit in den Mantelflächen der beiden Druckkegel durch das Eindringen dieser beiden Kegel in das Innere die beiden Kugelhälften auseinandergesprennt werden. Wird dagegen die Kugel periodenweise entlastet, dann hört die Reibung an den Preßstellen zeitweise auf, die Kugel kann ihre ehemalige Gestalt wieder annehmen und ein bereits vorhandener Riß in der Kugel bewirkt beim Spannungsausgleich die Trennung beider Hälften.

Wie aus dem Vorstehenden ersichtlich, ist es mithin wichtiger, die Belastung festzustellen, bei der der erste Riß auftritt, als diejenige Kraft, welche eine Zertrümmerung der Kugel bewirkt. Diese Belastung wird Sprungbelastung genannt. Ein Vergleich der Sprungbelastungen mit den Bruchbelastungen führt zu dem Ergebnisse, daß hohe Bruchbelastung keineswegs auch hohe Sprungbelastung bedingt. Es kommt vor, daß der erste Sprung bereits bei einer Belastung eintritt, welche dem zehnten Teile der Bruchbelastung entspricht und somit nach den vorausgeschickten Erläuterungen noch innerhalb der zulässigen Kugelbelastung liegt. Der erste Sprung ist in der Regel ein Kreissprung, welcher die Druckstelle umgibt. Dem bloßen Auge ist er unsichtbar und auch mit dem Mikroskope nur selten wahrnehmbar. Ätzt man dagegen die Kugeloberfläche mit verdünnter Salzsäure, dann wird der Sprung sofort sichtbar.

Da bei Kugeln aber nicht allein diejenige Belastung von Bedeutung ist, welche Sprungbildung oder Zerstörung veranlaßt, sondern bereits bleibende Formänderungen für die Verwendbarkeit von Kugeln maßgebend sind, muß in Übereinstimmung mit dem Härteprüfungsverfahren von Auerbach (s. § 91) diejenige Höchstbelastung ermittelt werden, bei der eine Steigerung der spezifischen Pressung nicht oder wenigstens nicht mehr in erheblichem Maße möglich ist. Zu diesem Zwecke ist die Druckhärtekurve zu zeichnen, worin die Belastungen in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser als Abszissen und die zugehörigen spezifischen Pressungen in kg/qcm als Ordinaten aufgetragen werden.

Stribeck fand, daß für Kugeln jeden Durchmessers sich gleiche Pressungen ergeben, wenn nur die Belastungen proportional den Quadraten

der Durchmesser  $d$  gewählt werden. Abweichungen treten erst bei sehr hohen Belastungen, beginnend mit etwa  $P = 2000 d^2$ , auf. Die hierzu gehörende spezifische Pressung kann als Härtemaß für die Kugeln benutzt werden.

Von Wichtigkeit für Beurteilung der Güte von Stahlkugeln ist ferner ihre Zähigkeit. Stribeck bezeichnet als Maß für die Zähigkeit die Arbeitsaufnahme, bezogen auf die Volumeneinheit einer zwischen zwei gleichen Kugeln gedrückten Kugel bis zum Eintritt des ersten Sprunges.

$$\text{Diese ist: } Z = \frac{1}{\frac{\pi}{6} D^3} \int_0^{\frac{\delta}{2}} P \cdot d \cdot \frac{\delta}{2}.$$

$\frac{\delta}{2}$  bedeutet hierin die Zusammendrückung der Kugel.

Setzt man in dieser Formel abweichend von Hertz unter der Annahme eines Dehnungskoeffizienten des Kugelmaterials von  $\frac{1}{2120000}$  nach Schwinning<sup>1)</sup>

$$\frac{\delta}{2} = 0,966 \cdot 10^{-4} \left( \frac{P}{D^2} \right)^{0,72} D,$$

worin die Einheiten Kilogramm und Zentimeter sind, so ergibt sich die Zähigkeit der Kugel

$$Z = 0,77 \cdot 10^{-4} \left( \frac{P}{D^2} \right)^{1,72} \text{ cmkg.}$$

Ist z. B. die Kugelbelastung  $P = 800 D^2 \text{ kg}$ , worin  $D$  den Kugeldurchmesser in Zentimeter gemessen bedeutet, dann ergibt sich die Zähigkeit zu

$$Z = 0,77 \cdot 10^{-4} \left( \frac{800 D^2}{D^2} \right)^{1,72} \text{ cmkg}$$

$$Z = 7,58 \text{ cmkg.}$$

### § 106. Prüfung gehärteten Stahles.

Ein gutes Maß für die Wirksamkeit der Härtung von Stahl würde seine Zugfestigkeit bilden, weil bei Zugversuchen nicht nur die obere Schicht des Körpers, wie bei den Härteprüfungsverfahren, sondern der ganze Querschnitt beansprucht wird. Die Ermittlung der Zugfestigkeit in der bekannten Weise an zylindrischen Probestäben bietet aber insofern Schwierigkeiten, als sich Stäbe mit den erforderlichen Abmessungen nicht gleichmäßig durchhärten lassen und auch die üblichen Einspannvorrichtungen für gehärtete Stahlstäbe nicht verwendbar sind.

Davon ausgehend, daß bei vollhartem Stahl die Zugfestigkeit nicht wesentlich verschieden von der Biegefestigkeit sein kann, empfiehlt Stribeck,

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1901, S. 335.

die Zugfestigkeit durch den Biegeversuch zu ermitteln. Um Stäbe genügend kleiner Abmessungen verwenden zu können, deren Härtung keine Schwierigkeiten bereitet, benutzte Stribeck eine Einrichtung nach Fig. 158. Sie ist aus der Figur ohne weiteres verständlich und zeigt, daß infolge der Richtung der äußeren Kraft  $P$  parallel zur Stabachse in dem mittleren Stabteil außer Druckkräften weder Schubkräfte noch von Widerlagerdrücken herrührende Spannungen auftreten können. Das Probestabchen 1 von etwa 1 cm Durchmesser und 3,0 cm Meßlänge ist in die beiden Hebel 2 und 3 genau eingepaßt. Der Kraftangriff geschieht durch Vermittelung kugeligter Auflager 4 und 5, die Unveränderlichkeit der Hebelarmlänge bei der Durchbiegung des Stäbchens gewährleisten.

Das Biegemoment in bezug auf den mittleren Stabteil ist

$$M_b = P \cdot a,$$

wobei  $a = 50$  mm gewählt wurde.

Die größte Biegungsspannung ergibt sich hiernach zu

$$\sigma_b = \frac{P \cdot a}{\frac{\pi}{32} d^3}.$$

Die Durchbiegung  $f$  der Mitte des Stäbchens gegenüber seinem Ende ist nach Fig. 159:

$$f = \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{s^2}{8}.$$

Nach Gleichung (13) (§ 31) ist die Krümmung:

$$\frac{1}{\varrho} = \alpha \cdot \frac{M_b}{\theta}.$$

Da  $\theta = \frac{d^4 \pi}{64}$  und  $M_b = P \cdot a$  ist, ergibt sich:

$$\alpha = \frac{f \cdot d \cdot 4}{\sigma_b \cdot s^2}$$

und der Elastizitätsmodul:

$$E = \frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma_b \cdot s^2}{4 \cdot f \cdot d}.$$

Unter Abzug der Druckspannung  $\sigma_d = \frac{P}{\frac{d^2 \pi}{4}}$  ergibt sich die größte Zugspannung im Stabe zu:

$$\sigma_z = \frac{P \cdot a}{\frac{\pi}{32} d^3} - \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2}.$$

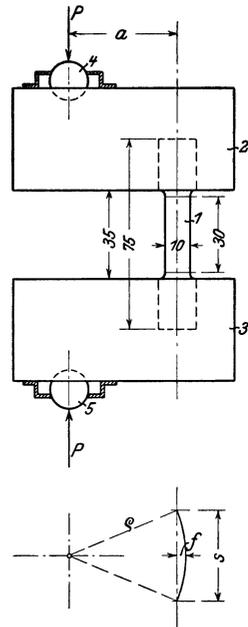


Fig. 158 und 159.

Verfasser benutzte die Methode zur Bestimmung der Zähigkeit gehärteten Stahles verschiedener Provenienz und fand, daß sie nicht nur sehr einfach ist, sondern bei einiger Sorgfalt der Versuchsausführung auch die Feststellung geringer Zähigkeitsunterschiede gestattet.

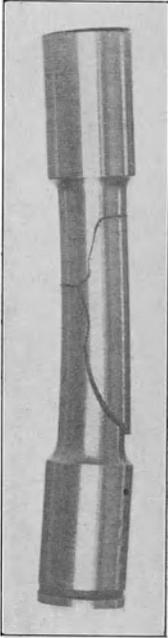


Fig. 160.

Die Brucherscheinungen waren die gleichen wie bei Stribeck. Entweder brach, wie Fig. 160 zeigt, auf der Zugseite ein Stück aus der ganzen Versuchslänge heraus oder es wurden zwei Stücke abgesprengt, deren Trennungsstelle in der Mitte der Meßstrecke lag.

Die erste Bruchform weist darauf hin, daß der Bruch an den Enden begann und sich nach der Mitte hin fortsetzte, und die zweite Bruchform zeigt, daß der Bruch in der Mitte begann und sich dann nach den Enden hin fortsetzte.

Zur Messung der Durchbiegung leistet ein Instrument, dessen Konstruktion aus Fig. 161 ersichtlich ist, gute Dienste. Es ist dem Stribeck-schen nachgebildet und besteht aus einer Brücke, welche einerseits mit zwei Federklemmen gegen den Probestab gepreßt wird und andererseits ein Rohr trägt, in dem ein Stahlstift steckt. An dem dem Probestabe zugekehrten Ende trägt der Stift eine Kontaktspitze und eine Feder, welche bestrebt ist, den Stift aus dem Rohre heraus gegen den Probestab

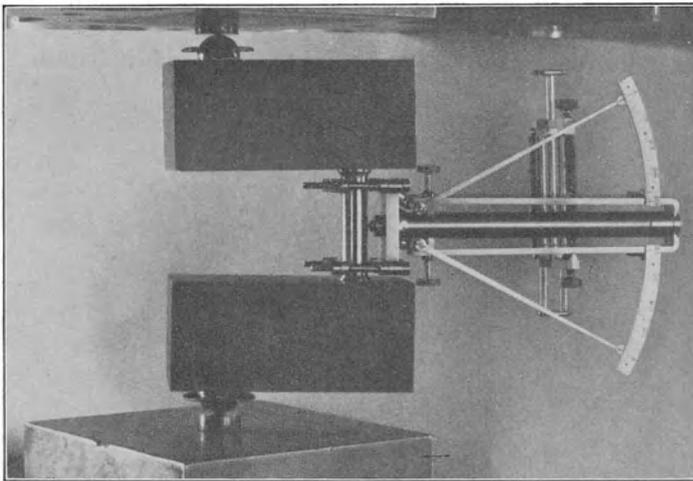


Fig. 161.

zu drücken. Das andere Ende besitzt eine Verdickung, welche gleich dem Rohrdurchmesser ist und das Heraustreten des Stiftes über ein gewisses Maß hindert. Biegt sich der Stab infolge äußerer Beanspruchung durch, dann wird der Stift in das Innere des Rohres hineingeschoben und die Verdickung erleidet gegenüber dem Rohre eine Lagenveränderung. Da diese Änderung geradlinig ist, kann sie in einfachster Weise mit dem aus der Figur ersichtlichen Martens-Kennedy-Zeigerapparate (s. § 171) gemessen werden.

### § 107. Prüfung von Treibriemen.

Zur Prüfung von Treibriemen auf Festigkeit unter ruhender Belastung dient der Zugversuch. Es ist dabei zu berücksichtigen, ob die Prüfung über die Festigkeit des Riemenmaterials oder über den Riemen als solchen Aufschluß geben soll. Jene erfolgt in gewöhnlicher Weise, indem der aus einem Stück bestehende Riemen mit Klemmbacken in den Einspannköpfen der Materialprüfungsmaschine befestigt und zerrissen wird. Bei der andern Prüfung dagegen muß der Einfluß berücksichtigt werden, welchen die Zusammenfügung des Riemens an der Stoßstelle auf die Tragfähigkeit ausübt.

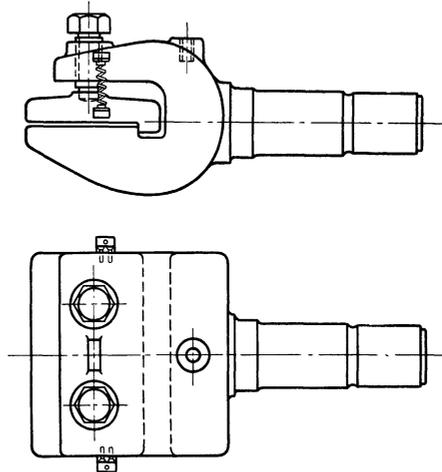


Fig. 162.

In beiden Fällen bietet die Befestigung der Riemen in den Einspannköpfen der Prüfungsmaschine insofern gewisse Schwierigkeiten, als durch die Einspannung Nebenkräfte ausgeübt werden, welche oft veranlassen, daß der Riemen innerhalb der Einspannvorrichtung zerreißt. Ganz auszuschließen sind diejenigen Einspannvorrichtungen, bei welchen der Riemen mit gezahnten Beißkeilen festgehalten wird. Es dringen hierbei die Zähne in das Riemenmaterial ein und beschädigen es in erheblichem Maße.

Martens benutzt für die Einspannung von Riemen Köpfe nach Fig. 162. In der Dresdner Versuchsanstalt leisten Einspannköpfe nach Fig. 163 ebenfalls gute Dienste. Die beiden mit wellenförmigen Nuten versehenen Klemmbacken 1 und 2 werden bei 3 und 4 durch Führungsstifte in ihrer gegenseitigen Lage gesichert. Am Ende des Riemens werden mit Schrauben zwei Eisenleisten 5 und 6 befestigt, die bei Beginn der Belastung den Riemen festhalten, bis die Klemmbacken sich einander genähert haben und der Riemen in die Nuten eingedrückt worden ist.

Die Probestücke sollen, wenn möglich, 1,5 m lang sein, damit die Messung der Dehnung innerhalb einer genügend langen Strecke (1 m) erfolgen kann. Als Festigkeitsmaß wird neben der Zugfestigkeit, bezogen auf die Querschnittseinheit, auch die Reißlänge angegeben.

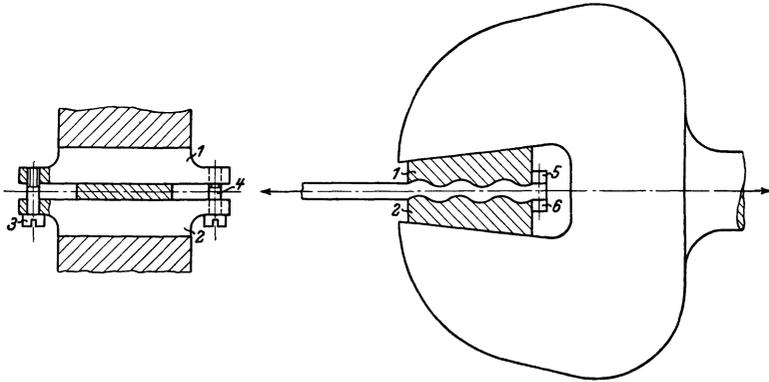


Fig. 163.

Nach Rudeloff schwankt die Zugfestigkeit:

- für lohbares Leder von 150—360 kg/qcm bei 1750—4570 m Reißlänge,<sup>1)</sup>
- „ Baumwollriemen von 350—540 kg/qcm bei 3300—6100 m Reißlänge,
- „ Hanfriemen von 340—970 kg/qcm bei 5000—10000 m Reißlänge,
- „ Haarriemen von 275—400 kg/qcm bei 2500—3700 m Reißlänge,
- „ Balatariemen von 455—590 kg/qcm bei 4300—6100 m Reißlänge.

Zur Ermittlung der Zerreißfestigkeit genähter oder geleimter Riemen kann mit Vorteil eine Vorrichtung nach Fig. 164 benutzt werden. Es werden dabei in den beiden Einspannköpfen der Materialprüfungsmaschine leicht um ihre Achse drehbare Riemenscheiben 1 und 2 befestigt, um die der Riemen gelegt wird. Bei der Einspannung ist darauf zu achten, daß beide Riementrome gleichartige Beschaffenheit besitzen und nicht das eine Leim- oder Nähstellen enthält, während das andere keine solchen aufweist.

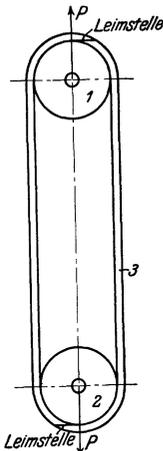


Fig. 164.

### § 108. Prüfung von Hanf- und Drahtseilen.

Ebenso wie bei der Prüfung von Riemen, ist bei der Prüfung von Hanf- und Drahtseilen auf Zugfestigkeit der Einspannung besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Da die Seile bei Benutzung im Betriebe gewöhnlich gespleißt oder mit Schlössern verbunden werden, ist nicht nur das Seil an und für sich, sondern auch eine Spleiß- bzw. Schließstelle der Prüfung

<sup>1)</sup> Für chrombares Leder sind die Werte gewöhnlich höher.

zu unterziehen. Soll die Einspannung eines Seiles mit Keilen erfolgen, so müssen diese lang gemacht werden, damit möglichst alle einzelnen Garne des Seiles mit ihnen in Berührung kommen.

Eine von Martens konstruierte Einspannvorrichtung für Seile ist in Fig. 165 abgebildet; ihre Wirkungsweise ist ohne weiteres verständlich. Die Beißkeile (sogen. Kortümsche) haben schwache Verzahnung und sind so geformt, daß ihre Angriffsflächen dem Seildurchmesser angepaßt sind; durch die Reibung zwischen dem Seile und den Keilen werden letztere in die konischen Führungen hineingezogen und auf diese Weise festgehalten.

In der Dresdner Versuchsanstalt werden die Seile ausschließlich durch Eingießen ihrer Enden in gußeiserne Büchsen befestigt. Wenn auch Einspannköpfe nach Fig. 165 gute Versuchsergebnisse liefern, muß der letzteren Befestigungsmethode der Vorzug eingeräumt werden, weil bei ihr mit Sicherheit sämtliche Garne bezw. Drähte des Seiles gefaßt werden. Bei

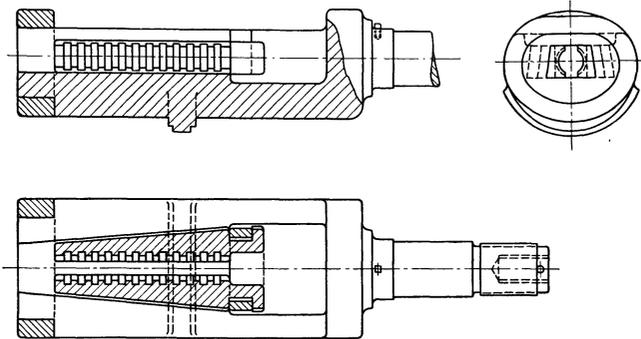


Fig. 165.

Drahtseilen patentverschlossener Konstruktion sind die gewöhnlichen Keilspannköpfe überhaupt nicht verwendbar. Während bei geflochtenen oder gedrehten Drahtseilen innerhalb einer gewissen Seilstrecke nacheinander alle einzelnen Drähte einmal an der Oberfläche des Seiles erscheinen, ist dies bei Seilen verschlossener Konstruktion nicht der Fall. Würde man ein solches Seil mit dem Spannkopf nach Fig. 165 befestigen, dann würde nur die äußere Drahtlage zur Kraftaufnahme herangezogen werden und die innere fast unbeanspruchte bleiben, da die Reibung zwischen den einzelnen Lagen nicht zur Kraftübertragung ausreicht.

Die Verwendung eines Spannkopfes nach Fig. 166 würde dem gewünschten Zwecke schon eher genügen, wenn man damit rechnen darf, daß alle einzelnen Drähte mit Sicherheit gefaßt werden.

Hanfseile vergießt man mit der in § 19 bezeichneten Blei-Zinn-Wismutlegierung, wobei die daselbst gemachten Angaben über das Einschmelzen der Legierung zu berücksichtigen sind.

Für Drahtseile hat sich eine Legierung, bestehend aus 68 % Blei, 12 % Antimon, 20 % Zinn, als zweckmäßig erwiesen.

Der Arbeitsvorgang beim Vergießen eines Drahtseiles ist folgender: Das Seil wird auf horizontaler Unterlage ausgestreckt und gerade gerichtet, worauf seine Enden durch die Eingießbüchsen hindurchgesteckt werden. Dann wird um das Seil in einem Abstände von 25 cm von jedem Ende mit ausgeglühtem Bindedraht auf eine Länge von etwa 5 cm ein fester Wickel hergestellt, welcher verhindern soll, daß die Seildrähte sich über

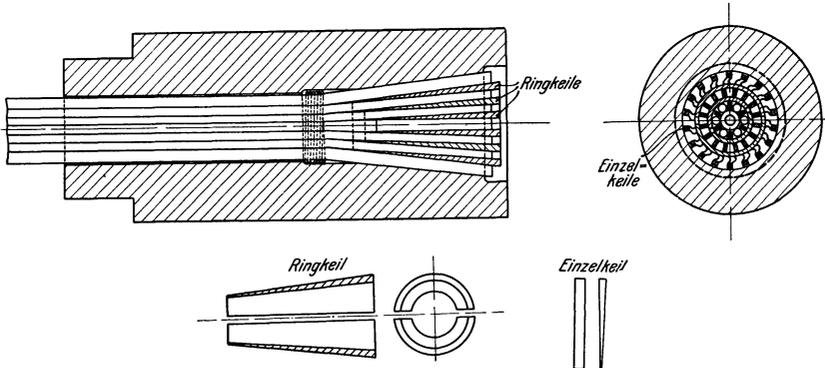


Fig. 166.

ihn hinaus lockern. Hierauf werden die Seilenden bis zu den Wickeln aufgereifelt, soweit als möglich mit einem Holzhammer auf Holzunterlage gerade gerichtet, mit Petroleum und Benzin gereinigt und schließlich in einer verdünnten Säure geätzt. (Verzinkte Drähte werden nicht geätzt, sondern nur gereinigt.) Nun zieht man die Büchsen über die aufgereifelten

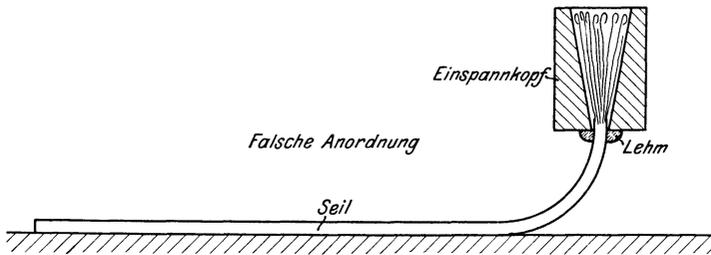


Fig. 167.

Drähte, wärmt mit einer großen Lötlampe die Büchsen an und gießt die gut flüssige und verrührte Legierung in die Eingießöffnung der Büchsen. Nach Erstarren des Metalles werden die Büchsen energisch mit Wasser abgekühlt. Dies ist erforderlich, weil die Drähte durch das flüssige Metall ausgeglüht werden, infolgedessen an Festigkeit einbüßen und dadurch den Bruch des Seiles am Einspannkopfe veranlassen. Durch das Abkühlen werden die Drähte abgeschreckt, ihre Festigkeit erhöht und die Bruchstelle in der Regel nach der freien Seilstrecke verlegt.

Es ist davor zu warnen, das Seil in gebogenem Zustande (Fig. 167) einzugießen. Bei dieser Anordnung nehmen die Drähte eine andere gegen-

seitige Lage ein, als im gestreckten Zustande, und beim Erkalten der Legierung werden sie in dieser Lage festgehalten. Dies veranlaßt, daß bei der Zugbeanspruchung nicht alle Drähte gleichmäßig zur Kraftübertragung herangezogen und die einzelnen Seilteile verschieden beansprucht werden. Besonders auffällig macht sich diese Erscheinung bei Seilen verschlossener Konstruktion bemerkbar. Die Seile müssen deshalb in ge-

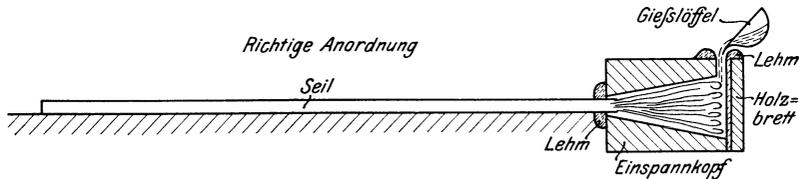


Fig. 168.

strecktem Zustande (s. Fig. 168) entweder in horizontaler oder in vertikaler Lage vergossen werden.

Als freie Versuchslänge sind mindestens 1,5 m zu benutzen. Seile verschlossener Konstruktion erfordern sogar eine Versuchslänge von mindestens 3 m. Beim Abtrennen von Probestücken von Seilen ist zu berücksichtigen, daß die Seile das Bestreben haben, sich aufzudrehen. Es sind deshalb in Abständen von ca. 30 cm kräftige und wirksame Drahtwickel um das Probestück zu legen, die erst nach erfolgtem Vergießen der Seilenden gelöst werden dürfen.

Das während des Zerreißversuches auftretende, mehr oder weniger stark tönende, klingende Geräusch rührt vom Zerreißen einzelner Drähte im Seile her. Die Belastung darf nur langsam gesteigert werden, weil plötzlich eintretender Bruch den Beobachter durch abspringende Drahtstückchen oder herumgeschleuderte Seillitzen gefährden kann. Neben der

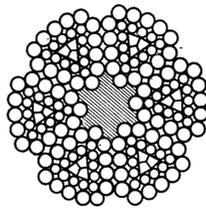


Fig. 169.

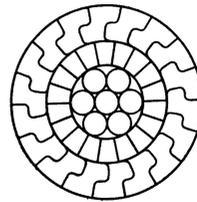


Fig. 170.

Bruchbelastung der Seile wird noch ihre Reißlänge angegeben (s. § 3).

Vergleicht man die Bruchbelastung eines Seiles mit der Summe der Zerreibelastungen der Einzeldrähte desselben Seiles, so gelangt man zu dem Ergebnisse, daß jene um einen gewissen Prozentsatz geringer ist als diese.

Bei Versuchen des Verfassers ergab sich:

- a) die Zerreißbelastung eines dreikantlitzigen Seiles mit einem Querschnitte nach Fig. 169 und 90 000 kg Bruchlast durch Addition der Zerreibelastungen der Einzeldrähte zu 96 900 kg, wobei die mittlere Zerreißbelastung der Deckdrähte jeder Litze 688 kg, die der inneren Drähte 377 kg und die der Seelendrähte 663 kg betrug;

- b) die Zerreißbelastung eines Seiles patentverschlossener Konstruktion mit einem Querschnitte nach Fig. 170 und 51400 kg Bruchbelastung durch Addition der Zerreibelastungen der Einzeldrhte zu 52340 kg, wobei die Drähte der Lage I 1670 kg, die der Lage II 800 kg, die der Lage III 1130 kg und der Seelendraht 1100 kg trugen.

Eine Vergleichung beider Zerreibelastungen liefert Verhältniszahlen, die bei dem dreikantlitzigen Seile 1 : 1,08 und beim patentverschlossenen Seile 1 : 1,02 betragen. Die Verhältniszahlen stellen gleichzeitig die Materialausnutzung in den Drahtseilen dar. Beim ersten Seile würde dieselbe 93 % und beim zweiten 98 % betragen.

Diese Zahlen gelten aber nur für die beiden vorliegenden Seile und sind nicht auf Seile beliebiger Konstruktion und Herkunft übertragbar. Sie schwanken in weiten Grenzen und hängen nicht nur von der öfters stark wechselnden Zerreißfestigkeit der Einzeldrhte ab, sondern sie werden in erster Linie durch die Konstruktion des Seiles bedingt.<sup>1)</sup>

Die wirklich auftretende Materialspannung wird bei Drahtseilen in der Weise berechnet, daß man die Belastung  $P$  durch die Summe der Drahtquerschnitte dividiert.

Bedeutet  $i$  die Anzahl der einzelnen Drähte,  
 $\delta$  den Drahtdurchmesser,  
 $f$  die Summe der Querschnitte,

dann ist

$$f = i \frac{\delta^2 \pi}{4}$$

und die Materialspannung

$$\sigma = \frac{P}{f}.$$

<sup>1)</sup> Nach den Vorschriften der preußischen Bergbehörden wird bei Frderseilen, welche auch zur Seilfahrt dienen, eine dauernde sechsfache Sicherheit gegenüber der Höchstbelastung bei der Materialförderung verlangt. Der Nachweis ist zu erbringen durch Zerreißen der einzelnen Drähte und durch Addieren der hierbei ermittelten Bruchlastzahlen; nicht mitzurechnen sind dabei die Bruchlast einer etwaig vorhandenen Hauptdrahtseele und die der Kerndrhte der einzelnen Litzen. Voraussetzung ist aber, daß die Litzen nur einen einzigen Kerndraht enthalten, da mehrere miteinander verseilte innere Drähte nicht als Kerndrhte gelten. Ferner sind von der Addition auszuschließen alle Drähte, die gegen die durchschnittliche Bruchfestigkeit der übrigen gleichartigen Drähte um mehr als 20 % geringere Bruchfestigkeit aufweisen, sowie diejenigen, die eine geringere Anzahl Biegungen als die nachstehend angegebenen aushalten:

bei 0,0 bis ausschließlich	2,0 mm Durchmesser	=	8 Biegungen,
"	2,0 " " " 2,2 " " "	=	7 " "
"	2,2 " " " 2,5 " " "	=	6 " "
"	2,5 " " " 2,8 " " "	=	5 " "
"	2,8 mm und stärker	=	4 " "

Will man die auf den Seildurchmesser bezogene ideelle Spannung pro Quadratcentimeter des Seilquerschnittes berechnen, dann wird der Seildurchmesser gemessen und als Seilquerschnitt der diesem Durchmesser entsprechende Kreis betrachtet. Da die Messung des Seildurchmessers mit Schublehre oder Taster infolge der unregelmäßigen Form der Oberfläche nicht zugänglich ist, wird der Umfang des Seiles bestimmt und daraus der Durchmesser berechnet. Die Bestimmung erfolgt am einfachsten mit einem ca. 5 cm breiten Streifen aus weißen, steifen Papier mit gerade geschnittenen Enden, welchen man um das Seil herumlegt; mit einem Bleistifte zieht man auf der darunter liegenden Papierfläche die Begrenzungslinie und mißt die begrenzte Länge.

Da für die Verwendung von Drahtseilen die Kenntnis ihrer elastischen und bleibenden Längenänderungen wertvoll und unter Umständen sogar notwendig ist, wird oftmals eine dahingehende Prüfung der Seile verlangt. Sie wird in der Weise durchgeführt, daß die Belastung des Seiles stufenweise gesteigert und die dabei auftretenden Längenänderungen

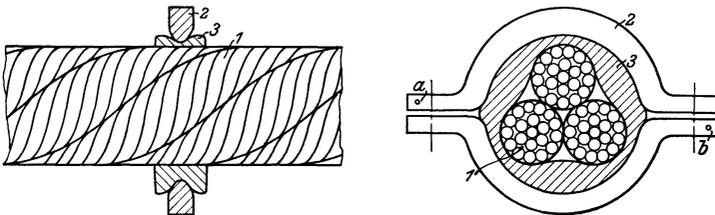


Fig. 171.

gemessen werden. Als Anfangsbelastung dient eine Kraft, deren Größe gleich einem Teile der Nutzlast  $\frac{1}{n}$  (etwa  $\frac{1}{10}$ ) gewählt wird. Man erhält auf diese Weise innerhalb der Nutzlast des Seiles  $n - 1$  Kraftstufen, deren Zahl zur Aufzeichnung des Belastungs-Dehnungsdiagrammes hinreicht. Als Nutzlast wird gewöhnlich bei geteerten Hanfseilen  $\frac{1}{6}$ , bei ungeteerten Hanfseilen  $\frac{1}{8}$  und bei Drahtseilen  $\frac{1}{10}$  der von den Lieferanten angegebenen zu erwartenden Bruchlast betrachtet.

Einige Schwierigkeiten bei der Messung der Längenänderungen bietet die Abgrenzung der Meßlänge. Da nicht vorausgesetzt werden darf, daß alle Garne bzw. Drähte sich gleichmäßig dehnen, ist die Dehnungsmessung zwischen zwei am Seil angerissenen Marken, wie es bei Zerreißprobestäben üblich ist, nicht zugänglich. Man ist genötigt, an möglichst vielen Stellen des Seilumfanges die Dehnung zu messen, und benutzt daher zweckmäßig zur Begrenzung der Meßlänge Klemmen nach Fig. 171, welche möglichst alle Litzen oder Garne bzw. Drähte am Seilumfange berühren. Zwischen Seil 1 und Klemme 2 wird ein Gummistreifen 3 angeordnet, der zur Ausfüllung der Hohlräume zwischen den Litzen dient. An den Klemmen sind rechts und links Punkte  $a$  und  $b$  markiert, an denen die Dehnungsmessung

mit Anlegemaßstab (s. § 161) oder Zeigerapparaten (s. § 175) erfolgt. Da an zwei gegenüber liegenden Umfangspunkten des Seiles die Messung vorgenommen und aus beiden der Mittelwert gebildet wird, ist etwaiges Schiefstellen der Klemmen infolge ungleichmäßiger Dehnung der Seilteile ohne Belang.

Bei Verwendung von Zeigerapparaten werden diese an schweren Stativen auf dem Fußboden aufgestellt und die Lagenänderungen der beiden Seilklemmen gegenüber dem Raume gemessen. Aus der Differenz der Ablesung läßt sich hierauf die Seildehnung in einfachster Weise berechnen.

Die Meßstrecke ist so lang als irgend möglich zu wählen. Im allgemeinen sollen Seile mit weniger als 3 m Meßlänge zur Bestimmung des Dehnungskoeffizienten nicht benutzt werden.

Berechnet man den Dehnungskoeffizienten des Drahtseiles auf Grund eines im Vorstehenden beschriebenen Versuches nach der Beziehung

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma,$$

worin  $\varepsilon$  die elastische Seildehnung und  $\sigma$  die auf den gesamten Drahtquerschnitt bezogene Materialspannung bedeutet, dann gelangt man zu dem Ergebnisse, daß der Dehnungskoeffizient  $\alpha$  eines Seiles erheblich größer ist als derjenige des Drahtmaterials. Der reziproke Wert des Dehnungskoeffizienten, also der Elastizitätsmodul des Seiles, ist um einen gewissen Betrag geringer als der des Seildrahtes.

$$\text{Es ist} \quad \frac{1}{\alpha} = E = \eta \cdot E_0.$$

Hrabak<sup>1)</sup> nennt den oben mit  $\eta$  bezeichneten Koeffizienten den Reduktionskoeffizienten des Elastizitätsmoduls. Dieser Reduktionskoeffizient ist starken Schwankungen unterworfen, die von der Konstruktion des Seiles abhängig sind. Nach Versuchen von Bach mit einem gewöhnlichen zweimal geflochtenen Drahtseile ergab sich der Reduktionskoeffizient zu 0,35. Ermittlungen von Divis an einem 36 drähtigen Seile führten zu einem Reduktionskoeffizienten

$$\eta = 0,353.^1)$$

Nach Hrabak ist  $\eta$  abhängig von der Flechtungszahl der Seile, und zwar soll der Elastizitätsmodul des Seiles für jedes einzelne Flechten in dem einfachen Verhältnisse 0,6 reduziert werden. Hraback gibt an, daß für den Reduktionskoeffizienten zweifellos folgende geometrische Reihe gültig ist:

1	0,6	0,6 <sup>2</sup>	0,6 <sup>3</sup>
für Draht (ungeflochten)	für einmaliges Flechten	für zweimaliges Flechten	für dreimaliges Flechten.

<sup>1)</sup> Hrabak. Die Drahtseile. Berlin 1902. Julius Springer.

Demnach ist der Elastizitätsmodul eines Seiles, wenn der des ungeflochtenen Drahtes gleich 2000 000 gesetzt wird:

$$\text{bei einmaligem Flechten } 0,6 \cdot 2000\,000 = 1200\,000,$$

$$\text{bei zweimaligem Flechten } 0,6^2 \cdot 2000\,000 = 720\,000,$$

$$\text{bei dreimaligem Flechten } 0,6^3 \cdot 2000\,000 = 432\,000.$$

Anders dagegen liegen die Verhältnisse bei Seilen patentverschlossener Konstruktion. Zugversuche des Verfassers mit neuen Drahtseilen patentverschlossener Konstruktion lieferten folgende Ergebnisse.

1. Seil mit Querschnitt nach Fig. 172:

Durchmesser 43 mm,  
Metallquerschnitt 11,695 qcm,  
Elastizitätsmodul  $E = 1220\,000$ .

2. Seil mit Querschnitt nach Fig. 173:

Durchmesser 47 mm,  
Metallquerschnitt 12,955 qcm,  
Elastizitätsmodul  $E = 1400\,000$ .

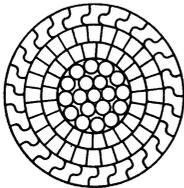


Fig. 172.

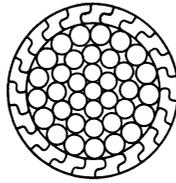


Fig. 173.

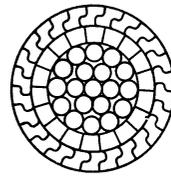


Fig. 174.

3. Seil mit Querschnitt nach Fig. 174:

Durchmesser 45 mm,  
Metallquerschnitt 13,86 qcm,  
Elastizitätsmodul  $E = 1460\,000$ .

Da Drahtproben den Seilen nicht beigegeben waren, konnte der Elastizitätsmodul des Drahtmaterials nicht durch Versuche ermittelt werden. Da die aus dem Seil gelösten Drähte aber beim ZerreiBversuche große Dehnung besaßen, können sie als sogen. Weichstahlrähre bezeichnet und ihr Elastizitätsmodul erfahrungsgemäß als gleich 1850 000 angenommen werden. Benutzt man diesen Wert zur Berechnung eines Reduktionskoeffizienten des Elastizitätsmoduls für die untersuchten Seile, so ergibt sich:

$$\text{für Seil 1. } \eta = \frac{1220\,000}{1850\,000}$$

$$\eta = 0,66,$$

$$\text{für Seil 2. } \eta = \frac{1400\,000}{1850\,000}$$

$$\eta = 0,76,$$

$$\text{für Seil 3. } \eta = \frac{1460000}{1850000}$$

$$\eta = 0,79.$$

Die Ergebnisse zeigen somit einige Annäherung an diejenigen von Versuchen mit einmalig geflochtenen Seilen, denen die Konstruktion auch nahe kommt. Die Abweichungen scheinen nur durch die innigere Berührung der Profildrähte bedingt zu sein.

Besonders hervorzuheben ist noch, daß der Elastizitätsmodul der Drähte stets an neuen Drähten ermittelt werden muß. Durch das Flechten bzw. Schlagen der Seile erfahren die Drähte Verbiegungen und Verwindungen, die Veränderungen des Drahtmaterials zur Folge haben. Geraderichten der Drähte hebt die Veränderungen nicht auf, beeinflußt die mechanischen Eigenschaften sogar weiter in ungünstiger Weise.

Eine vollständige mechanische Seiluntersuchung hat sich auf folgende Ermittlungen zu erstrecken:

1. Bestimmung des Seildurchmessers, d. i. der Durchmesser des dem Seilquerschnitt umschriebenen Kreises.
2. Ermittlung des Gewichtes des Seiles für die Längeneinheit.
3. Feststellung der Konstruktion des Seiles, nämlich Schlag- oder Flechtart, Litzenzahl, Draht- oder Garnzahl, Querschnitt der Drähte, Art der Seele usw.
4. Ermittlung der Zerreißfestigkeit und der Reißlänge nebst Dehnung des Seiles.
5. Ermittlung der Zerreißfestigkeit der Drähte bzw. Garne.
6. Feststellung des Materialausnutzungskoeffizienten.
7. Feststellung des Elastizitätsmoduls durch Messung der elastischen Dehnung.
8. Ermittlung der Verwindungszahl der Einzeldrähte (s. § 82).
9. Ermittlung der Biegezahl der Einzeldrähte (s. § 81).
10. Event. Ermittlung der Zerreiß- und Torsionsarbeit der Drähte.

### § 109. Prüfung von Ketten.

Unter der Prüfung von Ketten ist nicht ihre Probelastung zu verstehen, wie sie auf dem Werke durch den Erzeuger mit Kettenprüfmaschinen vorgenommen wird, sondern es ist diejenige gemeint, welche Aufschluß über die Zerreißfestigkeit und Bruchdehnung der Kette, sowie über ihre Bruchflächenbeschaffenheit gibt. Gewöhnlich geht diese Festigkeitsprüfung der Probelastung voraus oder sie wird nachträglich aus irgend einem Grunde, z. B. zur Kontrolle der Güte der Lieferung, wiederholt. Während die Probelastung mit Kettenstücken von etwa 25 m ausgeführt wird, erfolgt die Festigkeitsprüfung an Stücken, welche etwa 3 oder 5 Glieder enthalten.

Die Zerreißversuche können in jeder Materialprüfungsmaschine für Zugversuche ausgeführt werden. Besondere Beachtung ist jedoch auch hier der Einspannung der Probestücke zu schenken. Die Einspannung muß der Art der Kette angepaßt werden; Gliederketten erfordern andere Einspannvorrichtungen als Laschen- oder Gelenkketten.

Martens benutzt für beide Kettenarten eigenartig konstruierte Einspannköpfe, die in der schon mehrfach erwähnten Denkschrift<sup>1)</sup> beschrieben sind. Für Prüfungsstellen, wo solche spezielle Einspannvorrichtungen nicht vorhanden sind, empfiehlt Verfasser Vorrichtungen nach Fig. 175 bzw. Fig. 176. Die erste dient zur Einspannung von Gliederketten und die zweite von Gelenkketten. Bei Gliederketten wird durch das erste und letzte Glied 1 ein Bügel 2 aus abgeflachtem Stahl gesteckt, der in gewöhnlicher Weise mit Beißkeilen 3 in der Prüfungsmaschine befestigt wird. Da die Festigkeit des Kettenmaterials erheblich geringer ist als diejenige des Stahles des Einspannbgels an der Fließgrenze, findet bei geeigneter Bgelabmessung keine Formänderung desselben statt. Die Vorrichtung ist sehr einfach herzustellen und hat in der Dresdner Versuchsanstalt bei zahlreichen

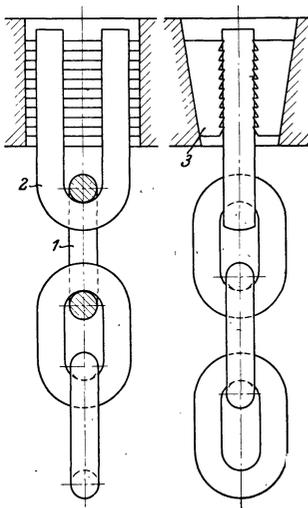


Fig. 175.

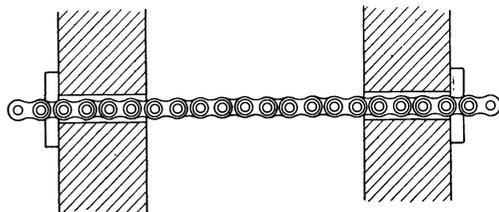


Fig. 176.

Kettenprfungen nie versagt. Die Befestigung von Laschen oder Gelenkketten geschieht in einfachster Weise durch ein Stahlstück (Fig. 176), welches durch das letzte Glied hindurch gesteckt wird. Es ist jedoch darauf zu achten, daß das Stahlstück die ganze Breite des Gliedes ausfllt und an allen Stellen gleichmäßig an dem Gelenkbolzen anliegt.

Der Bruch erfolgt bei Gliederketten in der Regel an der am stärksten auf Biegung beanspruchten Stelle jedes Kettengliedes durch Zerreißen der Fasern auf der Zugseite. Glieder, die eine unrichtige Feuerbehandlung erfahren haben und grobkristallinisches Bruchgefüge aufweisen, reißen auch in einer Ebene senkrecht zur Kettenachse.

Fig. 177 zeigt verschiedene Bruchformen von Gliederketten und Fig. 178 die normale Bruchform einer Gelenkkette. Gelenkketten gelangen

<sup>1)</sup> Denkschrift zur Eröffnung des Kgl. Materialprüfungsamtes, Großlichterfelde.

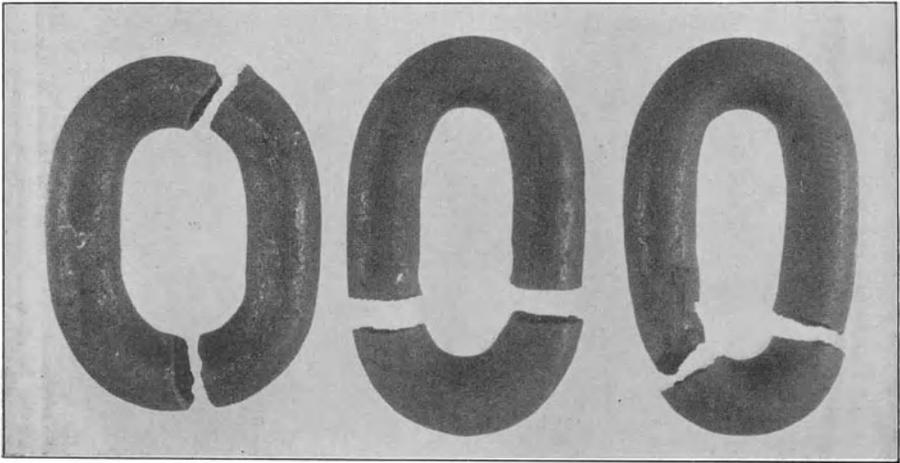


Fig. 177.

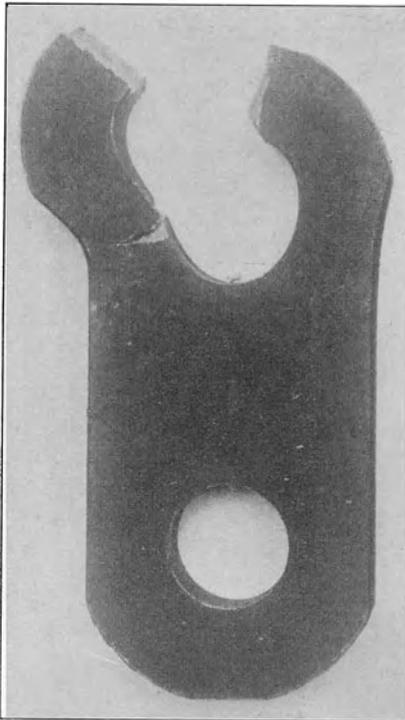


Fig. 178.

gewöhnlich durch Zerstörung der Laschen zum Bruche, seltener durch Abscheren der Bolzenköpfe.

Wichtig für die Benutzung von Ketten ist auch die Kenntnis der Dehnung, welche sie infolge der Belastung erfahren. Die gesamte Dehnung setzt sich auch hier zusammen aus einer elastischen und einer bleibenden. Mit der bleibenden braucht bei der Verwendung der Ketten nicht mehr gerechnet zu werden, weil sie bereits durch die Probelastung, welche höher als die Nutzlast ist, erzeugt wurde. Bei langen Ketten ist aber die elastische Dehnung so erheblich, daß ihre Feststellung wichtig ist. Am leichtesten wird diese Ermittlung für die in Betracht

kommenden Kraftstufen bei der Probelastung vorgenommen, indem dabei die Längenzunahme der Kette zwischen den Einspannköpfen gemessen wird. Bei

Prüfung von Ketten bis zum Bruche wird am besten die Dehnung jedes einzelnen Gliedes gemessen, indem auf den Ketteneisen Körnermarken angebracht und die Längenänderung durch Abgreifen der Strecke zwischen den Marken festgestellt wird.

Eine vollständige Untersuchung einer Gliederkette hat sich auf folgende Ermittlungen zu erstrecken:

1. Feststellung der Abmessungen der Kettenglieder und des Ketteneisens, einschließlich Prüfung der Schweißstellen.
2. Feststellung des Gewichtes der Kette für die Längeneinheit.
3. Ermittlung der Zerreißfestigkeit einschließlich der Bruchdehnung.
4. Feststellung des Bruchgefuges nebst Angabe der Lage der Bruchstelle.

Bei Kettenprüfungen sind Schutzvorkehrungen gegen Beschädigungen durch abspringende Kettengliederstücke zu treffen.

## Zweiter Teil.

# Die Materialprüfungsmaschinen.

### § 110. Allgemeines.

Die Materialprüfungsmaschinen haben den Zweck, bei Festigkeitsversuchen

- a) die erforderlichen Kräfte zu erzeugen,
- b) die tatsächlich auf den Probekörper wirkenden Kräfte zu messen und
- c) die der jeweiligen Beanspruchungsweise entsprechenden Formänderungen des Probekörpers mit geeigneten Einspannvorrichtungen und Übertragungsgliedern hervorzurufen.

Man hat an diesen Maschinen demnach drei Hauptbestandteile zu unterscheiden:

1. den Kraft erzeugenden Teil (Krafterzeuger),
2. den Kraft messenden Teil (Kraftmesser),
3. den Kraft übertragenden Teil (Kraftübertrager).

Alle drei Teile müssen an allen Materialprüfungsmaschinen gleichzeitig vorhanden sein, und nur die gegenseitige Anordnung der Teile ist Abweichungen unterworfen, die durch die Art der Beanspruchungen bedingt sind, welche die Maschinen erzeugen sollen. Gemeinsam soll aber allen Maschinen die Eigenschaft sein, daß die Kräfte stoßfrei erzeugt, momentan und sicher angezeigt und ohne Hervorrufung von Nebenwirkungen auf den Probekörper übertragen werden.

Man erkennt aus diesen Forderungen, daß Materialprüfungsmaschinen keine einfachen Mechanismen sind und die Konstrukteure solcher Maschinen genau mit dem Wesen einer Materialprüfung vertraut sein müssen, wenn sie eine allen Ansprüchen hinsichtlich Genauigkeit der Versuchsausführung und der Einfachheit der Handhabung entsprechende Prüfungsmaschine schaffen wollen.

Auch die Fabrikation solcher Maschinen ist ein Sonderzweig des Maschinenbaues, und nicht alle Maschinenfabriken, welche sonst schwierige Maschinen erzeugen, sind in der Lage, brauchbare Materialprüfungsmaschinen herzustellen. Aus diesem Grunde befassen sich auch nur wenige Firmen mit der Herstellung solcher Maschinen. Sie haben aber im Laufe der Jahre ihre Konstruktionen auf eine derartige Höhe gebracht, daß die

Maschinen bei sorgfältiger Ausführung einwandfreie Versuchsergebnisse liefern. Im allgemeinen baut jede dieser Firmen Maschinen nach einem bestimmten Grundsatz, der gewöhnlich auf der Ausgestaltung des Kraftmessers fußt.

## I. Die Kräftezeuger.

### § 111. Allgemeines.

Die Kräftezeugung geschieht bei den Materialprüfungsmaschinen durch mechanische oder hydraulisch betriebene Vorrichtungen. Jene haben gegenüber diesen den Vorzug unbegrenzten Weges der Kraft, während diese wiederum gegenüber den mechanischen Vorrichtungen leistungsfähiger und vor allem bequemer in der Handhabung sind.

Für kleinere Kräfte zieht man in der Regel den mechanischen Antrieb mit Schraube und Mutter, weil er einfacher ist, vor. Er arbeitet mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit sowie stoßfrei und gestattet die Einstellung einer bestimmten Belastung des Probekörpers, ohne daß man Abfall derselben zu befürchten hätte. Dies bedeutet bei Feinmessungen einen nicht zu unterschätzenden Vorteil, weil ein einzelner Beobachter die Einstellung der Kraft bewerkstelligen und hiernach die Ablesung der Dehnung vornehmen kann. Auch Belastungen von längerer Dauer können bei diesem Antriebe eingestellt werden, ohne daß Steigen oder Fallen derselben eintritt. Kommen dagegen große Kraftleistungen in Betracht, dann wird der mechanische Antrieb insofern schwierig, als entweder große Kräfte zur Bewegung aufgewendet werden müssen oder man sich mit geringer Belastungsgeschwindigkeit begnügen muß.

Bei hydraulischem Antriebe ist man dagegen sowohl in der Größe der Kraft, als auch in der Geschwindigkeit der Belastungssteigerung an keine Grenzen gebunden, wenn nur die Kolben- und Ventilquerschnitte richtig gewählt werden. Er besitzt aber den Nachteil, daß der Weg des Einspannkopfes bei manchen Versuchen, wo große Deformationen des Probekörpers, wie bei Zugversuchen mit Hanfseilen, in Frage kommen, nicht groß genug ist und daß schon sehr geringe Undichtigkeiten der Manschetten Dauerbelastungen ausschließen. Eine Schraubenspindel kann beliebig lang gemacht werden, aber ein hydraulischer Zylinder muß auf gewisse Abmessungen beschränkt bleiben. Bei der Wahl des Antriebes haben daher Erwägungen Platz zu greifen, die unter Berücksichtigung des Zweckes anzustellen sind, dem die Maschine dienen soll.

### § 112. Der mechanische Antrieb.

Für den mechanischen Antrieb der Materialprüfungsmaschinen wird im allgemeinen zur Erzeugung der linearen Bewegung der beweglichen Einspannvorrichtung eine Schraubenspindel benutzt, deren Widerlagsmutter als Schraubenrad ausgestaltet ist, in dessen Zähne eine Schnecke eingreift.

Die Schnecke erhält ihre drehende Bewegung entweder durch eine Kurbel von Hand oder durch ein Vorgelege von einer Transmission.

Beim Antrieb von Hand sind besondere Vorrichtungen zur Erzeugung wechselnder Geschwindigkeit nicht nötig, weil sie nach Erfordernis jeweilig eingestellt werden kann. Der Transmissionsantrieb verlangt dagegen, wegen konstanter Drehgeschwindigkeit, die Zwischenschaltung einer Vorrichtung zur Änderung der Antriebsgeschwindigkeit, sowie Umkehrung der Drehrichtung. Beides kann durch Reibungsvorgelege bewirkt werden, wenn das Reibrad auf der Reibscheibe über den Mittelpunkt hinaus in Richtung des Reibscheibendurchmessers verschoben wird. Die Mannheimer Maschinenfabrik Mohr & Federhaff rüstet ihre Maschinen mit einem Vorgelege aus, dessen Konstruktion und Anordnung aus Fig. 210 ersichtlich ist.

Steht elektrische Energie zur Verfügung, dann können die Maschinen mit mechanischem Krafterzeuger unmittelbar durch einen regulierbaren Elektromotor angetrieben werden. Für die Dresdner Versuchsanstalt projektierte Verfasser eine derartige Anlage, die außer Umkehrung der Drehrichtung Tourenänderungen der Antriebswelle der Prüfungsmaschine von 10—110 bei gleichbleibendem Drehmoment gestattet. Der Elektromotor ist mit zwei Wicklungen versehen, die entweder von dem 440 Volt Netz oder dem 220 Volt Netz gespeist werden. Regulierwiderstände erlauben dabei eine Regulierung des Ankerstromes mit gleichzeitiger Feldschwächung oder eines von beiden allein. Die Anordnung ist derart getroffen, daß vom Beobachter gleichzeitig die Gewichtseinstellung am Kraftmesser und durch zwei Handräder die Regulierung des Motors bewirkt werden kann.

### § 113. Der hydraulische Antrieb.

Der hydraulische Antrieb wird durch hydraulische Pressen bewerkstelligt, die ihre Kraft durch den Kolben entweder unmittelbar auf den Probekörper (bei Druckversuchen) oder unter Zwischenschaltung von Übertragungsgliedern (bei Zugversuchen) ausüben. Die Preßflüssigkeit wird durch Handpumpen, welche unmittelbar an der Prüfungsmaschine angebracht sind, oder durch maschinell betriebene, abseits aufgestellte Pumpwerke geliefert. Bei letzterer Anordnung empfiehlt sich zur Vermeidung unökonomischen Betriebes die Einschaltung eines Kraftsammlers (Akkumulators) in die Druckleitung, welcher die vom Pumpwerk geförderte überschüssige Preßflüssigkeit aufnimmt und bei gesteigertem Flüssigkeitsbedarf abgibt.

Als Preßflüssigkeit werden Wasser, Öl, Glycerin oder Mischungen von Wasser und Glycerin benutzt. Wasser kommt in Anwendung bei Pressen, deren Kolbenabdichtung mit Manschetten bewirkt ist, Öl bei denjenigen Pressen, die mit Amagat-Dichtung (s. § 115) versehen sind, und Glycerin oder Mischungen von Glycerin mit Wasser in solchen Anlagen, wo Einfrieren einer Wasserleitung zu befürchten ist. Glycerin erniedrigt

Additional material from *Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinen- und Bauingenieure*,  
ISBN 978-3-662-35757-6 (978-3-662-35757-6\_OSFO1),  
is available at <http://extras.springer.com>



den Gefrierpunkt des Wassers, so daß die Leitungen unbeschadet dem Froste ausgesetzt werden können.

Sind mehrere Prüfungsmaschinen vorhanden, die mit zweierlei Preßflüssigkeiten betrieben werden, so empfiehlt sich aus Ersparnisrücksichten eine Kombination beider Druckerzeugungsanlagen.

In Fig. 179 ist eine solche Kombination, wie sie Verfasser für die Dresdner Versuchsanstalt projektierte und die sich in jahrelangem Betriebe bewährt hat, schematisch dargestellt. Die Anlage ist für eine minutliche Förderung von 15 l Wasser und 15 l Rizinusöl bei 250 Atmosphären Druck eingerichtet. Die Preßpumpe *A* fördert Wasser unter den Differentialgewichtsakkumulator *B* mit 15 l Inhalt, der für die Prüfungsmaschinen mit Wasserbetrieb Flüssigkeit abgibt und gleichzeitig mit dem Umformer *C* in Verbindung steht. Der Umformer besteht aus zwei durch Zugstangen miteinander vereinigten Zylindern *E* und *G*, in denen eine gemeinschaftliche Kolbenstange *F* steckt. Infolge des auf dem oberen Kolbenquerschnitt lastenden Wasserdruckes entsteht in dem unteren Zylinder *E* der gleiche Flüssigkeitsdruck, wenn die Preßpumpe *D* Öl unter den Kolben pumpt. Durch hydraulische Umsteuervorrichtungen werden die elektrisch betriebenen

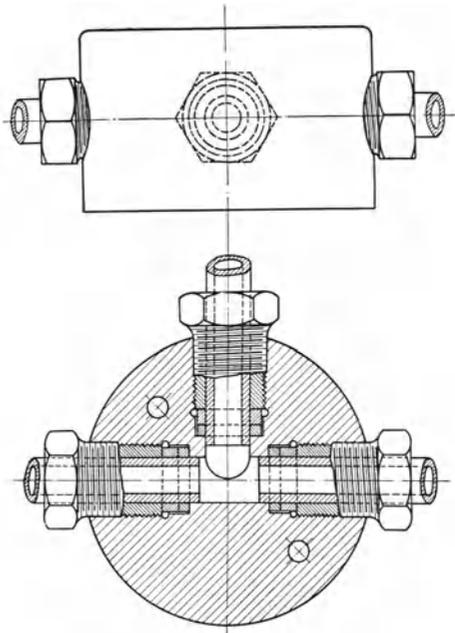


Fig. 180.

Pumpen selbsttätig von dem Akkumulator bzw. Umformer angelassen oder abgestellt. Zur Fortleitung der Flüssigkeiten dienen Kupferrohre von 13 mm lichter Weite und 3 mm Wandstärke. Die Verteiler sowie Verschraubungen an den Abzweigstellen bestehen aus nachgeschmiedetem Flußeisen. Ihre Konstruktion ist aus Fig. 180 ersichtlich. Besonderes Augenmerk ist bei allen hydraulischen Antriebsvorrichtungen für Materialprüfungsmaschinen auf Entlüftung der Druckleitungen zu richten. Es empfiehlt sich, an allen Stellen, wo Ansammlung von Luft eintreten kann, d. i. bei Krümmungen in vertikaler Richtung und in den Zylindern der Pressen, Entlüftungsventile anzubringen. Auch Stoß- und Sicherheitsventile an den Akkulatoren dürfen nicht fortgelassen werden. Da die Pressen selbst mit verschiedenen hohen Drucken arbeiten, die meist niedriger als der

Akkumulatordruck sind, bringe man an den Preßzylindern zur Vermeidung von Maschinenüberlastungen Sicherheitsventile an. Ein einfaches Sicherheitsventil, welches Verfasser für die Dresdner Prüfungsmaschinen konstruierte und das gleichzeitig als Entlüftungsventil des Zylinders dient, ist in Fig. 181 dargestellt.

Auch Reinigungsvorrichtungen für die Preßflüssigkeiten müssen vorgesehen werden. Bei der Anlage der Dresdner Versuchsanstalt bestehen die Wasser- bzw. Ölreiner (s. Fig. 179) aus doppelten Blechbehältern, in denen die Flüssigkeit Flanell- und Leinwandfilter passieren muß, bevor sie in den Pumpenkasten zurückströmt.

Im übrigen sind alle Pumpensysteme zur Druckerzeugung brauchbar. Hinsichtlich der Akkumulatoren glaubt aber Verfasser den Gewichts-

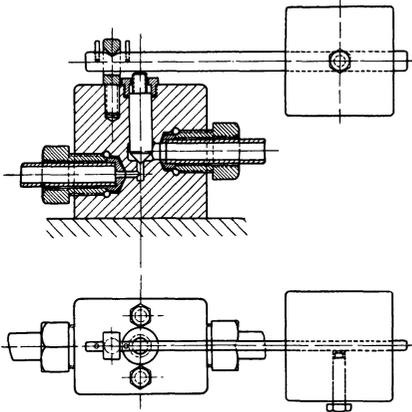


Fig. 181.

akkumulatoren den Vorzug gegenüber allen anderen Systemen einräumen zu müssen. Luftdruckakkumulatoren benötigen große Kolben und leiden an dem Übelstande, daß der Druck nur bei sorgfältigster Wartung konstant erhalten werden kann. Dampfdruckakkumulatoren sind von der Dampferzeugungsanlage abhängig, und ihr Flüssigkeitsdruck macht alle Schwankungen mit, die der Druck im Dampferzeuger erleidet. Wechselnder Druck ist aber der größte Übelstand bei Materialprüfungen, wenn es sich darum

handelt, Feinmessungen vorzunehmen und mit einem Regulierventile konstante Belastung einzustellen. Verbreitet sind auch die sogenannten Multiplikatoren zur Druckerzeugung (s. § 131, Materialprüfungsmaschine von Pohlmeier). Sie können mit Wasser einer Niederdruckleitung betrieben werden und dienen entweder als Druckausgleicher, oder wenn periodischer Betrieb möglich ist, ohne Pumpwerk auch zur Druckerzeugung.

Näher soll auf diese Einrichtungen hier nicht eingegangen werden. Für Interessenten sei auf das Werk: Martens, Materialienkunde I. Berlin 1899, und auf die Denkschrift zur Eröffnung des Kgl. Materialprüfungsamtes Groß-Lichterfelde verwiesen, wo Martens seine eigenen und auch fremde Konstruktionen von Materialprüfungsmaschinen beschrieben und kritisch beleuchtet hat.

#### § 114. Die Ventile zur Regulierung der Belastungsgeschwindigkeit.

Gut und sicher wirkende Ventile an Materialprüfungsmaschinen sind Bedingung für einwandfreie Versuchsausführung. Da aber jeder Mechanis-

mus unzuverlässiger wird, je komplizierter er ist, muß für Ventile die Forderung größter Einfachheit und Übersichtlichkeit verlangt werden. Was nutzt z. B. die Anbringung eines besonderen Feinregulierventils an der Ventilstation einer Prüfungsmaschine, wenn der Flüssigkeitsdruck in der Zuleitung nicht konstant ist. Mag die Ventileinstellung zur Erzeugung einer bestimmten Belastungsgeschwindigkeit noch so sorgfältig erfolgt sein, die Geschwindigkeit ändert sich doch, wenn der Leitungsdruck infolge von Flüssigkeitsentnahme aus der Leitung an anderer Stelle oder durch Druckveränderung im Akkumulator abnimmt. Durch sehr zahlreiche Versuche hat Verfasser die Überzeugung gewonnen, daß ein einziges Einlaßventil und ein davon getrenntes Auslaßventil für alle normalen Versuche ausreicht und eine solche Einrichtung am besten geeignet ist. Zwei einzelne Ventile

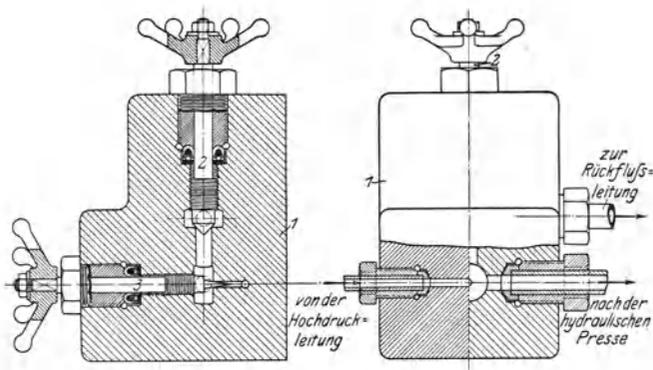


Fig. 182.

lassen sich sehr leicht übersehen, ihre Pflege ist einfach und ihre Handhabung schnell zu erlernen.

Ein vom Verfasser konstruiertes Ventil, das sich für alle Arten Versuche bewährt hat, ist in Fig. 182 dargestellt. Es besteht aus dem Ventilkörper 1, in welchen die spitz auslaufenden Ventilspindeln 2 und 3 mit Gewinde eingesetzt sind. Ihre Abdichtung erfolgt mit Ledermanschetten, und zu ihrer Bewegung dienen Handräder, an denen zur Kenntlichmachung der Ventilstellung ein Zeiger (nicht gezeichnet) mit Skala angebracht ist. Ist der Druck in der Leitung konstant, dann kann man „mit Durchfluß“ arbeiten, d. h. man reguliert den Flüssigkeitsein- und -austritt gleichzeitig, läßt also Flüssigkeit durchfließen. Dies gestattet eine außerordentlich geringe Belastungsgeschwindigkeit und genaue Einstellung einer bestimmten Belastung, auch wenn die Dichtungen der Presse oder des Ventils nicht in Ordnung sein sollten.

Sehr sinnreiche, wohldurchdachte Ventilkonstruktionen für verschiedene Zwecke sind in den bereits weiter oben erwähnten Büchern von Martens: Materialienkunde und Denkschrift beschrieben.

Alle Ventile für Materialprüfungsmaschinen bedürfen der sorgfältigsten Pflege sowie Schonung bei der Bedienung. Sie müssen stets dicht und leicht gangbar sein, ihre Ventilsitze sind öfters nachzusehen und beim Absperrn darf die Ventilspindel niemals mit großer Gewalt auf den Sitz niedergeschraubt werden.

### § 115. Die Zylinder der hydraulischen Pressen.

Die Zylinder der hydraulischen Pressen werden in der Regel aus Gußeisen oder aus Stahlguß angefertigt. Solche dagegen, bei denen auf geringe Abmessungen besonderer Wert gelegt werden muß oder in denen sehr hohe Flüssigkeitspressungen (über 500 Atm.) auftreten, stellt man aus geschmiedetem Stahl her. Die Kolben bestehen dagegen fast immer aus Gußeisen und sind nur zur Vermeidung des Anrostens mit einem Kupfermantel überzogen oder galvanisch verkupfert oder vermessingt. Bei den Maschinen, welche mit Drucköl betrieben werden, sind solche Mäntel oder Überzüge nicht nötig, weil Anrostungsgefahr nicht besteht. Für die Abdichtung der Kolben im Zylinder sind zwei Verfahren üblich. Es werden U-förmige Ledermanschetten angewendet oder es wird der Kolben in dem Zylinder auf eine größere Länge eingeschliffen (Amagat). Die erstere Abdichtungsweise findet sich bei solchen Maschinen, wo die hydraulische Presse lediglich zur Krafterzeugung benutzt oder wo auf weitgehende Genauigkeit der Anzeige kein Wert gelegt wird. Die zweite Abdichtung wird dort benutzt, wo die Kraftmessung auf hydraulischem Wege stattfindet und deshalb die Kolbenreibung gering, sowie bei allen Flüssigkeitsdrücken möglichst konstant sein soll.

Während die Abdichtung durch Manschette bei sorgfältiger Ausführung fast vollkommen ist, so daß kein Wassertropfen an den Dichtungsflächen austritt, läßt die Amagatsche Dichtung, welche dicke Preßflüssigkeiten (Öl) erfordert, ständig solche austreten. Wenn auch die Kolben bei dieser Dichtungsweise auf große Länge in den Zylinder eingeschliffen sind, müssen sie bei höheren Drücken Flüssigkeit durchlassen, weil die Zylinderdurchmesser sich mit wachsendem Druck vergrößern und die Wandungen auf ihrer ganzen Ausdehnung nicht mehr dicht am Kolben anliegen. Der Kolben schwimmt bei dieser Anordnung in einer langsam strömenden Ölschicht und es reiben bei der Bewegung nicht mehr Metallflächen auf ebensolchen, sondern man hat es nur mit Flüssigkeitsreibung zu tun. Manschetten sollen immer am unteren Kolbenende und nicht am Zylinder angebracht werden, da dies den Vorteil bietet, daß bei steigendem Flüssigkeitsdruck die Manschette sofort unter Druck gesetzt wird und sich dicht an die Zylinderwandungen anlegt. Bei Anordnung der Manschette im Zylinder bietet auch ihre Einbringung Schwierigkeiten. In allen Fällen empfiehlt sich möglichst lange Führung des Kolbens, damit Schiefstellen des Kolbens ausgeschlossen ist.

Fig. 183 zeigt einen aus geschmiedetem Stahl hergestellten Preßzylinder für 600 Atm. Innendruck, wie er in der Dresdner Versuchs-

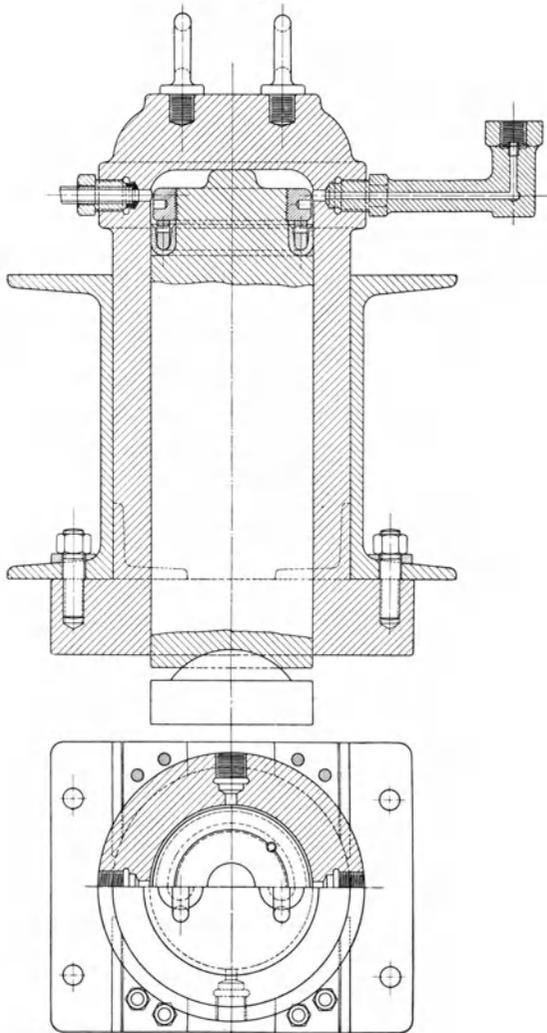


Fig. 183.

anstalt bei auswärtigen Belastungsversuchen mit Bauwerkteilen Verwendung findet (s. § 317). (Über Manschettenreibung s. § 120.)

## II. Die Kraftmesser.

### § 116. Allgemeines.

Die Kraftmessung kann mit mechanischen Wagen oder mit hydraulischen Meßvorrichtungen erfolgen. Welcher von beiden Meßmethoden ein

Vorzug eingeräumt werden soll, ist schwer zu entscheiden. Jede einzelne Methode bietet gewisse Vorteile, die durch solche der anderen Methode wieder ausgeglichen werden. Man kann sagen, daß jede der beiden Methoden, an der richtigen Stelle angewendet, einwandfreie Messungsergebnisse liefert. Die Vorrichtungen müssen die jeweilige Kraft momentan anzeigen und dürfen durch äußere Einflüsse wie Temperaturänderungen im Versuchsraume oder Stöße in der Prüfungsmaschine beim Bruch des Probekörpers in ihrer Anzeige nicht gestört werden. Sie müssen ferner mit Einrichtungen versehen sein, die bei plötzlichem Bruche des Probekörpers, also nach Aufhören der Belastung, die höchste benutzte Kraft dauernd angeben.

In den folgenden Paragraphen sollen die einzelnen im Gebrauch befindlichen wichtigeren Kraftmesser der beiden oben angeführten Hauptgruppen der Reihe nach beschrieben und ihre Arbeitsweise erläutert werden.

### § 117. Die Hebelwage.

Die Konstruktion dieser Wagen entspricht im wesentlichen derjenigen der Dezimal- oder Zentesimalwagen. Sie bezweckt, eine verhältnismäßig große Kraft mit kleinen Gewichten zu bestimmen und den Weg der Gewichte zu vergrößern. Letztere Eigenschaft ist notwendig, damit der Waghebel zur Ablesung um seine Nullage schwingen kann, während die Bewegungen des Kraftangriffspunktes nur sehr klein sind. Die Stützung des Waghebels erfolgt ebenso wie die Befestigung der Übertragungsglieder an ihm mit Schneiden. Es ist dabei, wie bei allen Wagen, zu beachten, daß die Schneiden stets am Hebel und die Pfannen am Maschinengestell angeordnet werden. Würde dies nicht der Fall sein und besäße z. B. ein doppelarmiger Hebel in der Mitte eine Pfanne, an den Enden dagegen Schneiden, dann könnte während des Versuches infolge eines Stoßes in der Maschine eine Verschiebung des Hebelstützpunktes eintreten und eine Änderung des Übersetzungsverhältnisses der Wage die Folge sein. Große Übersetzungsverhältnisse werden erreicht durch Anwendung mehrfacher Hebel oder eines einzigen mit sehr großem Hebelverhältnis. Mehrfache Hebel finden Anwendung z. B. bei der Maschine von Mohr & Federhaff (s. § 133), einfache Hebel aber mit großem Hebelverhältnis z. B. bei der Werdermaschine (s. § 126). Diese besitzt ein Hebelverhältnis 1:500, wobei der kurze Arm 3 mm mißt. Wenn auch die Konstruktion von einfachen Hebelwagen mit so großen Hebelverhältnissen gewisse Schwierigkeiten bereitet, weil die Anordnung der Schneiden in derartig geringem Abstände nicht leicht ist, muß einfachen Hebelwagen gegenüber denjenigen mit mehreren Hebeln doch der Vorzug gegeben werden. Einfache Hebel lassen sich genügend kräftig ausführen, damit Durchbiegungen verhindert werden. Mehrfache Hebel erfordern dagegen sorgfältige Sicherung ihrer gegenseitigen Lage, was nicht immer ohne weiteres möglich ist.

In Fig. 184 und 185 sind die Schemata beider Hebelkonstruktionen dargestellt. Man erkennt daraus auch die Art der Geradföhrung für den Kraft-

angriffspunkt. Die Geradführung ist erreicht durch Einschaltung eines Lenkers zwischen Hebel und Einspannkopf.

Besondere Sorgfalt ist beim Bau von Prüfungsmaschinen mit Hebelwagen den Schneiden und Pfannen zu widmen. Beide müssen aus bestem härtbaren Stahl hergestellt, sauber geschliffen und sehr gut gelagert werden. Am besten sind diejenigen Konstruktionen, bei denen man die Schneiden nach dem Einsetzen in den Hebel schleifen kann, da bei nachträglichem Einsetzen Verbiegungen oder Schiefstellen der Schneiden nicht ausgeschlossen sind. Wie hoch die Materialspannungen in den Schneiden sind, zeigt am besten folgendes Ausführungsbeispiel. Die Hauptschneide der Werdermaschine, welche die gesamte Kraft von 100 t aufnehmen und auf die Pfanne des Widerlagers übertragen muß, besitzt eine Länge von 35 cm. Nimmt man an, daß die Schneide durch die Belastung vielleicht eine Abplattung von 0,5 mm Breite erfährt, so ergibt sich die

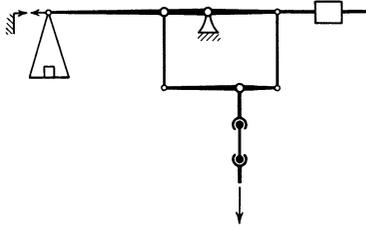


Fig. 184.

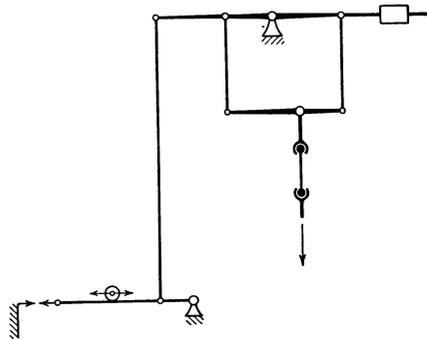


Fig. 185.

Flächenbeanspruchung zu  $\frac{100\,000}{0,05 \cdot 35} = 57\,100 \text{ kg/qcm}$ . Bei anderen Maschinen ist diese Beanspruchung wesentlich niedriger, und Martens<sup>1)</sup> erklärt, daß eine Schneidenbeanspruchung bis zu 4000 kg/qcm praktisch als zulässig zu erachten ist. Die Gewichte zur Herstellung des Gleichgewichtes der Kräfte bei belasteter Wage werden entweder auf eine Wagschale am Ende des Hebels gelegt (Werdermaschine, s. § 126) oder es werden einzelne Gewichtsscheiben an einer vertikalen Stange am Ende des Hebels angebracht (Martensmaschine, s. § 127). Auch Laufgewichte finden Anwendung, die von Hand oder durch mechanische Vorrichtungen bei fortschreitender Belastung auf dem Waghebel vorwärts bewegt werden (Maschinen von Mohr & Federhaff, s. § 133 Losenhausen, s. § 138). Benutzt man bei solchen Maschinen noch Laufgewichte verschiedener Schwere, dann kann man die ganze Laufgewichtsskala auch bei geringeren Belastungen der Maschine voll ausnutzen und dadurch eine größere Genauigkeit der Kraftablesung erzielen.

<sup>1)</sup> Martens, Materialkunde I, S. 231.

Die Wagen müssen im stabilen Gleichgewicht sein. Oft kommt es nämlich vor, daß bei Neuanfertigungen der Fabrikant diesem Umstande im voraus keine Beachtung schenkt und die Massenverteilung am Hebel unrichtig vornimmt. Die Folge davon ist entweder labiles Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt des Hebelsystems über dem Stützpunkte liegt, oder indifferentes, wenn beide Punkte zusammenfallen. Verfasser hatte mehrfach Gelegenheit, bei Maschineneichungen diesen Fehler zu beobachten, und stellte ihn durch Anbringung von Gewichten an den Hebeln zur Verlegung des Schwerpunktes ab. Gutes Ausbalancieren der Hebelwagen im unbelasteten Zustande erleichtert wesentlich die Versuchsausführung, da man jederzeit bei Entlastung der Maschine aus dem Einspielen erkennt, ob das Hebelverhältnis noch besteht.

### § 118. Die Neigungswage.

Der Konstruktionsgrundsatz der Neigungswage ist aus Fig. 186 erkenntlich. An dem einen Ende eines doppelarmigen Hebels 1—2, der bei 3 gestützt ist, ist ein Gewicht  $G$  angebracht. Bei 4 greift die Kraft  $P$  an und bewirkt einen Ausschlag des Hebels und somit Anheben des Gewichtes. Die Größe der Kraft  $P$  ist infolgedessen lediglich eine Funktion des Abstandes  $a$  des Gewichtes  $G$  von der Nullage. Auflegen von Gewichten oder sonstige Handgriffe, wie Bewegen eines Laufgewichtes, sind bei dieser Meßvorrichtung nicht erforderlich. Der Beobachter braucht sich nur darauf zu beschränken, die Größe des Ausschlages der Neigungswage zu messen. Bei den Prüfungsmaschinen von Schopper (s. § 144) wird die bei 4 angreifende Kraft unmittelbar als Funktion des Ausschlages des Gewichtes an einer Skala abgelesen, an der ein am Gewicht angebrachter Zeiger vorbeispielt.

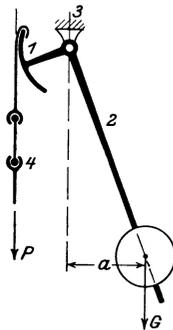


Fig. 186.

Die Maschine von Pohlmeier (s. § 131) dagegen überträgt den Ausschlag des Gewichtes auf einen Zeigerapparat, welcher denselben in vielfacher Vergrößerung anzeigt. Die Vorzüge der Neigungswage gegenüber der Hebelwage leuchten ohne weiteres ein. Während bei der Hebelwage durch Auflegen von Gewichten ein stufenweises Steigen der Belastung erreicht wurde und nur bei Anwendung eines Laufgewichtes annähernd stetige Laststeigerung möglich war, geht bei der Neigungswage die Belastungssteigerung ständig ohne Stoß vor sich. Der Kraftmesser stellt sich somit selbsttätig entsprechend der Belastung des freien Hebelarmes der Neigungswage ein und markiert seine äußerste Lage durch einen Schleppzeiger, der bei plötzlicher Entlastung stehen bleibt.

### § 119. Die Federwage.

Die Kraftmessung durch Federwage ist bei Materialprüfungsmaschinen in umfangreichem Maße in Anwendung gebracht worden. Sie war nahe-

liegend durch die Einfachheit ihrer Ausführung, weil die Dehnung oder Zusammendrückung der Feder unmittelbar als Maß für die Kraft dienen konnte. Da aber bei häufiger Benutzung eine Ermüdung des Federmaterials zu beobachten ist, die Veränderungen in der Kraftanzeige nach sich zieht, ist eine häufige Eichung der Federn bzw. der Prüfungsmaschinen mit solchen Kraftmessern notwendig. Hinsichtlich der Größe der Kraft ist das Anwendungsgebiet der Federwaage aber beschränkt. Entweder ist man gezwungen, für größere Kräfte erhebliche Federdehnungen zuzulassen oder aber die Federn sehr stark zu bemessen, was geringe Dehnungen zur Folge hat und dadurch große Übersetzungen des Kraftanzeigers erfordert. Auch bietet die unbedingt notwendige sichere Zentrierung der Federn gewisse Schwierigkeiten. Spiralfedern lassen sich an ihren letzten Windungen nur unter Verwendung sorgfältigst angefertigter Aufhängevorrichtungen befestigen. Die Feder muß allseitige Beweglichkeit besitzen, damit sie sich frei ausdehnen oder verkürzen kann, ohne daß ihr Material Nebenspannungen erleidet. Sehr zweckmäßig ist die Federkonstruktion nach Fig. 187, welche der bei den Crosby-Indikatoren benutzten nachgebildet ist. Die Feder 1 ist doppelgängig und besitzt an den Enden kugelige Verdickungen 2 und 3 zur Befestigung in Gehäugen 4 und 5. Da die Stützpunkte in letzteren hohlkugelig ausgestaltet sind, lassen sie allseitige Beweglichkeit der Feder zu. Auch Blattfedern und Plattenfedern kann man für Meßzwecke verwenden. Eine für alle Zwecke geeignete Meßfeder ist der Kontrollstab (s. § 158,  $\beta$ ). Wegen seiner handlichen Form und zuverlässigen Befestigungsweise läßt er sich in einfachster Weise in Materialprüfungsmaschinen einfügen und als Meßinstrument benutzen. Gegenüber allen anderen Federn besitzt er den Vorzug, daß er infolge seiner verhältnismäßig geringen Dehnungen eine schnelle Entlastung des Probekörpers gestattet. In Anwendung ist die Meßmethode bei einigen Leunerschen Materialprüfungsmaschinen, bei denen ein Spiegelapparat nach dem Grundsatz des in § 172 Beschriebenen zur Dehnungsmessung bzw. Kraftbestimmung benutzt wird.

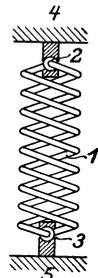


Fig. 187.

### § 120. Die hydraulische Kraftmessung.

Bei den Prüfungsmaschinen mit hydraulischem Antriebe ist der einfachste Kraftmesser das Manometer, mit welchem man den Flüssigkeitsdruck bestimmt, der im Innern des hydraulischen Zylinders herrscht. Diese Methode ist einwandfrei, solange keine oder wenigstens keine veränderlichen Reibungswiderstände in den Gleitflächen des hydraulischen Preßkolbens auftreten. Sind keine Reibungswiderstände vorhanden, so ist die durch den Kolben geäußerte Kraft gleich dem Produkte aus Kolbenfläche und Flüssigkeitsdruck. Annähernd sind diese Verhältnisse gegeben bei den Maschinen mit eingeschlifftem Kolben ohne Abdichtungsmanschetten

(Maschinen von Amsler-Laffon & Sohn). Wie in § 115 bereits erläutert wurde, schwimmt bei dieser Anordnung der Kolben in einer Ölschicht, so daß keine Metallflächen aufeinander reiben, sondern nur Flüssigkeitsreibung vorhanden ist. Veränderliche Kolbenreibung besitzen die Pressen, bei denen die Abdichtung mit Ledermanschetten bewirkt wird. Bei steigendem Flüssigkeitsdruck legt sich die Manschette mit wachsender Kraft an die Zylinder- bzw. Kolbenwandungen und erzeugt auf diese Weise Reibung, die die Kraftäußerung des Kolbens vermindert. Eingehend studiert wurden diese Verhältnisse neuerdings durch Martens,<sup>1)</sup> der zu dem Schlusse gelangte, daß die Kraftmessung bei Maschinen, deren Zylinder mit Manschetten ausgerüstet sind, innerhalb der praktisch völlig zulässigen Fehlergrenzen von  $\pm 5\%$  für gewisse Zwecke zulässig ist.

Daß diese Grenze bei sorgfältig gepflegten Maschinen nicht erreicht wird, weisen Versuche an der Materialprüfungsmaschine für 1000 t Kraftleistung der Dresdner Versuchsanstalt (s. § 141) nach.<sup>2)</sup>

Der Kolben der Maschine (700 mm Durchmesser) ist auf eine Länge von 1500 mm eingeschliffen; da er aber sehr viel Öl durch die Dichtungsflächen treten ließ, versah man ihn am unteren Ende mit einer Ledermanschette und stellte unter Verwendung eines Kontrollzylinders von 260 mm Durchmesser und 600 mm Höhe zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Raumtemperaturen die Größe der Manschettenreibung fest. Es ergab sich, daß Temperaturabweichungen von  $15,6^{\circ}$ — $20,2^{\circ}$  die Größe des Fehlers nicht beeinflussen und daß die Reibung des Kolbens von 80000 kg ab nur ca.  $\pm 0,5\%$  beträgt. Die größte Reibung machte sich bei den niedrigen Belastungen, d. i. bis 160000 kg bemerkbar. Da die Maschine nur für höhere Belastungen bestimmt ist, könnte man die Reibung außer acht lassen. Sie läßt sich aber in einfachster Weise durch eine Fehlertabelle berücksichtigen, die man auf Grund der Eichungsergebnisse aufstellte.

Da auch die in der Dresdner Versuchsanstalt verwendeten transportablen hydraulischen Pressen zur Prüfung von Bauwerkteilen (s. § 317) mit Ledermanschetten versehen sind, wurden sie vor und nach jeder Prüfung in der aus § 158,  $\alpha$  angegebenen Weise geeicht und ihre Fehlertabelle geprüft. Es zeigte sich, daß trotz jahrelanger Benutzung der Pressen eine Änderung der Manschettenreibung nicht eintrat. Nur nach Erneuerung der Manschetten machte sich eine unbedeutende Änderung der Kraftäußerung bemerkbar.

---

<sup>1)</sup> Martens, Die Stulpenreibung und der Genauigkeitsgrad der Kraftmessung mittels der hydraulischen Presse (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 1184).

<sup>2)</sup> Die Maschine wird mit Drucköl betrieben und die Manschette ist aus chromgarem Leder hergestellt.

### § 121. Die Federmanometer.

Zur Messung des Flüssigkeitsdruckes bei der hydraulischen Kraftmessung leisten Federmanometer gute Dienste, wenn ihre Konstruktion derart ist, daß Beschädigungen der Feder oder der Anzeigevorrichtung sofort erkennbar sind. Aus diesem Grunde verwendet man fast ausschließlich Doppelmanometer, bei denen man mit einiger Sicherheit darauf rechnen kann, daß nicht beide gleichzeitig und in gleichem Maße Veränderungen erleiden. Entweder werden diese Manometer völlig getrennt voneinander als Einzelinstrumente auf gemeinsamen Stützen befestigt oder man vereinigt zwei Bourdonfedern in einem Gehäuse mit gemeinsamer Skala und läßt die Zeigerachse des einen Manometers durch die des anderen hindurchtreten. Man verlasse sich aber nicht auf die Annahme, daß eine gleichzeitige Beschädigung der beiden Instrumente ausgeschlossen ist, sondern lasse die Manometer von Zeit zu Zeit eichen.<sup>1)</sup>

Da bei plötzlichen Entlastungen die Zeiger der Federmanometer zurückschnellen, können sie durch die Massenwirkungen verbogen werden, und es empfiehlt sich daher, die Manometer mit Rückschlagventilen zu versehen. Schleppzeiger zur Anzeige des höchsten Manometerstandes vermeide man, wenn irgend möglich; sie verleiten bei der Ablesung zur Sorglosigkeit und ihre Reibung kann die Ablesung fehlerhaft beeinflussen.

### § 122. Die Quecksilbermanometer.

Die unmittelbare Messung des Flüssigkeitsdruckes im Kräfteerzeuger mit Quecksilbermanometer zur Bestimmung der von der Prüfungsmaschine geäußerten Kraft ist nur dann zweckmäßig, wenn es sich um geringe Pressungen handelt, für die eine Quecksilbersäule von höchstens 2 m Höhe ausreicht. Bei längeren Säulen ist die Ablesung nur unter Zuhilfenahme von besonderen Vorrichtungen möglich, deren Handhabung die Aufmerksamkeit des Beobachters von dem Probekörper ablenkt. Da aber bei den Prüfungsmaschinen in der Regel viel höhere Drücke in Frage kommen (200—300 Atm. und mehr), kann man diesen Übelstand nur dadurch vermeiden, daß man durch Einschaltung eines Druckreduktionsapparates den Flüssigkeitsdruck auf mechanischem Wege vermindert.

Diesem Zwecke dient in ausgezeichneter Weise der Druckreduktor von Amsler-Laffon & Sohn, der in Fig. 188 in Verbindung mit dem Quecksilbermanometer dargestellt ist. Durch das Rohr 1 tritt die Flüssigkeit (Öl) in den Hochdruckraum 3 des Reduktors, drückt dort auf den kleinen Kolben 4 und den größeren, durchbohrten Kolben 5. Der durchbohrte Kolben 5 sitzt in der gezeichneten Stellung mit dem Rande an seinem oberen Ende auf dem Boden des Raumes 3 auf und kann sich daher nicht abwärts bewegen. Der Kolben 4 spielt in der Bohrung des Kolbens 5 und steht mit seinem unteren Ende auf dem zentralen Zapfen

<sup>1)</sup> Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg.

des hohlen Kolbens 6, der durch die im Raum 7 befindliche Flüssigkeit getragen wird. Die Füllung des Raumes 7 besteht aus Quecksilber und Öl. Das Quecksilber füllt den unteren Teil des Raumes aus und steht durch das Rohr 8 mit dem durchsichtigen, oben offenen Manometerrohr 9 in Verbindung. Das Gewicht des Kolbens 6 und der vom Kolben 4 auf den Kolben 6 übertragene Druck treibt so viel Quecksilber aus dem Raume 7 in das Manometerrohr, bis die aufsteigende Quecksilbersäule dem Druck des Kolbens 6 das Gleichgewicht hält. Die Steighöhe des Quecksilbers im Manometer ist daher das Maß des auf den Kolben 4 ausgeübten Flüssigkeitsdruckes.

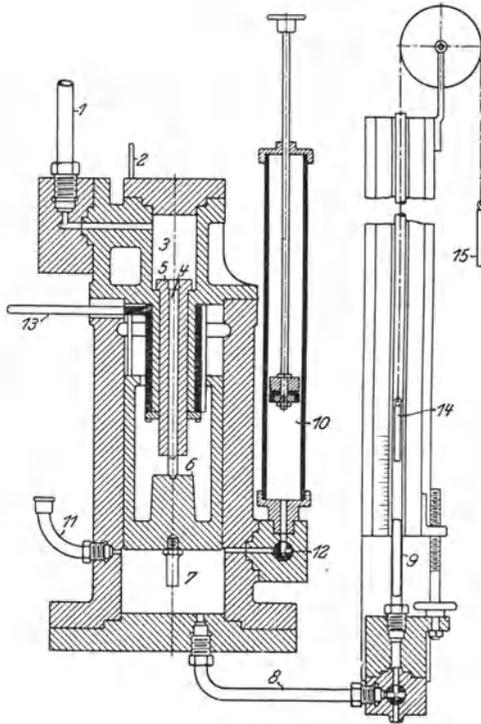


Fig. 188.

Das Verhältnis der Steighöhe zu jener Kraft ist abhängig von dem Verhältnis der Querschnitte der wirkenden Kolben und vom spezifischen Gewicht des Quecksilbers. Vergrößert man die Ölfüllung des Raumes 7, was mit dem Pümpchen 10 geschieht, so steigt der Kolben 6 in die Höhe, erfaßt dabei den durchbohrten Kolben 5 und hebt ihn mit in die Höhe. Schließt man den Hahn 12 bei dieser Stellung des Kolbens 6, so wirken beide Kolben 4 und 5 gleichzeitig auf den Kolben 6. Die Folge ist, daß das Verhältnis der Steighöhe des Quecksilbers im Manometer zum Flüssig-

keitsdruck im Raume 3 ein anderes ist als vorher, wo der Kolben 5 außer Tätigkeit war. Die gleichzeitige Wirkung von Kolben 4 und 5 bewirkt, daß das Quecksilber mehr steigt, als wenn bloß Kolben 4 wirkt. Die von der Prüfungsmaschine ausgeübte Kraft wird an Teilungen abgelesen, die zu beiden Seiten des Rohres 9 angebracht sind. Eine der Teilungen entspricht derjenigen Einstellung des Druckreduktors, bei welcher bloß der Kolben 4 in Wirksamkeit ist; die andere Teilung entspricht dem Fall, wo beide Kolben 4 und 5 auf den Kolben drücken. Rohr 11 dient zum Einfüllen des Quecksilbers und zur Entfernung der Luft aus dem Raume 7. Hebel 13 führt in das Innere des Druckreduktors und ermöglicht, dem Kolbensystem eine Schüttelbewegung zu erteilen, die zur Aufhebung etwaiger

Reibungswiderstände vor jeder Belastungsablesung vorgenommen werden muß. 2 ist ein Stift, der auf dem Kolben 6 ruht und mit Marken versehen ist, welche die Stellung des Kolbensystems erkennen lassen. Ein Schwimmer 14, der durch ein Gegengewicht 15 ausbalanciert ist, wird durch die steigende Quecksilbersäule aufwärts geschoben. Sinkt das Quecksilber wieder, so bleibt der Schwimmer stehen und zeigt die größte ausgeübte Kraft an. Der Schwimmer kann auch zur Betätigung eines Diagrammapparates (s. § 176) benutzt werden.

Durch die andauernde Berührung des Quecksilbers mit den Eisenwandungen des Druckreduktors und dem Öle wird es stark verunreinigt, so daß sich das aus einem Zelluloidsurrogat hergestellte Manometerrohr an der Innenseite sehr bald mit einer weißen Schicht überzieht, die das Rohr undurchsichtig macht und die Ablesung des Quecksilberstandes erschwert. Man kann das Anhaften der Schicht dadurch verhindern, daß man einige Tropfen Petroleum in das Manometerrohr füllt und von Zeit zu Zeit mit einem Putzstock unter Zuhilfenahme von etwas Chloroform das Rohr ausputzt. Öftere Reinigung des Quecksilbers<sup>1)</sup> durch Filtrieren und Auswaschen mit Benzol und Alkohol ist zu empfehlen.

### § 123. Die Meßdosen.

Die Meßdosen dienen dazu, die von der Materialprüfungsmaschine durch mechanische oder hydraulische Hilfsmittel ausgeübte Kraft in Flüssigkeitsdruck umzusetzen und die einwandfreie Messung dieses Druckes mit empfindlichen Manometern unter Ausschluß von Reibungseinflüssen zu ermöglichen. Gegenüber den Amslerschen Druckreduktoren, die bei einigen Maschinen zu dem gleichen Zwecke benutzt werden (s. 5 t-Zerreißmaschine § 149) ist der Weg, welchen der Angriffspunkt der Kraft innerhalb jedes Belastungsintervalles zurücklegt, gering, und Flüssigkeitsverluste können infolge der geschlossenen Konstruktion der Meßdosen bei diesen nicht in solchem Maße auftreten wie bei den vorgenannten Druckreduktoren. Die Meßdosen bilden somit in sich geschlossene Kraftmeßinstrumente, die man zu den verschiedensten Zwecken und in vielfachen Anordnungen benutzen kann. Sie bestehen im Prinzip (s. Fig. 189) aus einem dickwandigen, mit Flüssigkeit (Wasser, Öl, Quecksilber oder dergl.) gefüllten Gefäße 1, das mit einer leicht beweglichen dünnen Platte 2 aus Metallblech, Gummi oder Leder verschlossen ist, und einem Doppelmanometer 3 zur Bestimmung des Druckes  $P$ .

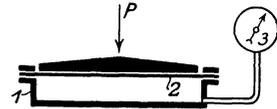


Fig. 189.

<sup>1)</sup> Da Quecksilber sich schon bei gewöhnlicher Temperatur verflüchtigt und die Dämpfe für die Gesundheit sehr nachteilig sind, übe man bei Benutzung der Quecksilbermanometer Vorsicht.

Fig. 190 zeigt die von Martens<sup>1)</sup> für die 150 t-Maschine No. 46 des Kgl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde angewendete Meßdose. 1 ist das obere Querhaupt der Maschine, in welches die Meßdose eingebaut ist. Sie enthält das 0,3 mm dicke Messingblech 2, das den Dosenraum 3 abschließt. Die Dichtung erfolgt durch 1,5 mm dicke Gummifäden 6, die in 3 Windungen nebeneinander in dick angemachte Bleimennige verlegt wurden. Der Dosenkolben 4 wirkt von unten gegen das Messingblech. Vor dem Versuche ruht er auf dem vorspringenden Rande *a* des Dichtungsringes auf. Beim Druckversuch drückt der Probekörper zunächst gegen die Preßplatte 7 und durch Vermittelung des Stützringes 8 wird der Dosenkolben von dem

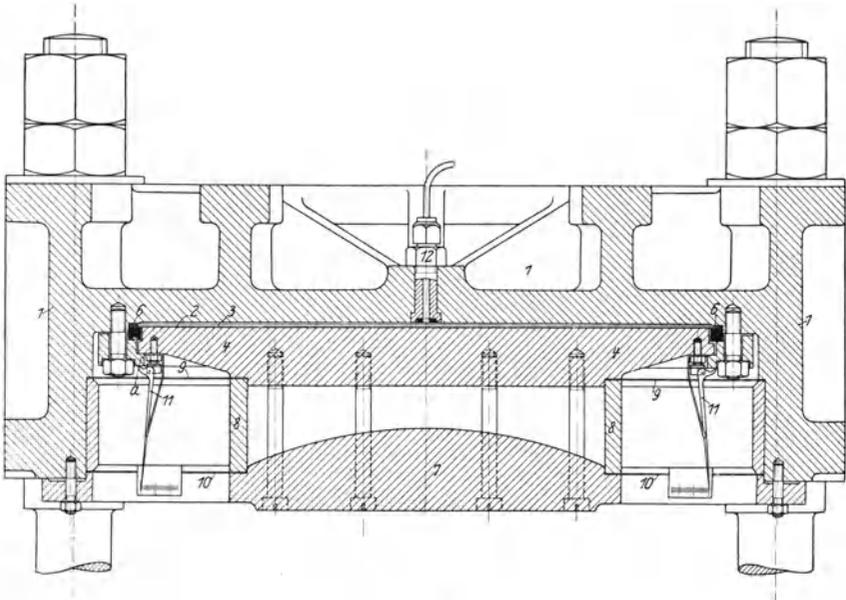


Fig. 190.

Rande *a* abgehoben, so daß das Gewicht der Pressplatte, des Stützringes und des Dosenkolbens nebst Zubehör als Anfangsbelastung auf den Probekörper wirkt.

Da die Größe dieses Gewichtes bekannt ist, läßt sich sein Einfluß auf das Versuchsergebnis berücksichtigen. Zur Führung des Dosenkolbens 4 dienen die Federplatten 9 und 10, die aus ca. 0,5 mm dickem Stahlblech hergestellt sind. Diese Führung ist von besonderer Wichtigkeit, wenn exzentrische Kräfte auf die Preßplatte 7 zur Wirkung gelangen. Um etwaige Undichtigkeiten der Meßdose sofort erkennen zu können, sind am Dosendeckel drei unter 120° gegeneinander versetzte Zeigerapparate 11

<sup>1)</sup> Martens, Die Meßdose als Kraftmesser in der Materialprüfungsmaschine (Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 38, S. 29).

angebracht, die die Dosenbewegung in zwanzigfacher Vergrößerung anzeigen. Außerdem ist eine Vorrichtung vorhanden, mit der man die Dose wieder mit Flüssigkeit bis zu einem bestimmten Druck füllen kann. Das Manometer zur Messung des in der Dose auftretenden Flüssigkeitsdruckes ist bei 12 angeschlossen. Martens gibt an, daß die Fehler der Meßdosen bei Messung von Flüssigkeitsdrücken bis zu 100 Atm. kleiner als  $\pm 1\%$  sind.

Infolge der Arbeiten von Martens haben verschiedene Fabriken den Bau von Meßdosenmaschinen (s. § 128, 134, 137, 139, 140) aufgenommen, und es steht zu erwarten, daß diese bald den Maschinen mit Hebelwage erhebliche Konkurrenz machen werden. Berücksichtigt man aber, daß ungleichmäßige Beschaffenheit des Dosenbleches, Reibung in der Dosenkolbenführung und vor allem Undichtigkeit der Dose zu Fehlern bei Versuchen führen können, so muß für diese Maschinen die sorgfältigste Ausführung und Wartung unbedingt gefordert werden.<sup>1)</sup>

Einigermaßen begegnet den erwähnten Übelständen die Meßdose Fig. 191, D. R.-P. 147 170 der Düsseldorfer Maschinenbau - Aktiengesellschaft vormals J. Losenhausen. Bei ihr wird als Membran eine dünne Gummischeibe 1 benutzt, die den Dosenraum 2 nach oben abschließt. Der Zylinder 3 dient zur Einspannung der Membran und zur Führung des Kolbens 5, auf den die zu messende Kraft durch den kugelförmig ausgestalteten Stützzapfen übertragen wird. Die am oberen Ende des Zylinders 3 befindliche Membran 6 dichtet den Zylinderraum staubdicht ab und schützt somit die Führungsflächen des Zylinders gegen das Eindringen von Reibung erzeugenden Verunreinigungen. Der Raum zwischen Kolben 5 und Zylinder 3 ist mit Knochenöl gefüllt. Durch die tiefe Anordnung des Zapfenstützpunktes am Kolben 5 wird erreicht, daß exzentrischer Kraftangriff kein Ecken des Kolbens und somit einen nur geringfügigen Reibungswiderstand in den Kolbenführungsflächen hervorruft. Um ein Verspannen des Zylinders 3 beim Befestigen der Membran zu vermeiden, greifen die Schrauben 4 nicht unmittelbar am Zylinder an, sondern es wird durch den Ring 7 die

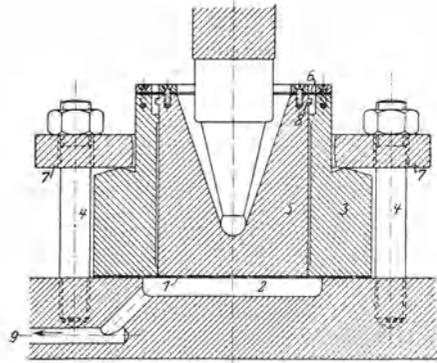


Fig. 191.

<sup>1)</sup> Einen wesentlichen Fortschritt in der Konstruktion von Meßdosen scheint das D. R.-P. 182 129 zu bedeuten. Bei ihm ist der Angriffspunkt der Kraft zur Ausschließung bzw. Verringerung des Kippmomentes unter die Ebene der Dosenmembran verlegt worden.

Schraubenkraft auf ihn in einer Kreislinie übertragen. Durch Verwendung von Gummimembranen ist eine große Empfindlichkeit der Meßdose erreicht, die auch nicht verringert wird, wenn etwas Flüssigkeit aus dem Dosenraume entweicht und die Membran bereits im unbelasteten Zustande der Maschine stark gespannt ist. Der Fortsatz 8 dient zur Hubbegrenzung des Kolbens 5, und ein an der Maschine angebrachter Zeiger zeigt seine Stellung an. Die Skala des an die Bohrung 9 angeschlossenen Manometers ist mit einer Teilung versehen, die unmittelbar die Maschinenbelastung in Kilogramm angibt und drehbar angeordnet ist, so daß bei Änderung der Dosenbelastung durch Auswechslung von Kraftübertragungsgliedern der Nullpunkt der Skala in einfachster Weise unter den Zeiger eingestellt werden kann.

### § 124. Die Pendelmanometer.

Die Pendelmanometer sind Vorrichtungen, die dazu dienen, Flüssigkeitsdrücke durch den Ausschlag eines Pendels zu messen. Im Prinzip stellen sie Neigungswagen dar, an denen aber nicht, wie in § 118 angegeben, der Probestab, sondern der Kolben einer kleinen hydraulischen Presse angreift, die lediglich dazu dient, den zu messenden Flüssigkeitsdruck auf das Pendelwerk zu übertragen. Ihr Konstruktionsgrundsatz ist aus Fig. 192 ersichtlich.

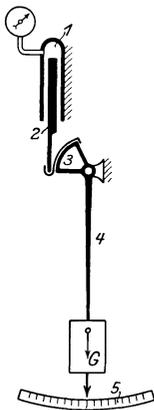


Fig. 192.

Der mit Öl gefüllte hydraulische Zylinder 1 des Pendelmanometers steht mit dem Raume in Verbindung, dessen Flüssigkeitsdruck gemessen werden soll, und es herrscht in ihm infolgedessen der gleiche Druck  $p$ . Dieser Druck wirkt auf den eingeschliflenen Kolben 2 und sucht ihn nach unten zu schieben. Dadurch drückt er auf den am Zylinder drehbar befestigten doppelarmigen Hebel 3, 4 und schwingt ihn so weit aus, daß das im Schwerpunkt angreifende Gewicht  $G$  des Hebels dem auf den Kolben wirkenden Drucke das Gleichgewicht hält. Da der Druck proportional dem an der Skala 5 ablesbaren Ausschlage (Cosinus des Ausschlagwinkels) des Hebelschwerpunktes ist (s. § 118), kann man diesen Wert zur Messung des Druckes benutzen.

Fig. 193 zeigt das zur 1000 t-Prüfungsmaschine der Dresdner Versuchsanstalt (s. § 141) gehörige Pendelmanometer. In dem auf einem kräftigen Gestell 1 befestigten Zylinder 2 befinden sich die beiden sorgfältig eingeschliflenen Kolben 3 und 4. Der untere Kolben 3 besitzt am unteren Ende einen Fortsatz 5, an dem mit einem Stahlbande 6 der doppelarmige Hebel 7 angebracht ist. Dieser trägt am unteren Ende ein aus runden gußeisernen Platten bestehendes Gewicht 8 und ist bei 9 in Schneiden gelagert. Wird durch wechselnden Flüssigkeitsdruck im Zylinder 2 der Kolben 3 nach unten geschoben, so zieht er am Stahlband 6 und bringt einen Ausschlag des Pendels hervor. Zur Sicherung des Übersetzungs-

verhältnisses des doppelarmigen Pendelhebels ist die Oberfläche des kurzen Hebelarmes kreisförmig gekrümmt. Die Messung des Pendelausschlages geschieht mit dem Zeigerapparat 10 durch Vermittelung des Auslegers 11, der am Pendelhebel angebracht ist und somit dessen Bewegung mitmacht. Der Zeigerapparat besteht aus der Zahnstange 12, die am unteren Ende

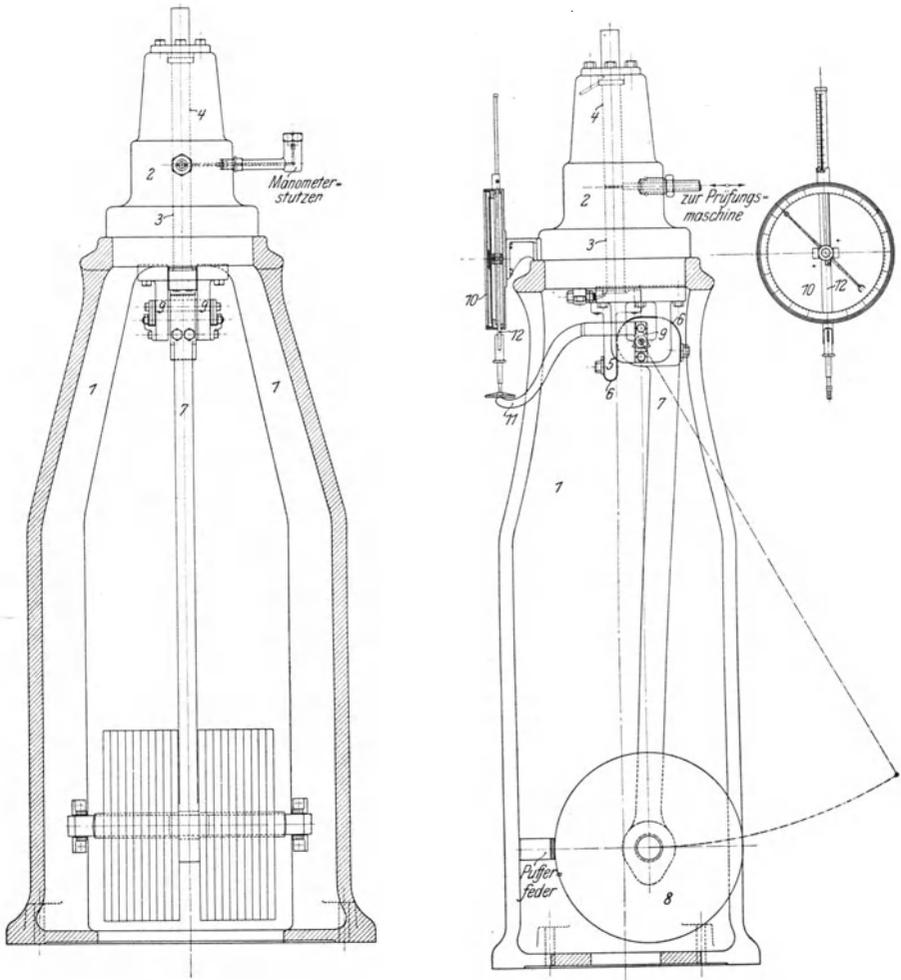


Fig. 193.

eine Platte trägt, mit der sie sich gegen den, einen Kreisbogen beschreibenden Endpunkt des Auslegers stützt. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß die Auf- und Abwärtsbewegung der Zahnstange proportional dem Pendelausschlag ist. Die Zahnstange 12 greift in einen Zahntrieb ein, der einen Zeiger trägt, mit dem man an einer in Grade geteilten Skala den jeweiligen Pendelstand und somit den Flüssigkeitsdruck im

Zylinder 2 ablesen kann. Bei einem Meßbereiche bis 1000 t entspricht eine ganze Zeigerdrehung 100 t. Ist die zu erwartende Maximalbelastung geringer, z. B. 500 t, so kann man 10 Platten des Gewichtes 8 entfernen und die Feinheit der Ablesung auf das Doppelte steigern; es entsprechen

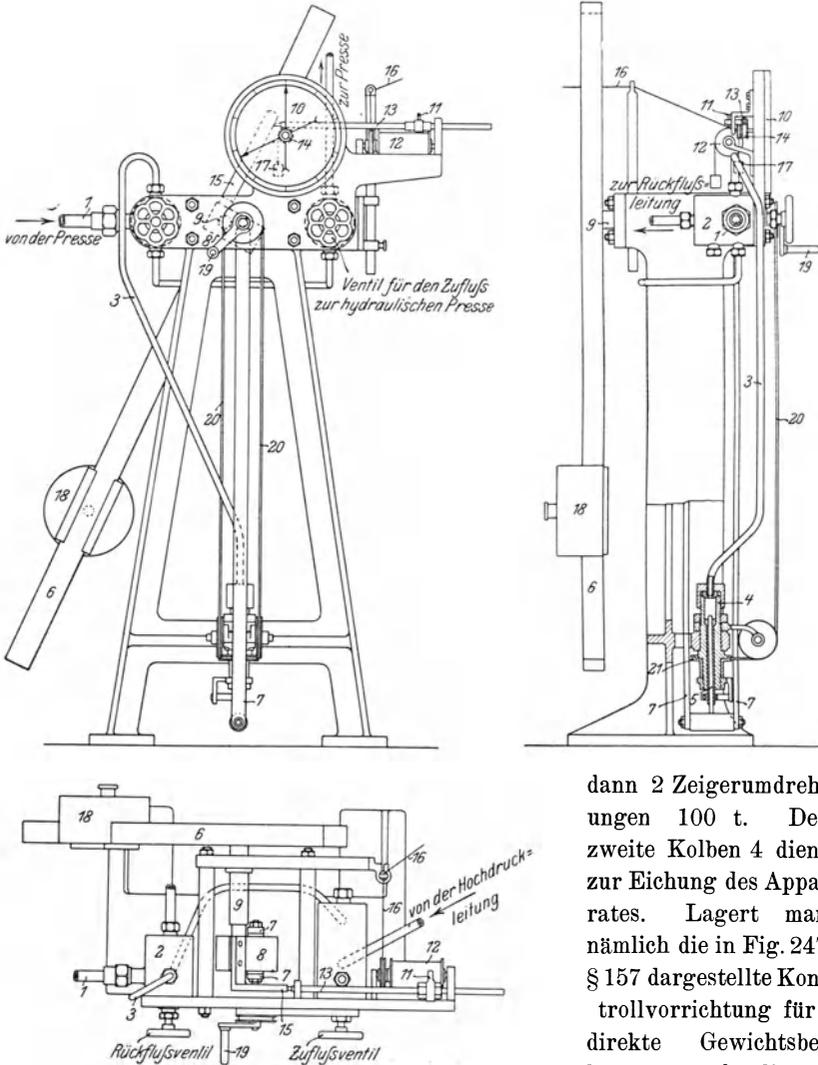


Fig. 194.

der Gleichheit beider Kolbenflächen die Anzeige des Pendelmanometers proportional der Zunahme der Kolbenbelastung wachsen.

Neuerdings rüsten auch Amsler-Laffon & Sohn einige ihrer Prüfungsmaschinen mit Pendelmanometern aus, deren Konstruktion aus Fig. 194 ersichtlich ist.

dann 2 Zeigerumdrehungen 100 t. Der zweite Kolben 4 dient zur Eichung des Apparates. Lagert man nämlich die in Fig. 247 § 157 dargestellte Kontrollvorrichtung für direkte Gewichtsbelastung auf diesem Kolben, so muß wegen

Das Rohr 1 leitet den Flüssigkeitsdruck von der Prüfungsmaschine nach dem Ventilkörper 2 und das Rohr 3 von dort nach dem kleinen Zylinder 4. In diesem und im Hochdruckzylinder der Prüfungsmaschine herrscht somit derselbe Flüssigkeitsdruck. Im Zylinder 4 hat der Öldruck das Bestreben, den reibungslos spielenden Kolben 5 abwärts zu drücken. Die Kraft, mit der dies geschieht, wird durch den Ausschlag des Pendels 6 gemessen. Die Bewegung von 5 wird auf das Pendel durch den Zaum 7 übertragen, gegen den sich Kolben 5 stützt und der oben an den Hebel 8 angehängt ist. Dieser ist auf der Pendelachse 9 senkrecht zur Pendelstange 6 befestigt. Durch den Druck von Kolben 5 wird das Pendel aus der senkrechten Gleichgewichtslage nach links abgelenkt. Die Neigung des Pendels ist das Maß der Kraft. Diese wird auf dem Zifferblatt 10 abgelesen und gleichzeitig durch den Schreibstift 11 auf ein Blatt Papier aufgezeichnet, das um die Schreibtrommel 12 gelegt ist.

Die Drehung des Zeigers geschieht durch die Zahnstange 13, die auf dem Zahnrad 14 liegt und dieses dreht, wenn sie durch den Arm 15 nach rechts geschoben wird. Die Stange 13 trägt auch den Schreibstift 11, der sich in der Längsrichtung der Schreibtrommel 12 bewegt, während diese durch den Faden 16 proportional zur Formänderung des Probekörpers gedreht wird. Nimmt der Flüssigkeitsdruck im Zylinder 4 ab, so bewegt sich das Pendel entsprechend zurück. Das Gewichtchen 17, welches das Bestreben hat, das Zahnradchen 14 rückwärts zu drehen, bewirkt, daß sich auch der Zeiger zurückdreht und das Abnehmen des Druckes anzeigt. Ein Schleppzeiger, der vom ersten Zeiger mitgenommen wird, bleibt stehen und zeigt die Maximalkraft an.

Durch Verschieben des Gewichtes 18 am Pendel kann man den Meßapparat auf verschiedene Belastungsstufen einstellen, entsprechend dem beim Versuch zu erwartenden Höchstwiderstand des Probekörpers. In der Regel werden als Belastungsstufen  $\frac{1}{1}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{10}$  der Vollast angenommen. Man hat es auf diese Weise in der Hand, die Empfindlichkeit des Meßapparates der Stärke des Probekörpers anzupassen. Hat man den Apparat vor dem Versuch auf eine zu niedrige Belastungsstufe eingestellt, so kann man das Gewicht 18 während des Versuches noch auf eine höhere Stufe umschalten.

Eine kleine Kurbel 19 unterhalb des Zifferblattes dient dazu, durch Vermittelung der Kette 20 und der Rolle 21 den Kolben 5 in Drehung zu versetzen, was bewirkt, daß etwaige Reibungswiderstände zwischen Kolben und Zylinder verschwinden.

Die Pendelachse dreht sich in Kugellagern, ebenso läuft das Gelenk zwischen Hebel 8 und Zaum 7 in Kugellagern.

### III. Maschinenkonstruktionen.

#### § 125. Allgemeines.

Wie in den vorhergehenden Paragraphen gezeigt wurde, kann die Krafterzeugung und Kraftmessung bei Materialprüfungsmaschinen nach verschiedenen Grundsätzen geschehen, von deren Wahl der Gesamtaufbau der Maschine und die Anordnung ihrer Einzelteile abhängen. In erster Reihe teilt man die Maschinen in solche stehender und liegender Bauart ein. Jene verdienen wegen ihrer Übersichtlichkeit, ihres geringeren Raumbedarfes und ihrer einfacheren Handhabung vor diesen überall da den Vorzug, wo es sich nicht darum handelt, lange Probekörper, wie Seile, Ketten u. dergl., auf Zug zu prüfen. Stehende Anordnung ist auch bei Maschinen für Knickversuche vorzuziehen, da sie keine Aufhebung des Eigengewichtes der Probekörper durch mechanische Hilfsmittel erfordern. Bei solchen Maschinen ist aber darauf zu achten, daß ihre Kraft übertragenden Teile (s. § 110) ausreichend bemessen sind, um etwaigen exzentrischen Belastungen Widerstand zu leisten.

Näher kann auf die Vorteile und Nachteile der beiden Bauarten, sowie auf die sonstigen Konstruktionseinzelheiten wegen des beschränkten Raumes dieses Buches nicht eingegangen werden; es sollen daher in den folgenden Paragraphen lediglich einige der bemerkenswertesten oder der verbreitetsten Materialprüfungsmaschinen deutschen und schweizerischen Ursprunges beschrieben und ihre Handhabung erläutert werden.

Die Besprechung von Konstruktionseinzelheiten, die lediglich konstruktives, maschinentechnisches Interesse besitzen, und der Einspannvorrichtungen, deren Wesen bereits in den früheren einschlägigen Paragraphen erörtert wurde, wird dabei ebenfalls unterbleiben. Die Ausführungen sollen nur dazu dienen, den Leser mit den Maschinen und ihrer Handhabung bekannt zu machen. Derjenige, welcher tiefer in den Gegenstand eindringen will, sei auf Martens, Materialienkunde, Berlin 1898, verwiesen, wo Martens eine größere Anzahl von Prüfungsmaschinen beschreibt und teilweise ihre Konstruktionseinzelheiten kritisch beleuchtet.<sup>1)</sup>

#### a) Maschinen der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg.

##### § 126. Materialprüfungsmaschine für Zug-, Druck-, Biege-, Knickungs- und Scherversuche, Bauart Werder, mit 100 t größter Kraftäußerung.

###### 1. Konstruktionsgrundsatz.

Die Werdermaschine ist eine Maschine liegender Bauart mit hydraulischem Krafterzeuger und mit Kraftmessung durch Wage (s. § 117).

<sup>1)</sup> Die in §§ 128, 129, 130, 134—141, 143, 144, 145, 147, 148, 150—155 dieses Buches beschriebenen Maschinen sind neueren Ursprunges und daher in dem Martensschen Werke noch nicht erwähnt.

Sie ist als eine Universalmaschine zu bezeichnen, da man mit ihr Zug-, Druck-, Biege-, Knickungs-, Scher- und Torsionsversuche ausführen kann. Letztere Versuche erfordern aber eine besondere Vorrichtung, die seitwärts von der Maschine auf einem schweren Fundament aufgestellt wird. Da ihre Handhabung jedoch schwierig ist, wird die Maschine gewöhnlich nicht mit dieser Vorrichtung ausgerüstet.

Der Konstruktionsgrundsatz der Werdermaschine in ihrer Zusammenstellung für Zugversuche ist aus Fig. 195 ersichtlich.

1 ist der auf dem Maschinenfundament gelagerte hydraulische Preßzylinder. An dem Querhaupt des Kolbens 2 ist mit den Haltern 4 und 5 der Wagebalken 6 aufgehängt, dessen kurzer Hebelarm sich bei 7 mit einer Schneide gegen den Kolben stützt. Der lange Wagebelarm besitzt am Ende eine Wagschale 8 und außerdem das Laufgewicht 9. Bei 10 und 11 sind die Zugstangen 12 und 13 angebracht, die an ihrem anderen Ende das Querhaupt 14 besitzen, an dem der Einspannkopf 15 befestigt ist. Der Probestab 16 hängt einerseits an diesem und andererseits an dem fest mit dem Maschinengestell verbundenen Einspannkopf 17. Läßt man

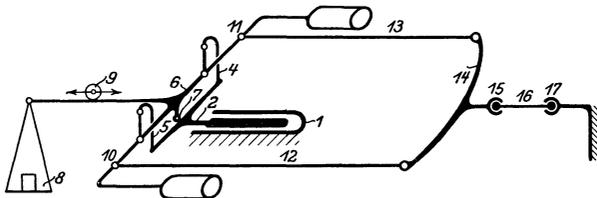


Fig. 195.

Druckwasser in den Zylinder 1 einströmen, so wird der Kolben 2 nach vorn getrieben und nimmt den an ihm aufgehängten Wagebalken mit den Zugstangen mit, solange am Einspannkopf 15 kein Widerstand entsteht. Gelangt aber der Probestab 16 zum Anliegen, so wird der Wagebalken durch die Zugstangen 12 und 13 festgehalten, und der bei 7 auf den kurzen Hebelarm wirkende Kolbendruck verursacht, daß die Wagschale 8 nach oben steigt. Stellt man jetzt durch Auflegen von Gewichtsstücken auf die Wagschale Gleichgewicht her, so entspricht ihr Gewicht unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses der bei 10 und 11 auf die Zugstangen 12 und 13 übertragenen Kraft und somit der auf den Probestab 16 ausgeübten Zugkraft.

## 2. Ausführungsform der Werdermaschine für die Königl.

Mechanisch-Technische Versuchsanstalt Dresden.

Die wichtigsten konstruktiven Einzelheiten zeigt die Fig. 196.

1 ist das Maschinengestell, das mit dem hydraulischen Zylinder 2 aus einem Stück besteht. Gestell und Zylinder ruhen auf den Füßen 3

Materialprüfungsmaschine für 100 Tonnen größte Kraftübertragung. Bauart Werder.

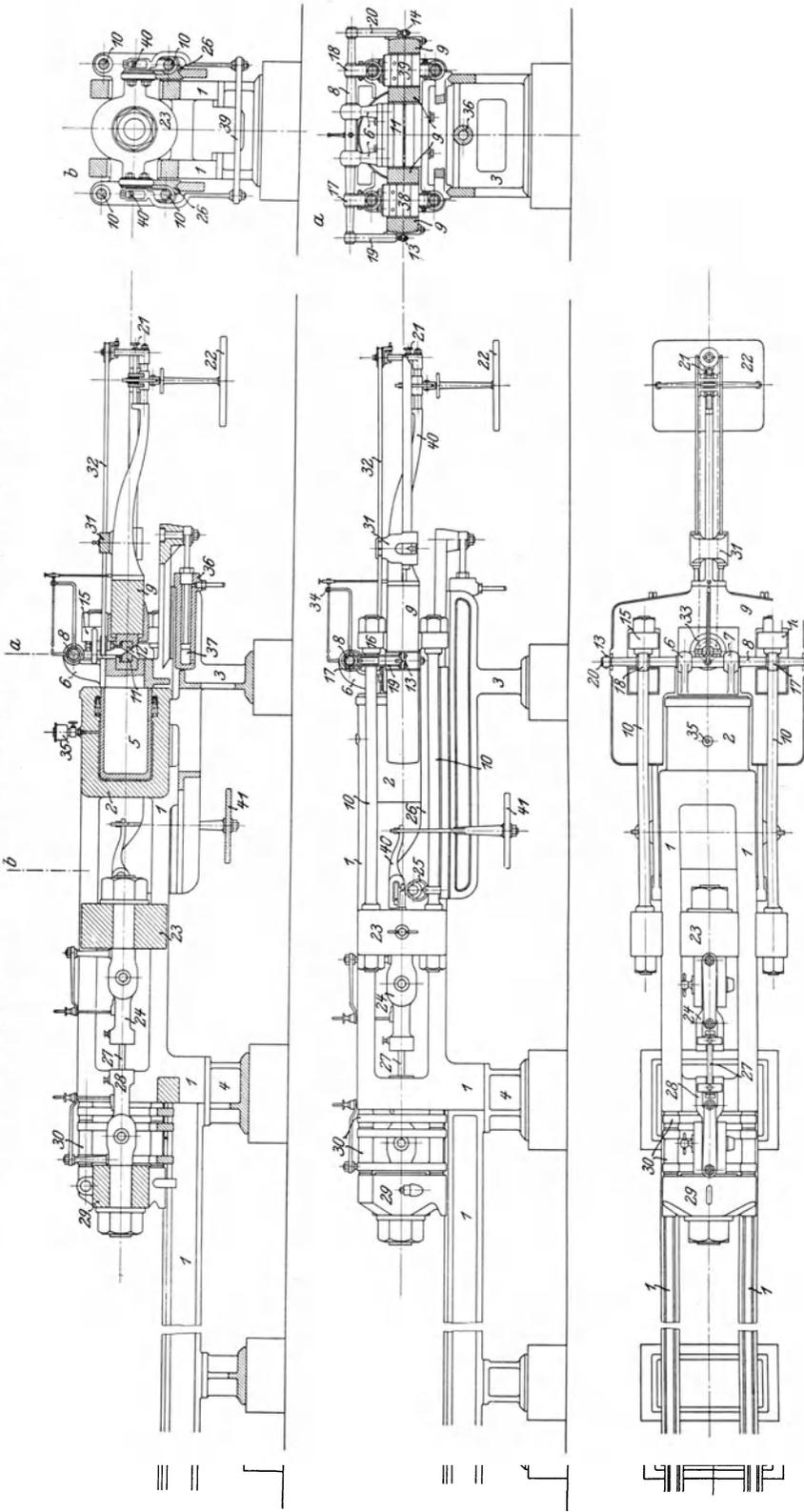


Fig. 196.

und 4. An dem Kolben 5 des Zylinders 2 sind die beiden Böcke 6 und 7 angebracht, welche die Stange 8 tragen, an der der Wagbalken 9 (entspr. 6 in Fig. 195) und die Zugstangen 10 (entspr. 12 und 13 in Fig. 195) aufgehängt sind. Zur Stützung des Kolbens dient ein Schlitten, der auf einer an den Maschinenfuß 3 angegossenen Führungsbahn gleitet. An der Stirnseite besitzt der Kolben eine gehärtete Stahlpfanne 11 von 350 mm Länge (s. S. 179), gegen die sich die Schneide 12 stützt, welche am Wagbalken 9 befestigt ist. Die beiden Aufhängeschneiden 13 und 14 des Wagbalkens 9 müssen zur Erzeugung des Hebelverhältnisses entsprechend der Länge des kurzen Hebelarmes ca. 3 mm über der Stützschnede 12 angeordnet werden. Alle drei Schneiden sind genau parallel und horizontal einzustellen, damit sie sich beim Schwingen der Wage nicht verschieben oder teilweise von ihren Pfannen abheben. Es empfiehlt sich aber, die Aufhängeschneiden 13 und 14 ca. 0,1 mm gegenüber der mittleren Schneide 12 nach vorn zu versetzen. Dies bewirkt, daß die Mittelschnede 12 durch die Horizontalkomponente des Eigengewichtes des Waghebels mit sehr geringer Kraft auch bei unbelasteter Maschine angedrückt wird. Die Angriffspunkte der Zugstangen 10 sind ebenfalls als Schneidenlager (die sog. Außenschneiden) ausgestaltet und in den Querhäuptern 15 und 16 untergebracht. Am Wagbalken befinden sich die Schneiden und an den Querhäuptern Pfannen. Die Schneiden sind gegen die Mittelschnede um 3 mm entsprechend dem Hebelverhältnis versetzt, so daß sie mit den beiden Aufhängeschneiden 13 und 14 in gleicher Höhe liegen. Die Aufhängung der Zugstangen 10 mit ihren Querhäuptern 15 und 16 an der Stange 8 geschieht durch die leicht beweglichen Ringe 17 und 18 und die des Wagbalkens durch die Gehänge 19 und 20, in denen sich die Pfannen der Tragschneiden des Wagbalkens befinden. Die Länge des großen Hebelarmes, an dem die Wagschale hängt, beträgt 1500 mm, so daß das Übersetzungsverhältnis 1 : 500 ist. Da aber die genaue Einstellung der Schneiden auf die verhältnismäßig geringe Länge von 3 mm unmöglich ist, ist der Wagbalken mit einer Stellschraube 21 ausgerüstet, mit der man den Angriffspunkt der Wagschale 22 verschieben und somit die Länge des größeren Hebelarmes der des kleineren anpassen kann. (Näheres s. S. 198.)

Die vom Kolben 5 geäußerte Kraft überträgt sich auf den Wagbalken 9 und durch ihn mit den Außenschneiden 38 und 39 auf die Querhäupter 15 und 16. Die dort angreifenden Zugstangen 10 leiten die Kraft weiter auf das schwere Querhaupt 23 und von da auf den Einspannkopf 24. Das Gewicht des Querhauptes 23 wird durch die Ringe 25 aufgenommen, die ihren Stützpunkt an dem Schlitten 26 finden, der den Kolben trägt. Der im Einspannkopf 24 befestigte Probestab 27 findet sein Widerlager durch Vermittelung des Einspannkopfes 28 und des Bockes 29 und der sogen. Laternen 30 an dem Maschinengestell 1.

Außer mit der Wagschale 22 ist der Waghebel mit dem Laufgewicht 31 versehen, das in einer besonderen Führung gleitet und durch ein Stahl-

band 32 mit einem Handrade 33 bewegt wird. Das Handrad ist auf dem Wagbalken 9 angebracht, und zwar in nächster Nähe des Waghebelschwerpunktes, damit durch den Druck bei Betätigung des Laufgewichtes das Gleichgewicht nicht gestört wird. Das Einspielen wird an einer Wasserwaage beobachtet, die auf dem Wagbalken angebracht ist. Außerdem wird die Gleichgewichtslage durch das Zeigerwerk 34 dem Beobachter kenntlich gemacht. Das Ventil 35 dient zur Entlüftung des Zylinders. Die Rückwärtsbewegung des Kolbens mit der Waage und den Kraftübertragungsgliedern erfolgt bei den älteren Ausführungen der Maschine durch eine am Kolbenschlitten angebrachte Zahnstange, in die ein durch Schneckenvorgelege betätigtes Getriebe eingreift, das am Maschinengestell befestigt ist. Die neueren Maschinen sind mit hydraulischer Rückzugvorrichtung versehen, die entweder mit dem Preßzylinder kombiniert ist oder nach Angaben des Verfassers unterhalb der Waage angeordnet wird (s. 36, Fig. 196) und wie die oben erwähnte Zahnstange einerseits am Maschinengestell und andererseits am Kolbenschlitten angreift. Auf dem Kolben 37 der Rückzugvorrichtung lastet beständig Akkumulator- oder Wasserleitungsdruck oder es wird nur beim Zurücktreiben des Kolbens Wasser in den Rückzugzylinder gepreßt. Bei der Einrichtung für die Werdermaschine der Dresdner Versuchsanstalt wird ständig wirkender Akkumulatordruck von 250 Atm. benutzt, weil dies gegenüber Wasserleitungsdruck insofern einen Vorteil bedeutet, als in der Hochdruckleitung keine derartigen Druckschwankungen auftreten, wie in einer Niederdruck-Wasserleitungsanlage. Druckschwankungen stören bei Feinmessungen in hohem Grade, da es in solchem Falle unmöglich ist, Dauerbelastungen vorzunehmen.

Als Einspannvorrichtungen beim Zugversuch finden Köpfe nach Fig. 27, 29, 30 S. 31 und 32, 33 S. 32 Verwendung.

### 3. Justierung und Eichung der Maschine.

Da alle Prüfungsmaschinen mit Hebelwagen, wie bereits im § 117 hervorgehoben wurde, sehr leicht Veränderungen erleiden können, die fehlerhafte Kraftanzeige zur Folge haben, ist die Werdermaschine mit einer keine Vorbereitung erfordernden Kontrollvorrichtung, der sogen. Kontrollwaage, versehen. Es ist zwischen den Kolbenschlitten 26 und das Querhaupt 23 eine Hebelwaage mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 10 geschaltet, die aus zwei auf beiden Seiten der Maschine angeordneten doppelarmigen Hebeln 40 mit der gemeinsamen Wagschale 41 besteht. Das Übersetzungsverhältnis 1 : 10 ist genügend groß, um die Schneidentfernung mit Genauigkeit einzustellen. Der kurze Hebelarm ist 32 mm und der lange 320 mm lang. Mit dieser Waage können die Kraftanzeigen der Maschine in einfachster Weise bis zu 2000 kg kontrolliert werden. Man verfährt derart, daß man ein Gewichtsstück, etwa 100 kg, auf die Kontrollwagschale 41 legt und am Kraftmesser die Kraftanzeige der Maschine feststellt. Da das Übersetzungsverhältnis der Kontrollwaage 1 : 10 und das

des Kraftmessers 1 : 500 ist, müssen beide Wagen einspielen, wenn sich 2 kg auf der Wagschale 22 befinden. Die Abweichungen des letzteren Gewichtes vom Sollwert stellen den Fehler der Maschine dar. Für höhere Belastungen ist die Kontrollwage nicht benutzbar, sie gestattet aber, wie oben dargelegt, in sehr einfacher Weise eine oberflächliche Kontrolle der Kraftanzeige der Maschine. Für die eigentliche Eichung bedient man sich der Kontrollstäbe (s. § 158  $\beta$ ). Die Maschine der Dresdner Versuchsanstalt ist mit zwei solchen Stäben ausgerüstet, und zwar einem für Belastungen bis 10000 kg und einem bis 100000 kg. Die Eichung der Maschine erfolgt regelmäßig jeden Monat und außerdem nach Versuchen, die höhere Kraftäusserungen erforderten oder Stöße hervorbrachten.

Außer regelmäßiger Eichung der Maschine empfiehlt sich öfteres Nachsehen der Schneiden und Pfannen. Man hebt zu diesem Zwecke den Wagbalken 9 mit einem Kran aus der Maschine heraus und untersucht, ob die Schneiden und Pfannen noch eben oder bereits verdrückt sind. War Nacharbeiten der Schneiden oder Pfannen notwendig, so ist bei der folgenden Montage des Wagbalkens mit größter Sorgfalt vorzugehen, da die Schneidenebenen durch das Nacharbeiten unbedingt verlegt werden. Die richtige Montage und Justierung bietet ziemlich erhebliche Schwierigkeiten und es soll daher zu deren Überwindung kurz der Gang des Justierens auf Grund der Erfahrungen des Verfassers angegeben werden. Zuerst richte man die Pfanne 11 des Kolbens 5 gegen die Aufhängeschneiden 13 und 14 des Wagbalkens 9 aus. Dies geschieht in der Weise, daß man in die genau in einer Horizontalebene liegenden Pfannen der Gehänge 19 und 20 einen feinen Draht hängt, der an den Enden mit Gewichten beschwert ist, und dann die Pfanne 11 so ausrichtet, daß sie ca. 0,1 mm den Draht überragt. Der Draht muß 3 mm über der Zylindermitte liegen, damit die Mittelschneide 12 des Wagbalkens genau in der Kolbenmitte angreift. Hiernach justiere man die Schneiden des Wagbalkens. Man entfernt den langen Waghebel 40 und stellt den Wagbalken mit der Stirnfläche auf eine Richtplatte, stellt mit einer Reißnadel die beiden äußeren Aufhängeschneiden genau mit den beiden Außenschneiden 38 und 39 ein, so daß alle in einer geraden Linie und außerdem genau parallel zur Oberfläche des Wagbalkens liegen. Hierauf bringe man die Mittelschneide 12 an ihre Stelle und richte sie ebenfalls in die Ebene der übrigen Schneiden, aber um 3 mm nach unten verschoben, ein. Jetzt ist der Wagbalken fertig montiert und er müßte nach dem Einhängen in die Maschine und Ausbalancieren der toten Massen einspielen und die Belastungen richtig anzeigen, wenn es möglich wäre, die Schneidenabstände bei der Montage richtig abzumessen. Da dies aber eine Unmöglichkeit ist, stellt man das Übersetzungsverhältnis experimentell ein, und zwar unter Benutzung der Kontrollwage. Vorher überzeuge man sich aber davon, daß alle Schneiden der Maschine richtig anliegen. Verfasser beobachtete bei manchen Maschinen, daß die beiden Außenschneiden des Wagbalkens ihre Pfannen nicht richtig berührten, weil

die 4 Zugstangen 10 nicht genau gleichlang oder auch die Muttern nicht gehörig angezogen waren. Dadurch kamen sie erst bei Belastung der Maschine zum Anliegen und verbogen den Wagbalken, was fehlerhafte Anzeige zur Folge hatte.

Hiernach bringe man die Wage durch Verlegen des Schwerpunktes mit Hilfe eines auf der Unterseite des Wagbalkens befindlichen Gewichtes in die Gleichgewichtslage, lege auf die Kontrollwage 100 kg entsprechend 1000 kg Lastanzeige und beobachte den Ausschlag des Waghebels. Bewegt sich die Wagschale nach oben, so deutet dies an, daß der große Hebelarm zu kurz ist. In diesem Falle stelle man durch Auflegen weiterer Gewichtstücke Gleichgewicht her und notiere die Größe des erforderlichen Ausgleichgewichtes. Seine Größe gibt das herrschende Übersetzungsverhältnis und gleichzeitig die Unterlage zur Berechnung des Maßes der Verlängerung des großen Hebelarmes. Jetzt braucht man nur noch die Verlängerung vorzunehmen und bei entlasteter Kontrollwage die toten Massen zur Herstellung des Gleichgewichtes auszugleichen. Die noch weiter erforderliche unbedeutende Veränderung der Hebelarmlänge muß durch Probieren geschehen. Stimmt alsdann die Kraftanzeige mit der der Kontrollwage überein, so ist die Maschine mit dem Kontrollstabe für alle Belastungen zu eichen und eine Fehlertabelle aufzustellen.

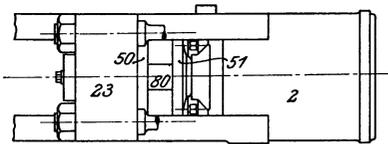


Fig. 197.

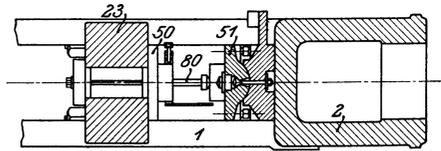


Fig. 198.

Sollen mit der Maschine Druckversuche ausgeführt werden, so entfernt man den Einspannkopf 24 und bringt zwischen das Querhaupt 23 und den Zylinderboden 2 die beiden Preßplatten 50 und 51 (Fig. 197 und 198). Die am Querhaupt befindliche Platte 50 ist fest, während die Gegenplatte in einer Kugelschale gelagert und somit allseitig beweglich ist. Die Anordnung nach Fig. 197 dient zur Prüfung von würfelförmigen Körpern, während die nach Fig. 198 bei Druckversuchen mit Feinmessung der elastischen Längenänderung benutzt wird. 80 stellt in den Figuren den Probekörper dar.

Biegeversuche werden unter Benutzung des Biegebalkens 52 (Fig. 199), der sich gegen das Maschinengestell 1 stützt, vorgenommen. Man lagert auf seinen beiden Stützschnitten 53 und 54 den Probekörper und beansprucht ihn durch die an einem Wagen befindliche Belastungsschneide 55. Der Wagen steht durch die Zugstangen 56 und 57 mit dem Querhaupt 23 in Verbindung und wird durch den Kolben, wie beim Zugversuch, nach vorn ge-

zogen. In ähnlicher Weise wird die Schervorrichtung angewendet, die in Fig. 200 dargestellt ist. Das Widerlager 60 mit dem Schermesser 61 wird an dem Biegebalken 52 befestigt und die

Belastungsschneide 55 der Biegevorrichtung (Fig. 199) läßt man auf das zweite Schermesser 62, welches an dem Führungskörper 65 angebracht ist, wirken. Das Schermesser 62 bewegt sich in einer Führung 63, die gleichmäßige Kraftübertragung auf das Probestück 64 gewährleistet.

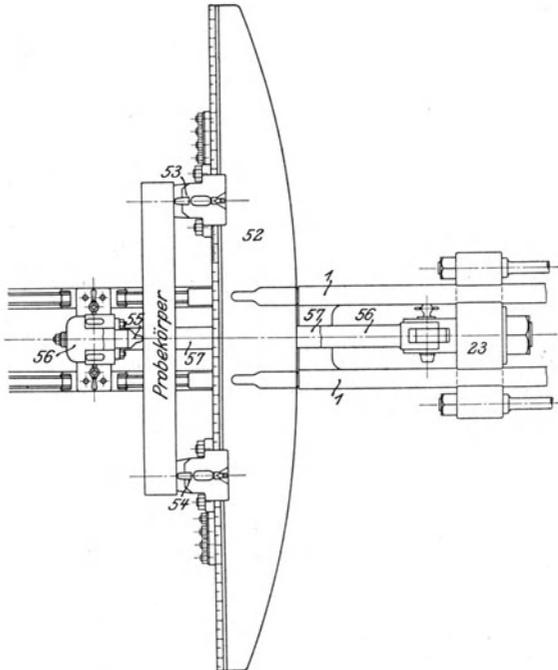
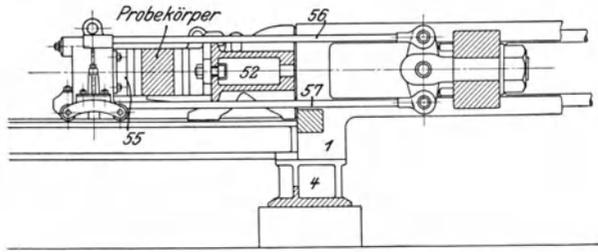


Fig. 199.

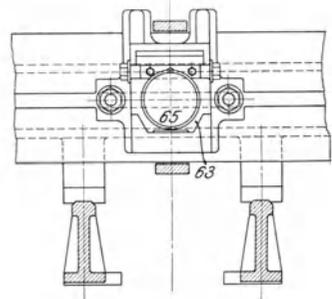
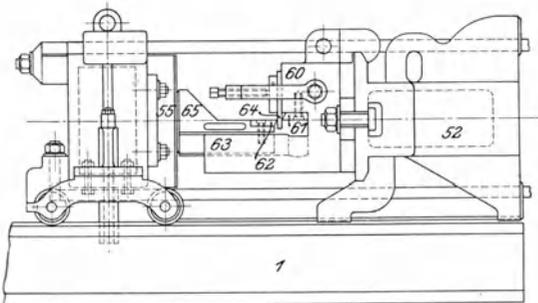


Fig. 200.

Die Anordnung bei Knickungsversuchen ist aus Fig. 85 (S. 86) ersichtlich. Es wird an dem Maschinengestell eine kugelig gelagerte

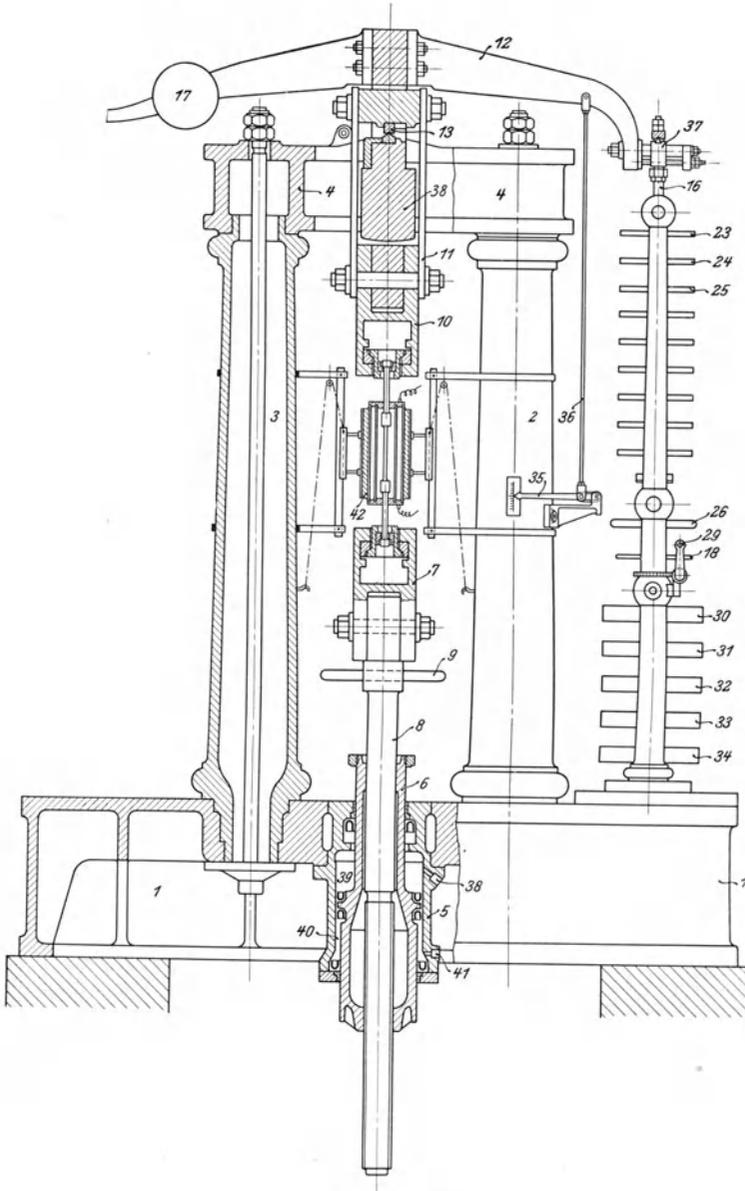


Fig. 201 a.

Preßplatte angeordnet, gegen die sich der Probekörper stützt. Die Kraft wird durch eine zweite Preßplatte ausgeübt, die auf einem

Wagen angebracht ist, der durch Zugstangen mit dem Querhaupte 23 der Maschine in Verbindung steht. Die größte Einspannlänge beträgt

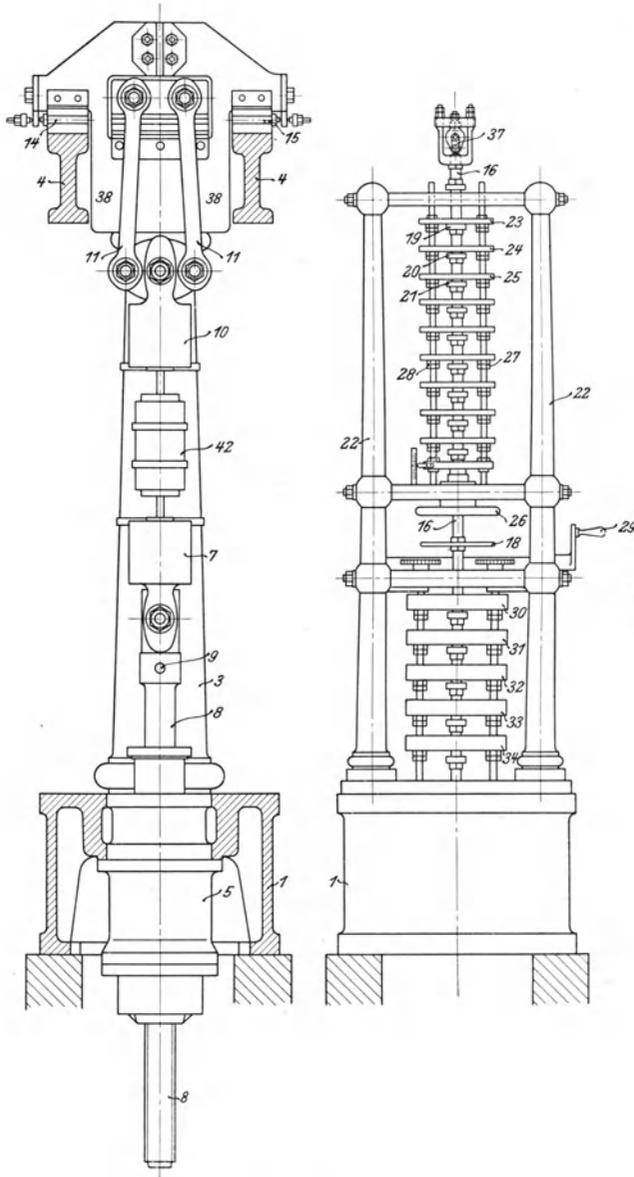


Fig. 201 b.

beim Zugversuche 10 m, beim Druckversuche 0,35 m, beim Knickungsversuche 8,5 m.

### § 127. Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft, Bauart Martens.

Ausführung für die Königl. Mechanisch-technische Versuchsanstalt Dresden  
(Fig. 201 a u. b S. 200 und 201).

Diese Maschine, deren Schema Fig. 202 zeigt, ist in erster Linie für Zugversuche mit Feinmessung der Dehnungen bestimmt. Sie besitzt ein

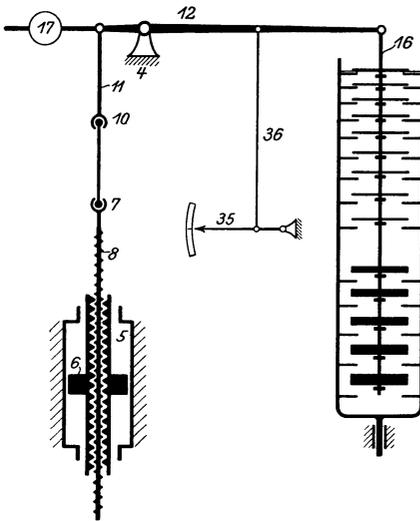


Fig. 202.

sehr kräftiges Maschinengestell bestehend aus dem Fuß 1, den Säulen 2 und 3 und dem oberen Querhaupt 4. In dem Fuße ist der Krafterzeuger, eine hydraulische Presse 5, untergebracht, in deren Kolben 6 der untere Einspannkopf 7 mit einer Schraubenspindel 8 befestigt ist. Die Schraubenspindel besitzt Handgriffe 9, mit denen sie zur Einstellung der erforderlichen Einspannlänge im Kolben 6 auf und nieder geschraubt werden kann. Der obere Einspannkopf 10 hängt mit dem Gehänge 11 an dem Waghebel 12, der auf dem Querhaupt 4 des Maschinengestells gelagert ist. Die Auf-

hängeschneide 13 des Gehänges ist gegen die Stützschnitten 14 und 15 zur Erzeugung der Übersetzung um einige Millimeter versetzt. An dem rechten Ende des Waghebels ist in einer Schneide die mit Gewinde versehene Stange 16, deren Gewicht durch den Gußeisenkörper 17 ausbalanciert ist, aufgehängt. Diese Stange dient zur Aufnahme der Gewichtsstücke für die Kraftmessung, sie besitzt eine Schale 18, auf die kleinere Gewichtsstücke gelegt werden können, und außerdem in gewissen Abständen Muttern 19, 20, 21 usw., die zur Aufnahme der im Gestell 22 untergebrachten Gewichtsscheiben 23, 24, 25 usw. bestimmt sind. Dreht man nämlich das Handrad 26, so werden die auf den Muttern der Stangen 27 und 28 ruhenden Gewichtsscheiben gesenkt und auf die Muttern 19, 20, 21 usw. der Stange 16 abgesetzt. Je nach der Höhe der gewünschten Belastung kommt die entsprechende Zahl Scheiben zur Wirkung. Jede der neun oberhalb des Handrades 26 befindlichen Scheiben entspricht bei dem eingestellten Übersetzungsverhältnis des Waghebels 12 einer Stabbelastung von 1000 kg. Man kann somit nacheinander die Belastung um je 1000 kg bis auf 9000 kg erhöhen. Reicht diese Belastung nicht aus, so hebt man sämtliche Gewichte ab und setzt durch Drehen der Kurbel 29 eines der größeren Gewichtsstücke 30,

31, 32, 33, 34, welche einer Stabbelastung von je 10000 kg entsprechen, auf die Muttern der Stange 16 ab.

Der Zeiger 35, der seinen Stützpunkt am Maschinengestell hat, ist mit der Stange 36 an dem Waghebel 12 befestigt und zeigt seine Gleich-

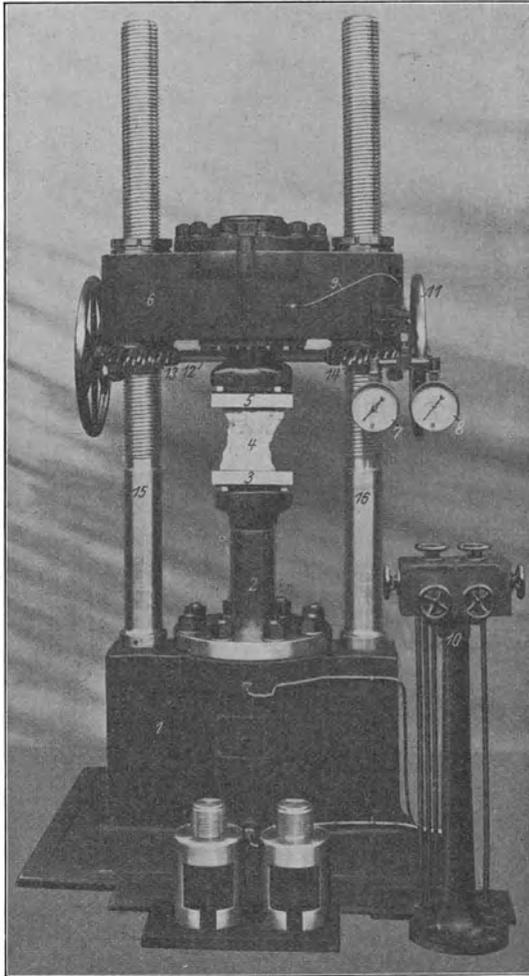


Fig. 203.

gewichtslage an. Zum Einstellen des richtigen Übersetzungsverhältnisses ist das rechte Ende des Waghebels mit einer Stellvorrichtung 37 versehen, die eine Verlegung des Angriffspunktes der Stange 16 gestattet. Gewicht 38 ist ein Teil des Waghebels und dafür bestimmt, dessen Schwerpunkt zur Erzeugung des stabilen Gleichgewichtes unter den Stützpunkt zu verlegen.

Das Druckwasser tritt bei 38 in den hydraulischen Zylinder ein und schiebt den Kolben nach unten. Die entgegengesetzte Kolbenbewegung wird nach Öffnen des Zylinderraumes 39 durch den im Zylinderraum 40 herrschenden Flüssigkeitsdruck bewirkt, der durch die ständig bei 41 angeschlossene Druckwasserleitung erzeugt wird.

In Fig. 201 ist die Maschine mit einem elektrischen Ofen 42 für Warmzerreiversuche (s. § 22) versehen.

### § 128. Materialprüfungsmaschine für Zug- und Druckversuche mit 50 000 kg größter Kraftäußerung.

Die Maschine (s. Fig. 203) besitzt als Krafterzeuger eine in den Maschinenfuß 1 eingebaute hydraulische Presse, deren Kolbenstange 2 mit Manschettendichtung versehen ist.

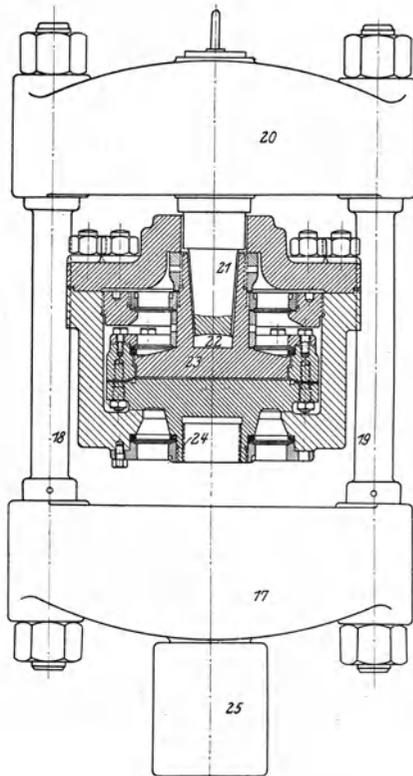


Fig. 204.

An dem oberen Ende der Kolbenstange wird bei Verwendung der Maschine für Druckversuche die mit Kugellagerung versehene Preßplatte 3 angeordnet, die den Probekörper 4 gegen die ebenfalls mit Kugellagerung ausgerüstete Preßplatte 5 drückt. Der Preplattenhalter ist mit Gewinde an dem Kolben 24 (s. Fig. 204) der im oberen Querhaupt 6 der Maschine untergebrachten Meßdose, deren Konstruktion aus Fig. 204 ersichtlich ist, befestigt. Die beiden Manometer 7 und 8 stehen durch Rohr 9 mit dem Zylinder der Meßdose in Verbindung und zeigen die auf den Probekörper 4 ausgeübte Kraft an. Der Ventilständer 10 trägt die Steuerungsventile für die Auf- und Abwärtsbewegung des Kolbens 2. Das Handrad 11 sitzt auf der mit zwei Schnecken versehenen Welle 12, die die

beiden Räder 13 und 14 zum Verstellen des Querhauptes 6 an den Säulen 15 und 16 betätigt. Die vor der Maschine stehenden Teile sind die Einspannköpfe für Zugversuche. Der eine wird an der Kolbenstange 2 befestigt, während der andere 25 in der aus Fig. 204 ersichtlichen Weise an dem Querhaupt 17 angebracht wird, das die Kraft durch

die Zugstangen 18 und 19 auf das Querhaupt 20 überträgt. Das Querhaupt 20 besitzt einen Zapfen 21, der sich auf eine Kugelplatte 22 stützt und die Kraft auf den Kolben 23 der Meßdose überträgt.

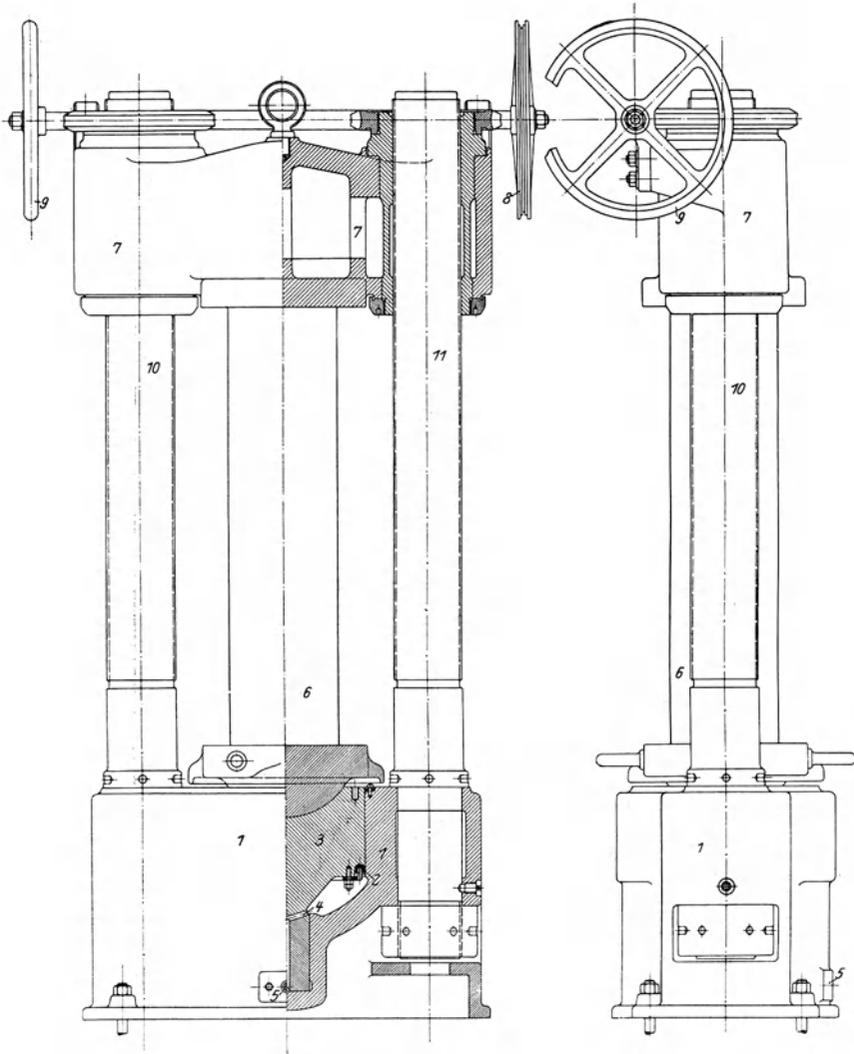


Fig. 205.

**§ 129. Materialprüfungsmaschine für Druckversuche mit 500 Tonnen Kraftäußerung.**

Die Konstruktion der Maschine ist aus Fig. 205 ersichtlich. Der kräftige Fundamentrahmen 1 ist als Preßzylinder ausgestaltet, in dem der mit Manschette 2 abgedichtete Kolben 3 steckt. Am unteren Ende

ist der Kolben zur Führung mit einem zylindrischen Fortsatz versehen, der eine Bohrung 4 zur Vermittlung der Flüssigkeitszufuhr vom Anschlußstutzen 5 nach dem Zylinderraum besitzt. Auf dem Kolben ruht in einer Kugelschale die Preßplatte zur Aufnahme des Probekörpers 6, der sich gegen das obere Querhaupt 7 der Maschine stützt. Das Querhaupt

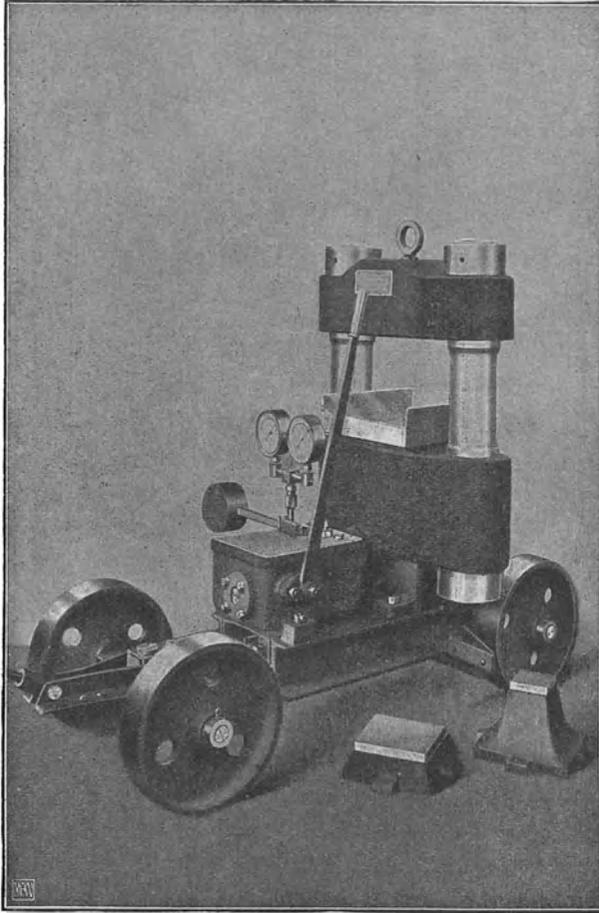


Fig. 206.

kann zur Einstellung auf die Probekörperlänge mit den Hand- bzw. Haspelrädern 8, 9 an den Spindeln 10 und 11 auf- und abwärts bewegt werden. Die Regulierung der Flüssigkeitszufuhr geschieht durch ein abseits von der Maschine angebrachtes Regulierventil. Die Kraftmessung erfolgt durch Ermittlung des Flüssigkeitsdruckes im Preßzylinder mit Manometer (s. § 121), wobei die Reibungsverluste zu berücksichtigen sind (s. § 120).

**§ 130. Betonprüfungsmaschine für Belastungen bis 300 Tonnen.**

Die Maschine (Fig. 206) ist zur Prüfung von Betonprobekörpern, und zwar Würfeln mit 30 oder 20 cm Kantenlänge bestimmt (s. § 279). Sie ist auf einem Fahrwerk angeordnet, mit dem sie auf Baustellen nach dem Lagerorte der Probekörper geschafft werden kann. Die Krafterzeugung

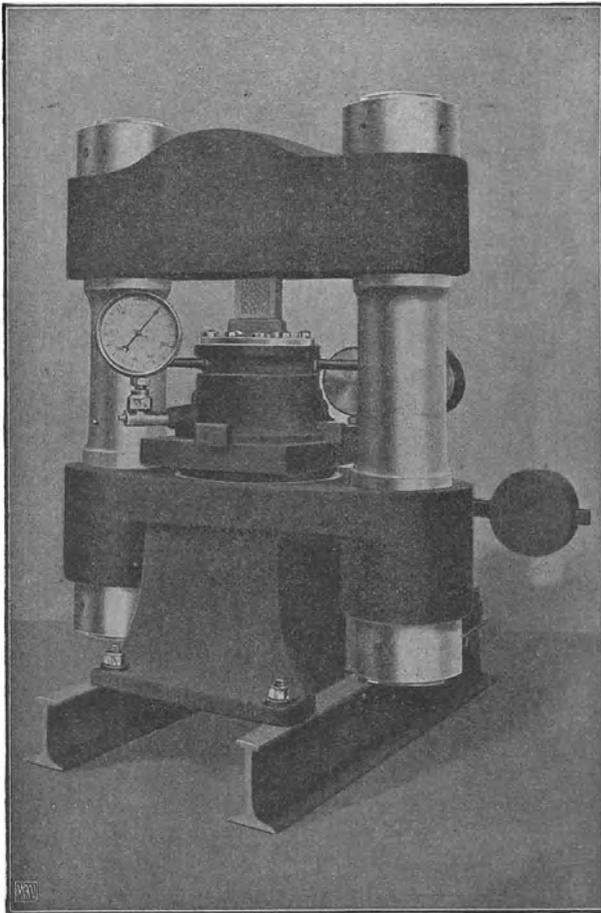


Fig. 207.

ist hydraulisch und erfolgt durch eine Presspumpe, die unmittelbar neben dem im unteren Querhaupt der hydraulischen Presse untergebrachten Zylinder angeordnet ist. Der Kolben ist mit einer Uförmigen Leder-  
manschette versehen, deren Anordnung mit derjenigen in Fig. 205 übereinstimmt. Er überträgt seinen Druck durch eine kugelig gelagerte Pressplatte auf den Probekörper, der sich gegen die obere, auf kräftigen

Materialprüfungsmaschine mit Multiplikator. Bauart F. Ohlmeyer.

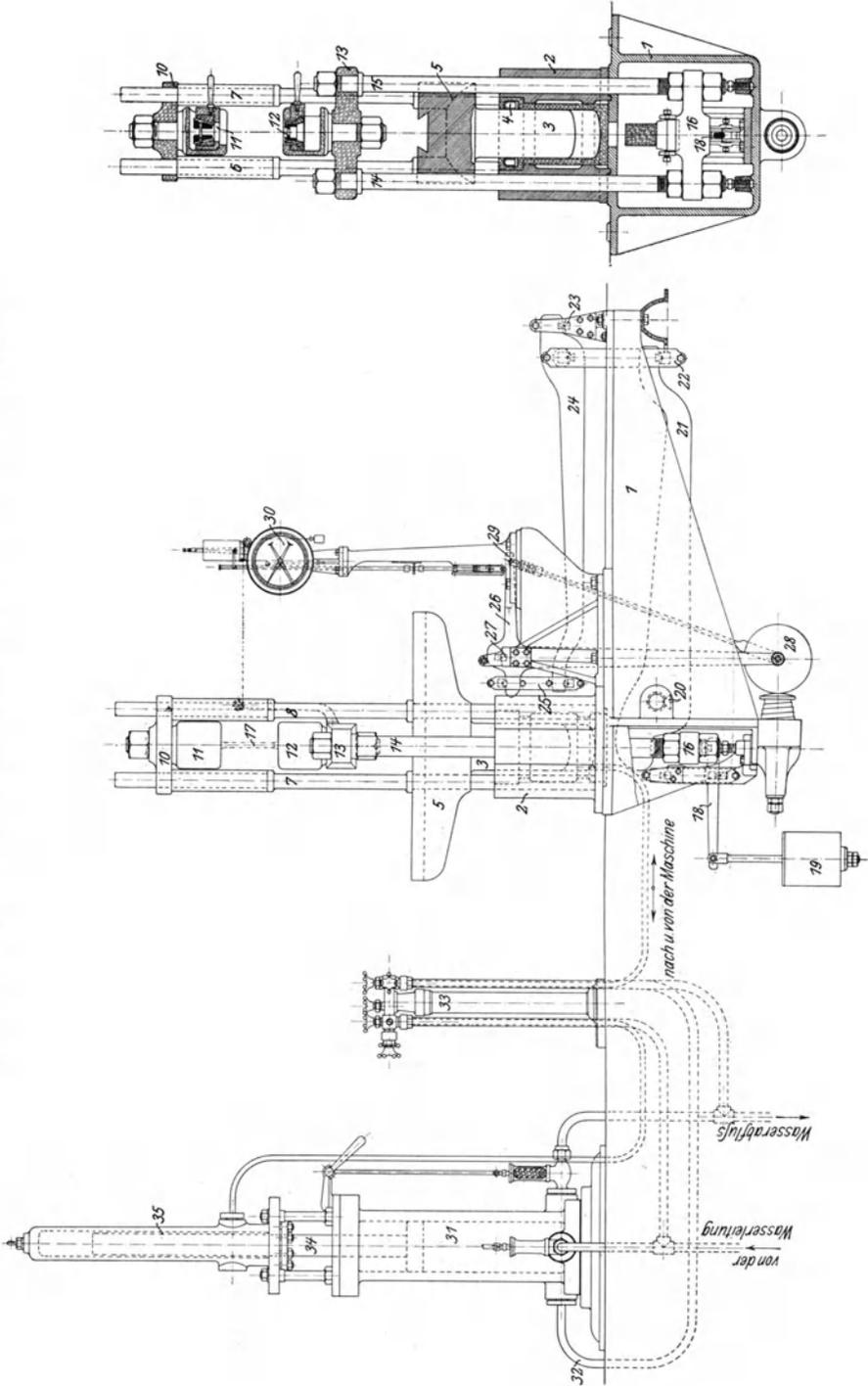


Fig. 208.

Säulen sitzende Traverse stützt. Die größte Einspannlänge beträgt 31 cm, entsprechend den normalen Betonwürfeln mit 30 cm Kantenlänge. Da der Hub der Maschine nur 5 cm beträgt, können kleinere Würfel nur unter Verwendung von Beilagen geprüft werden. Für Würfel mit 20 cm Kantenlänge dient die linke der beiden neben der Maschine (Fig. 206) liegenden Beilagen und für Würfel mit 7 cm Kantenlänge die rechte. Sie werden auf die große Preßplatte der Maschine gesetzt, und da sie selbst mit kugelig gelagerten Preßplatten versehen sind, ist die Beanspruchungsweise der Probekörper einwandfrei.

Die Kraftmessung geschieht durch Feststellung des Flüssigkeitsdruckes im Preßzylinder mit einem Doppelmanometer (s. § 121 S. 183).

Sorgfältige Pflege der Maschine und öftere Eichung sind unbedingt erforderlich. Auf einen Fehler der Maschine, den man bei verschiedenen Ausführungen beobachtete, wurde bereits auf S. 54 hingewiesen.

Da die Anzeigen der Maschine bei geringeren Belastungen, wie sie bei Prüfung von Zementprobewürfeln mit 7 cm Kantenlänge in Frage kommen, wegen der Manschettenreibung ungenau sind, versieht die Lieferantin die Maschine mit einer Vorrichtung, deren Anordnung aus Fig. 207 ersichtlich ist. Sie besteht aus einer Meßdose (s. § 123) mit Kontrollmanometer, die auf der Preßplatte der Prüfungsmaschine gelagert wird. Der Kolben der Meßdose trägt eine bewegliche Preßplatte zur Aufnahme des Probekörpers. Beim Versuch wird der Kolben der hydraulischen Presse sowie die Meßdose gehoben und der Probekörper dadurch gegen das obere Querhaupt der Maschine gepreßt. Der dabei ausgeübte Druck kann am Manometer der Meßdose abgelesen werden.

## **b) Maschine von Heinrich Ehrhardt in Zella St. Blasii.**

### **§ 131. Materialprüfungsmaschine Bauart Pohlmeier.**

(Fig. 208.)

Die Krafterzeugung geschieht bei dieser Maschine, deren Schema Fig. 209 zeigt, auf hydraulischem Wege und die Kraftmessung mit Neigungswage (s. § 118). Auf dem Maschinengestell 1 ist der hydraulische Zylinder 2 befestigt, in den der Kolben 3 eingepaßt und mit Manschette 4 gedichtet ist. Am oberen Ende trägt der Kolben 3 einen kräftigen, als Biegebalken ausgebildeten Gußkörper 5, in den die vier Säulen 6, 7, 8, 9 eingesetzt sind. Diese vier Säulen sind durch ein Querhaupt 10 zur Aufnahme des oberen Einspannkopfes 11 für Zugversuche verbunden. Die wirksame Länge der Säulen kann nach Abheben des Querhauptes durch Überschieben von Ringen vergrößert werden.

Der gezeichnete obere Einspannkopf ist zur Aufnahme von Flachstäben bestimmt, seine Konstruktion entspricht der in Fig. 31 S. 31 angegebenen. Der untere Einspannkopf 12 ist dagegen für Befestigung von Rundstäben mit Köpfen ausgestaltet, und zwar deckt sich seine Ausführung mit

der in Fig. 27 S. 31 dargestellten. Er ist an dem Querhaupt 13 befestigt, von dem zwei Zugstangen 14, 15 nach dem unteren Querhaupt 16 führen. Es hängen somit der Einspannkopf, die Querhäupter und die Zugstangen an dem Probestab 17. Eine Zugkraft übt das Gewicht dieser Teile jedoch auf den Probestab nicht aus, da es durch den doppelarmigen Hebel 18 mit Gewicht 19, der am Maschinengestell hängt und sich gegen das untere Querhaupt 16 stützt, ausgeglichen wird. Beim Anheben des Kolbens 3 steigt der obere Einspannkopf 11 und überträgt diese Bewegung durch den Probestab auf den unteren Einspannkopf und durch das Gehänge mit den Zugstangen 14, 15 auf das untere Querhaupt 16, an dem wiederum der Kraftmesser angreift. Dieser besteht aus dem bei 20 gestützten doppel-

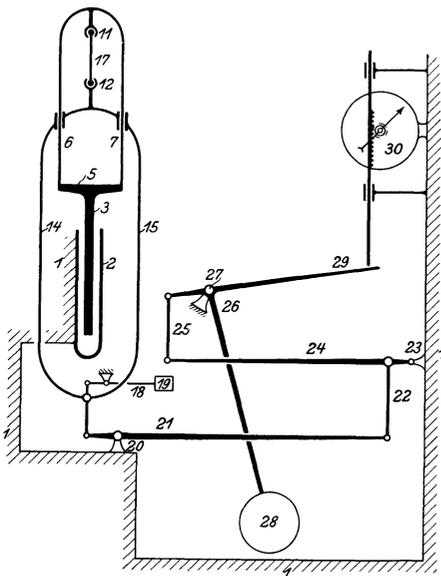


Fig. 209.

armigen Hebel 21, der seinen zweiten Stützpunkt in dem Gehänge 22 findet. Gehänge 22 dient zur Übertragung der im Verhältnis der Hebelarme des doppelarmigen Hebels 21 verkleinerten Stabkraft auf den zweiten bei 23 am Maschinengestell eingelenkten Doppelhebel 24, der diese Kraft, nochmals verkleinert, durch das Gehänge 25 auf die Neigungswage 26 überträgt. Diese hat ihren Dreh- und Stützpunkt bei 27 und ist ausgerüstet mit dem Gewicht 28. Infolge der Bewegung des Probestabes bzw. des unteren Querhauptes 16 erleidet die Neigungswage einen Ausschlag, der durch

Vermittlung des Hebelarmes 29 an einem Zeigerapparat 30 gemessen wird. Der Konstruktionsgrundsatz dieses Apparates ist der gleiche wie der des auf S. 189 beschriebenen. Er ist mit einem Diagrammapparat verbunden, der eine Aufzeichnung der Dehnungen als Funktion der Pendelausschläge bzw. der Stabbelastungen gestattet.

Außer auf äußerst sorgfältige Montage des Gehänges und der Neigungswage mit den Übertragungshebeln ist bei dieser Maschine darauf zu achten, daß die Zugstangen 14, 15 sich bei eingespanntem Probestabe in ihren Führungen frei bewegen. Es kommt nämlich vor, daß infolge exzentrischer Belastung sich das Gehänge des unteren Einspannkopfes schieft, wenn der obere Einspannschieber nicht vollständig in den Kopf hineingeschoben

wird. Aus diesem Grunde ist bei diesen Maschinen auch auf genaueste Zentrierung der Einspannköpfe zu achten.

Zur Ausführung von Druckversuchen wird der untere Einspannkopf 12 von dem Querhaupt entfernt und durch eine Druckplatte ersetzt, gegen die sich der auf einer am Biegebalken 5 angebrachten Preßplatte gelagerte Probekörper stützt. Für Biegeversuche wird der Biegebalken 5 mit Widerlagern (s. § 36) versehen und an Stelle des Einspannkopfes 12 eine Belastungsschneide eingefügt.

Um die Maschine mit Wasserleitungsdruck oder dem gewöhnlich auf Hüttenwerken zum Betriebe der Hebezeuge vorhandenen Akkumulatordrucke geringerer Größe betreiben zu können, rüstet die Firma die Maschine mit einem Multiplikator aus, dessen Konstruktion aus Fig. 208 ersichtlich ist. Er besteht aus dem Niederdruckzylinder 31, in den durch die Rohrleitung 32 nach Durchströmen des Regulierventils am Ventilstand 33 das Betriebswasser eintritt. Hier drückt es auf den Niederdruckkolben und überträgt durch den Kolben 34 den Druck auf die Flüssigkeit im Hochdruckzylinder 35, welche zum Betriebe der Maschine verwendet wird. Bei vollendetem Hube des Hochdruckkolbens im Multiplikator läßt man durch Öffnen der entsprechenden Ventile am Ventilstand 33 Niederdruckwasser in den Hochdruckzylinder eintreten, treibt den Kolben in seine Anfangslage zurück und schließt die Ventile wieder. Läßt man hierauf das Niederdruckwasser wie vorher auf den Niederdruckkolben wirken, so kann dem Multiplikator wieder Hochdruckwasser entnommen werden.

### c) Maschinen der Mannheimer Maschinenfabrik Mohr & Federhaff.

#### § 132. Allgemeines.

Die Mannheimer Maschinenfabrik Mohr & Federhaff betreibt bereits seit langer Zeit den Bau von Materialprüfungsmaschinen neben der Fabrikation von Hebevorrichtungen und Wagen aller Art. Während sie aber früher ihre Maschinen mit Wagen als Kraftmesser ausrüstete, versieht sie neuerdings einige Typen auch mit hydraulischen Kraftmessern. Sie verwendet in erster Linie die Martenssche Meßdose (s. § 123), deren Sonderausführung in § 134 beschrieben ist. Auf verschiedene Eigenarten der Maschinen ist bereits in früheren Paragraphen hingewiesen worden und es erübrigt sich daher nur noch die Beschreibung der bemerkenswertesten Ausführungsformen.

#### § 133. Materialprüfungsmaschine mit mechanischem Antrieb für 50000 kg Zugkraft (s. Fig. 210 a u. b).

##### 1. Ausführung für die Königl. Mechanisch-Technische Versuchsanstalt Dresden.

Als Krafterzeuger besitzt die Maschine, deren Schema Fig. 211 zeigt, ein Schneckenvorgelege mit Schraubenspinde und als Kraftmesser eine Hebel-

wage (s. § 117). Das Maschinengestell besteht aus dem Gehäuse 1 zur Aufnahme des Schneckenvorgeleges, welches auf das Schneckenrad 2 wirkt.<sup>1)</sup>

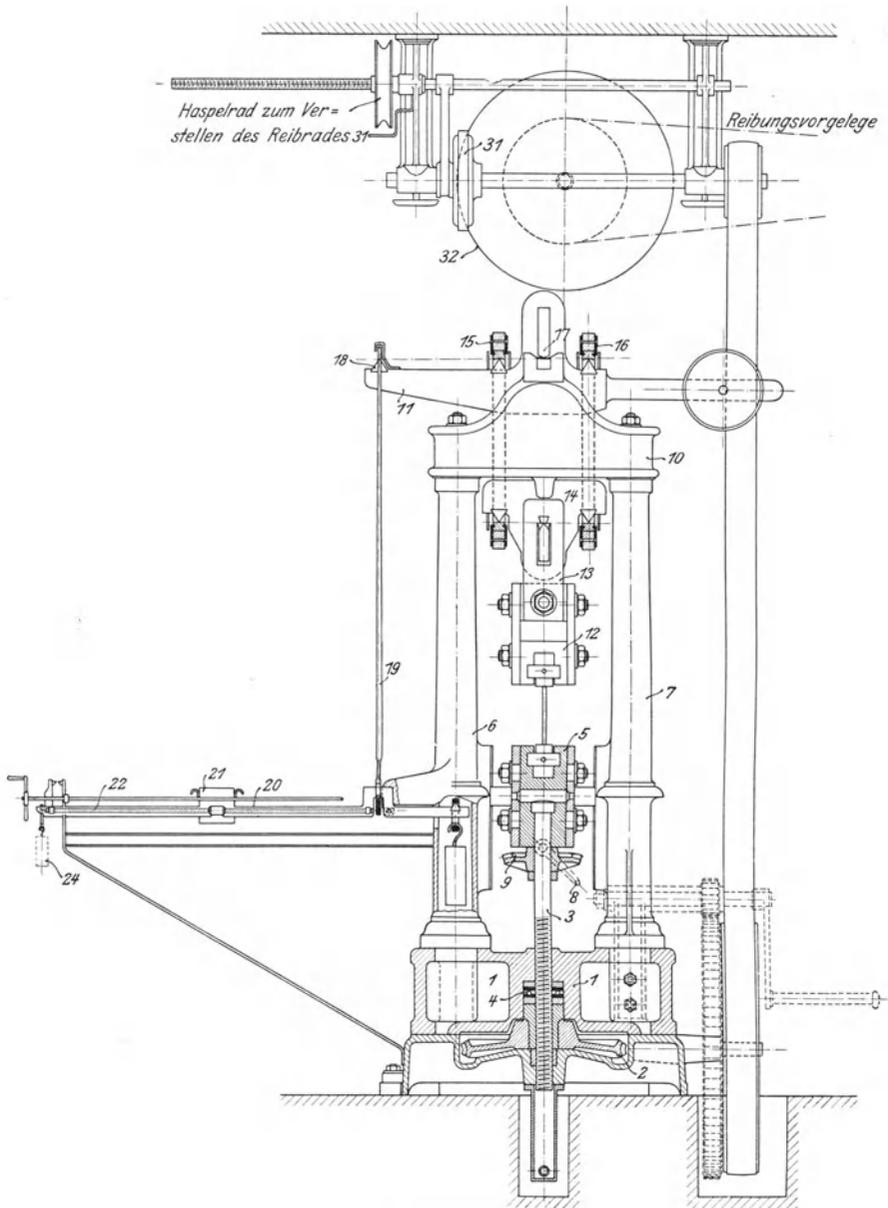


Fig. 210 a.

<sup>1)</sup> Beschreibung des Sonderantriebes s. S. 172.

Dieses stützt sich bei belasteter Spindel 3 mit Kugellager 4 gegen das Gehäuse 1. Die Spindel 3 trägt am oberen Ende den unteren Einspannkopf 5,

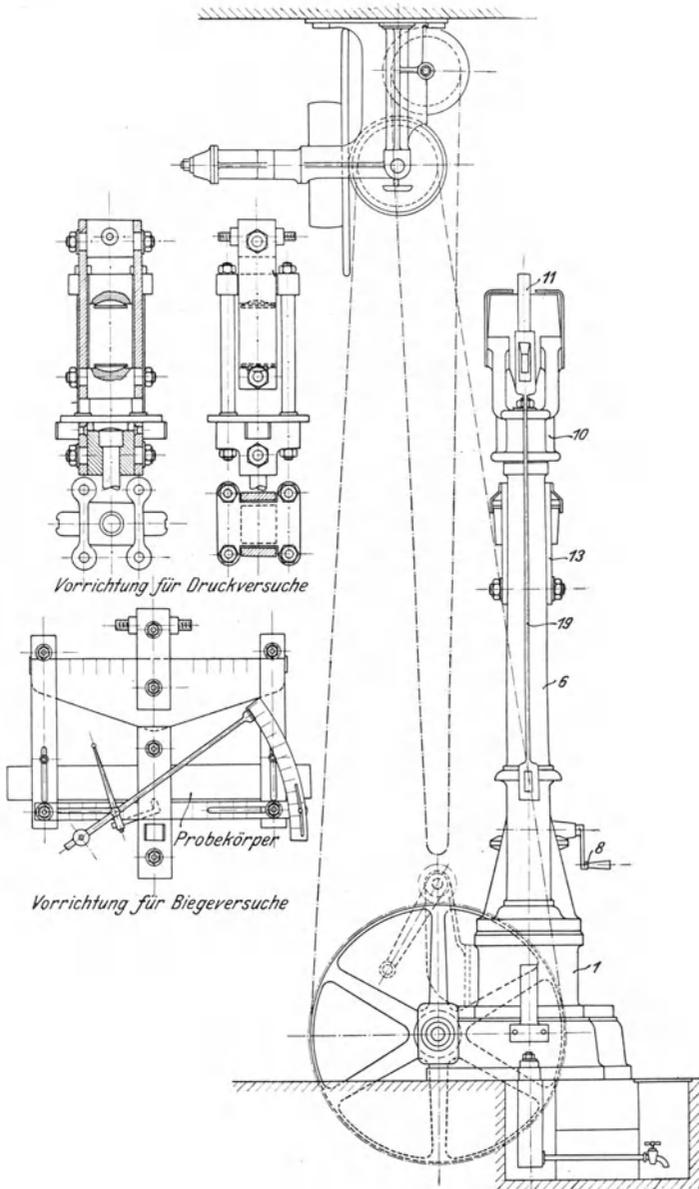


Fig. 210 b.

der rechts und links an den Säulen 6 und 7 geführt und gegen Umschleppen gesichert ist. Kurbel 8 mit Zahnradvorgelege 9 dient zum Hoch- und Nieder-

schrauben der Spindel 3 in der als Mutter ausgestalteten Nabe des Schneckenrades 2. Die beiden Säulen 6 und 7 sind am oberen Ende durch das Querhaupt 10 verbunden, welches zur Stützung des Waghebels 11 dient. Der Angriff des oberen Einspannkopfes 12 an diesem Waghebel erfolgt durch die Gehänge 13, das Schild 14 und die Gehänge 15 und 16. Zur Erzeugung des Hebelverhältnisses ist die Schneide 17 des Waghebels 11 um einige Millimeter aus der Mittellinie der Maschine verschoben. Die bei 18 angreifende Zugstange 19 überträgt die im Hebelverhältnisse verkleinerte Probestabkraft auf den Waghebel 20. Dieser besitzt ein Laufgewicht 21, das durch eine Schraubenspindel 22 unter Vermittelung einer Vorgelegewelle entsprechend der Stabbelastung verschoben werden kann. Die Teilung des Waghebels entspricht der vollen Belastung der Maschine mit 5 t. Entfernt man dagegen das Laufgewicht 21 und benutzt den fest mit der

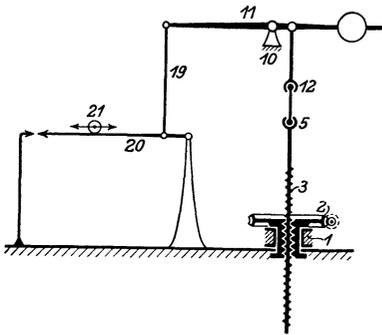


Fig. 211.

Schraubenspindel verbundenen Gewichtsträger allein als Laufgewicht, so entspricht die ganze Laufgewichtsskala einer maximalen Stabbelastung von 5 t. Zur Ausgleichung des Waghebelgewichtes ist jedoch am Ende des Hebels das der Maschine beigegebene Gewicht 24 anzuhängen.

Beim Versuch muß der Beobachter darauf achten, daß der Waghebel stets einspielt, da nur dann die an der Laufgewichtsskala abgelesene Belastung der wirklichen Stabbelastung entspricht. Er muß daher das Laufgewicht der fortschreitenden Stabbelastung entsprechend verschieben. Dieser Vorgang erfordert Geschicklichkeit, ist aber bei einiger Übung leicht ausführbar, ohne daß das Gleichgewicht durch Überregulierung beständig gestört wird.

Um die Einstellung des Laufgewichtes unabhängig von der Geschicklichkeit des Beobachters zu machen, versieht die Firma auf besonderen Wunsch die Wage mit einer Einrichtung zur selbsttätigen Bedienung des Laufgewichtes. Diese geschieht auf folgende Weise:

Ein durch die Maschinentransmission oder durch einen besonderen Elektromotor bewegter Schnurtrieb versetzt zwei lose auf der Vorgelegewelle des Laufgewichtes sitzende Scheiben in rechts- und linksdrehende Bewegung. Diese Scheiben sind als Elektromagnete ausgestaltet, die durch Erregung mit einem Strome von 1 Amp. bei 1,5 Volt selbsttätig die eine oder die andere Scheibe mit der zwischen beiden Scheiben fest auf der Vorgelegewelle sitzenden dritten Scheibe kuppelt. Je nachdem, ob der

rechtsumlaufende oder der linksumlaufende Elektromagnet erregt wird,

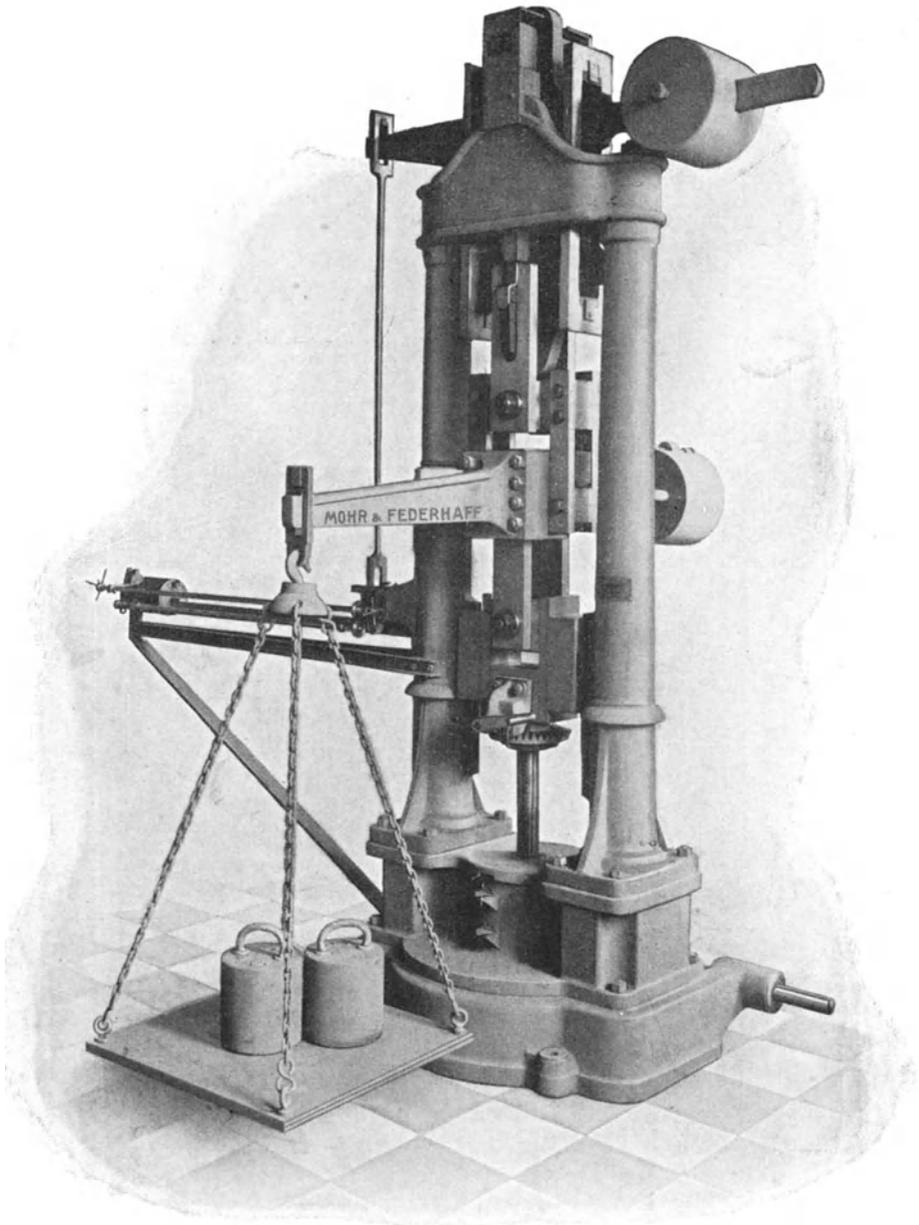


Fig. 212.

wird die Vorgelegewelle in rechts- oder linksdrehende Bewegung versetzt, was ein Vorwärts- oder Rückwärtsbewegen des Laufgewichtes zur Folge

hat. Die Stromzuführung zu den umlaufenden Magneten geschieht durch Schleifkontakte und die Steuerung des Erregerstromes durch eine am Waghebelende befindliche Kontaktvorrichtung, die beim Ansteigen des Waghebels den einen und beim Sinken den Stromkreis des anderen Elektromagneten einschaltet. In der Gleichgewichtslage werden beide Stromkreise unterbrochen und das Laufgewicht bleibt in Ruhe.

Zur Vermeidung des Zurückschaltens des Laufgewichtes beim Bruch des Probestabes wird der Hauptstromkreis der Elektromagnete durch einen Ausschalter D. R. G. M. No. 112217 unterbrochen, der durch die Maschinenschütterung beim Bruche betätigt wird.

## 2. Kontrollvorrichtung der Maschine.

Fig. 212 zeigt die Maschine in Verbindung mit einer Kontrollvorrichtung zur Eichung des Kraftmessers. Sie besteht aus einem doppelarmigen Hebel nach dem Schema Fig. 249 (S. 252), der am oberen Einspannkopf hängt und an dem einen Ende mit einer Wagschale zur Aufnahme der Vergleichungsgewichte versehen ist. An dem anderen Ende befindet sich ein verschiebbares Gewicht, das zur Ausgleichung des Wagschalengewichtes bestimmt ist. Bei der Eichung setzt man ein bestimmtes Gewichtsstück auf die Wagschale und bringt durch Abwärtsbewegen, des unteren am Kontrollhebel angreifenden Einspannkopfes die Kontrollvorrichtung zum Einspielen. Hierauf verschiebt man das Laufgewicht des Kraftmessers, bis dieser in die Gleichgewichtslage kommt, und stellt die Differenz zwischen der durch die Kontrollvorrichtung erzeugten Belastung und der an der Laufgewichtsskala angezeigten fest.

### § 134. Materialprüfungsmaschine mit Meßdose für Zugversuche bis 50000 kg Belastung.

In dem kräftigen Fuße 1 der Maschine (s. Fig. 213) befindet sich der Krafterzeuger, ein unmittelbar durch Elektromotor 2 angetriebenes Schneckenvorgelege, welches die Schraubenspindel 3 nach unten zieht. Am oberen Ende dieser Schraubenspindel ist der untere Einspannkopf 4 zur Aufnahme des Probestabes 5 angebracht, der am Einspannkopf 6 aufgehängt ist. Die vom Krafterzeuger auf den Probestab geäußerte Kraft wird somit von dem oberen, auf den Säulen 7 und 8 ruhenden Querhaupt 9 aufgenommen. Das Querhaupt 9 enthält den Kraftmesser, eine Meßdose Bauart Martens (s. § 123), deren Konstruktion aus Fig. 214 ersichtlich ist. Der Einspannkopf hängt an der Zugstange 10, die durch Vermittelung der Kugelschale 11 an dem Kolben 12 der Meßdose angreift. Der Kolben 12 drückt auf die Membran 13 und außerdem unter Vermittelung des einen geringeren Durchmesser besitzenden Kolbens 14 auf die Membran 15. Die Führung der beiden Kolben 12 und 14 erfolgt durch die beiden Membranen 16 und 17. Der durch die Wirkung dieses Differentialkolbensystems im Meßdosen-

raum entstehende Flüssigkeitsdruck wird mit einem neben der Maschine aufgestellten Manometer 18 gemessen.

Das Manometer ist als Doppelmanometer ausgeführt, und zwar ist in einem einzigen Gehäuse ein Gebrauchs- und ein Kontrollmanometer untergebracht. Die Vorderseite des Gehäuses zeigt die Skala des Gebrauchsmanometers und die Rückseite die des Kontrollmanometers. Zur Vermeidung

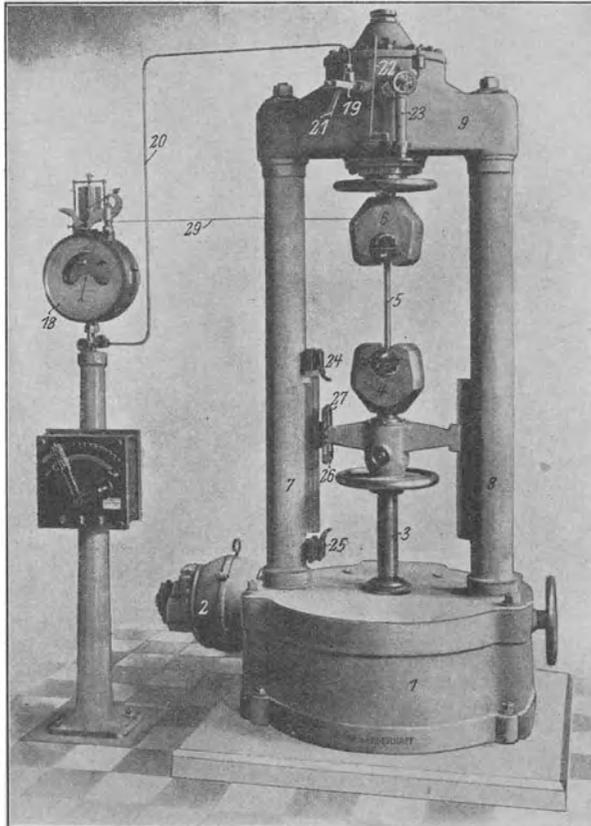


Fig. 213.

des plötzlichen Zurückschlagens der Manometerzeiger beim Bruch des Probestabes ist bei 19 ein Rückschlagventil in die Rohrleitung 20 eingeschaltet, das den Rückstrom der Flüssigkeit abstellt und erst nach Drehen des Hebels 21 langsam den Druckausgleich herbeiführt.

Die Stellung des Kolbensystems in der Meßdose zeigt der Zeiger 22, und die Handpreßpumpe 23 gestattet das Nachfüllen von Flüssigkeit in

den Dosenraum, wenn Verluste durch Undichtigkeiten eingetreten sind. Die Einspannköpfe 4 und 6 sind für Flach- und Rundstäbe unter Verwendung von Schiebern mit Beißkeilen oder mit Ringen benutzbar. Die beiden Hebel 24 und 25 sind Sicherheitsauschalter für den Motor, die in der höchsten oder tiefsten Stellung der Schraubenspindel 3 durch die Vorrichtung 26, 27 betätigt werden.

Die Maschine ist mit einem Diagrammapparat ausgerüstet, der auf dem Manometergehäuse angebracht ist und sich in unmittelbarem Zusammenhange mit dem Gebrauchsmanometer (s. S. 217) befindet. Das Manometer

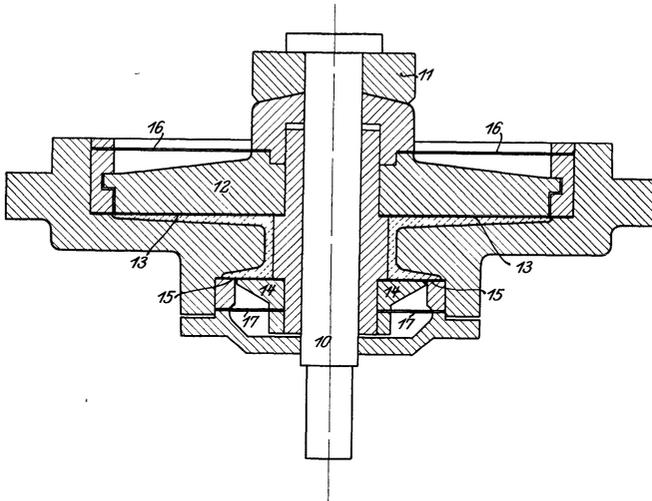


Fig 214.

schreibt die Ordinaten, und durch Drehen der Schreibtrommel durch den am Probestab oder an den Einspannköpfen angebrachten Faden 29 werden die Abszissen erzeugt. Die Ordinaten stellen somit die Belastungen dar und die Abszissen die Dehnungen des Probestabes.

### § 135. Materialprüfungsmaschine für Torsionsversuche mit 500 000 cmkg Drehmoment.

Fig. 215.

Der Probestab 1 ist mit dem einen Ende in der Hebelschwinge 2 befestigt, die einerseits in dem kräftigen Gestell 3 gestützt ist und andererseits die Messung des Drehmomentes mit der Wage 5 vermittelt. Das Gestell 3 kann der Länge des Probekörpers entsprechend auf dem Fundamentrahmen 4 verschoben werden. Das andere Ende des Probestabes befindet sich an der mit einer geeigneten Einspannvorrichtung versehenen Welle des großen Vorgelegrades 6, das durch das Zwischenvorgelege 7 von dem

konischen Trommelvorgelege 8, 9 angetrieben wird. Zur Verhinderung des Zurückdrehens des Vorgeleges beim Verschieben des Riemens von der Festscheibe 10 auf die Loßscheibe 11 ist eine Differentialbremse angeordnet, die ein momentanes Stillstehen des Antriebes bewirkt. Der über die beiden konischen Trommeln laufende Riemen 12 wird durch die Vorrichtung 13, die gleichzeitig die Verschiebung des Riemens mit der Schraubenspindel 14 vermittelt, gespannt.

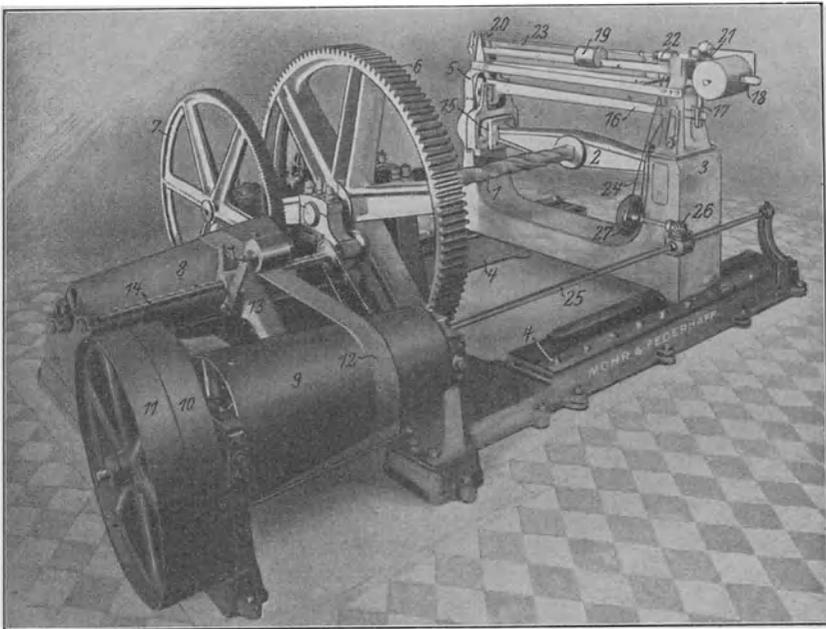


Fig. 215.

Die Einrichtung des Kraftmessers ist die folgende:

Die bereits oben erwähnte Hebelschwinge 2, in der der Probestab befestigt ist, besitzt ihren Stützpunkt in dem Gestell 3. Das freie Hebelende hängt mit einer sogen. Rollenschneide in dem Gehänge 15, das die Kraft auf den Unterbalken 16 und von dort durch das Gehänge 17 auf den Oberbalken 18 der Wage überträgt. Durch Verschieben des Laufgewichtes 19, das von Hand durch Betätigung der Stirnräder 20 und 21 oder maschinell durch die elektromagnetische Kupplung 22 geschehen kann, wird die im Stützpunkt der Hebelschwinge 2 entstehende Kraft ausgeglichen. Da das Hebelverhältnis der Schwinge 2 bekannt und für alle Drehmomente konstant ist, kann die Skala der Laufgewichtswage mit einer Teilung versehen werden, die unmittelbar Drehmomente abzulesen gestattet.

Die Einrichtung des elektrischen Antriebes für die Verschiebung des Laufgewichtes entspricht im wesentlichen der auf S. 214 beschriebenen. 22 ist die auf der Antriebsspindel 23 sitzende elektromagnetische Kupplung, deren Scheiben durch den Schnurantrieb 24 in entgegengesetzte Drehung versetzt werden. Die Bewegung wird durch die Vorgelegetrommel 9 hervorgebracht und durch die Welle 25 mit Schraubenradvorgelege 26 auf die Schnurscheibe 27 übertragen.

### § 136. Normal-Pendelschlagwerk von 75 mkg Arbeitsinhalt zur Ermittlung der Kerbzähigkeit von Konstruktionsmaterialien.

Fig. 216.

Das Normal-Pendelschlagwerk entspricht den in § 64 auseinander gesetzten Bedingungen. Die Schabotte besteht aus einem schweren gußeisernen Block mit Stahlbacken zur Aufnahme des Probestückes und ist unabhängig von dem Gerüst auf einem isoliert stehenden Fundamentblock gelagert. Der Bär besteht aus einem flachen Stahlstück mit eingesetzter gehärteter Schneide; seine Aufhängung geschieht mittels ovaler Rohre von geringem Gewicht, die auf einer Drehachse einstellbar festgelegt sind. Die Achse läuft in Präzisionskugellagern, so daß der Arbeitsverbrauch durch Reibung ein Minimum wird.

Das Gerüst ist aus Profileisen hergestellt; seine Höhe beträgt 3,3 m bei 6 m Länge. Als Winde dient eine mit Sperrklinke versehene, links am Gestell angebrachte Kurbelwinde. Sie ist durch ein Seil mit einem Schlitten in Verbindung gebracht, der sich auf einer zur Pendeldrehachse angenähert konzentrischen Kurvenbahn bewegt. Der Bär wird mit einer Klinkvorrichtung an dem Schlitten befestigt und hochgezogen. Die Auslösung der Klinkvorrichtung beim Versuch erfolgt durch einen Schnurzug vom Stande des Beobachters aus, seitlich neben der Schabotte. Die Bremsung geschieht durch Anheben der Kurvenbahn. Dadurch streicht die am Bär befindliche Bürste auf der Kurvenbahn entlang und vernichtet auf diese Weise durch Reibung die dem Pendel noch innewohnende Energie. Zur Messung der Fallhöhe des Bären ist auf der Pendelachse eine leichte Schnurscheibe befestigt, die an der Pendelbewegung teilnimmt und mit einem dünnen Drahte einen Schieber betätigt, der an einer die Schlagarbeit anzeigenden Skala entlang läuft. Gleichzeitig schiebt der Schieber einen Maximumzeiger vor sich her, der die nachträgliche Ablesung des Pendelausschlages gestattet.

Da bei den Pendelschlagwerken größte Einheitlichkeit der Abmessungen zur Erzielung gleichen Arbeitsinhaltes der verschiedenen Ausführungen Grundbedingung ist, müssen für jedes Schlagwerk der Stoßmittelpunkt, der Schwerpunkt des Pendels und die Reibungsverluste experimentell bestimmt werden (s. Anmerkung 1 und 2 auf S. 120).

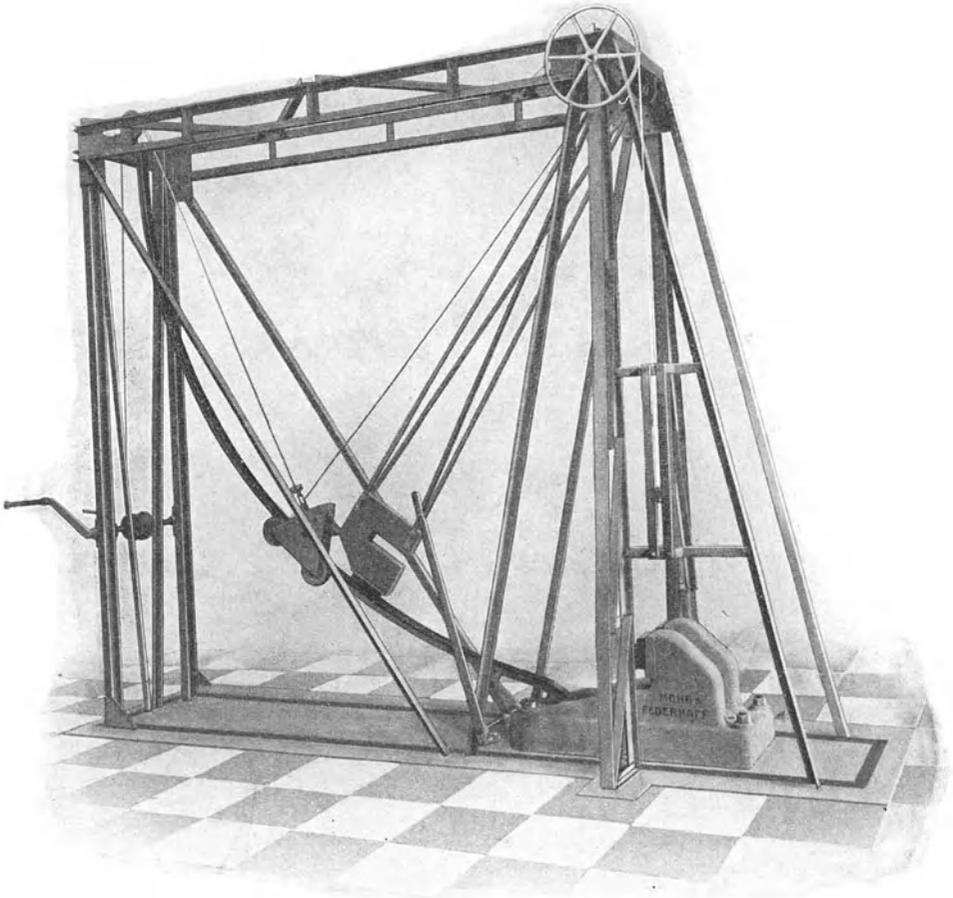


Fig. 216.

### § 137. Kugeldruckpresse zur Ermittlung der Härte nach dem Verfahren von Brinell.

Die Maschine (s. Fig. 217) besteht im wesentlichen aus dem Maschinen-  
gestell 1, in welches der Krafterzeuger, eine hydraulische Spindelpresse 2  
und der Kraftmesser (Meßdose) eingebaut sind, sowie dem oberen, auf den  
Säulen 3, 4 ruhenden Querhaupt 5, das die Manometer 6 und gegebenen-  
falls den Tiefenmesser (s. Fig. 218) trägt.

Beim Versuch legt man das eben bearbeitete Probestück auf die in  
einer Kugelschale der Schraubenspindel 7 gelagerte Pressplatte 8, schraubt

unter Benutzung der Handgriffe 9, 10 die Spindel hoch, bis das Probe-  
stück die im Halter 11 befestigte Kugel 12 berührt, und sichert durch  
Anziehen der Mutter 13 die Lage der Spindel. Presst man jetzt durch  
Drehen am Handrade 14 den Kolben 15 im Zylinder 16 vorwärts, so tritt  
die in diesem befindliche Flüssigkeit durch die Öffnung 17 in den Zylinder 18  
der Messdose. Dadurch wird der Dosenkolben 19 und wegen ihres Zu-

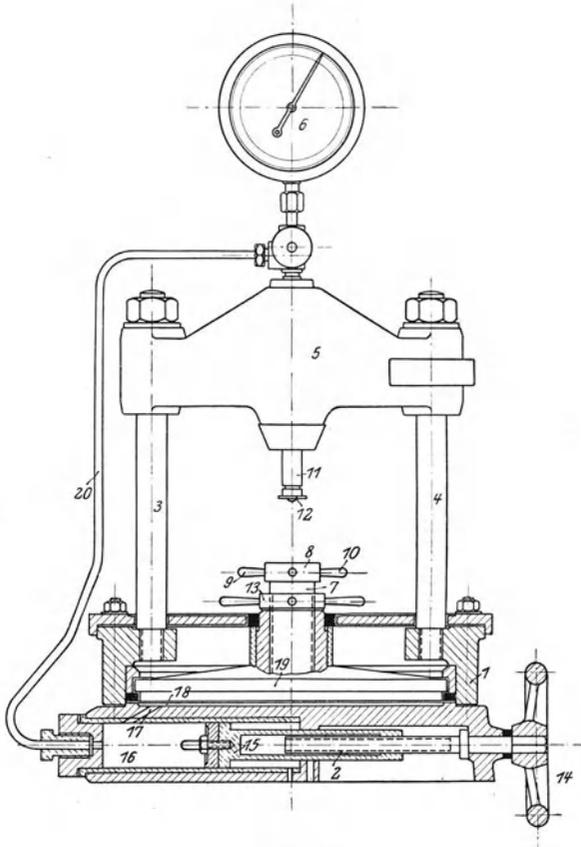


Fig. 217.

sammenhanges auch die Spindel 7 mit dem Probestück gehoben und gegen  
die Kugel 12 gedrückt. Da das Manometer 6 durch das Rohr 20 mit  
dem Zylinderraum 16 und mittelbar durch die Bohrung 17 mit dem  
Zylinder der Meßdose in Verbindung steht, kann man den Anpressungsdruck  
der Kugel messen. Der am Halter 11 angebrachte Zeigerapparat (s. Fig. 218)  
ist nach Angabe von Martens ausgeführt und gestattet die Messung der  
Eindrucktiefe während des Versuches.

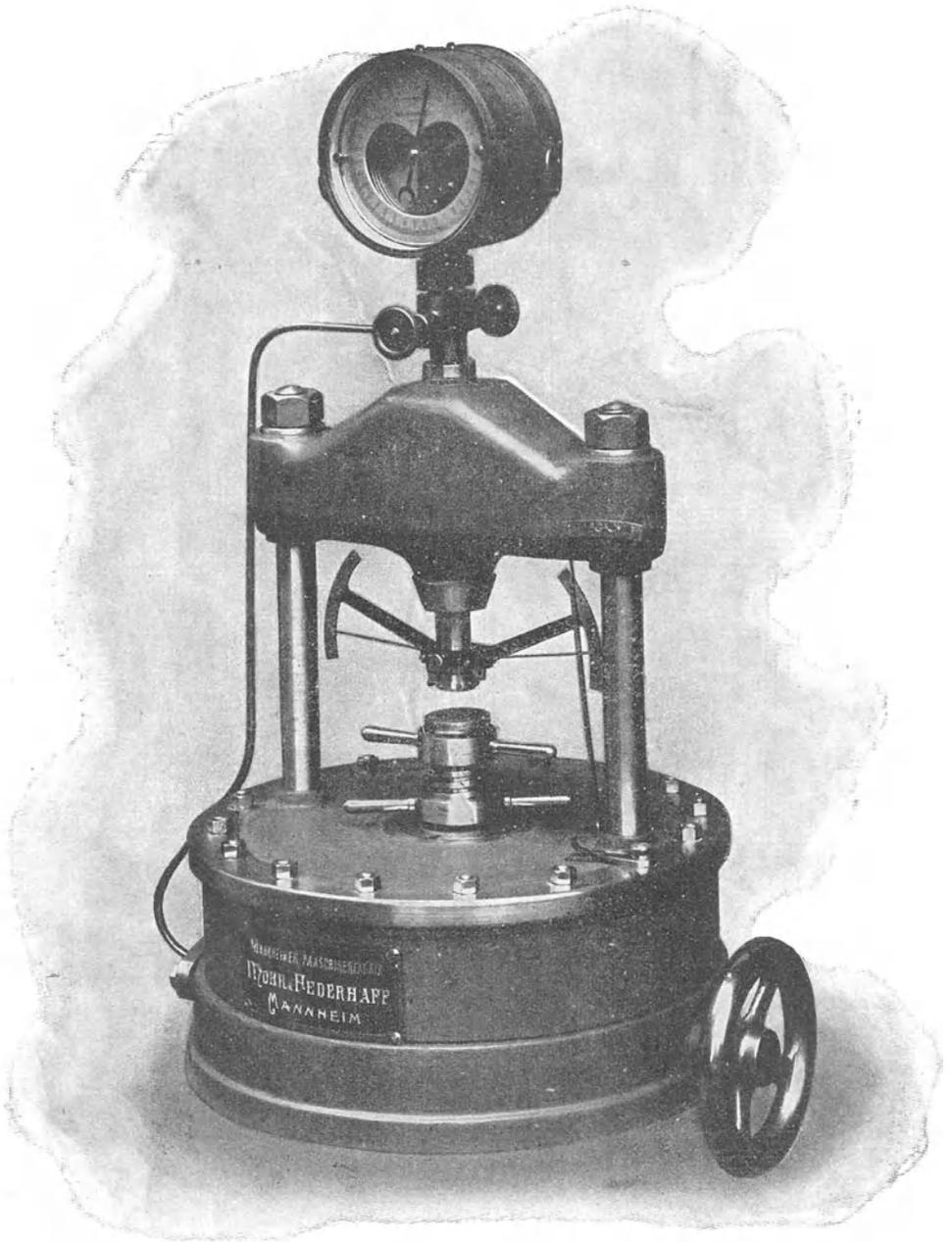


Fig. 218.

## Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft.

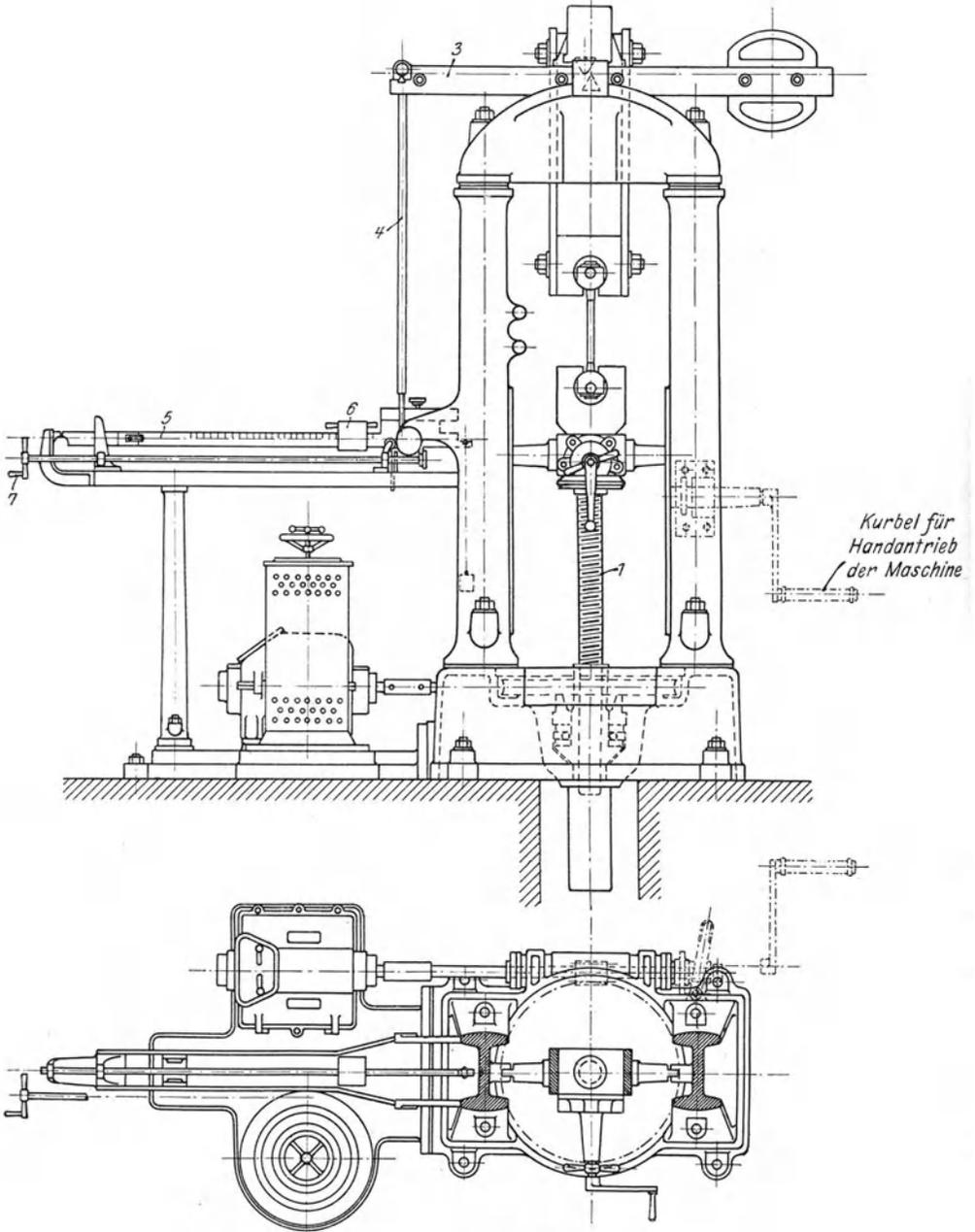


Fig. 219 a.

**d) Maschinen der Düsseldorfer Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. J. Losenhausen.<sup>1)</sup>**

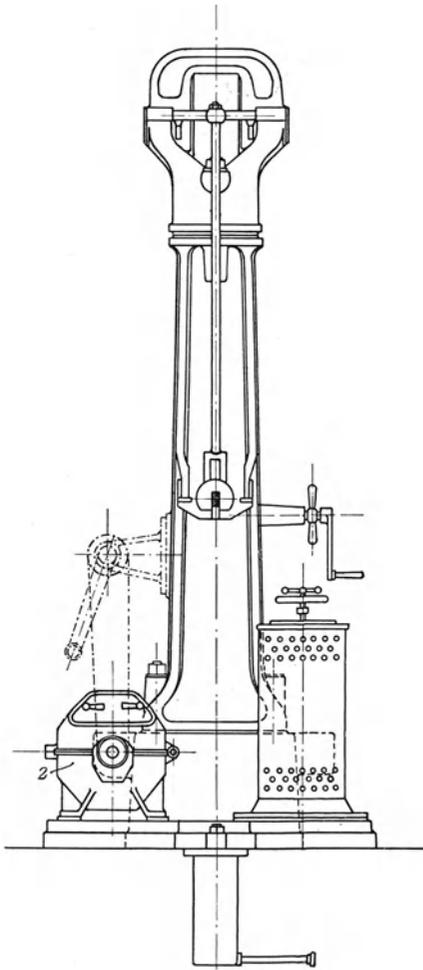


Fig. 219 b.

Der Kräfteerzeuger, bestehend aus einer Schraubenspindel 1 mit Kegelradvorgelege 2, das durch eine Kurbel 3 oder Transmission bewegt werden kann, ist in dem kräftigen Eisengestell 4 montiert. Die Schraubenspindel 1 besitzt am oberen Ende den Einspannkopf 5, in welchem Drähte, Blechstreifen, Lederstreifen, Gewebe oder dergl. mit Reißkeilen befestigt

**§ 138. Materialprüfungsmaschine für 50 000 kg Zugkraft mit mechanischem Antrieb.**

Die in Fig. 219 a und b dargestellte Maschine ähnelt in ihrem Aufbau der in § 133 beschriebenen. Ihr Kräfteerzeuger ist eine Schraubenspindel 1 mit Schneckenvorgelege, das unmittelbar durch einen Elektromotor 2 angetrieben wird. Der Kraftmesser besteht aus einer Hebelwaage 3, 4, 5 mit Laufgewicht 6, das von Hand durch Betätigung der Kurbel 7 oder maschinell verschoben werden kann. Die Maschine wird mit Einrichtungen für Zug-, Druck-, Biege-, Scher- und Torsionsversuche geliefert, deren Konstruktionsgrundsätze mit denen der Mohr & Federhaffschen Maschinen im wesentlichen übereinstimmen. Fig. 220 zeigt die Ausführungsform der Maschine mit Diagrammapparat.

**§ 139. Materialprüfungsmaschine für 500—3000 kg Zugkraft mit mechanischem Antrieb.**

(S. Fig. 221.)

<sup>1)</sup> Nähere Beschreibung dieser Maschinen s. Dinglers Polytechnisches Journal Bd. 320, Jahrg. 1905, Heft 24, 35 und 36.

werden können. Bei den sogen. Schnellspannköpfen werden die Spannkeile vermittels eines kleinen Griffes in den Köpfen gehoben oder gesenkt, wodurch das Einsetzen des Probestückes sehr erleichtert wird.

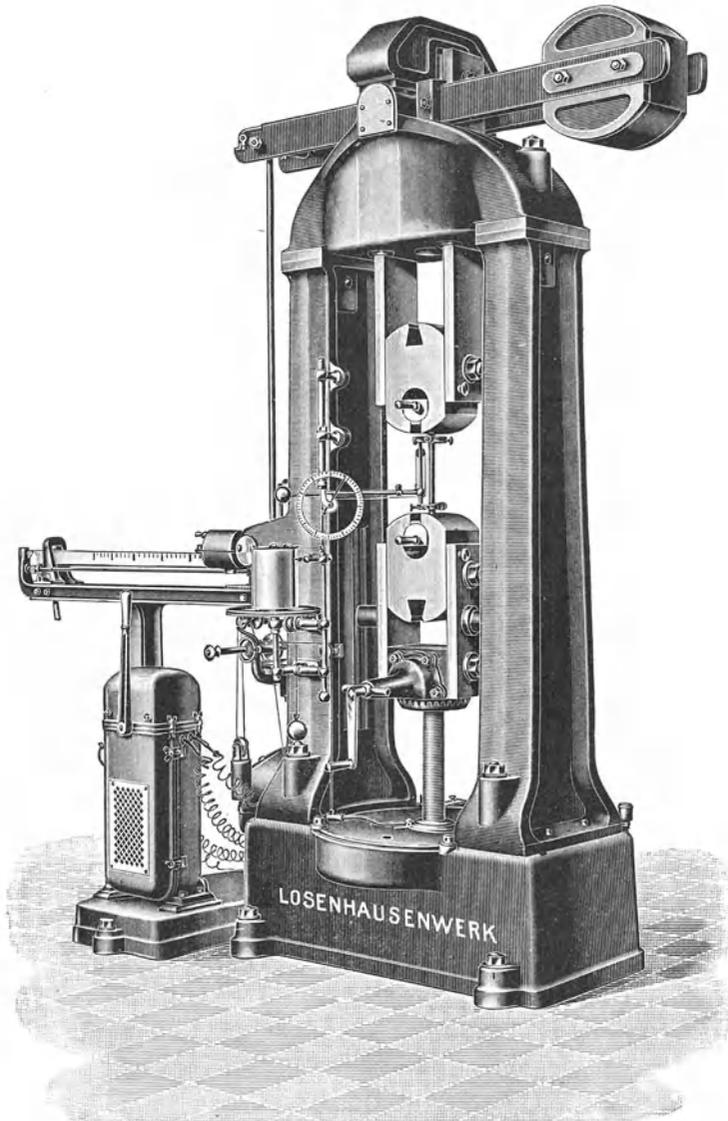


Fig. 220.

Die Kraftmessung geschieht mit einer Meßdose 6, auf deren Kolben 7 der obere Einspannkopf 8 die Stabkraft durch das Gehänge 9 überträgt. Die Meßdose, deren Einzelheiten aus Fig. 191 ersichtlich sind, ist auf den Säulen 10, 11 gelagert. Die Ablesung des Flüssigkeitsdruckes erfolgt an

dem Manometer 12, dessen Anzeige jederzeit durch das Kontrollmanometer 13 geprüft werden kann.

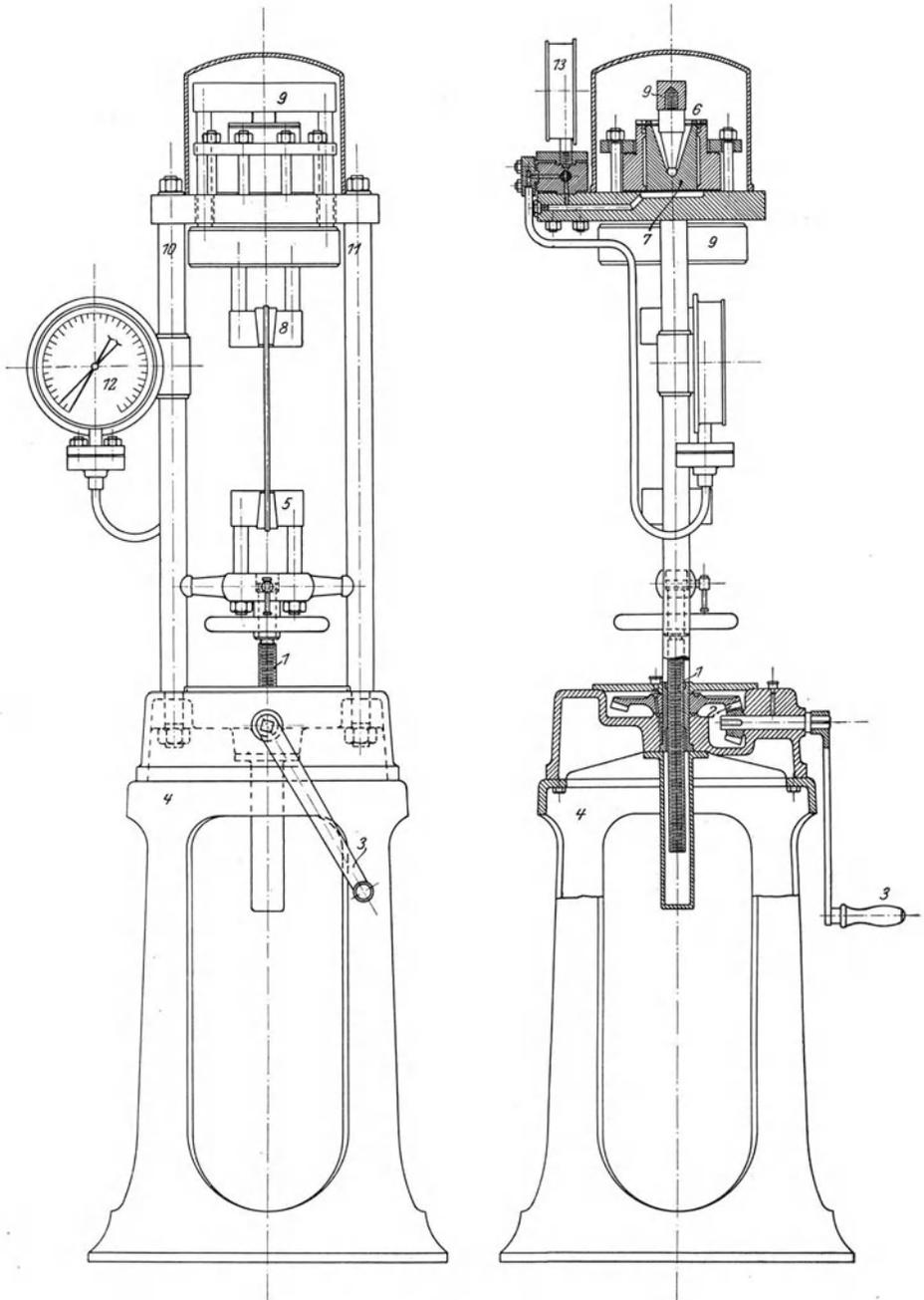


Fig. 221.

### § 140. Materialprüfungsmaschine für 50000 kg Zugkraft mit hydraulischem Antrieb.

Zur Krafterzeugung dient bei dieser Maschine (Fig. 222) eine in die Fundamentplatte eingebaute hydraulische Presse mit Handpumpe oder mit

Anschluß an eine Hochdruckleitung. Die Messung der Stabkraft geschieht mit einer Meßdose (Fig. 191), an deren Deckel der obere Einspannkopf mit einem Gehänge angebracht ist. Das linke Manometer wird für die Ableseung der Stabkraft und das rechte zur Kontrolle der Manometeranzeige benutzt.

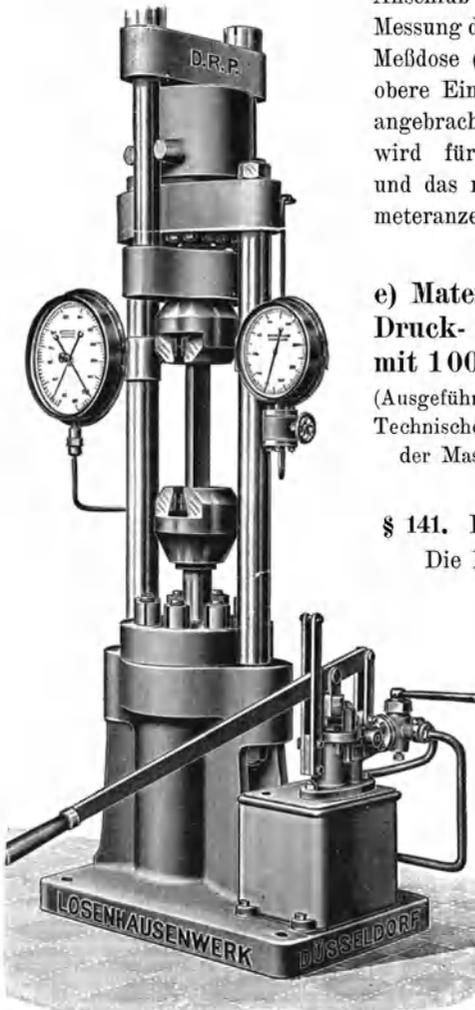


Fig. 222.

### e) Materialprüfungsmaschine für Druck- und Knickungsversuche mit 1000000 kg Kraftäußerung.

(Ausgeführt durch die Königl. Mechanisch-Technische Versuchsanstalt Dresden von der Maschinenfabrik vorm. Kühne in Dresden.)

### § 141. Beschreibung der Maschine.

Die Maschine ist eine hydraulische

Presse, deren Konstruktionseinzelheiten aus Fig. 223 ersichtlich sind. Als Kraftmesser dient ein Pendelmanometer, dessen Konstruktion bereits auf S. 188 eingehend beschrieben wurde. Der Zylinder 1, der Fundamentrahmen 2 und das obere Querhaupt 3 sind aus Stahlguß hergestellt, während der Kolben 4 aus Hartguß besteht. Hervorzuheben ist der Antrieb für die Höheneinstellung des

oberen Querhauptes. Es ist seitlich am Querhaupt ein Konsol 5 angebracht, auf dem ein Elektromotor 6 steht, dessen Tourenzahl durch eine Zentrator-Kupplung 7 von 600 auf 40 Umdrehungen pro Minute reduziert wird. Die Kupplung ist unmittelbar mit der Antriebswelle 8 für die Schnecken mit Schneckenrädern 9 verbunden, die an den Gewindebüchsen 10

**Materialprüfungs-  
maschine für Druck-  
und Knickungsversuche  
mit 1000000 kg  
Kraftäußerung.**

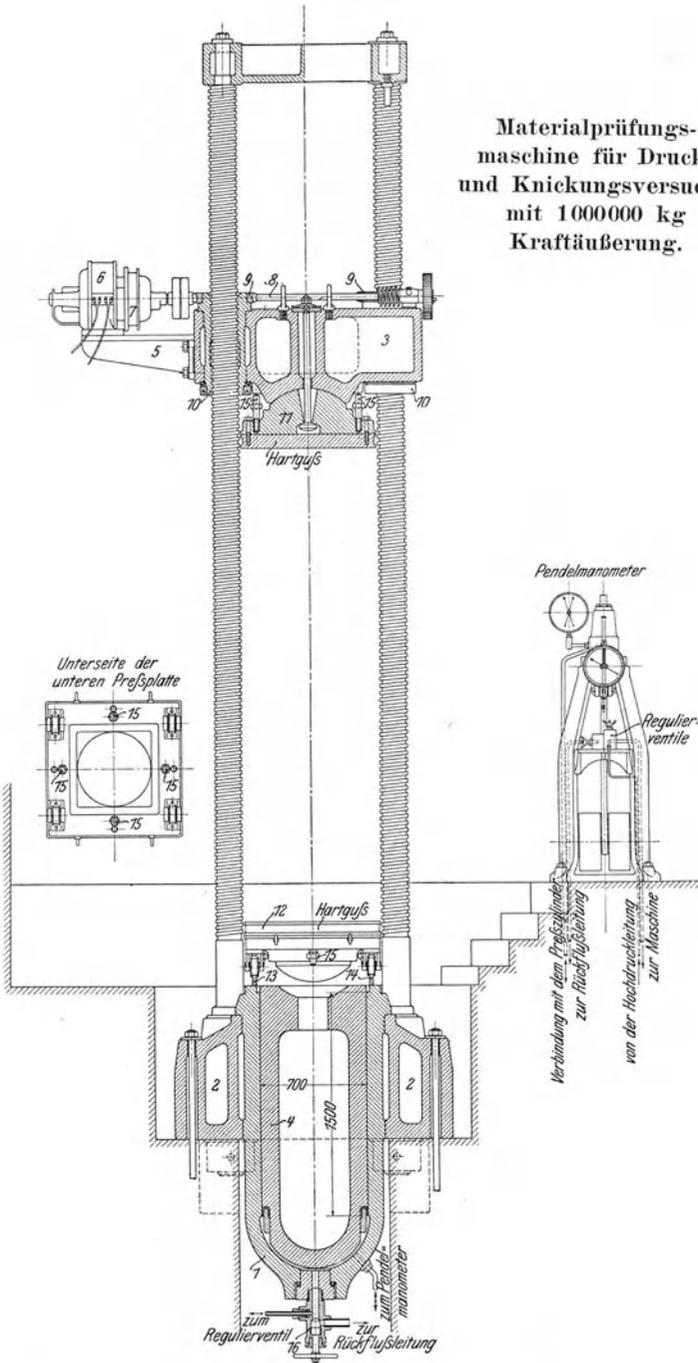


Fig. 223.

der vier Maschinensäulen befestigt sind, auf denen das Querhaupt ruht. Durch Umschalten der Drehrichtung des Motors kann das Querhaupt auf und nieder geschraubt werden. Die Maschine ist mit zwei in Kugelschalen beweglichen Preßplatten 11 und 12 versehen. Die obere 11 ist an dem oberen Querhaupt 3 aufgehängt, ohne daß ihre Beweglichkeit dadurch gehemmt wäre, und die untere ist mit Rädern versehen, mit denen sie sich auf Schienen 13 und 14 setzt, wenn der Kolben 4 entsprechend abgesenkt wird. Zum Ausrichten der Platten beim Einsetzen eines Probekörpers dienen die Preßschrauben 15. 16 ist ein Ventil zum schnellen Entleeren des Zylinders. Als Preßflüssigkeit wird Rizinusöl benutzt.

Die Prüfungsmaschine findet in erster Linie zur Prüfung von Mauerwerkskörpern (s. § 312), Brückengelenksteinen (s. § 315) und wegen ihrer großen Einspannlänge von 4,5 m zu Knickungsversuchen mit Säulen größeren Querschnittes Verwendung. Über die Zuverlässigkeit ihrer Anzeige s. S. 182.

## **f) Materialprüfungsmaschinen von Oskar Leuner in Dresden.**

### **§ 142. Allgemeines.**

Die Maschinen von Leuner haben als Krafterzeuger Schraubenspindeln mit Antrieb durch Zahnrädervorgelege oder auch hydraulische Pressen und als Kraftmesser Federn (s. § 119), deren Dehnungen unmittelbar auf einen Diagrammapparat übertragen werden. Die Maschinen sind für geringere Kräfte und in der Hauptsache für Zugversuche mit Textilerzeugnissen, Papier, Dachpappe usw. bestimmt. Sie werden aber auch mit Einrichtungen versehen, die die Ausführung von Zugversuchen mit Metallen und anderen Stoffen, sowie von Druck- und Biegeversuchen gestatten.<sup>1)</sup>

### **§ 143. Materialprüfungsmaschine für Zugversuche mit 3000 kg größter Kraftäußerung.**

Die neueste Ausführungsform der sogen. Leunerschen selbstregistrierenden Materialprüfungsmaschine mit stetiger Belastung und hydraulischer Federfangvorrichtung für Belastungen bis 3000 kg ist in Fig. 224 dargestellt.

Das Maschinengestell besteht aus den beiden U-Eisenschienen 1, 2 und den beiden Tragböcken 3, 4, die in ihrem oberen Teile zugleich als Widerlager für die Kraftaufnahme ausgestaltet sind. An dem Bock 4 greift der feste Einspannkopf 5, eine selbstschließende Hebelklemme, an, die sich bei steigender Beanspruchung des Probestreifens 6 fester zusammen-

<sup>1)</sup> Hartig hat seine grundlegenden Versuche mit diesen Maschinen ausgeführt.

Additional material from *Handbuch des Materialprüfungswesens für Maschinen- und Bauingenieure*,

ISBN 978-3-662-35757-6 (978-3-662-35757-6\_OSFO2),  
is available at <http://extras.springer.com>



zieht. Der andere Einspannkopf 7 befindet sich an dem zweirädrigen Zeichenwagen 8, dessen Räder in den U-Eisenschienen laufen. Er ist an dem Wagen nicht unmittelbar befestigt, sondern greift an ihm durch Vermittlung der Zugstange 9 an, die in der Schraubenspindel 10 des Krafterzeugers steckt. Dort stützt sie sich gegen die Stange 11, die zur Federfangvorrichtung 12 führt. Mit der Schraubenspindel 10 fest verbunden ist das Querstück 13, an dem die beiden Schraubenfedern 14, 15 des Kraftmessers angreifen. Mit dem anderen Ende hängen sie an dem Wagbalken 16, dessen Hauptachse auf dem Schreibwagen 8 befestigt ist. Die Krafterzeugung erfolgt von der Kurbel 17 mit dem Kegelradvorgelege 18 durch die Schraubenspindel 10. An dem Querstück 13 ist durch die Stäbchen 19, 20 in einer Geradföhrung der Schreibstift 21 angebracht. Er dient dazu, die Federdehnung auf dem Papier der Schreibtrommel 22 zu verzeichnen. Da der Schreibtrommel durch Vermittlung des Metallbändchens 23 gleichzeitig eine Drehung erteilt wird, deren GröÖe proportional der Dehnung des Probestreifens ist, stellt die Vereinigung beider Bewegungen das Arbeitsdiagramm dar. Die Übertragung der Dehnung auf die Trommel geschieht, wie oben erwähnt, durch das Metallbändchen 23, das mit der Klemme 24 an dem Probestreifen 6 befestigt ist. Von der Klemme 24 aus ist das Bändchen über die am anderen Ende des Probestreifens angebrachte Rolle 25 und weiter über die Rollen 31, 32 geleitet. Die Rolle 25 sitzt an der Klemme 26, die gleichzeitig zur Stützung des Lenkerstangensystems 27, 28 dient. Das Gewicht 33 an der Schreibtrommel 22 ist bestimmt, das Stahlbändchen 23 stets straff gespannt zu erhalten.

Die Vorbereitung der Maschine für einen Zugversuch geschieht in folgender Weise: Die Enden des Probestreifens, z. B. Dachpappe (s. § 300 g), werden um je einen Einlagebacken 34, 35 geschlungen und in die beiden Hebelklemmen 5, 7 eingeschoben. Sodann sind in die vorstehenden Ösen der Einlagebacken, hinter den Hauptklemmbacken, je zwei Stifte 36, 37 einzustecken, die dazu dienen, das Selbstschließen der Klemmen einzuleiten und zu sichern. Das feststellbare Querstück 38 ist im Maschinengestell alsdann so weit zurück zu bringen, bis das Probestück schwach gespannt ist. Hierauf wird die Federkapsel 39 auf der Nutenstange 40 bis an den Gestellbock 4 herangeschoben und die Gabelscheibe 61 in die hinter der Federkapsel zunächst gelegene Nut eingesteckt. Nunmehr befestigt man die Klemmen 24 und 26 an dem Probestreifen und verbindet das Lenkersystem mit diesem durch Einstecken des Stiftes 41 in die entsprechende Bohrung der Klemme 26. Das Stahlbändchen 23 hängt man mit seiner Öse an den Knopf der Klemme 24 und reguliert die Stahlbandlänge mit der Klemme 42 derart, daß das Belastungsgewicht 33 an der Schreibtrommel 22 sich in seiner höchsten Lage befindet. Hierauf spannt man den Probestreifen mit einer geringen Kraft, die das Anliegen aller Teile gewährleistet, entlastet wieder, ohne aber Lockerung in den be-

weglichen Teilen zu erzeugen, und zieht durch Nachlassen des Stahlbändchens 23 die Nulllinie auf dem Schreibpapier. Nun führe man den Zerreißversuch unter beständiger Beobachtung des Schreibapparates durch. Hierbei werden die Mefedern 14 und 15 proportional der entwickelten Zugkraft gedehnt, der Schreibstift entsprechend verschoben und die Schreibtrommel entsprechend der Verlängerung des Probestückes gedreht. Beim Bruche des Probestreifens tritt zur Verhinderung des plötzlichen Zurckschlagens der Federn die oben bereits erwähnte Federfangvorrichtung 12 in Wirksamkeit. Sie besteht aus einem Lenkersystem, das auf den Rollen 43, 44 in dem Maschinenrahmen gelagert und mit einer Flssigkeitsbremse versehen ist, deren Kolben an dem oberen Lenkerpaar 46, 47 aufgehängt ist. Durch das Querstück 50 ist das Lenkersystem an der Schraubenspindel 10 und mit dem Querstück 51 an der Fangstange 11 befestigt, die in der Bohrung der Schraubenspindel steckt und sich dort beständig gegen die Zugstange 9 stützt.

Die Wirkungsweise der Fangvorrichtung ist die folgende: Beim Zerreißversuch wird die Zugstange 9 des Schreibwagens aus der Schraubenspindel 10 herausgezogen. Infolge der Wirkung des Eigengewichtes des Zylinders 53 der Flssigkeitsbremse folgt die Fangstange 11 der Zugstange 9 nach. Dadurch wird die Kolbenstange 52 aus dem Zylinder 53 herausgezogen, was berstrmen der Flüssigkeit durch das Ventil 54 unter den Kolben zur Folge hat. Zerreißt der Probestreifen, so will die Zugstange zurückschnellen, trifft dabei aber auf die Fangstange 11, die den Stoß auf die Flssigkeitsbremse überträgt.

Will man sich bei der Dehnungsmessung damit begnügen, die Entfernungsänderung der Einspannköpfe als gesamte Längenänderung zu betrachten, so kann man das Stahlbändchen an den Zwischenbacken 55 hängen und das Lenkersystem 27, 28 an dem anderen Backen befestigen.

Zur Bestimmung der Mefederkraft, d. i. zur Eichung des Kraftanzeigers (s. § 157  $\beta$ ) dient die in Fig. 224 dargestellte Kontrollvorrichtung. Bei ihrer Benutzung ist das Querstück 38 mit der Nutenstange 40 aus dem Maschinengestell herauszunehmen und der Winkelhebel 56 auf den am Gestellbock 4 angebrachten Lagerbock zu setzen. Nach Ausbalancieren des Winkelhebels mit dem Gewicht 57 befestigt man an ihm die am Schreibwagen angebrachte Zugstange 58, hängt das Stahlband mit seiner se an den Gestellbock 4 der Maschine, stützt das Lenkersystem 27, 28 in der Bohrung 59 der Zugstange 58 und hängt bei 60 ein Kontrollgewichtsstck an den Winkelhebel. Bringt man alsdann den Hebel durch Bewegung des Krafterzeugers zum Einspielen, so entspricht die Länge des vom Schreibstift gezeichneten Striches der Federspannung, die durch das Gewicht hervorgebracht wird. Zum Ausmessen des Diagramms bedient man sich des in Fig. 224 dargestellten sogen. Mewinkels. Auf dem einen seiner Schenkel ist eine Millimeterteilung zum Messen der Dehnungen und auf dem andern der Kraftmastab zur Bestimmung der

Belastungen angebracht. Man legt den Meßwinkel derart auf das Diagramm, daß der Dehnungsmaßstab parallel neben der Nulllinie und der Nullpunkt des Kraftmaßstabes unmittelbar auf der Nulllinie liegt, verschiebt ihn alsdann bis zu der im Diagramm markierten Bruchstelle und liest in dieser Lage die Zerreißbelastung nebst der zugehörigen Dehnung ab. Wird immer die gleiche Meßlänge beim Zerreißversuch benutzt, so kann man auch den Maßstab für die Dehnungsmessung prozentual teilen und alsdann die Bruchdehnung unmittelbar in Prozenten der Meßlänge ablesen. Versieht man ferner noch das Papier des Schreibapparates durch parallele Linien mit einer Teilung, die dem Kraftmaßstabe entspricht, so kann man während des Zerreißversuches, wie bei jeder anderen Maschine mit direkter Kraftanzeige, die auf den Probekörper wirkende Belastung sofort ablesen.

### g) Materialprüfungsmaschinen von L. Schopper in Leipzig.

#### § 144. Zerreißmaschine zur Prüfung von Geweben, Dachpappen und dergl. mit 150 kg größter Kraftäußerung.

(Ausführung für die Königl. Mechanisch-Technische Versuchsanstalt Dresden.)

Die in Fig. 225 und 226 abgebildete Maschine besitzt einen hydraulischen Krafterzeuger und als Kraftmesser eine Neigungswage. Am Maschinengestell 1 ist der hydraulische Zylinder 2 befestigt, in dem der Kolben 3 steckt, der den unteren Einspannkopf 4 trägt. Die Einspannung geschieht durch Klemmung, indem man den Probestreifen 5 zwischen die zwei gezahnten Backen 6 schiebt und den beweglichen Backen mit der Preßschraube 7 festzieht. Das andere Ende des Probestreifens 5 befestigt man in gleicher Weise am oberen Einspannkopf 8, der an einer Gelenkkette 9 hängt und damit an dem kreisbogenförmig gekrümmten kurzen Arme 10 des Hebels 11 der Neigungswage angebracht ist. Die Neigungswage ist mit einer Rollenschneide bei 12 im Maschinengestell 1 gelagert und bei 14 durch ein Gewicht<sup>1)</sup> belastet. Die Größe des Pendelausschlages wird an der Skala 15 gemessen und an der Skala 16 wird die Dehnung des Probestreifens abgelesen. Sie wird durch das Zeigerwerk 17, das durch eine Zahnstange mit dem unteren Einspannkopf in Verbindung steht, übertragen.

Das Einspannen des Probestreifens und die Versuchsausführung geschehen in folgender Weise:

Man klemmt den Probestreifen 5 in dem oberen Einspannkopf 8 fest, stellt den unteren Einspannkopf 4 durch Verschieben der Stange 18 in der hohlen Stange 19 des Kolbens 3 der Länge des Probestreifens entsprechend ein und befestigt die Stange 18 durch Einsetzen des Stiftes 20. Jetzt klemmt man den Probestreifen 5 im unteren Einspannkopf fest, läßt durch Öffnen des Ventils 21 Flüssigkeit in den Zylinderraum 22 eintreten, wo-

<sup>1)</sup> Es sind drei verschieden große Gewichte vorhanden, damit der ganze Pendelausschlag für 50, 100 oder 150 kg benutzt werden kann.

durch die Kolbenstange 19 und somit der untere Einspannkopf nach unten gezogen wird. Durch geringe Anspannung des Probestreifens, die gleich dem Gewicht des unteren Einspannkopfes ist, wird der Hebel 23, der

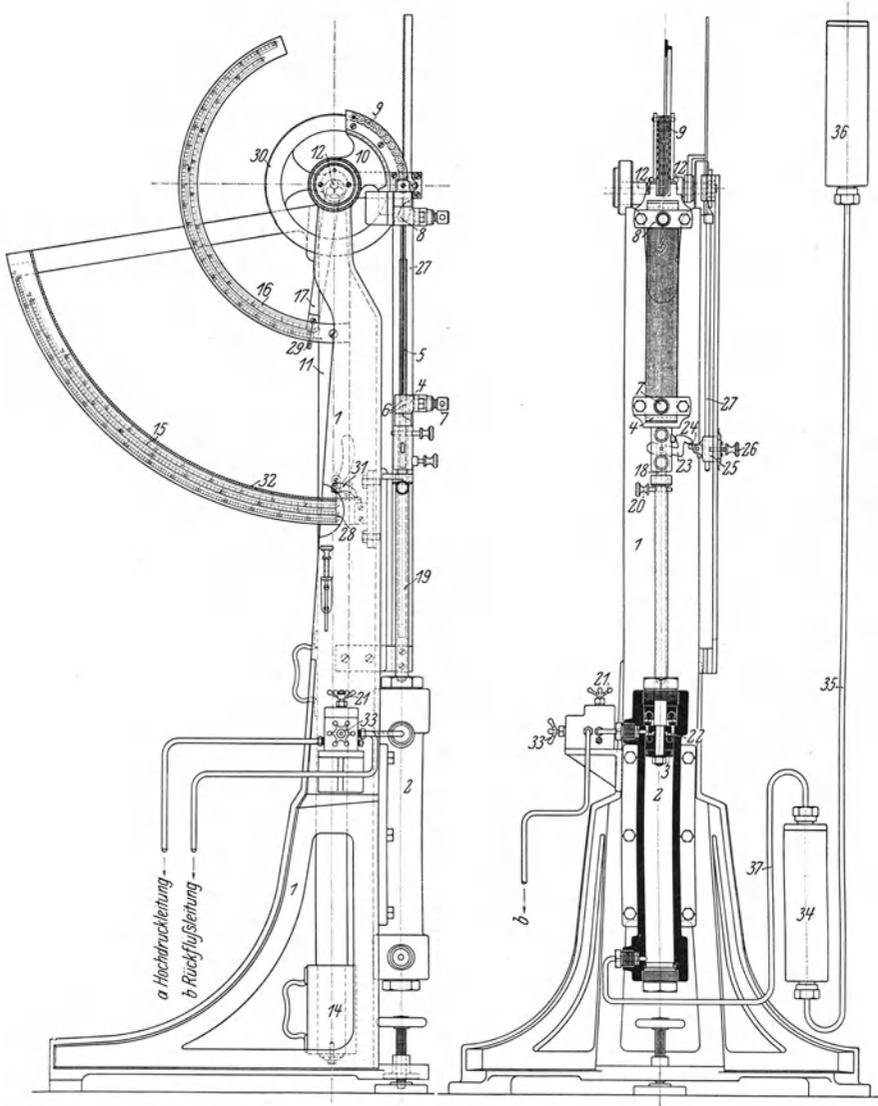


Fig. 225.

zwischen die Stange 18 und den Einspannkopf 4 geschaltet ist nach unten gedrückt, so daß er in die Bahn der Nase 24 am Schieber 25 kommt. Hierauf wird der Schieber unmittelbar an die Nase 24 herangeschoben und durch Anziehen der Schraube 26 mit der Zahnstange 27 gekuppelt.

Jetzt muß der Zeiger 28 der Neigungswage auf den Nullpunkt der Skala 15 und der Zeiger 29 auf den der Skala 16 einspielen. Belastet man alsdann den Probestreifen, so erfährt das Pendel der Neigungswage einen Ausschlag und der untere Einspannkopf wandert nach unten. Dadurch wird der Schieber 25 ebenfalls nach unten gezogen, und da der Radius des Zahnrades 30 gleich dem kurzen Hebelarm der Neigungswage ist, muß der Zeiger 29 so lange auf den Nullpunkt der Skala 16 einspielen, als keine Dehnung des Probestreifens eintritt. Dehnt sich der Probestreifen, so eilt der untere Einspannkopf dem oberen voraus und die Wegdifferenz, die gleich der Dehnung ist, markiert sich an der Skala 16. Durch den Bruch des Probestreifens tritt eine plötzliche Entlastung des unteren Einspannkopfes ein, die Ausklinken des Hebels 23 zur Folge hat. Dadurch bleibt der Schieber 25 stehen und man kann am Zeiger 29 die größte Dehnung des Probestreifens ablesen. Die Neigungswage verbleibt ebenfalls in ihrer höchsten Lage, da die Klinke 31 beständig in die Zahnstange 32 eingreift. Nach Schließen des Ventils 21 für den Flüssigkeitszufluß und Öffnen des Rückflußventils 33<sup>1)</sup> wird durch den auf der Unterseite des Kolbens 3 lastenden Flüssigkeitsdruck der Kolben 3 wieder gehoben. Da hierzu nur geringer Druck erforderlich ist, kann man in Ermangelung einer Niederdruckleitung ein Quecksilbermanometer verwenden, das aus dem Zylinder 34, der Röhre 35 und dem Zylinder 36 besteht. Der Zylinder 2 ist mit Flüssigkeit (Öl) gefüllt und steht mit dem Zylinder 34 durch das Rohr 37 ständig in Verbindung. Der Zylinder 34 enthält ebenfalls Öl, auf welchem der Druck des im Rohr 35 und Zylinder 36 befindlichen Quecksilbers lastet.

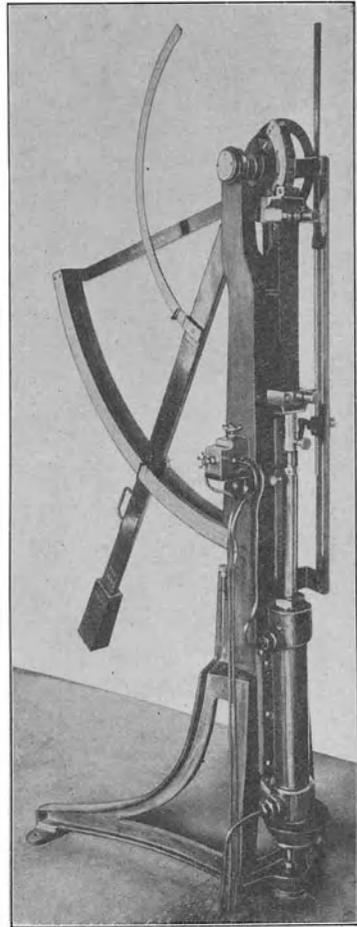


Fig. 226.

<sup>1)</sup> Die Konstruktion des Ventils ist aus Fig. 227 ersichtlich.

### § 145. Apparat zum Prüfen von Zementkörpern auf Zugfestigkeit.

Der Apparat (Fig. 228) besteht im wesentlichen aus den zwei in Schneiden gelagerten Hebeln 1 und 2, einer Schraubenfeder 3, einem Zeigerwerk 4, den Einspannklauen 5 und 6 und dem von der Kurbel 7 angetriebenen Krafterzeuger.

Der Probekörper 8 wird in die Einspannklauen 5 und 6 gehängt. Die untere (6) steht mit dem Krafterzeuger in Verbindung, der aus einem durch die Kurbel 7 angetriebenen Schneckenvorgelege mit Schneckenrad 9 und Schraubenspindel 10 besteht. Der Stift 11 dient zur Geradführung der Spindel 10 und

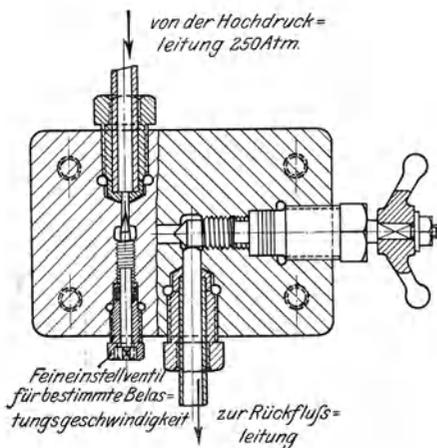
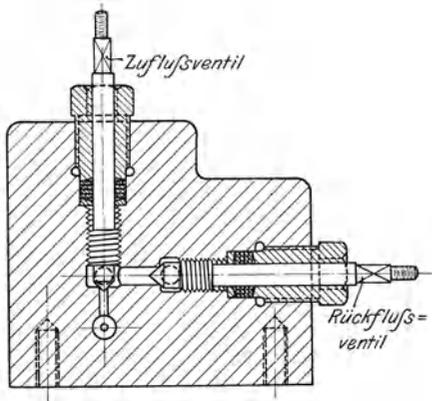


Fig. 227.

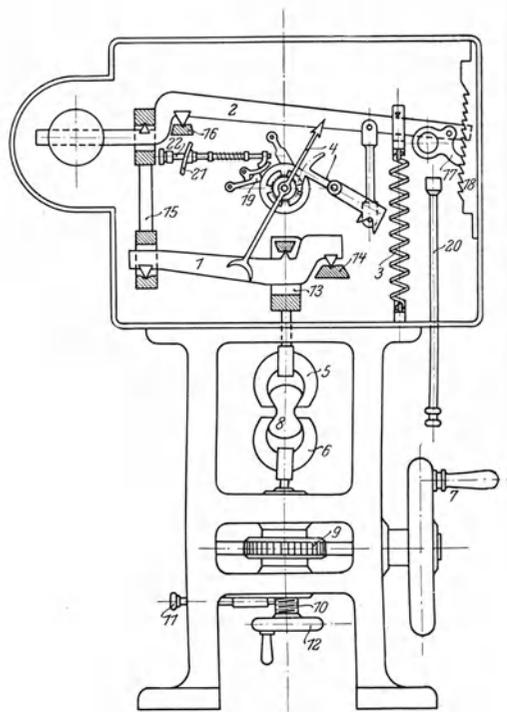


Fig. 228.

muß zurückgezogen werden, wenn die Höhenlage der Einspannklau 6 durch Drehen der Spindel 10 mit dem Handrad 12 geändert werden soll. Die obere Einspannklau 5 hängt mit dem Gehänge 13 an dem bei 14 im Maschinengestell gelagerten doppelarmigen Hebel 1, der die auf den Probekörper ausgeübte Zugkraft seinem Hebelverhältnis entsprechend verkleinert durch das Gehänge 15 auf den bei 16 gelagerten Hebel 2 überträgt. Als Widerstand greift an diesem Hebel die Feder 3

an, die um so mehr gespannt wird, je größer die Beanspruchung des Probekörpers wird. Die Dehnung der Feder 3 bzw. der Ausschlag des Hebels 2 wird durch ein am Hebel angebrachtes Zeigerwerk sichtbar gemacht und der Zeiger gestattet an zwei nebeneinander angeordneten Skalen die Ableseung der gesamten Zugkraft und der Zugfestigkeit des Probekörpers.

Beim Bruch wird das Zurückschnellen der Feder durch die Sperrklinke 17 verhindert, welche in die Zahnstange 18 eingreift. Der Zeiger wird durch den Exzenterhebel 19 in seiner Lage festgehalten. Nach Ableseung der Zeigerstellung beim Bruche werden zuerst durch Heben des Stiftes 20 die Hebel und dann durch Eindrücken des bei 21 am Apparatgehäuse befestigten Stiftes 22 der Zeiger auf die Nullage gebracht.

Der Apparat wird auch mit hydraulischem Antriebe versehen geliefert.

### **h) Materialprüfungsmaschinen**

**von J. Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen (Schweiz).**

#### **§ 146. Allgemeines.**

Die Firma J. Amsler-Laffon & Sohn baut Materialprüfungsmaschinen und Apparate sowie Instrumente für alle Zweige des Materialprüfungswesens als Spezialität. Die Maschinen zeichnen sich trotz ihrer hervorragenden Eigenschaften in bezug auf Einfachheit ihrer Handhabung und Zuverlässigkeit ihrer Anzeige durch Wohlfeilheit aus. Als Krafterzeuger finden hydraulische Pressen ohne Manschetten (s. § 115) oder bei den Maschinen für geringere Kräfte auch Schraubenspindeln mit Schnecken- oder Zahnradvorgelegen Verwendung. Die Kraftmessung erfolgt bei den größeren Maschinen auf hydraulischem Wege mit Quecksilbermanometern (s. § 122) oder mit Pendelmanometern (s. § 124). Kleinere Maschinen dagegen sind mit Neigungswage (s. § 118) ausgerüstet.

#### **§ 147. 50 t-Materialprüfungsmaschine für Zug-, Druck- und Biegeversuche.**

Die Maschine, deren Schema Fig. 229 zeigt, ist mit hydraulischem Krafterzeuger und Kraftmesser ausgerüstet. In den Zylinder 1 wird Drucköl gefördert, das den Kolben 2 aufwärts treibt und so die Kraft für Zug-, Druck- oder Biegeversuche hervorbringt. Der Zylinder 1 ist an dem oberen Teil des Gestelles 3 der Maschine befestigt. Auf dem Kolben 2 ruht das Querhaupt 4, das durch Gehänge 5 mit dem Balken 6 verbunden ist, der bei den Zerreißversuchen den oberen Einspannkopf 7 für den Probekörper 8 trägt. Das andere Ende von 8 wird im unteren Einspannkopfe 9 befestigt. Der Biegebalken 6 trägt die beiden Widerlager 10; die Stützschnelle 11 ist am Gestell 3 befestigt. Bei Druckversuchen tritt die obere Preßplatte an Stelle von 11. Die untere Preßplatte wird auf den Biegebalken 6 gelegt. Rechts am Untergestell 3 der Maschine befindet sich das Druckölventil 12. Dieses dient jedoch nur zum Heben und Senken

des Kolbens 2 zwecks Einstellung des Einspannkopfes 7 in passende Höhenlage. Die eigentlichen Steuerventile befinden sich am Druckmeßapparat

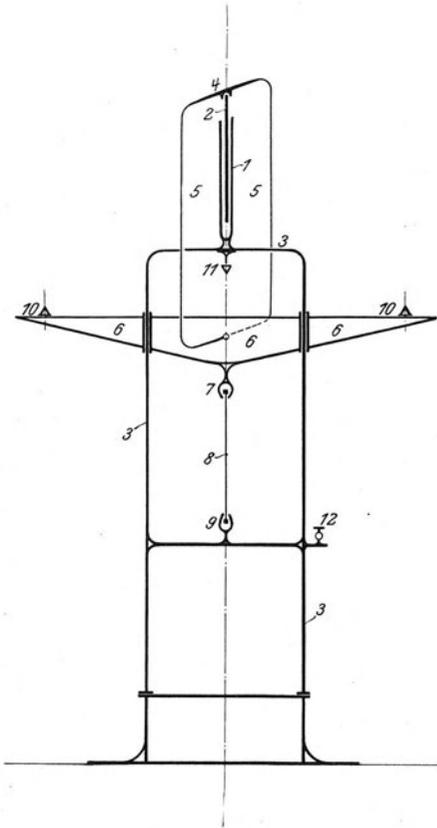


Fig. 229.

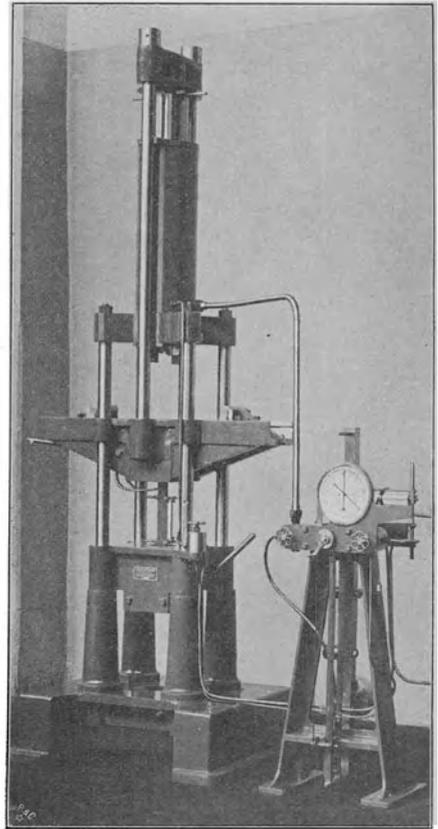


Fig. 230.

(Quecksilber- oder Pendelmanometer), der abseits von der Maschine aufgestellt ist. Ausführung der Maschine mit Pendelmanometer s. Fig. 230.

#### § 148. 30 t.-Materialprüfungsmaschine für Druckversuche mit Zerreißapparat für Zementprobekörper.

Die Maschine ist eine hydraulische Presse mit hydraulischem Kraftmesser. In den Zylinder 1 (Fig. 231) wird von der Druckpumpe 2 Öl getrieben, das den Kolben 3 aufwärts drückt. Auf dem Kolben 3 ruht in einer Kugelfläche die untere Preßplatte 4. Die obere Preßplatte 5 hängt an der Schraubenspindel 6 und kann mit Handrad 7 der Höhe des Probekörpers entsprechend höher oder tiefer eingestellt werden. Die Erzeugung der Druckkraft geschieht mit der Handpumpe 2, indem die als Kolben

ausgestattete Schraubenspindel 9 durch Drehen der Kurbel 10 in den mit Öl gefüllten Zylinder 11 getrieben wird. Der vom Kolben 3 auf die Preßplatte 4 ausgeübte Druck wird mit dem Quecksilbermanometer 12 gemessen, wobei der im Zylinder 1 herrschende Öldruck zuerst durch ein System von reibungslos spielenden Kolben 13 und 14 (s. § 122) herabgemindert wird.

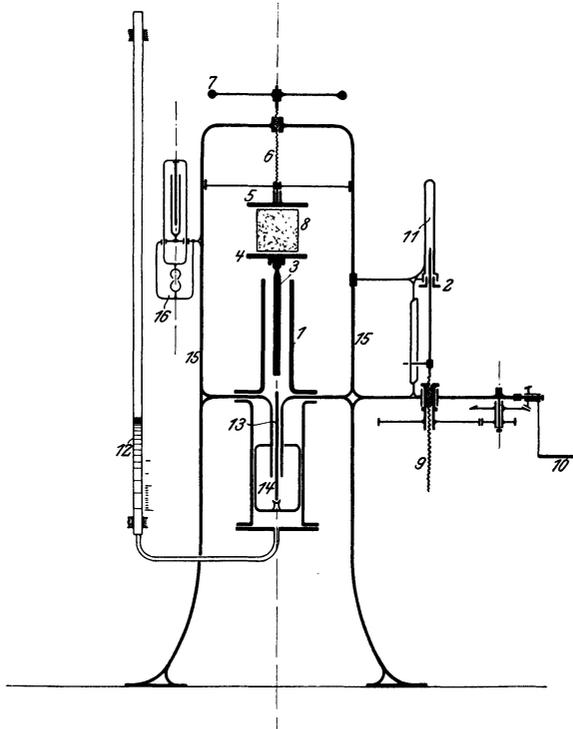


Fig. 231.

Links am Gestell 15 der Presse sitzt der kleine Zerreißapparat 16 für die Zementzerreißproben. Er wird ebenfalls hydraulisch mit der Handpumpe 2 betrieben und am Quecksilbermanometer 12 wird die Zerreißbelastung abgelesen. Fig. 232 zeigt die Ausführungsform der Maschine.

#### § 149. 5000 kg-Materialprüfungsmaschine für Zugversuche.

Das zu prüfende Probestück 1 (s. Fig. 233) wird an seinen beiden Enden in den Einspannköpfen 2 und 3 befestigt. Zur raschen Einstellung von 2 ist die Kurbel 4 mit dem konischen Räderpaar 5 und der Schraube 6 vorhanden. Der obere Einspannkopf 3 bildet ein Ganzes mit dem Querstück 7, das durch Gehänge 8 auf dem Kolben 9 ruht. Dieser spielt in dem auf dem Gestell 10 befestigten Zylinder 11. Bei auftretender Zugkraft am Einspannkopf 3 drückt der Kolben 9 auf das im Zylinder 11 enthaltene Öl. Der herrschende Flüssigkeitsdruck, das Maß der Zugkraft,

wird durch ein Rohr nach dem Druckmeßapparat geleitet. Die Ausübung der Zugkraft geschieht am Einspannkopf 2 durch Schraube 6 und Schneckengetriebe 12. Die Antriebscheibe 13 kann durch Riemen oder von Hand in Drehung versetzt werden; sie ist durch den Hebel 14 aus- und einrückbar.

Die Maschine der Dresdner Versuchsanstalt (s. Fig. 234) ist mit Quecksilbermanometer versehen und zur Vermeidung von Erschütterungen durch das Vorgelege für Feinmeß-Zugversuche an die Hochdruckölleitung angeschlossen. Die Flüssigkeit tritt durch das vorn an der Maschine (s. Fig. 234) befestigte Regulierventil in den Zylinder 11 ein (s. Fig. 233),

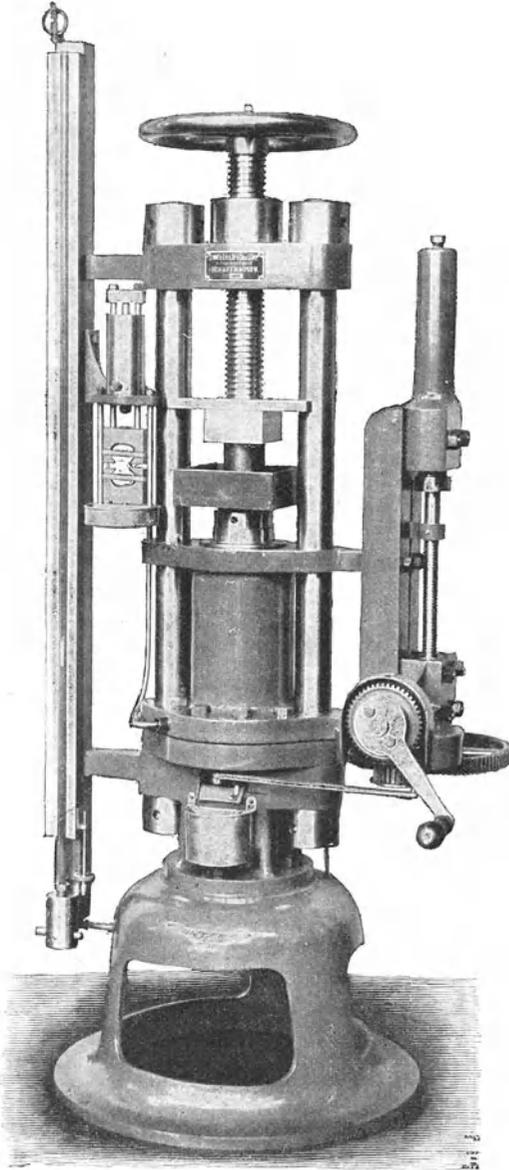


Fig. 232.

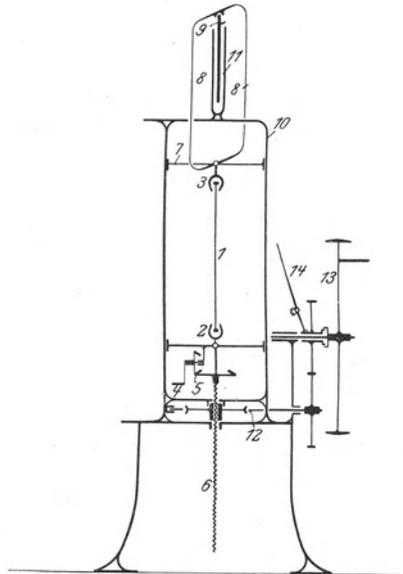


Fig. 233.

hebt dadurch den Kolben 9 und spannt das Probestück 1. Ein links am Manometer angebrachter Diagrammapparat, dessen Konstruktion in § 176

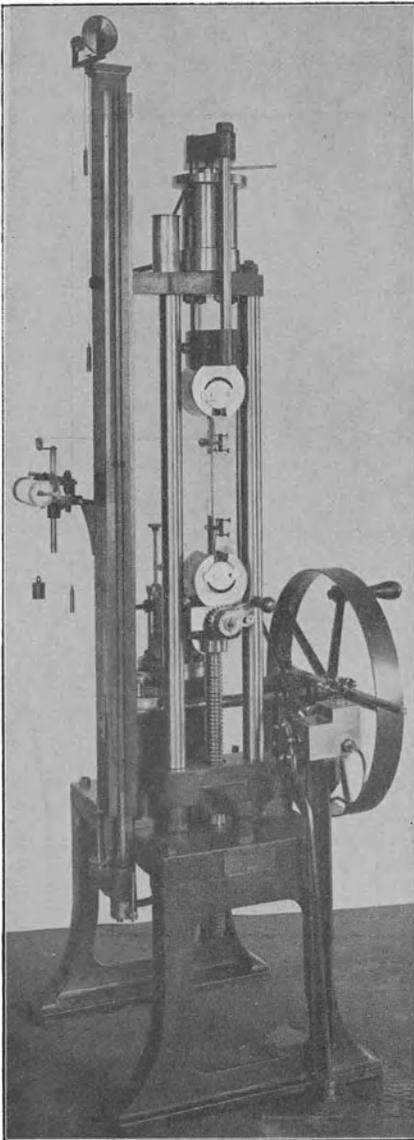


Fig. 234.

beschrieben ist, gestattet die Aufnahme von Arbeitsdiagrammen.

**§ 150. 1000 kg - Materialprüfungs-  
maschine für Zerreißversuche mit  
Diagrammapparat.**

Das Probestück 1 (Fig. 235) wird in den Einspannköpfen 2 und 3 festgehalten. Der Einspannkopf 2 wird während des Versuches durch Schneckengetriebe 4 und Schraubenspindel 5 mit Kurbel 6 langsam nach rechts bewegt. Die der Stablänge entsprechende grobe Einstellung des Einspannkopfes 2 wird bewirkt durch Verschieben des Schlittens 7 in dem Rahmen 8, die feine Einstellung durch Drehen der Spindel 5 mit Hilfe der Kurbel 9. Der Einspannkopf 3 ist am kurzen Arm des zweiarmigen Hebels 10 angehängt, der durch den Zaum 11 mit dem Pendel 12 ver-

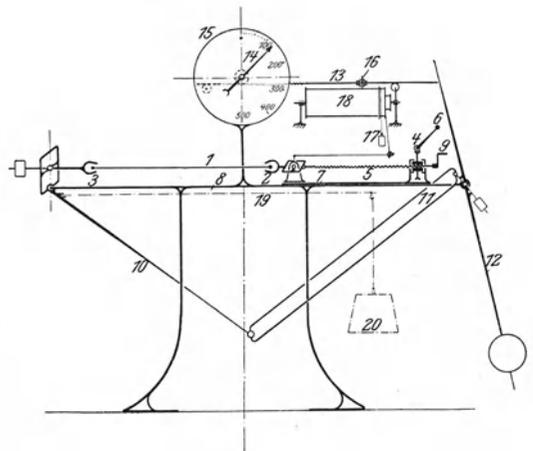


Fig. 235.

bunden ist. Bei Ausübung der Zugkraft auf den Probestab 1 wird das Pendel 12 nach rechts aus der Gleichgewichtslage getrieben. Die Neigung des Pendels, das Maß der Zugkraft, überträgt sich durch Zahnstange 13 auf die Achse des Zeigers 14 des Zifferblattes 15. Die Stange 13 trägt

den Schreibstift 16 zur Aufzeichnung des Diagrammes auf der durch Schnurlauf 17 angetriebenen Trommel 18.

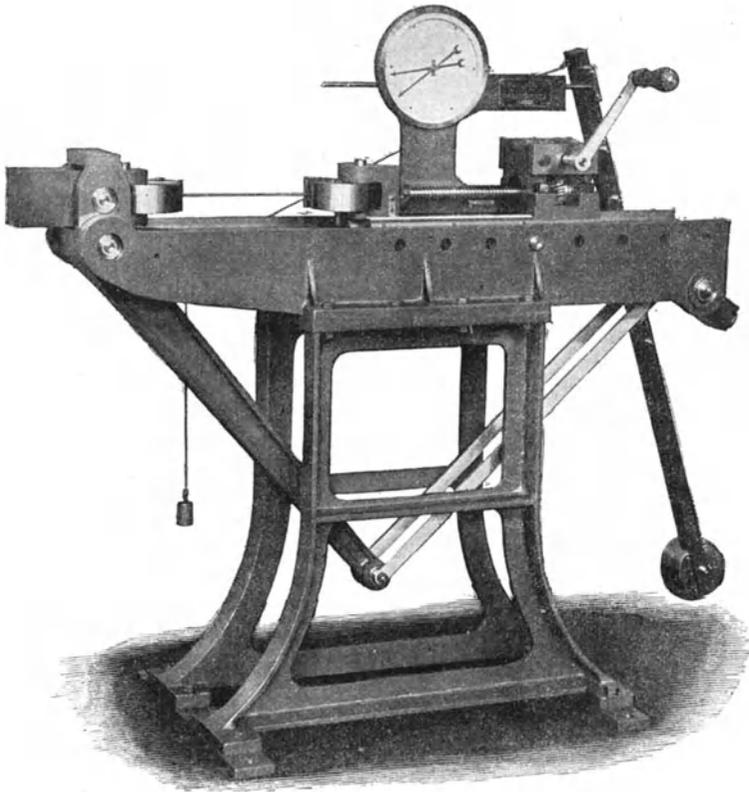


Fig. 236.

Zur Kontrolle der Maschine wird der horizontale Hebel 19 an dem Hebel 10 befestigt und an der Endschneide mit Gewichten 20 belastet. Die Ausführungsform der Maschine zeigt Fig. 236.

#### § 151. 2000 kg-Materialprüfungsmaschine für Biegeversuche.

Die Maschine ist eine hydraulische Presse mit Pendelmanometer. In dem auf dem Gestell 1 (Fig. 237) befestigten Zylinder 2 wird durch Drucköl der Kolben 3 aufwärts getrieben. Auf dem Kolben 3 ruht der Balken 4 mit den beiden Widerlagern 5 zur Aufnahme des Probestabes 6. Beim Steigen des Kolbens 3 wird der Probestab gegen die am Gestell 1 befestigte Stützschnede 7 gedrückt. Der Zeiger am Zifferblatt 9 zeigt die zum Biegen aufgewendete Kraft an. Die Übertragung des im Zylinder 2 herrschenden Flüssigkeitsdruckes auf den Zeiger am Zifferblatt 9 geschieht durch ein Pendelmanometer (s. § 124) mit Kolben 10, Zaum 11 und

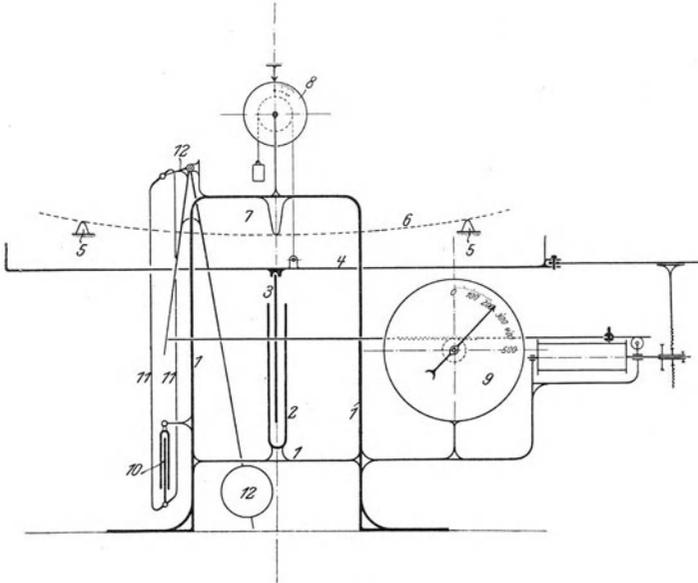


Fig. 237.

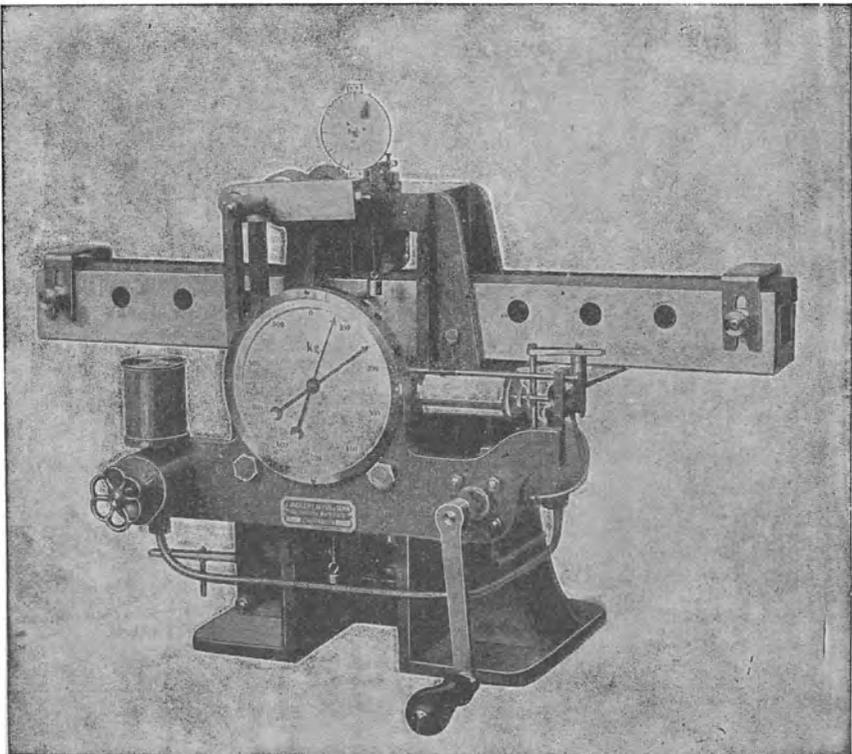


Fig. 238.

Pendel 12. Dieser Meßapparat bewirkt auch die Aufzeichnung der Kraft am Schreibapparat. Die Durchbiegung des Probekörpers 6 wird am Zeigerapparat 8 als Annäherung der Widerlager 5 an die Stützschnede 7 gemessen.

Die Ausführungsform der Maschine ist aus Fig. 238 ersichtlich.

### § 152. Biegemaschine für Beanspruchung durch verteilte Lasten.

Auf dem durch Querrippen versteiften I-Balken 1 (Fig. 239) stehen eine Anzahl Preßzylinder 2 von gleicher Bohrung. Unter der Wirkung der Druckflüssigkeit steigen die Kolben 3 in allen Zylindern gleichmäßig in die Höhe und drücken von unten gegen den Probekörper 4, der sich gegen zwei Schneiden 5 lehnt. Auf jedem Kolben 3 ist die Schneide 6 gelagert. Jeder Zylinder 2 steht als Ganzes allseitig beweglich auf der Unterlage 7. Um Stabilität des ganzen Systems zu bewahren, wird einer der Zylinder festgestellt. Die beiden Widerlager-Schneiden 5 lassen sich der

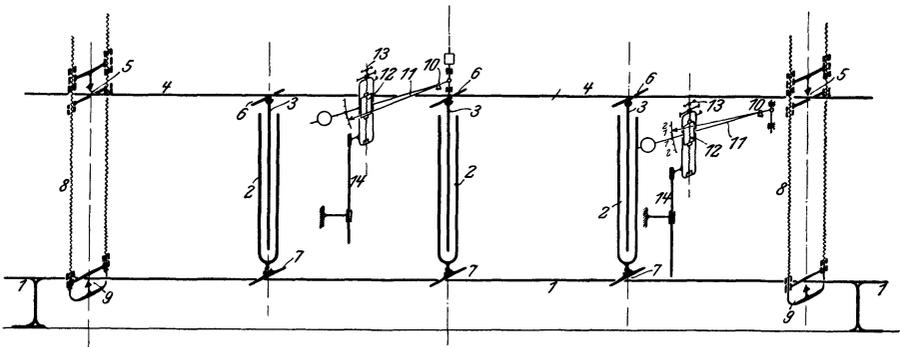


Fig. 239.

oberen Fläche des Probekörpers 4 anpassen. Die beiden Rahmen 8 sind auf dem Balken fahrbar. Beim Steigen der Druckkolben 3 lehnt sich der Probekörper 4 gegen die beiden Schneiden 5 und drückt das Querstück 9 wälzend gegen den I-Balken 1. Zur Druckmessung dient ein Pendelmanometer.

Zur Messung der Biegung des Probekörpers 4 dienen Zeigerapparate. Sie bestehen aus Tastern 10, die in passender Entfernung voneinander festgeklemmt werden. Jeder Taster besteht aus dem Fühlhebel 11, der den Probekörper berührt. Der Fühlhebel 11 wird von dem Schlitten 12 getragen, der mit Mikrometerschraube 13 so auf- und abwärts bewegt wird, daß der Zeiger des Fühlhebels auf eine Marke einspielt. Der Taster 10 läßt sich auf der ihn tragenden Stange 14 drehen, wird jedoch beim Messen in einer bestimmten Lage gesichert.

Fig. 240 zeigt die Ausführungsform der Maschine und die an den Probekörper (I-Träger) angesetzten Tasterapparate.

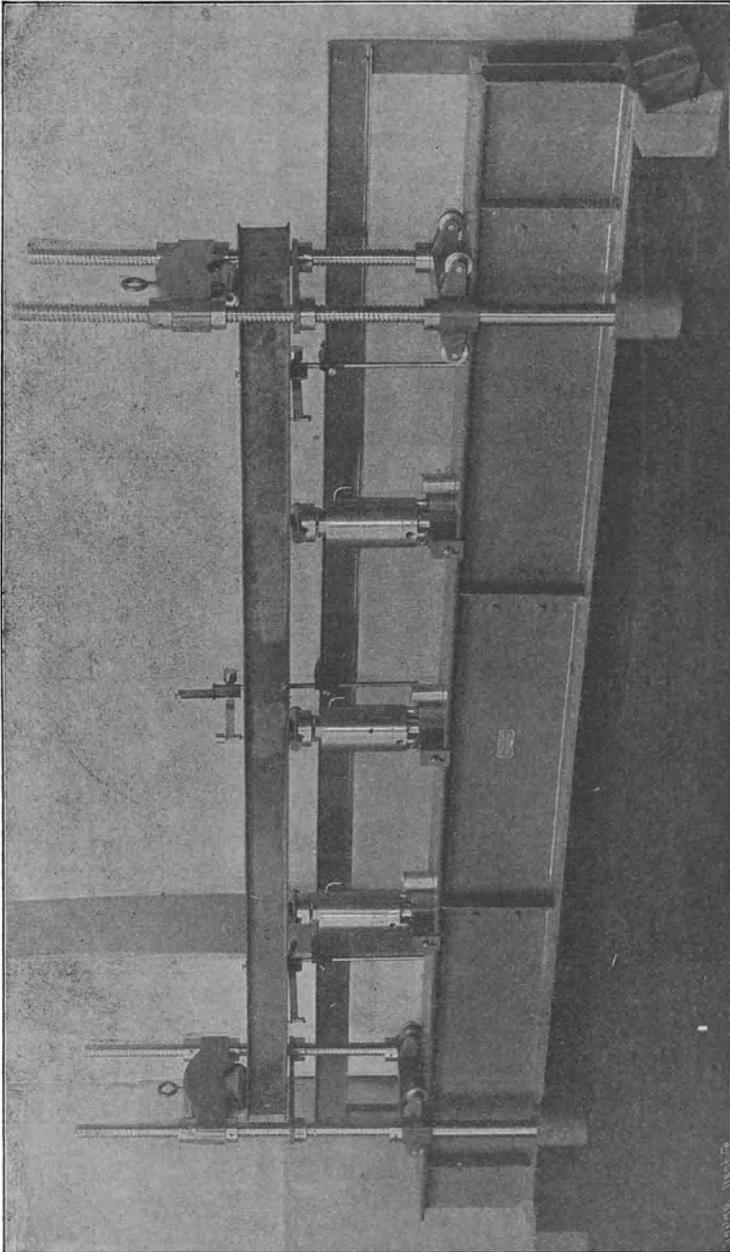


Fig. 240.

**§ 153. 150 mkg-Torsionsmaschine mit Diagrammapparat.**

Die Enden des Probstabes 1 (Fig. 241) werden in den Einspannköpfen 2 und 3 festgehalten. Zur Ausübung der Torsion dient das

Schneckengetriebe 4. Schneckenrad 5, Welle 6 und Einspannkopf 2 bilden ein Stück. Der Einspannkopf 3 bildet ein Stück mit der horizontalen Stange 7, die sich zwar in der Nabe 8 des Pendels 9 verschieben läßt, aber durch Feder und Nut gegen Drehung in der Nabe gesichert ist. Bei Ausübung einer Drehkraft auf den Probestab 1 neigt sich das Pendel 9. Die Abweichung des Pendels aus der Gleichgewichtslage ist das Maß der Torsionskraft, die auf einer eingeteilten Scheibe 10 abgelesen wird. Bei Verlängerung oder Verkürzung des Probestabes 1 können sich die Pendellager auf einem Wagen 11 in der Richtung der Achse des Probe-

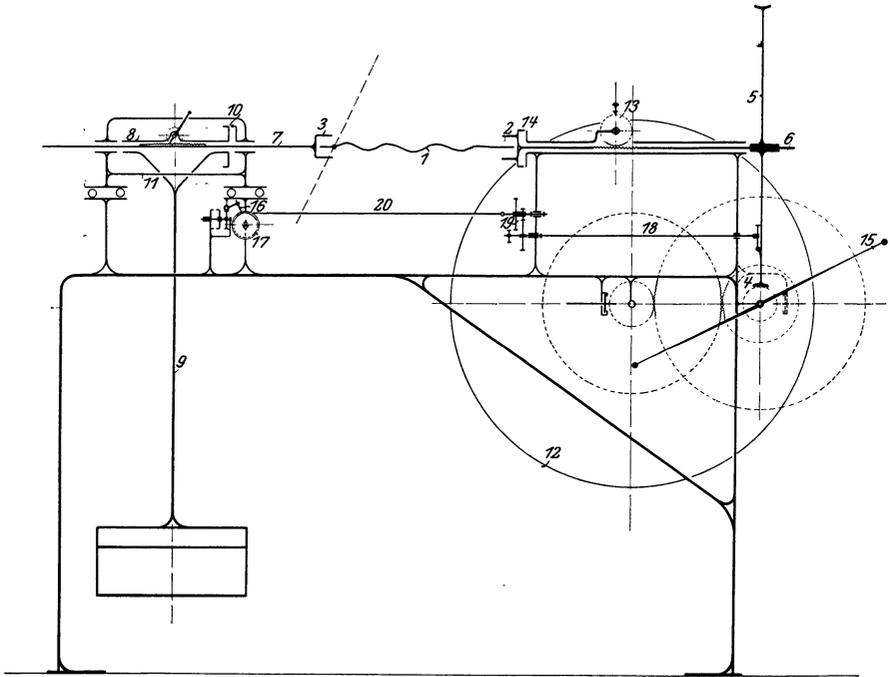


Fig. 241.

stabes verschieben. Ebenso ist der Einspannkopf 3 durch die an Stange 7 angebrachte Zahnstange in dieser Richtung verschiebbar. Der Antrieb der Maschine geschieht durch eine Riemenscheibe 12 maschinell oder von Hand durch eine Kurbel und wird durch Stirnradübersetzung auf die Schneckenwelle übertragen. Die ganzen Umdrehungen des Einspannkopfes 2 werden an dem Zähler 13, die Bruchteile an der Scheibe 14 abgelesen. Zum genauen Einstellen des Schneckenrades 5 beim Einspannen von 1 dient ein Handrad 15. Das Diagramm wird durch den Schreibstift 16 auf die Trommel 17 gezeichnet, die von 5 aus durch die Welle 18, das Zahnradvorgelege 19 und Welle 20 in Umdrehung versetzt wird.

Als Kontrollvorrichtung wird ein am Einspannkopf 3 befestigter Hebel (strichpunktiert gezeichnet) direkt mit Gewichten belastet.

Die Ausführungsform der Maschine zeigt Fig. 242.

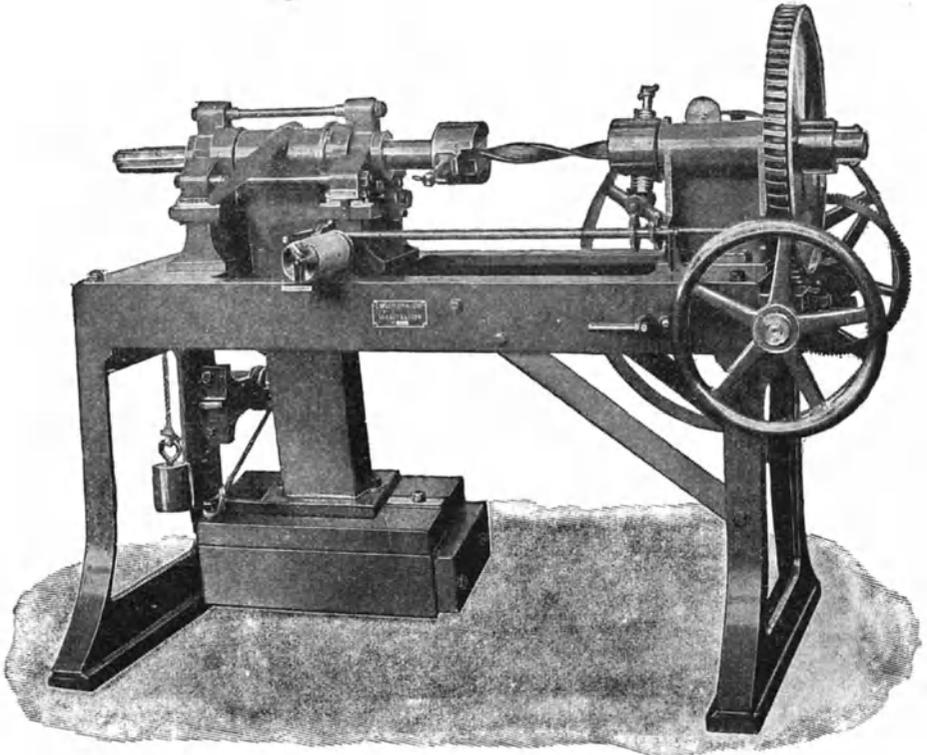


Fig. 242.

### § 154. 6 mkg-Torsionsmaschine.

Die Enden des Probestabes 1 (Fig. 243) werden in zwei Futter 2 und 3 festgeklammt. Das Einspannfutter 2, durch die Kurbel 4 gedreht, verwindet das Probestück 1. Die Anzahl der Verwindungen überträgt sich durch die Kurbelwelle auf den Zähler 6; die Bruchteile sind an der eingeteilten Scheibe 5 ablesbar. Das Ausrücken der Kurbel 4 erlaubt das Futter 2 rasch zu drehen. Das Einspannfutter 3 sitzt auf der Drehachse 7 des Pendels 8. Bei Verwindung des Probestückes 1 neigt sich das Pendel 8. Die Größe dieser Abweichung, das Maß des Torsionsmomentes, wird an der eingeteilten Scheibe 9 angezeigt. Die Pendelbewegung überträgt sich durch Stange 10 auf die eingeteilte Scheibe 11, die das Torsionsmoment anzeigt; ein Nonius gibt die Bruchteile an. Der Schieber 12 zeigt beim Bruch des Probestückes 1 das größte Torsionsmoment an. Die Stange 19 mit dem Schreibstift 13 verschiebt sich bei der Pendelbewegung horizontal auf der von der Kurbelwelle in gleichmäßige Umdrehung versetzten Trommel

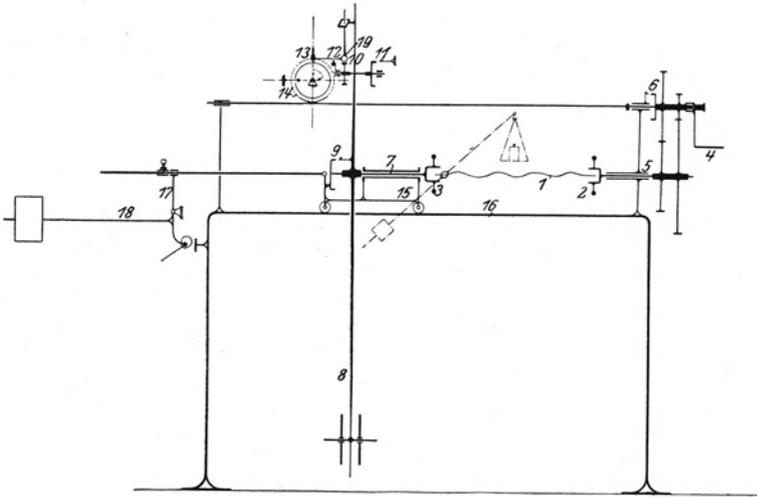


Fig. 243.

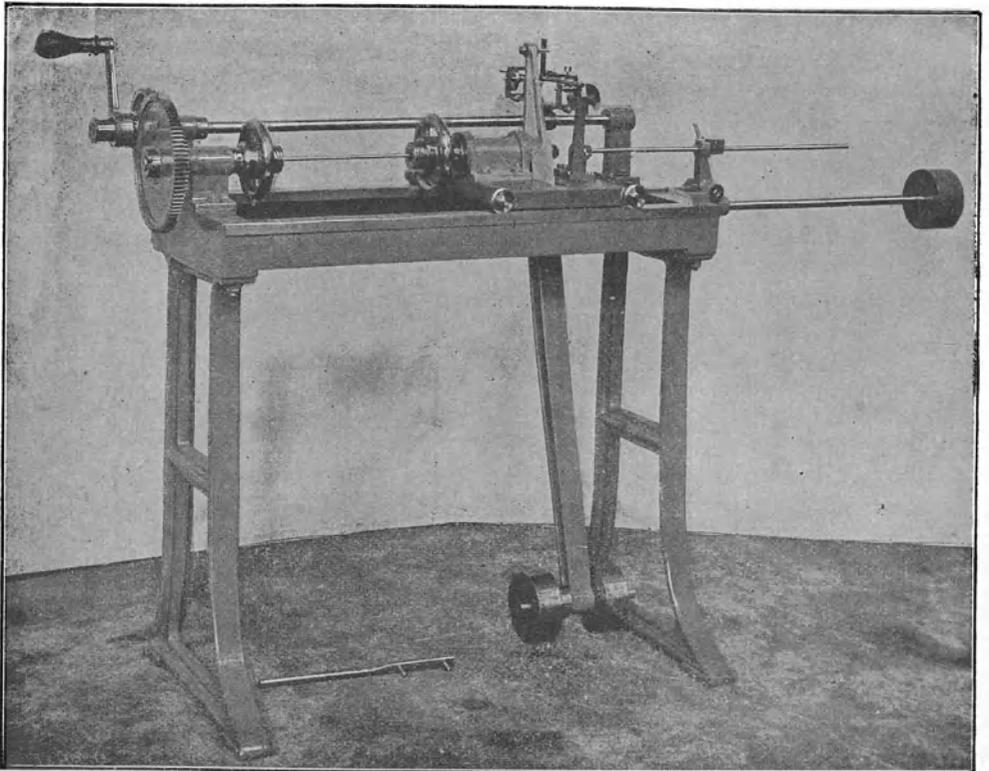


Fig. 244.

14 und zeichnet das Diagramm. Das Pendel 8 samt dem Diagrammapparat wird von dem Wagen 15 getragen und kann, der Länge des Probestückes entsprechend, auf dem Tisch 16 verschoben werden. Der Wagen 15 ist an den Winkelhebel 17 angehängt, dessen horizontaler, durch ein Laufgewicht belasteter Arm 18 das Bestreben hat, das Probestück 1 in richtiger Spannung zu halten.

Zur Kontrolle der Maschine dient ein am Einspannfutter 3 anzubringender Hebel (strichpunktiert gezeichnet) mit Gewichts-Belastung.

Die Ausführungsform der Maschine ist aus Fig. 244 ersichtlich.

### § 155. Umschlag-Apparat.

Das Probestück 1 (Fig. 245) wird durch die Öffnung eines Mitnehmers 2 am Zahnrad 3 in den horizontal angeordneten Spalt 4 des

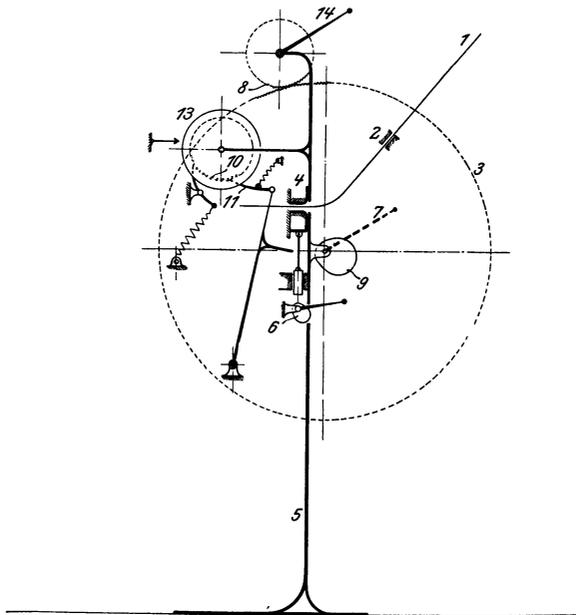


Fig. 245.

Apparat-Gestells 5 gesteckt und durch Drehen des Exzenters 6 festgeklemmt. Die Biegung wird bewirkt durch Hin- und Herbewegen des Mitnehmers 2. Dies geschieht rasch oder langsam, je nachdem die Achse des Zahnrades 3 durch Kurbel 7 direkt oder mit Übersetzung 8 durch Kurbel 14 bewegt wird. Auf der Achse von Zahnrad 3 sitzt das Exzenter 9, das die Schaltung des Zahnrades 10 durch Sperrklinke 11 hervorbringt. Die Anzahl der Hin- und Herbewegungen ist an dem Zähler 13 ablesbar.

Fig. 246 zeigt die Ausführungsform der Maschine.

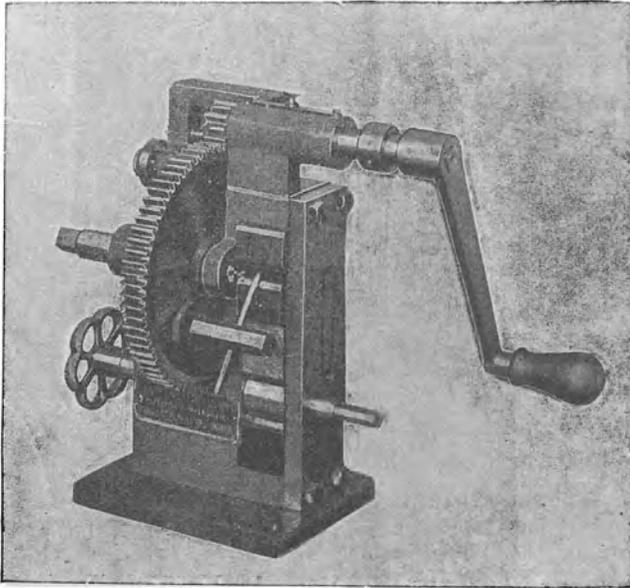


Fig. 246.

## IV. Die Kontrolle der Materialprüfungsmaschinen.

### § 156. Allgemeines.

Ein wichtiger Faktor im Materialprüfungswesen ist die Kontrolle der Prüfungsmaschinen hinsichtlich der Richtigkeit ihrer Anzeigen. Selbst sehr gute und sorgfältig durchkonstruierte Maschinen sind wertlos, wenn nicht die Möglichkeit geboten ist, die Zuverlässigkeit der mit ihnen gewonnenen Versuchsergebnisse jederzeit zu kontrollieren. Fast alle Prüfungsmaschinen und in besonders hohem Maße diejenigen, welche als Kraftmesser eine Wage (Feder- oder Hebelwage) besitzen, erleiden durch den Gebrauch Veränderungen. Maschinen mit Kraftmessung durch Federwagen, wo die Zusammendrückung bzw. Dehnung oder die Biegung der Feder als Maß für die Kraftäußerung gilt, werden schon durch Temperaturänderungen und Ermüdung des Federmaterials beeinflusst. Ihre Anzeige wechselt stets und um so mehr, je komplizierter der Zwischenmechanismus ist, der die Ablesevorrichtung mit der Feder verbindet.

Bei den Maschinen mit Hebelwage als Kraftmesser erleiden die Schneiden durch die häufig wechselnden Belastungen Abnutzungen oder dringen in die Widerlager ein. In jenem Falle ändert sich das Übersetzungsverhältnis des Waghebels je nach der Art der Abnutzung und in diesem die Empfindlichkeit der Wage. Beides veranlaßt jedenfalls Ver-

änderungen der Meßvorrichtung, was falsche Versuchsergebnisse zeitigt. Die geringsten Veränderungen erleiden diejenigen Maschinen, bei denen die Kraft auf hydraulischem Wege durch Quecksilbermanometer (Amslersche Maschinen) gemessen wird. Es ist nur erforderlich, Kolben und Zylinderflächen der Maschinen sauber zu halten und vor Beschädigungen zu bewahren. Wo dagegen zur Messung des hydraulischen Druckes Federmanometer Anwendung finden, ist ständige Prüfung der Maschinen unerlässlich.

Selbstverständlich ist auch bei sorgsamster Pflege der Materialprüfungsmaschinen vollkommene Genauigkeit niemals erreichbar und auch nicht notwendig. Es genügt, wenn die Maschinen eine Genauigkeit von  $\pm 1\%$  in der Kraftanzeige besitzen, weil unsere Materialien selbst nicht homogen sind und wesentlich größere Verschiedenheiten in ihren Eigenschaften zeigen.

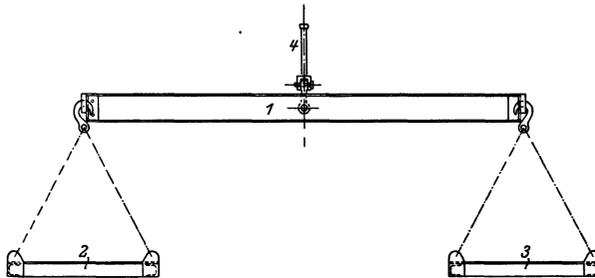


Fig. 247.

Zur Prüfung der Maschinen werden folgende Verfahren benutzt:

1. Belastung der Maschine mit bekannten Gewichten:
  - a) direkte Belastung;
  - b) Belastung unter Benutzung einer zwischengeschalteten Hebelvorrichtung.
2. Vergleichung der zu prüfenden Maschine mit einer anderen:
  - a) durch Benutzung einer hydraulischen Presse mit Manometer, die zwischen die Einspannvorrichtungen der Maschine geschaltet wird;
  - b) unter Verwendung eines Kontrollstabes, dessen elastische Dehnungen entweder bei Belastung durch Gewichte oder bei Prüfung in einer Materialprüfungsmaschine mit bekanntem Fehler bestimmt wurde.

### § 157. Prüfung durch Gewichtsbelastung.

#### a) Direkte Belastung.

Diese Prüfungsmethode ist bei allen Vertikalmaschinen anwendbar, wenn die Maschinen auf sicherem Untergrunde fundiert sind und somit Schiefstellen ausgeschlossen ist. Zu beachten ist dabei, daß die Last genau in der Mittellinie der Einspannvorrichtung der Maschine angreift. Es empfiehlt sich, eine Vorrichtung zu benutzen, wie sie Fig. 247 zeigt. An den Enden des Trägers 1 befinden sich Schalen 2 und 3, die zur Aufnahme

der Belastungsgewichte bestimmt sind. In der Mitte des Trägers 1 greift die nach allen Richtungen drehbare Aufhängevorrichtung 4 an, mit der die Belastungsvorrichtung an dem die Kraftmessung vermittelnden Einspannköpfe der Maschine angeordnet wird.

Bei der Eichung verfährt man in der Weise, daß die auf Nullanzeige genau und leicht spielend eingestellte Prüfungsmaschine stufenweise mit der Kontrollvorrichtung belastet und die Angabe des Kraftanzeigers mit dem jeweiligen wirklichen Gewichte der Vorrichtung verglichen wird. Wie ohne weiteres ersichtlich ist, kann eine derartige Vorrichtung nur für Belastungen beschränkter Größe benutzt werden, weil die Bewegung größerer Gewichte und ihre Unterbringung auf den Gewichtsschalen Schwierigkeiten bereiten.

b) Belastung unter Benutzung einer zwischengeschalteten Hebelvorrichtung.

Neben dem Vorteil der Möglichkeit höherer Probelastungen bieten diese Vorrichtungen den Vorzug allgemeiner Anwendbarkeit. Sie sind nicht nur, wie die unter a genannten, bei Vertikalmaschinen, sondern auch bei solchen horizontaler Anordnung benutzbar.

Ihr Konstruktionsgrundsatz ist aus Fig. 248 und 249 ersichtlich.

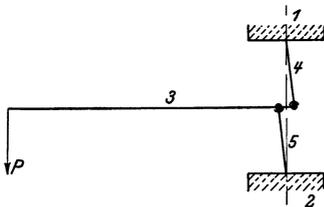


Fig. 248.

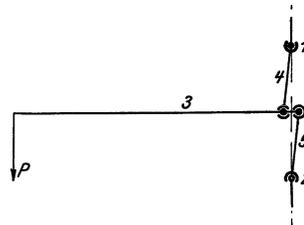


Fig. 249.

Zwischen die beiden Preßplatten oder Einspannköpfe 1 und 2 der Materialprüfungsmaschine wird der doppelarmige Hebel 3 mit den Stützen bzw. Zugstangen 4 und 5 und dem am Ende des Hebels angebrachten Kontrollgewichte  $P$  eingeschaltet. Die Größe des auf die Preßplatten bzw. Einspannköpfe 1 und 2 ausgeübten Druckes ergibt sich durch Multiplikation des Kontrollgewichtes  $P$  mit dem Übersetzungsverhältnisse des Hebels. Die Anwendungsweise dieser Kontrollvorrichtungen zeigen Fig. 212 und 224.

§ 158. Prüfung durch Vergleichung der zu prüfenden Maschine mit einer anderen:

a) Unter Verwendung einer hydraulischen Presse.

Diese Prüfungsmethode eignet sich in erster Linie für solche Maschinen, welche Einrichtungen für Druckversuche besitzen, und ist überall dort anwendbar, wo eine genau anzeigende Materialprüfungsmaschine neben der zu prüfenden zur Verfügung steht.

Zwischen die Preßplatten 1 und 2 der zu prüfenden Maschine wird die hydraulische Presse geschaltet (s. Fig. 250), welche sich mit dem Zylinder 3 einerseits und dem Kolben 4 andererseits unter Vermittlung der kugelig gelagerten Platte 5 und 6 gegen die Preßplatten stützt. Durch die Rohrleitung 7 wird Flüssigkeit in den Zylinder eingepreßt und mit Kontrollmanometer 8 der entstehende Druck gemessen. Durch Vergleichung der Manometeranzeigen der Presse mit den Kraftanzeigen der zu prüfenden Maschine und mit den Anzeigen der Maschine mit bekanntem Fehler läßt sich der Fehler der ersteren berechnen.

Vorteilhafter bei dieser Eichungsmethode ist die Verwendung einer geeichten Meßdose (s. § 123), weil diese in ihrer jetzigen Vollkommenheit bei sorgfältiger Ausführung selbst als Meßinstrument benutzt werden kann und somit die bei der Presse vor jedem Versuche erforderliche Eichung wegfällt.

b) Unter Benutzung eines  
Kontrollstabes.

Die Maschinenprüfung mit Kontrollstab darf als die zuverlässigste und in der Handhabung bequemste bezeichnet werden. Sie erfordert jedoch völliges Vertrautsein mit der Benutzung von Spiegelapparaten und den bei Elastizitätsmessungen vorhandenen Fehlerquellen.

Im Prinzip ist diese Eichungsmethode weiter nichts als eine Vergleichung der Kraftanzeige der Maschine mit der eines Federdynamometers höchster Empfindlichkeit. Es wird nämlich dabei ein Probestab benutzt, dessen elastische Dehnungen mit Spiegelapparaten bei Belastung mit bekannten Gewichten gemessen wurden. Je nachdem der Stab für Zug- oder Druckprüfungsmaschinen bestimmt ist, werden positive oder negative Dehnungen festgestellt. Kennt man die zu bestimmten Belastungen gehörigen Dehnungen, so sind rückwärts nach Einstellung bestimmter Dehnungen leicht die entsprechenden Belastungen zu ermitteln. Die Vergleichung dieser Belastungen mit den Kraftanzeigen der Maschine ergibt die Fehler.

Die Abmessungen der Kontrollstäbe müssen derart gewählt werden, daß die Höchstbelastung, für die der Stab bestimmt ist, innerhalb der Elastizitätsgrenze liegt. Zweckmäßig verwendet man zur Herstellung der Stäbe besten Tiegelgußstahl.

Die Eichung der Stäbe überlasse man einer der größeren staatlichen Materialprüfungsanstalten, die Vergleichsstäbe verschiedener Abmessungen besitzen und einzig und allein die Gewähr für Richtigkeit der Stabeichung bieten können.

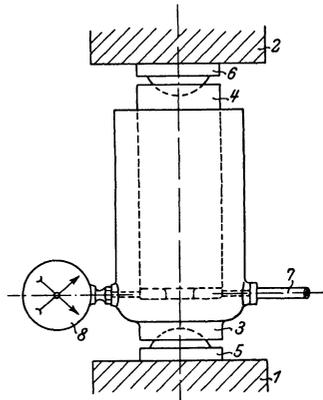


Fig. 250.

Die Großlichterfelder Anstalt ist in der Lage, mit einem besonderen Kontrollstabprüfer, der durch direkte Gewichtsbelastung bis zu 10000 kg die Dehnung der Stäbe erzeugen läßt, die Stabeichungen einwandfrei vorzunehmen.<sup>1)</sup> Die höheren Belastungen werden dagegen ebenso wie andernorts in Materialprüfungsmaschinen erzeugt, deren Anzeige bis 10000 kg durch Vergleichung mit dem Kontrollstabprüfer geeicht und deren weitere Kraftstufen unter Annahme stetigen Verlaufes der Spannungs-Dehnungskurve des Materials aus den Stabdehnungen ermittelt werden.

Da jede Messung mit Fehlern behaftet ist (s. § 160), müssen zur Ausschaltung der zufälligen Fehler die Dehnungsmessungen mehrere Male und am besten von verschiedenen Beobachtern wiederholt werden. Die Spiegelapparate sind dabei jedes mal neu anzusetzen, und es ist rätlich,

sich vor Beginn der Messung durch Klopfen an den Probestab davon zu überzeugen, daß die Spiegel feststehen.

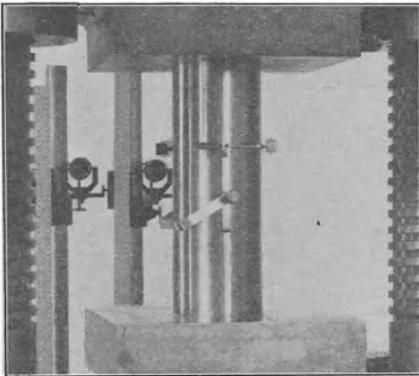


Fig. 251.

Aus sämtlichen Ablesungen ist für jede Belastungsstufe ein Mittelwert zu bilden, der als wirkliche Stabdehnung zu betrachten und mit den für den Kontrollstab angegebenen Dehnungen in Vergleich zu setzen ist. Die Abweichungen zwischen den ermittelten und den Sollwerten für den Kontrollstab stellen die Stabdehnungen dar, die dem Fehler in der Last-

anzeige der Maschine entsprechen. Sind die Abweichungen erheblich, d. h. mehr als  $\pm 1\%$ , so ist der Kraftmesser der Maschine zu justieren oder aber eine Fehlertabelle aufzustellen, aus der der jeweilige Fehler bei Materialprüfungen entnommen wird.

Für die zur Maschineneichung mit Kontrollstab benutzten Spiegelapparate gilt das in den §§ 170—173 Erwähnte. Es müssen diese Apparate selbst sorgfältig kontrolliert werden, und es empfiehlt sich zur Vermeidung schneller Abnutzung der Schneiden für den Kontrollstab einen besonderen Spiegelapparat zu verwenden. Als selbstverständlich soll noch erwähnt werden, daß der Spiegelapparat stets an der gleichen Stelle des Kontrollstabes angesetzt werden muß. Fig. 251 zeigt die Anordnung des Versuches bei Eichung einer Prüfungsmaschine für Druckversuche.

<sup>1)</sup> Martens, Materialkunde I, Berlin 1898, S. 352 und Denkschrift zur Eröffnung des Königl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde.

# Dritter Teil.

## Physikalische Meßinstrumente und Messungen.

### I. Instrumente und Verfahren zur Längenmessung.

#### § 159. Allgemeines.

Die Längenmeßinstrumente werden in solche zur Feststellung der Abmessungen und in solche zur Ermittlung von Formänderungen eines Körpers eingeteilt. Jene können auch zu Messungen der zweiten Art benutzt werden und es soll daher im folgenden keine scharfe Trennung der Instrumente beider Arten vorgenommen werden.

Messen bedeutet: Vergleichung bekannter Größen mit unbekanntem. Für das Materialprüfungswesen kommen fast nur Längenmessungen in Betracht, die unmittelbar durch Anlegen von Maßstäben an den zu messenden Körper oder mittelbar unter Zwischenschaltung von Hilfseinrichtungen ausgeführt werden.

#### § 160. Fehler bei den Messungen.

Jede Messung ist mit Fehlern behaftet, deren Ursache sowohl in der Person des Messenden, als auch in dem benutzten Meßinstrumente, als in der Art und Weise liegen kann, wie das Instrument benutzt wird. Martens<sup>1)</sup> unterscheidet folgende Gattungen von Fehlerquellen:

- a) Fehler des Beobachters, die von Übung, Geschicklichkeit, Sehschärfe usw. abhängig sind;
- b) Fehler des Instrumentes, die durch Teilungsfehler, Strichschärfe usw. bedingt sind;
- c) Fehler der Methode;
- d) Fehler äußeren Ursprunges, die durch Temperaturschwankungen, Feuchtigkeitsänderungen, ungünstige Beleuchtung usw. hervorgerufen werden.

Im allgemeinen scheidet man die Fehler in methodische und zufällige. Jene beeinflussen das Messungsergebnis einseitig (d. h. es weicht entweder

---

<sup>1)</sup> Martens, Materialkunde I, Berlin 1898, S. 436.

positiv oder negativ vom Sollwerte ab) und können rechnermäßig festgestellt und verbessert werden. Diese hingegen zeigen im einzelnen keinerlei Gesetzmäßigkeit, sind nur durch den Zufall bedingt und durch

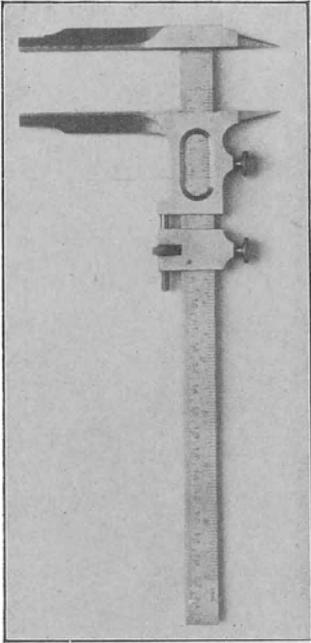


Fig. 252.

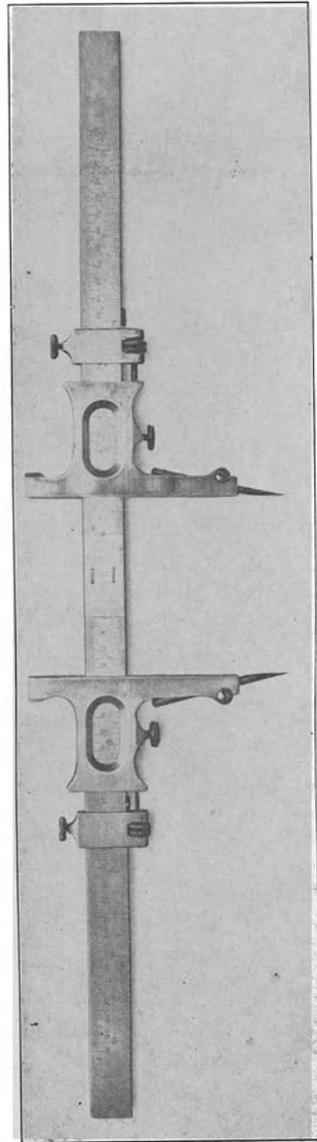


Fig. 253.

vielfache Wiederholung der Messungen und Bildung eines Mittelwertes aus sämtlichen Messungsergebnissen mit hinreichender Genauigkeit ausschaltbar.

### § 161. Strichmaßstäbe.

Bessere Maßstäbe werden aus Metall (Messing, Silber, Neusilber, Stahl, Glas, Nickelstahl) hergestellt. Hölzerne Maßstäbe sind infolge ihrer hygroskopischen Längenänderungen nur beschränkt brauchbar. Da alle Strichmaßstäbe mit Teilungsfehlern behaftet sind und ihre Länge von der Temperatur abhängig ist, empfiehlt es sich, die Maßstäbe in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg eichen zu lassen. Die Reichsanstalt stellt eine Fehlertabelle zusammen und gibt auch die Formel zur Korrektur der Temperaturfehler an (s. § 168).

Undurchsichtige gewöhnliche Anlegemaßstäbe besitzen den Nachteil, daß bei der Ablesung Fehler infolge der Parallaxe gemacht werden, ein Übelstand, an dem Maßstäbe aus Glas, bei deren Verwendung man die Teilung mit dem Objekt zusammenfallen lassen kann, nicht leiden. Das Senkrechtstehen kann auch durch einen zur Teilung parallelen Spiegel gesichert werden, indem man das Spiegelbild des beobachtenden Auges in den abzulesenden Punkt bringt. Noch sicherer geschieht die Ablesung mit einem am Maßstabe parallel verschiebbaren Mikroskope schwacher Vergrößerung.

### § 162. Schiebelehren (Schublehren).

Zwei für alle Zwecke des Materialprüfungswesens gut brauchbare Schiebelehren sind in Fig. 252 und 253 dargestellt.

Außer den flachen Mäulern besitzen sie noch Spitzen zum Einsetzen in Körnermarken. Durch Benutzung des Nonius gestatten sie Ablesungen bis zu 0,1 mm und Schätzung bis auf 0,05 mm.

Da Nonien auch bei anderen Maßstäben Verwendung finden und manchmal ihre Benutzung besonders dem Anfänger Schwierigkeiten bereitet, soll im folgenden die Benutzungsweise der verschiedenen Nonien erläutert werden.

### § 163. Der Nonius.

Der „Nonius“ ist ein kleiner Hilfsmaßstab, der am Hauptmaßstabe die Ablesung von Teilen ermöglicht, die kleiner sind als die Teilung des Hauptmaßstabes. Entspricht die Länge des Nonius  $n + 1$  Teilen des Maßstabes, so wird der Nonius „nachtragend“ genannt; beträgt dagegen die Länge des Nonius nur  $n - 1$  Maßstabteile, so bezeichnet man ihn als „vortragend“. Beim nachtragenden Nonius ist jeder Noniusteil um  $\frac{1}{n}$  größer als jeder Maßstabteil, so daß, wenn ein bestimmter Teilstrich des Nonius auf einen Teilstrich des Maßstabes trifft, die Summe der folgenden Teilstriche um  $\frac{1}{n}$ ,  $\frac{2}{n}$ ,  $\frac{3}{n}$ ,  $\frac{4}{n}$  usw. größer ist als die Summe der entsprechenden Maßstabteile.

Fällt z. B., wie in der Fig. 254, der Teilstrich 3 des Nonius mit dem Teilstriche 38 mm des Maßstabes zusammen, so steht der Nullpunkt des Nonius um  $\frac{3}{10}$  eines Maßstabteiles hinter dem ihm entsprechenden Striche des Maßstabes, so daß die Ablesung  $41 + \frac{3}{10}$ , also 41,3 mm lautet. Bei Verwendung eines vortragenden Nonius ist jeder Noniusteil um  $\frac{1}{n}$  kleiner als jeder Maßstabteil, und wenn ein Teilstrich des Nonius auf einen Maßstabteilstrich fällt, liegen die vorhergehenden folgenden Noniusteilstriche um  $\frac{1}{n}$ ,  $\frac{2}{n}$ ,  $\frac{3}{n}$ ,  $\frac{4}{n}$  usw. hinter den entsprechenden Maßstabteilstrichen.

Während der nachtragende Nonius in entgegengesetzter Richtung wie der Maßstab beziffert ist, ist der vortragende in derselben Richtung

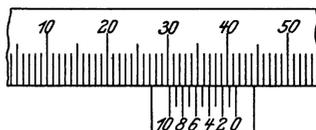


Fig. 254.

bezeichnet, so daß bei diesem die Noniusteile vom Nullpunkte an in derselben Richtung gezählt werden wie die Maßstabteile.

In Fig. 255 fällt der Noniusstrich 3 mit dem Maßstabteilstrich 20 zusammen und der Nullpunkt liegt zwischen dem 17. und 18. mm des Maßstabes. Die Ablesung ist alsdann  $17 + \frac{3}{10} = 17,3$  mm.

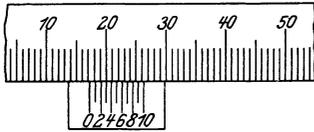


Fig. 255.

Ist der Nonius nicht in 10 Teile geteilt, wie in den angeführten Beispielen, d. h. die — Angabe — des Nonius nicht  $\frac{1}{10}$ , sondern allgemein  $\frac{1}{n}$ , so erhält man beim vortragenden Nonius die ge-

suchte Länge dadurch, daß man zu den ganzen Teilstrichen des Maßstabes vor dem Noniusnullpunkte einen Wert addiert, der sich durch Multiplikation der „Angabe“ mit der Anzahl Teilstriche ergibt, welche auf dem Nonius zwischen Nullpunkt und Deckungsteilstrich liegen.

#### § 164. Maßstab zum Messen der Längenänderungen von Zerreißstäben.

Der in Fig. 256 dargestellte Maßstab (Konstruktion des Verfassers) besteht aus einem Metallineal, an dem Längen von 150 und 200 mm markiert sind. Zum Befestigen an dem Zerreißstab ist es an dem einen Ende mit einer Federklemme versehen. Das andere Ende ruht auf einem

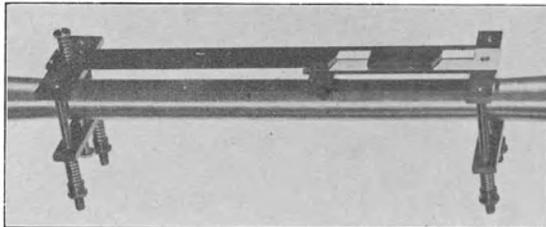


Fig. 256.

zweiten mit Millimeterteilung versehenen Metallineal, das ebenfalls eine Federklemme zum Befestigen am Probestabe und außerdem ein Füßchen zum Stützen besitzt. Mit Hilfe der an den 150 und 200 mm Teilstrichen angebrachten Nonien kann man Verschiebungen der beiden Federklemmen und somit Verlängerungen des Probestabes bis auf  $\frac{1}{25}$  mm messen.

#### § 165. Teilmaschine für Probestäbe.

Um die Messung der Stabdehnung bei Zerreißversuchen unabhängig von der Lage der Bruchstelle des Probestabes ausführen zu können, versieht man den Stab mit Zentimeterteilung (s. S. 13). Entweder geschieht dies in zeitraubender Weise von Hand oder sehr bequem und schnell mit einer Teilmaschine von Amsler-Laffon & Sohn (Fig. 257). Der Probe-

stab wird auf einem Schlitten befestigt, der von einem durch Kurbel beweglichen Schaltwerk schrittweise um einen Zentimeter vorwärts transportiert wird. Zwischen jedem Schritte bleibt der Schlitten einen Augenblick in Ruhe, so daß der Mechanismus mit einem Stichel einen Strich auf dem Probestabe ziehen kann; sowohl die Strichstärke als auch die Strichlänge können eingestellt werden. Die Befestigung von Flachstäben geschieht mit

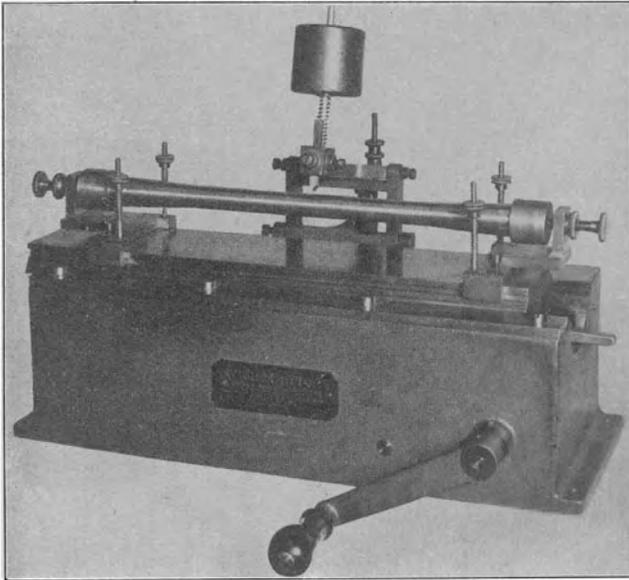


Fig. 257.

Klemmen, die am Schlitten angebracht und entsprechend der Stablänge einstellbar sind. Zur Teilung von Rundstäben mit Ringmarken ließ Verfasser die Teilmaschine der Dresdner Versuchsanstalt mit der aus der Fig. 257 ersichtlichen Einspannvorrichtung versehen. Der Probestab wird dabei zwischen einstellbaren Spitzenschrauben gelagert und nach dem Aufsetzen des Stichels dreht man zur Erzeugung der Ringmarken den Probestab um seine Achse.

### § 166. Mikrometerschrauben.

Die Mikrometerschrauben lassen Längen bis auf 0,01 mm ablesen und bis auf 0,001 mm schätzen.

Die Herstellung guter Mikrometerschrauben ist schwierig; nur solche dürfen verwendet werden, von deren Richtigkeit man sich durch Prüfung überzeugt hat. Keinesfalls verwende man Mikrometerschrauben zur direkten Messung größerer Längen. Bei sehr genauen Messungen beschränke man sich auf ein Meßbereich von nur wenigen Millimetern und im allgemeinen

auf kein größeres als 25 mm. Beim Gebrauche darf die Schraube nicht mit Gewalt angepreßt werden, weil diese und auch das Objekt dadurch Deformationen erleiden, die das Messungsergebnis fehlerhaft gestalten.

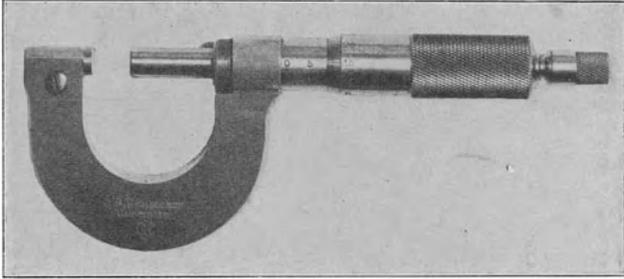


Fig. 258.

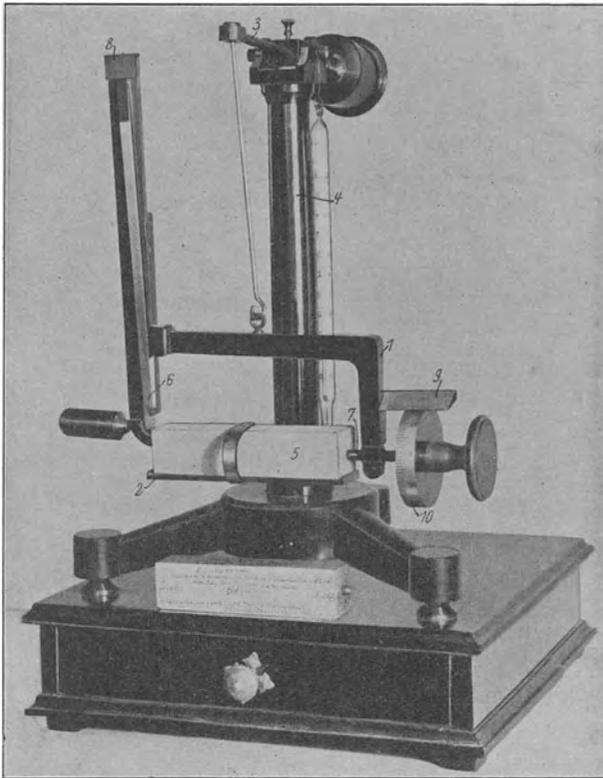


Fig. 259.

Sehr zu empfehlen sind die Mikrometerschrauben mit Gefühlsschrauben (s. Fig. 258), bei denen dieser Fehler nicht entstehen kann, weil die

Vorwärtsbewegung der Schraube aufhört, sobald der Gegendruck den geringen Federdruck der Gefühlsschraube erreicht. Auch den elektrischen Strom kann man zur Vermeidung veränderlichen Anpressungsdruckes benutzen, indem man die Schraube derartig anordnet, daß bei Berührung des Objektes der Stromkreis geschlossen und dadurch eine elektrische Klingel betätigt wird.

Unter Verwendung von Endmaßen läßt sich die Mikrometerschraube auch zur Messung größerer Längen benutzen, wenn die Schraube auf ein

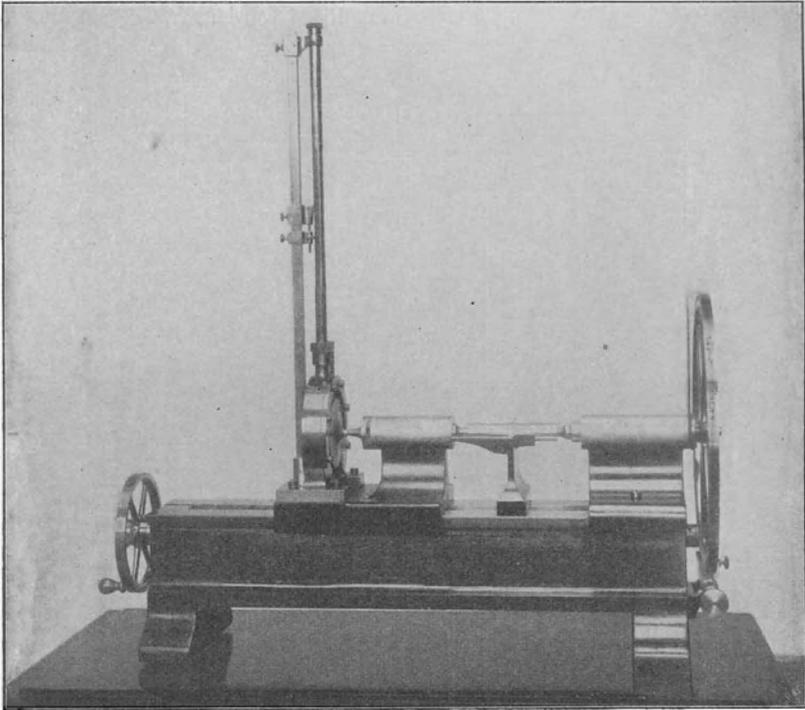


Fig. 260.

Endmaß eingestellt wird, dessen Länge annähernd der zu messenden Länge entspricht, und man hierauf mit der Schraube nur die Differenz zwischen der zu messenden Länge und der des Endmaßes feststellt. Auf dieser Messungsmethode beruht der Bauschingersche Mikrometertaster mit Fühlhebel (Fig. 259), der zur Messung der Längenänderungen von Zementprobekörpern konstruiert wurde (s. § 242).

Er besteht aus dem Mikrometerbügel 1 (Fig. 259), der an einem auf Stativ 4 in Spitzen gelagerten doppelarmigen Hebel 3 leicht beweglich aufgehängt ist. Der zu messende Probekörper 5, dessen Enden durch Körnerplättchen (s. § 242) begrenzt sind, liegt auf einer am Stativ 4

befestigten Unterlage 2. In die Körner der Endplättchen werden die Spitzen des Fühlhebels 6 bzw. der Mikrometerschraube 7 eingesetzt und diese so weit vor- oder zurückgeschraubt, bis der Fühlhebel auf die Marke 0 der Skala 8 einspielt. Die Messung geschieht dann in der Weise, daß man an der Skala 9 die ganzen Millimeter und an der Trommel 10 der Mikrometerschraube die Bruchteile feststellt. Das Instrument ist derart justiert, daß bei bestimmter Raumtemperatur die Nullablesung an der Mikrometerschraube einer bestimmten Länge zwischen den Spitzen entspricht. Dieser Wert muß von Zeit zu Zeit mit einem bekannten Endmaße

kontrolliert werden, weil sich durch unvermeidliche Abnutzung der Spitzen die Entfernung ändert.

Man gewöhne sich daran, bei allen Messungen mit Mikrometerschrauben die Schraube während der Messung zur Vermeidung des Einflusses des toten Ganges nur nach einer Richtung zu drehen.

Unter Benutzung der Bauart des Bauschinger-Tasters konstruierte der Mechaniker Bauschingers, Klaebe, einen Dickenmesser, hinsichtlich dessen Ausführungsform auf Martens, Materialienkunde S. 451 zu verweisen ist.

Zu erwähnen ist an dieser Stelle noch die Reineckersche Meßmaschine (s. Fig. 260), die in manchen Betrieben Verwendung findet. Im Prinzip entspricht sie dem Bauschinger-Taster mit dem Unterschiede, daß an Stelle des Fühlhebels eine Meßdose benutzt wird. Die einzelnen Bestandteile des Apparates sind aus der Figur ersichtlich.

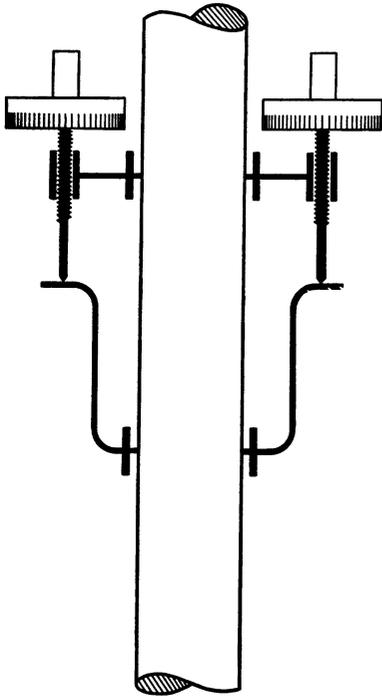


Fig. 261.

Auf die in Amerika zur Messung der elastischen Dehnungen vielfach verwendeten Mikrometerschraubenapparate (s. Fig. 261) soll hier nicht näher eingegangen werden, weil ihre Benutzung umständlich und die Genauigkeit der Messung nicht hinreichend groß ist. (Näheres über diese Instrumente s. Martens, Materialienkunde I. S. 464.)

### § 167. Okularschraubenmikrometer.

Für genauere Messungen geringer Längen wird ein Mikroskop mit Okularschraubenmikrometer (Fig. 262) benutzt.

Es besteht aus einem gewöhnlichen Mikroskop mit Okular, in dem ein auf eine Glasplatte geritztes Strichkreuz angeordnet ist. Die Glasplatte

ist in einer Führung gelagert und kann durch eine Mikrometerschraube über das vom Objektiv des Mikroskops entworfene Bild hinweggeführt werden. Ein Intervall der Trommelteilung entspricht einer Verschiebung des Strichkreuzes um 0,01 mm. Die Umdrehungen der Trommel werden an einer im Sehfeld sichtbaren bezifferten Skala gezählt. Wenn der Nullpunkt der Trommel nicht mit einem Teilstriche der Skala zusammenfällt, kann man sie auf ihrer Achse verdrehen und die Übereinstimmung auf diese Weise herstellen.

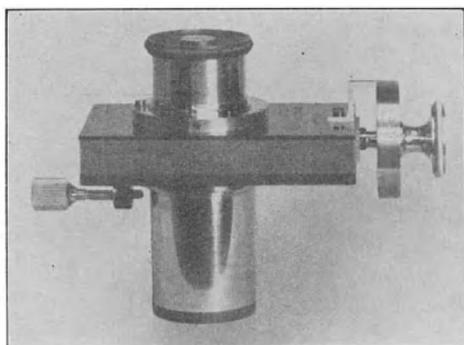


Fig. 262.

Manche Instrumente werden anstatt des Strichkreuzes mit Doppelstrichen ausgerüstet. Das bedeutet insofern einen Vorteil, als die Strichmarke sich zwischen beide Doppelstriche genauer einstellen als sich mit einem einfachen Strichkreuz zur Deckung bringen läßt.

### § 168. Dickenmesser nach Abbe von Zeiß, Jena.

Der Apparat (Fig. 263) besteht aus einem Stativ 1 auf der Grundplatte 2, an dem mit Geradführung ein Stift 3 verschoben werden kann, der am oberen Ende ausgehöhlt ist und einen aus Silber hergestellten Maßstab mit  $\frac{1}{5}$  oder  $\frac{1}{10}$  Millimeterteilung enthält. Das Gewicht des Stiftes 3 ist durch ein Gegengewicht im Innern des Statives ausbalanciert. Schraube 4 dient zur Feststellung dieses Gewichtes während des Transportes; mit der Hand-schraube 5 kann der Stift gehoben und gesenkt werden. 6 ist ein Ablese-mikroskop mit Okularschraubenmikrometer, 7 eine ebengeschliffene Stahlplatte, die genau senkrecht zur Achse des Stiftes eingestellt werden muß. Zwischen Stift und Platte wird das zu messende Objekt angeordnet. Das untere Ende des Stiftes ist mit einer Kontaktplatte 8 versehen, die gegen anders geformte (Schneide 9, Kuppe 10) ausgewechselt werden kann. Die aus Achat bestehende Kuppe dient zum Kontakt bei ebenen, die Schneide bei gewölbten und die Platte bei Kugelflächen oder Stichmaßen. Bei Messung des Durchmessers von Kugeln wird an der Platte 7 eine Iris-

blende 11 angeordnet, mit der die Zentrierung der Kugel erfolgt. Die Ausführung einer Messung geschieht in folgender Weise:

Die Kugel, deren Durchmesser festgestellt werden soll, wird auf der Platte 7 gelagert, die Kontaktplatte unter Benutzung der Handschrauben 5 vorsichtig ohne Stoß aufgesetzt und mit dem Mikroskope am Maßstabe abgelesen. Nur in den seltensten Fällen deckt sich das Fadenkreuz des Mikrometerschraubenokulars mit einem Teilstriche des Maßstabes; meistens muß die Differenz zwischen Teilstrich und Fadenkreuzstellung mit der Mikrometer-

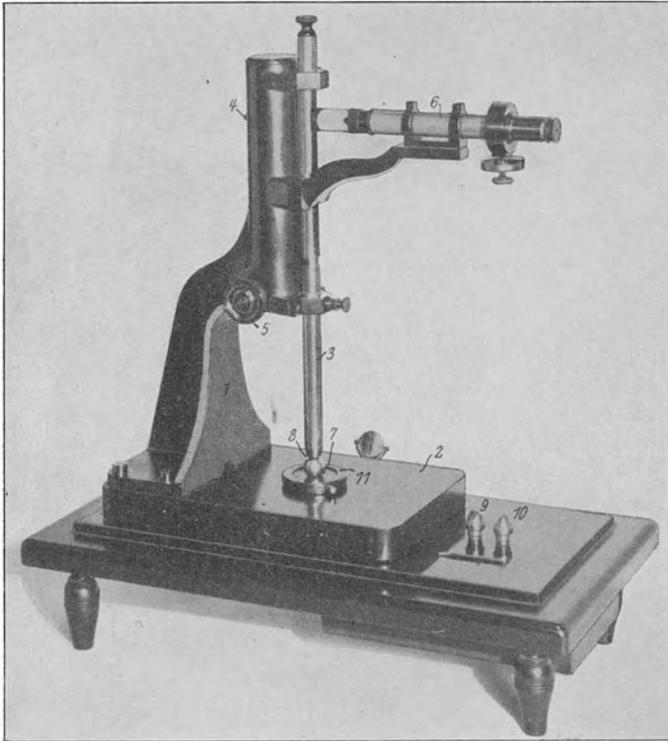


Fig. 263.

schraube bestimmt werden. Da der Maßstab in Zehntelmillimeter und die Trommel der Mikrometerschraube in 100 Teile geteilt ist, geben die Trommelteile unmittelbar die zweite und dritte Dezimale der gewünschten Länge. Es empfiehlt sich, sowohl vor als nach der Messung zu kontrollieren, ob der Nullpunkt der Mikrometerschraube mit dem des Maßstabes zusammenfällt. Hierauf ist der Fehler zu korrigieren, den der Teilungsfehler des Maßstabes verursachte. Der Teilungsfehler ist aus einer Fehlertabelle zu entnehmen. Für das vorliegende Instrument wurde er von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ermittelt; die Tabelle gibt folgende Werte an:

Strich mm	Fehler $\mu$	Strich mm	Fehler $\mu$	Strich mm	Fehler $\mu$
0	0	0	0	55	-0,1
1	-0,1	5	+0,5	60	+2,4
2	+0,9	10	+0,7	65	+2,6
3	+0,7	15	+0,6	70	+1,0
4	+1,0	20	-1,0	75	-0,1
5	+0,5	25	-0,7	80	+0,2
6	+0,4	30	+0,6	85	-1,0
7	-0,1	35	0	90	+0,5
8	+2,0	40	+2,0	95	+1,7
9	+1,4	45	+1,3	100	0
10	+0,7	50	+1,3	105	-2,2

Hierin bedeutet das Vorzeichen + bzw. -, daß der Abstand des in Betracht kommenden Striches vom Nullstriche um den daneben angegebenen Betrag<sup>1)</sup> größer bzw. kleiner ist, als er sein würde, wenn die Teilung zwischen den Strichen 0—100 mm fehlerfrei wäre.

Die Tabelle wurde bei 16,5° ermittelt, und es muß bei Messungen, die bei wesentlich abweichender Temperatur vorgenommen werden, noch der durch die Längenänderung des Maßstabes verursachte Fehler berücksichtigt werden. Bedeutet  $L_t$  die Länge, die das zwischen den Strichen 0 und 100 mm enthaltene Intervall bei einer Temperatur von  $t$  Grad besitzt, und wurde die wirkliche Länge bei 16,5° zu

$$L_t = 100 \text{ mm} + (26,8 \pm 1,0) \mu^1$$

ermittelt, so ergibt sich unter Annahme eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten für Silber von  $(18,3 \pm 0,5) \cdot \mu$  pro Meter und Grad die Gleichung

$$L_t = 100 \text{ mm} - (3,4 - 1,83 t \pm \eta) \cdot \mu,$$

worin

$$\eta = 1,5 \sqrt{1 + [0,03 \cdot (t - 16,5)]^2}.$$

Mit Rücksicht auf die wenig widerstandsfähige Form der Lamelle ist hierbei die Unsicherheit für die Temperatur 16,5° um 0,5  $\mu$  höher angeschlagen als die bei dem oben angegebenen unmittelbaren Messungsergebnis erwähnte. Die Länge des Maßstabes ist somit für jede Temperatur  $t$  um  $(3,4 \pm \eta) \cdot \mu$  kleiner als ihr mit Hilfe des oben angegebenen Ausdehnungskoeffizienten berechneter Sollwert.

Es empfiehlt sich für diese, sowie überhaupt für alle Maßstäbe, die genauen Messungen dienen sollen, die Herstellung einer Korrektionsstafel, damit man ohne Rechnung sofort in der Lage ist, den wahren Wert eines Maßstabstriches zu bestimmen.

<sup>1)</sup> 1  $\mu$  bedeutet 1 Mikron, d. i.  $\frac{1}{1000}$  mm.

### § 169. Großer Komparator von Zeiß.

In Fig. 264 ist der große Komparator von Zeiß abgebildet, der zur Messung der Bruchdehnung von wenig dehnbaren Materialien (harter Stahl) sehr geeignet ist. Er besteht aus einem mit fein geteiltem Maßstabe versehenen Schlitten, der auf einem kräftigen, mit 2 Mikroskopen versehenen Gestelle verschoben werden kann. Das rechte Mikroskop mit Okularschraubenmikrometer dient zur Ablesung am Maßstabe und das linke mit Fadenkreuz-Okular zum Anvisieren der Endmarken des zu messenden Körpers.

Bei Benutzung des Instrumentes wird der Probekörper auf dem Schlitten in der geraden Verlängerung des Maßstabes gelagert und das

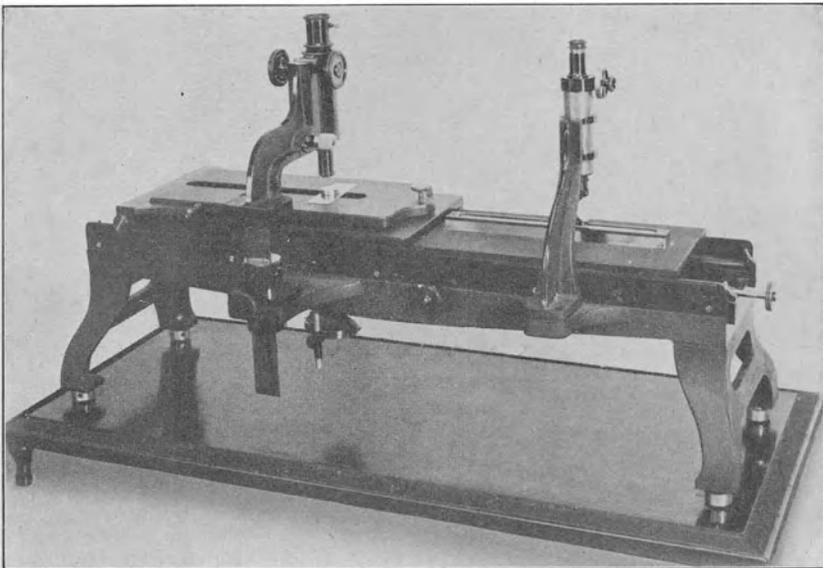


Fig. 264.

eine Ende der zu messenden Länge mit dem Fadenkreuz des Mikroskopes durch Verschiebung des Schlittens zur Deckung gebracht. Hierauf wird der Maßstab abgelesen und dann der Schlitten verschoben, bis im Beobachtungsmikroskope das andere Ende der Meßstrecke unter dem Fadenkreuz liegt. Die Differenz der nunmehr vorgenommenen Maßstabablesung und der ersten Ablesung ergibt die gesuchte Länge. Die Messungsergebnisse sind ebenso wie die mit dem Dickenmesser (§ 168) erhaltenen entsprechend zu korrigieren.

### § 170. Der Bauschingersche Spiegelapparat.

Zur Messung der Dehnungen von Probestäben bei Festigkeitsversuchen sind die vorstehend beschriebenen Meßwerkzeuge nur in beschränktem

Umfange verwendbar. Entweder reicht ihre Genauigkeit zur Messung der elastischen Dehnungen nicht aus, oder es verhindert ihre Konstruktion ihre Anbringung an dem Probekörper, dessen Formänderungen gemessen werden sollen. Es bedeutete daher einen Fortschritt von größter Tragweite, als Bauschinger im Jahre 1873 unter Benutzung der Poggendorfgausschen Winkelmessung mit Spiegel einen Spiegelapparat zur Dehnungs-

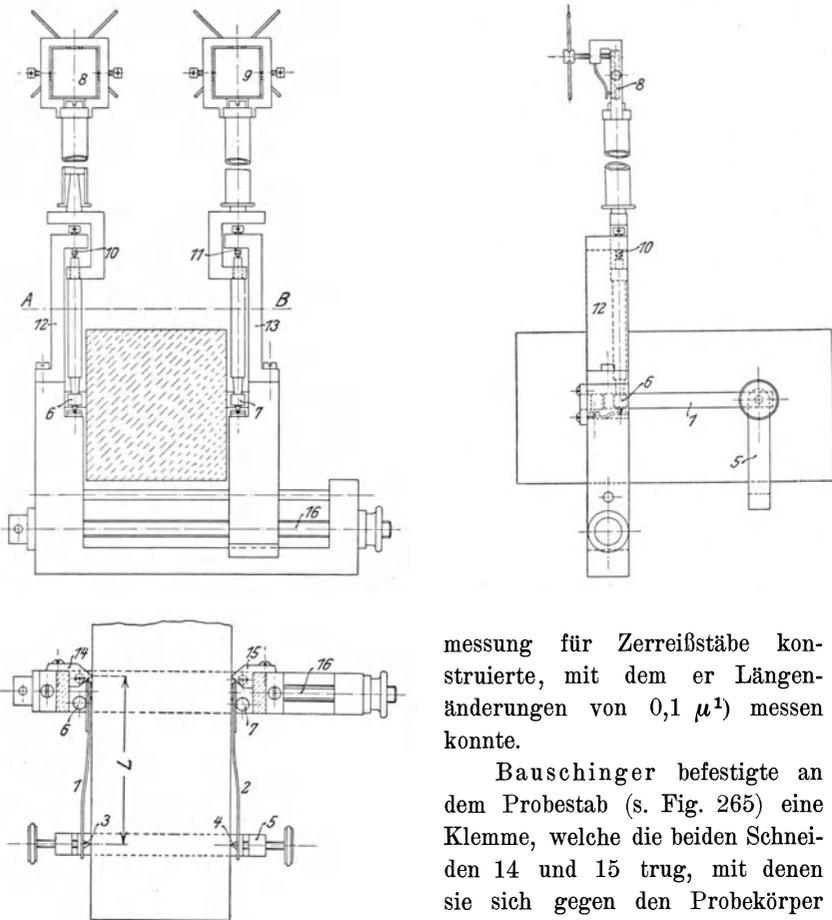


Fig. 265.

messung für Zerreistbe konstruierte, mit dem er Längenänderungen von  $0,1 \mu^1$ ) messen konnte. Bauschinger befestigte an dem Probestab (s. Fig. 265) eine Klemme, welche die beiden Schneiden 14 und 15 trug, mit denen sie sich gegen den Probekörper stützte. Die Klemme war mit den beiden Haltern 12 und 13 versehen, in welche die beiden Spiegelachsen 10 und 11 mit Spitzenlagerung eingesetzt waren. Am unteren Ende der Spiegelachsen befanden sich die Rollen 6 und 7 und am oberen Ende die Spiegel 8 und 9. Letztere konnten mit Schrauben gegen die Spiegelachse geneigt und um Zapfen gedreht werden. Gegen die Rollen 6 und 7 lehnten sich die

<sup>1)</sup> S. Anmerkung S. 265.

beiden Stahllamellen 1 und 2, die durch Klemme 5 mit den Spitzen 3 und 4 an den Probekörper gepreßt wurden. Erlitt hiernach der Probekörper eine Verlängerung, so entfernten sich die Schneiden 14 und 15 von den Spitzen 3 und 4, und da zwischen den Rollen 6 und 7 einerseits und den Stahllamellen 1 und 2 andererseits genügend Reibung vorhanden war, wurden die Rollen und somit die Spiegel um einen Winkel verdreht, dessen Bogen der Stabdehnung proportional ist. Den Spiegeln gegenüber wurden Fernrohre mit Skalen aufgestellt und in bekannter Weise die Ablesung der Spiegeldrehung vorgenommen.

Die Verwendung zweier Spiegel auf gegenüberliegenden Seiten des Probekörpers ist dadurch bedingt, daß sich der Stab nur selten an allen Stellen seines Umfanges gleichmäßig dehnt und auch eine Bewegung im Raume durch Schiefstellen in der Einspannvorrichtung nicht ausgeschlossen ist. Ein einziger Spiegel würde demnach nur die Dehnung einer einzigen

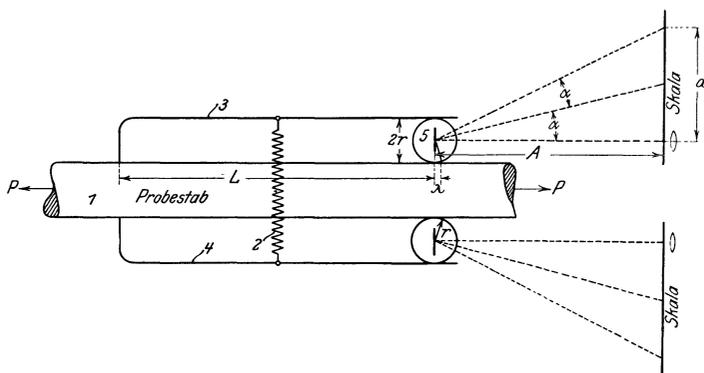


Fig. 266.

Mantellinie des Stabes anzeigen, und Bewegungen des Stabes im Raume könnten als Dehnungen gedeutet werden. Benutzt man dagegen zwei Spiegel, so gibt der Mittelwert beider Ablesungen die Dehnung der Stabachse, und Schiefstellen des Stabes in den Einspannvorrichtungen bleibt ohne Einfluß, weil infolge des entgegengesetzten Drehsinnes beider Spiegel dann der eine Spiegel umsoviel weniger anzeigt, als der andere mehr angibt.

Das Übersetzungsverhältnis ist abhängig von dem Durchmesser der Rollen 6 und 7 und dem Abstände der Skalen von den Spiegelflächen des Apparates. Man ersieht hieraus, daß das Übersetzungsverhältnis durch Vergrößerung des Skalenabstandes beliebig gesteigert werden kann. Das Übersetzungsverhältnis ergibt sich auf folgende Weise (s. Fig. 266).

Unter der Einwirkung der Kraft  $P$  wird der zylindrische Probekörper 1 um die Strecke  $\lambda$  verlängert und infolge des durch die Feder 2 und Lamelle 3 bzw. 4 bewirkten Anpressungsdruckes die Rolle 5 um die gleiche Strecke  $\lambda$  auf dem Stabe abgewälzt. Die dadurch um den Winkel  $\alpha$  bewirkte Spiegeldrehung hat zur Folge, daß nicht mehr derselbe Skalen-

punkt wie zuvor, sondern ein anderer Punkt der Skala in den Spiegel projiziert wird. Infolge der Spiegelwirkung entspricht dieser Punkt aber dem doppelten Drehungswinkel  $\alpha$ . Es darf mithin nur der halbe Wert der Skalenablesung zur Berechnung der Stabverlängerung  $\lambda$  herangezogen werden. Es ist:

$$a = A \cdot \operatorname{tg} 2\alpha$$

und

$$\lambda = r \cdot \widehat{\alpha},$$

demnach

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{r \cdot \alpha}{A \cdot \operatorname{tg} 2\alpha}.$$

Da  $\alpha$  ein sehr kleiner Winkel ist, kann man den Bogen gleich der Tangente setzen und es ergibt sich somit

$$\lambda = a \cdot \frac{r}{2A}.$$

Die Werte  $r$  und  $A$  werden durch Messung bestimmt, so daß das Übersetzungsverhältnis leicht ermittelt werden kann.

Empfehlenswert ist, bei allen Messungen ein bestimmtes Übersetzungsverhältnis, etwa  $\frac{1}{500}$  oder  $\frac{1}{1000}$  anzuwenden und die dementsprechende Skalenentfernung zu benutzen.

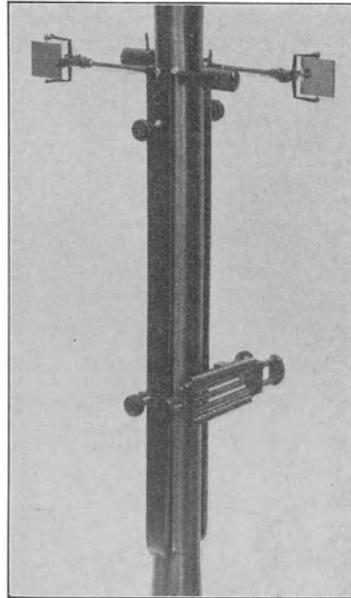


Fig. 267.

### § 171. Der Martenssche Spiegelapparat.

Ein zweiter, jetzt fast allgemein verwendeter Spiegelapparat ist der von Martens (Fig. 267). Er besitzt gegenüber dem Bauschingerschen den Vorzug größerer Handlichkeit und bedeutend geringeren Gewichtes. Seiner einfachen Konstruktion wegen ist er auch für andere Zwecke als nur für Dehnungsmessungen benutzbar. Im Prinzip unterscheidet er sich von dem älteren Bauschingerschen Apparate nur durch Verwendung von Schneidenprismen an Stelle der Rollen. Der Ersatz der Rollen durch Schneidenprismen macht einen besonderen Träger für die Spiegelachsen überflüssig und schaltet den Fehler aus, der durch unrunde Herstellung und die Spitzenlagerung der Rollen auftreten kann. Die Schneidentfernung der Prismen kann leicht gemessen werden, auch die Befestigung der sehr leichten Prismen mit Spiegelachsen unmittelbar am Probestabe bietet keine Schwierigkeiten.

Der Apparat besteht aus den beiden Meßschieben 1 und 2 (Fig. 268), den beiden Stahlprismen 9 und 10 mit Spiegeln 15 und 16 und der Federklemme 7. Mit letzterer werden die beiden Meßschieben 1 und 2, die an

dem einen Ende die Schneiden 3 und 4 und an dem anderen die Kerben 5 und 6 besitzen, an den Probestab 8 geklemmt. Die Kerben 5 und 6

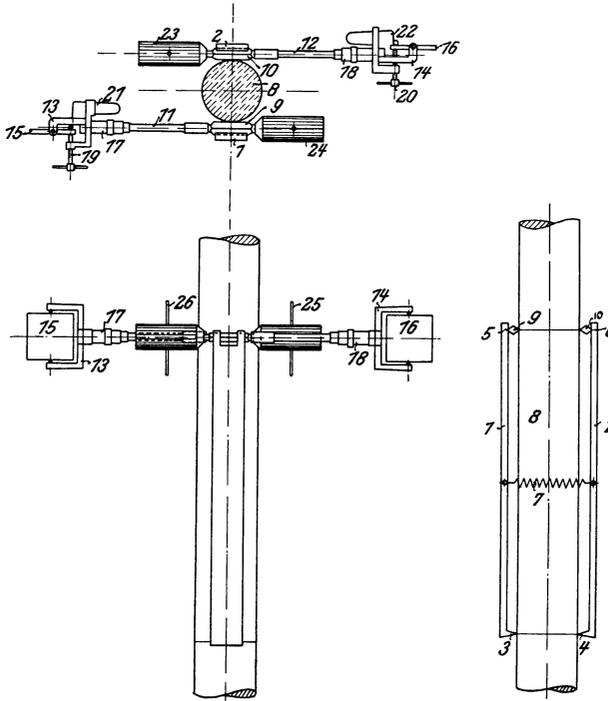


Fig. 268.

dienen zur Aufnahme der Stahlprismen 9 und 10, die sich einerseits gegen die Meßschiene und andererseits gegen den Probestab stützen. An den Stahlprismen sind Achsen 11 und 12 angebracht, deren Enden Halter für die Spiegel 15 und 16 tragen. Die Halter bestehen aus den auf den Achsen drehbaren Hülsen 17 und 18, den beiden Bügeln 13 und 14 und den Schrauben 19 und 20 mit Spannfedern 21 und 22 zur Neigung der Spiegel gegen die Prismenachsen.

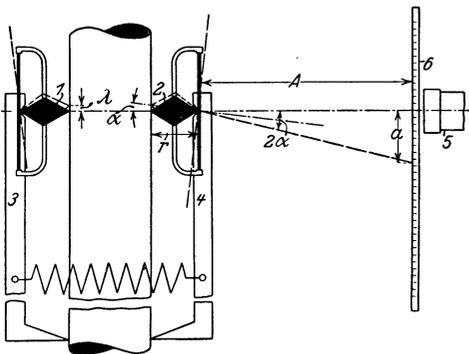


Fig. 269.

Die Bügel 13 und 14 sind gekröpft, damit die spiegelnden Flächen der Spiegel 15 und 16 mit den Prismenschneiden, die sich gegen die Meßschiene lehnen, in einer Ebene liegen. 23 und 24 sind Gegengewichte zur Ausgleichung des Gewichtes der Spiegel.

Die Verlängerung des Probestabes  $\lambda$  (s. Fig. 269) bewirkt einen Ausschlag der Prismen 1 und 2 gegenüber ihren Drehpunkten in der Nut der Meßschieben 3 und 4 und somit eine Drehung der Spiegel um den Winkel  $\alpha$ . Infolge der Spiegelwirkung wird mit dem Fernrohr 5 an der Skala 6 der dem doppelten Winkel  $\alpha$  entsprechende Wert  $a$  abgelesen und demnach ergibt sich das Übersetzungsverhältnis durch folgende Rechnung. Es ist:

$$\lambda = r \cdot \sin \alpha \text{ und}$$

$$a = A \cdot \operatorname{tg} 2\alpha,$$

demnach das Übersetzungsverhältnis:

$$n = \frac{\lambda}{a} = \frac{r \cdot \sin \alpha}{A \cdot \operatorname{tg} 2\alpha}.$$

Da  $\alpha$  ein sehr kleiner Winkel ist, darf man den Sinus gleich der Tangente setzen, und man erhält mit genügender Annäherung:

$$n = \frac{\lambda}{a} = \frac{r \cdot 1}{A \cdot 2}.$$

$a$ ,  $r$  und  $A$  sind bekannte Größen, so daß

$$\lambda = \frac{a \cdot r}{2 \cdot A}$$

leicht berechnet werden kann.

Der durch die Annäherungsrechnung entstehende Fehler ist an und für sich sehr klein, so daß er im allgemeinen unberücksichtigt bleiben darf. Größer ist der Fehler, der durch unzuweckmäßige Einstellung der Spiegelschneidenprismen entsteht. Stellt man nämlich bei Beginn der Messung das Prisma nicht vertikal zur Stabachse, sondern bereits ein wenig in der Bewegungsrichtung geneigt ein, so wird der durch die Annäherungsrechnung entstehende Fehler um so mehr vergrößert, je mehr die Prismenlage von der Vertikalstellung abweicht. Von größerem Einfluß auf die Zuverlässigkeit der Messung ist gegenüber den vorgenannten Fehlerquellen die Genauigkeit der Feststellung der Entfernung der Schneiden am Prisma und die Messung des Abstandes der Skala von der Spiegelfläche.

Die Feststellung der Schneidenentfernung überlasse man am besten dem Lieferanten des Apparates, der mit den erforderlichen Meßinstrumenten versehen ist. Auch versäume man nicht, die Schneiden von Zeit zu Zeit zu untersuchen und, wenn durch den Gebrauch abgenutzt, nachschleifen und neu messen zu lassen. Jedenfalls beziehe man diese Apparate nicht von irgend einem beliebigen Mechaniker, sondern man erkundige sich beim Konstrukteur des Apparates oder bei einer Materialprüfungsanstalt nach einem zuverlässigen Lieferanten.

Da das Ansetzen und Einstellen der Spiegelapparate dem Anfänger gewisse Schwierigkeiten bereitet, soll im folgenden der Vorgang geschildert und auf Fehlerquellen hingewiesen werden. Das Ansetzen des Apparates

an den Stab erfolgt am leichtesten außerhalb der Prüfungsmaschine. Der Stab wird auf einem Bänkehen nach Fig. 270 gelagert, von dem das eine Auflager in der Längsrichtung des Stabes verstellbar ist. Hierauf werden die beiden Meßschiene mit ihren Schneiden in feine Ringnuten des Stabes eingesetzt und mit der Federklemme befestigt. Nach sorgfältigem Ausrichten der Schienen hebt man das eine mit Nut versehene Ende der Meßschiene etwas vom Stabe ab, setzt das Spiegelprisma ein und wiederholt diese Manipulation mit der zweiten Schiene und dem zweiten Prisma. Die in den Gegengewichten der Spiegelachsen befindlichen Stifte sollen der Stabachse parallel stehen, und es müssen die Spiegelschneidenprismen so lange verstellt werden, bis diese Bedingung erfüllt ist, da andernfalls die auf S. 271 angedeuteten Fehler eintreten. Die Verstellung darf jedoch nicht unter dem Federdruck der Klemme ausgeführt werden, da sonst die Schneiden Beschädigungen erleiden; die Meßschiene muß während der Einstellung leicht angehoben werden.

Nachdem man sich überzeugt hat, daß beide Spiegelachsen parallel stehen und auch die Meßschiene parallel zur Stabachse liegen, wird der Stab in die Materialprüfungsmaschine eingesetzt. Hierauf werden die an

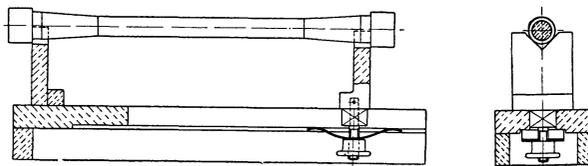


Fig. 270.

schweren eisernen Stativen befestigten Fernrohre den Spiegeln gegenüber in der annähernd erforderlichen Skalenentfernung so aufgestellt, daß die Fernrohrachsen auf den Spiegelachsen senkrecht stehen. Die Lage des Probestabes und des Spiegelapparates wird alsdann dadurch gesichert, daß der Stab mit geringer Kraft gedehnt wird. Nunmehr werden die Fernrohre durch die Horizontal- und Vertikalbewegungsschrauben so auf die Spiegel gerichtet, daß die Fadenkreuze in der Spiegelmitte liegend erscheinen. Findet sich das Bild der Skala nach Verschiebung des Fernrohrtubus jetzt noch nicht im Gesichtsfelde des Fernrohres, so sucht man, hinter und neben dem Fernrohre stehend, parallel zu seiner Achse in den Spiegel blickend, das Skalenbild und läßt durch einen Gehilfen den Spiegel durch Drehung seiner Stellschraube so weit neigen, daß das Bild in das Gesichtsfeld des Fernrohres verlegt wird. Hierauf sind noch Skalenentfernung und Bild scharf einzustellen.

Die Skalenentfernung, die durch das Übersetzungsverhältnis bestimmt ist, wird am einfachsten mit einem Endmaße festgelegt. Dieses besteht aus einer Holzlatte, die an dem einen Ende eine Spitze aus Kartonpapier oder Feinblech trägt und an dem anderen Ende mit einer Klemme versehen ist, mit der man die Latte an der Skala befestigt. Stellt man die

im Skalenträger in der Entfernungsrichtung verschiebbar gelagerte Skala dem Spiegel etwas näher ein, als dem Sollwerte entspricht, so kann man durch leichte Schläge an einen Vorsprung der Meßplatte diese so weit verschieben, daß die Entfernung bis auf 0,5 mm genau der gewünschten nahekommt.

Bei der Scharfeinstellung des Bildes verfährt man in der Weise, daß man zuerst das Fadenkreuz durch Verschieben der Frontlinse des Okulars scharf begrenzt sichtbar macht und hierauf mit dem Fernrohr auszuge so lange reguliert, bis die Skalenteilstriche ohne Parallaxe deutlich zu erkennen sind. Ist die Skala gut beleuchtet, so muß hiernach das Skalenbild in gleichmäßiger Helligkeit in der Mitte des Gesichtsfeldes

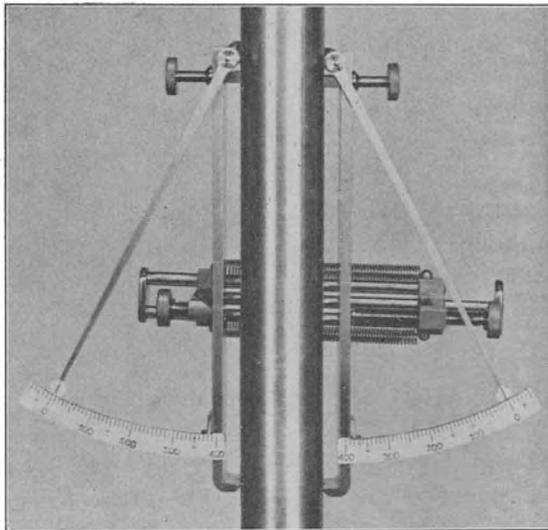


Fig. 271.

erscheinen. Einseitige Helligkeit entsteht dadurch, daß der Spiegel nicht in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohres liegt; sie wird berichtigt, indem man den Fernrohr auszug herauszieht, bis der Spiegel sichtbar wird, und dann das Fernrohr mit seinen Einstellschrauben auf die Spiegelmitte richtet. Allerdings wird durch diese Berichtigung auch das Skalenbild verschoben, und es wird erforderlich, dieses durch entsprechende Drehung des Spiegels wieder nach der Spiegelmitte zu verschieben.

Ein dem Martensschen Spiegelapparat nachgebildeter Meßapparat ist der Zeigerapparat nach Martens-Kennedy.

Wie Fig. 271 zeigt, unterscheidet er sich von dem erstgenannten nur dadurch, daß der optische Zeiger durch einen materiellen ersetzt ist, der sich an einer Skala jeder Meßschiene vorbei bewegt. Der Apparat

leistet bei der Prüfung von solchen Materialien vorzügliche Dienste, bei denen der Eintritt der Fließgrenze nicht deutlich ausgeprägt ist. Befestigt

man nämlich den Apparat an einem Probestabe und belastet diesen, so wird jede Dehnung durch eine Bewegung des Zeigers und der Eintritt der Fließgrenze durch eine plötzliche Beschleunigung der Zeigerbewegung angezeigt.

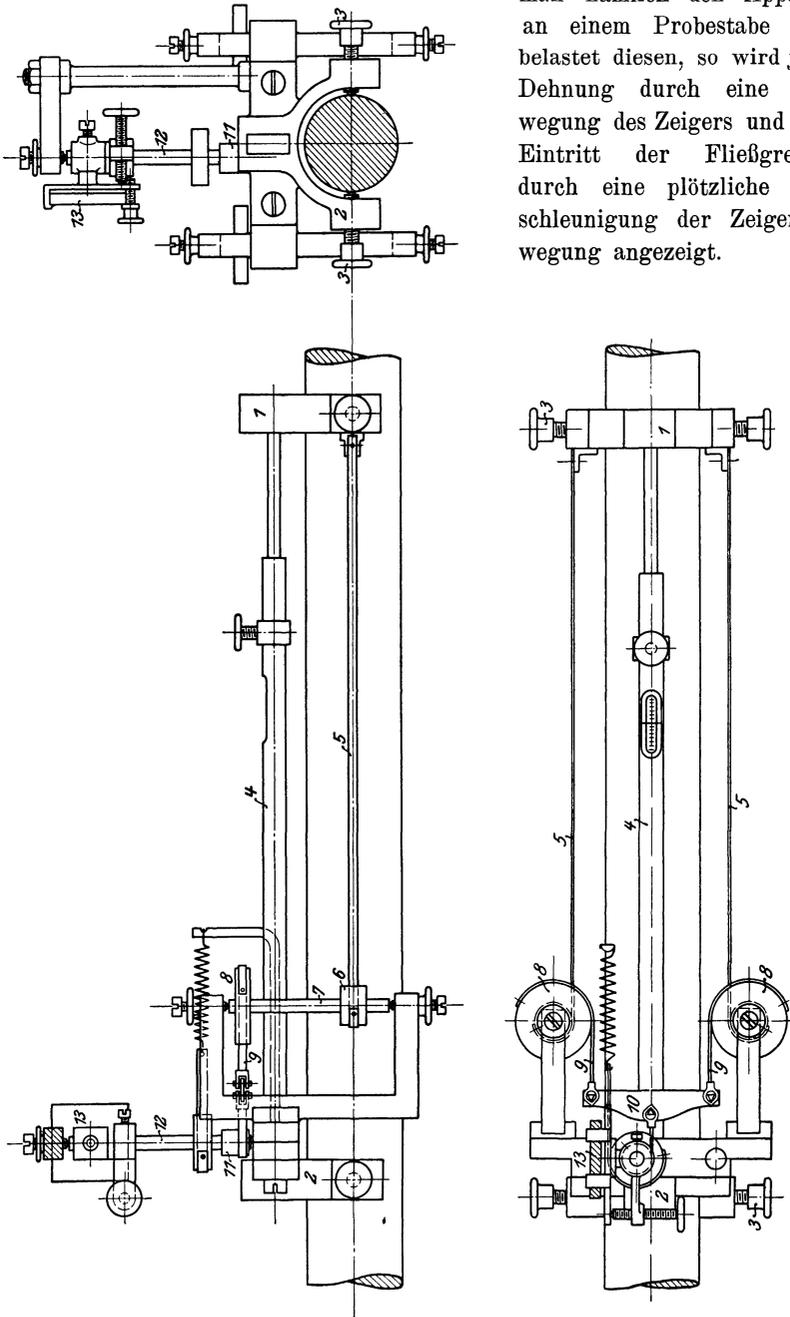


Fig. 272.

### § 172. Der Hartig-Leunersche Spiegelapparat.

Die Bestrebungen, mit einem einzigen Fernrohre die Dehnungsablesungen vorzunehmen, haben zur Konstruktion des Hartig-Leunerschen Spiegelapparates geführt, der mit einigen vom Verfasser angegebenen Änderungen in Fig. 272 dargestellt ist.

Die beiden federnden Schraubenklemmen 1 und 2 werden am Umfange des Stabes in seiner Mittelebene mit den Spitzenschrauben 3 angesetzt. Beide Klemmen sind durch eine mit Millimeterteilung versehene Führung 4 verbunden. Die Teilung korrespondiert mit der Entfernung der Spitzenschrauben der Klemmen und gestattet somit ihre Einstellung auf die beabsichtigte Meßlänge. An der Klemme 1 sind zwei feine Stahlbänder 5 befestigt, die zu den Rollen 6 der in Spitzen drehbaren Achsen 7 führen und die Entfernungsänderung der Klemmen in eine Drehbewegung umsetzen. Diese Bewegung wird auf die Rollen 8 und unter Vermittelung der Stahlbändchen 9, sowie Waghebel 10 auf die Rolle 11 mit Achse 12 und Spiegel 13 übertragen. Durch den Waghebel erfolgt mechanisch eine Ausgleichung der etwa verschieden grossen Längenänderungen der beiden Seiten des Stabes.

Verfasser, der diesen Apparat öfters benutzt hat, ist zu der Ansicht gelangt, daß ihm der Martenssche Apparat trotz der größeren Umständlichkeit der Ablesung zweier Spiegelbewegungen bei weitem überlegen ist. Der beschriebene Apparat besitzt in seinen Rollen und seinen Spitzenslagerungen viele Fehlerquellen, und besonders stark wird das Messungsergebnis durch die Längenänderungen der feinen Stahlbändchen bei Temperaturschwankungen beeinflusst. Bei Demonstrationsversuchen leistet der Apparat dagegen gute Dienste. Er wird dabei für objektive Beobachtung in der Weise benutzt, daß von einer Lichtquelle aus ein Lichtstrahl in den Spiegel geleitet wird, welcher denselben reflektiert und auf eine große, allen Beteiligten sichtbare Skala projiziert. Die Anordnung gestattet mit genügender Genauigkeit die Demonstration der elastischen und bleibenden Dehnung und zeigt vor allem den Vorgang des Fließens in anschaulicher Weise.

### § 173. Der Bachsche Feinmeßapparat.

Eine weitere Vorrichtung zur Messung der elastischen Dehnung, die von Bach bei seinen umfangreichen Versuchen mit Probekörpern aus Zement, Beton, Sandstein usw. Verwendung gefunden hat, ist in Fig. 273 dargestellt.<sup>1)</sup> Sie beruht auf dem gleichen Konstruktionsprinzip wie der Bauschingersche Apparat, nur mit der Abweichung, daß die Längenänderung des Probekörpers nicht unmittelbar, sondern durch Zwischenschaltung einer Hebelübersetzung in Drehbewegung einer Rolle mit Zeiger umgesetzt wird.

<sup>1)</sup> Bach, Elastizität und Festigkeit, 1905, S. 115.

Im wesentlichen besteht die Vorrichtung aus:

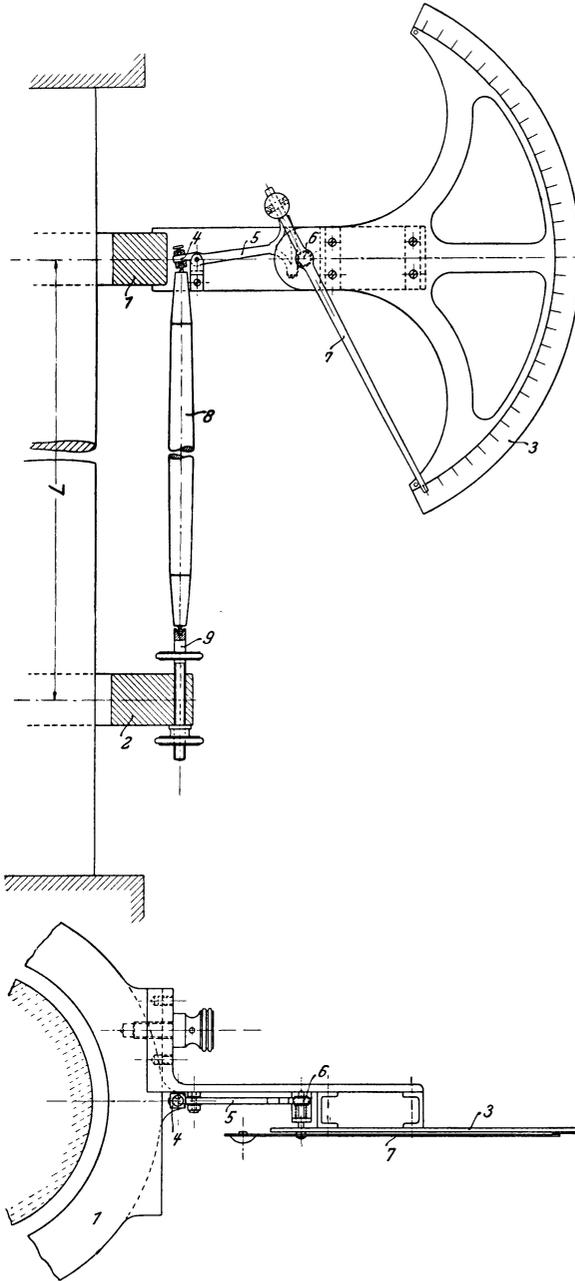


Fig. 273.

1. den beiden Klemmen 1 und 2, von denen die eine 1 eine Kreisbogen-skala 3 und das Hebelwerk 4, 5 mit Rolle 6 und Zeiger 7 trägt;
2. dem Stäbchen 8, das sich einerseits gegen das freie Ende 4 des doppelarmigen Hebels 4—5 und andererseits gegen die Schraube 9 stützt, die zur Einstellung des Zeigers auf den Nullpunkt der Skala dient.

Zur Sicherung der Berührung zwischen dem segmentartig ausgestalteten Ende des doppelarmigen Hebels 5 und der Rolle 6 ist an dem Hebel ein Metallbändchen befestigt, welches die Rolle mitnimmt. Die Übersetzung des Instrumentes ist so gewählt, daß 1 mm

Längenänderung des Versuchskörpers 300 mm Weg auf der Skala entsprechen. Da nun  $\frac{1}{10}$  mm Weg noch abgelesen werden

kann, erfolgt die Messung der Längenänderung des Probekörpers in  $\frac{1}{3000}$  mm.

Der Apparat ist jedoch nur für Körper größerer Dimensionen geeignet, weil sein verhältnismäßig hohes Gewicht und seine sperrige Konstruktion sichere Stützung am Probekörper erfordert. Seine Benutzung erscheint jedoch bequem und darum einwandfrei, weil die Anzeigen des Apparates leicht geeicht werden können.

#### § 174. Die Dehnungsmessung nach dem Interferenzprinzip.

Das Bestreben, die Feinheit der Messungen noch weiter zu vervollkommen, als es mit Spiegelapparaten möglich ist, hat zur Benutzung des Interferenzprinzips geführt, das sonst zur Messung thermischer Ausdehnungen verwendet wird. Ein Interferenzapparat, der in der physikalisch-technischen Reichsanstalt entstanden ist, wurde in Heft 2 des Jahrgangs 1907 der Zeitschrift für Instrumentenkunde beschrieben. Da der Apparat und die Methode jedoch für allgemeine Verwendung nicht geeignet sind, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden. Zu erwähnen ist jedoch, daß die Methode äußerst wertvoll zur Messung elastischer Dehnungen an Stäben aus solchen Materialien ist, die infolge großer elastischer Nachwirkungen nur geringe Belastungen vertragen und infolgedessen mit den üblichen Vorrichtungen nicht geprüft werden können.

#### § 175. Zeigerapparate zur Messung der Größe linearer Bewegungen im Raume.

Diese Instrumente werden erforderlich, wenn die Lagenänderung gewisser Bauwerkteile gegen feste Punkte gemessen werden soll und die Bewegungen so gering sind, daß die Genauigkeit der Messung mit einem gewöhnlichen Längenmaßstabe nicht ausreichend ist.

Die einfachste Form eines für diese Zwecke geeigneten Meßinstrumentes ist der doppelarmige Hebel mit Zeiger und Skala, dessen Konstruktionsgrundsatz mit dem des in Fig. 75 S. 77 dargestellten Apparates übereinstimmt. Soll z. B. die Durchbiegung einer Brücke gegenüber der

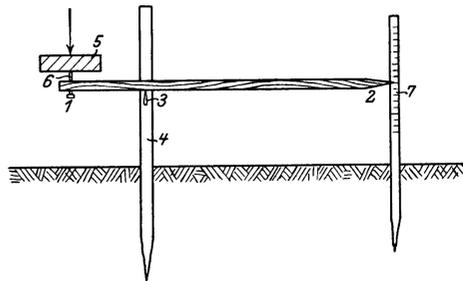


Fig. 274.

darunter befindlichen Erdoberfläche gemessen werden, so schafft man sich in einfacher Weise ein gutes Meßinstrument dadurch, daß man einen dünnen, aber widerstandsfähigen, zugespitzten Holzstab 1, 2 (s. Fig. 274) auf die Schneide 3 eines Messers legt, das man horizontal in einen im Erdboden steckenden Holzpflock 4 eintreibt, und zwischen 1 und Brücke 5 einen beiderseits zugespitzten Stift 6 einschaltet, der die Bewegung überträgt. Ist die dem freien Hebelende 2 gegenüber aufgestellte Skala 7 mit Millimeterteilung versehen, so berechnet man das Maß der Bewegung der Brücke in der

Weise, daß man die Anzeige am Maßstabe mit dem Übersetzungsverhältnisse des Hebels dividiert. Voraussetzung dabei ist jedoch, daß der Hebelausschlag sich innerhalb von Grenzen bewegt, die die Benutzung einer geraden Skala nicht verbieten. Andernfalls muß der dadurch verursachte Fehler berichtigt werden.

Reichen solche Zeigervorrichtungen zur Vergrößerung der Bewegungen nicht aus, so empfiehlt sich die Benutzung von Apparaten, deren Konstruktion aus Fig. 275 zu ersehen ist.

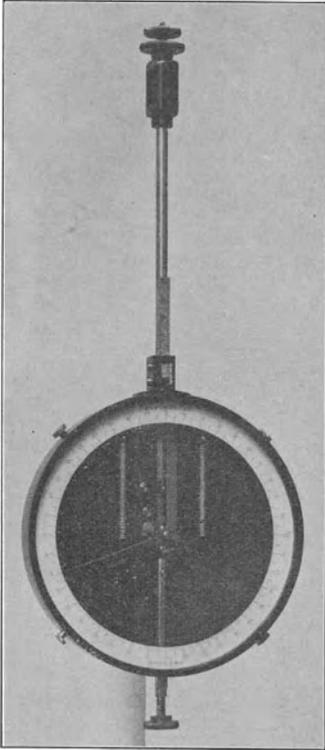


Fig. 275.

In einem Gehäuse mit Kreisteilung (s. Fig. 275) ist ein Schieber angebracht, der durch Federspannung nach einer Richtung gezogen wird und eine sehr fein geteilte Zahnstange besitzt. Mit dieser Zahnstange im Eingriff befindet sich ein Zahntrieb, welcher einen Zeiger trägt. Die Zähne des Zahntriebes sind Schraubenzähne, die mit größter Genauigkeit auf Schneckenradfräsmaschinen hergestellt werden. Zur Verhinderung des toten Ganges der Zähne ist der Zahntrieb nicht in Spitzen gelagert, sondern er trägt in der Mitte seiner Länge eine zapfenartige Aussparung, worin er mit einer Feder gegen die Zahnstange gedrückt wird.

So wenig einwandfrei auch die Verwendung von Zahnstange mit Trieb erscheint, haben die mit den Apparaten angestellten Kontrollmessungen gute Ergebnisse gezeitigt. Will man die Verzahnung vermeiden, so empfiehlt sich die Benutzung eines feinen Stahldrahtes, den man zur Erzeugung

genügender Reibung um das Röllchen des Zeigers legt und dessen Enden man federnd an der sonst mit Zähnen versehenen Stange befestigt.

Weitere Konstruktionen von Apparaten zur Messung elastischer Dehnungen und von Bewegungen s. Martens, Materialienkunde.

### § 176. Die Diagrammapparate.

Diagrammapparate dienen dazu, den Belastungsvorgang bei Materialprüfungen mechanisch aufzuzeichnen.

Im allgemeinen bestehen sie aus einer mit präpariertem Papier versehenen Trommel, die proportional der Formänderung des untersuchten

Körpers verdreht wird, und aus einem Schreibstifte, der proportional der Belastung lineare Verschiebungen erleidet. Die Vereinigung beider Bewegungen ergibt ein Diagramm, das den Verlauf der Formänderung als Funktion der Belastungen darstellt (s. §§ 5 und 14).

Bei einigen Materialprüfungsmaschinen werden die Diagrammapparate unmittelbar als Meßvorrichtung zur Kraft- und Formänderungsanzeige benutzt (s. § 143), während sie bei den übrigen Maschinen nur zur bildlichen Darstellung des Belastungsvorganges Anwendung finden. Da bei den meisten Diagrammapparaten vollkommene Zwangläufigkeit der Bewegungen nicht vorhanden ist und die Versuchsergebnisse infolgedessen nicht einwandfrei sind, muß Verfasser von der Benutzung solcher Apparate als Kraftanzeiger abraten, wenn die Maschine nicht mit Vorrichtungen versehen ist, die jederzeit in einfachster Weise eine Kontrolle des Kraftanzeigers gestatten.

Verfasser zieht auch für die bildliche Darstellung des Belastungsvorganges die Benutzung der durch direkte Beobachtung ermittelten Belastungs- und Formänderungswerte vor. Die zufälligen Fehler bei direkter Beobachtung können auf ein Mindestmaß beschränkt werden, während bei der mechanischen Aufzeichnung unkontrollierbare Mängel des Diagrammapparates das Versuchsergebnis trüben, wenn nicht gar unbrauchbar machen.

In Fig. 276 ist ein Diagrammapparat dargestellt, wie er bei den Maschinen mit Quecksilbermanometer (s. § 122) von Amsler-Laffon & Sohn verwendet wird.

An dem in der Prüfungsmaschine befindlichen Zerreißprobestab 1 sind die beiden Klemmen 2 und 3 durch federnde Spitzenschrauben befestigt. Die untere 2 trägt eine Rolle 4, über die ein an 3 befestigter Faden 5 läuft, der durch Leitrolle 6 in die Ebene der Schnurscheibe 15 geführt wird. Der Faden umschlingt die Schnurscheibe 15 und wird durch das Gewicht 16 gespannt erhalten. Jede Entfernungsänderung der Klemmen 2 und 3 voneinander bewirkt eine Drehung der Schnurscheibe und, da diese mit der Trommel 7 fest verbunden ist, eine Bewegung der Trommel proportional der Entfernungsänderung, also der Längenänderung des Probestabes. Gleichzeitig wird durch das Quecksilber des Manometers 14 der Schwimmer 12, der an einem über Rolle 17 geführten Faden hängt, gehoben und infolgedessen die Rolle 11, um die derselbe Faden geschlungen ist, verdreht. Gewicht 13 dient zur Ausbalancierung des Schwimmer-

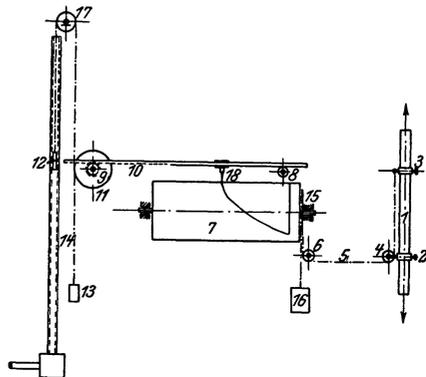


Fig. 276.

gewichtet. Auf der Achse der Rolle 11 befindet sich eine zweite verzahnte Rolle 9, die mit einer Zahnstange 10 in Eingriff steht, die bei 8 gestützt ist und einen Schreibstift 18 trägt. Da somit die Bewegung des Schreibstiftes 18 proportional dem Ansteigen der Quecksilbersäule erfolgt und diese ja bekanntlich zur unmittelbaren Belastungsmessung dient, ergibt die Vereinigung der Bewegung des Schreibstiftes und die der Trommel ein Diagramm, das die jeweiligen Längenänderungen als Funktion der Belastungen enthält. Fig. 277 zeigt die Ausführungsform des Diagrammapparates.

Ganz ähnliche Konstruktion weist der bei den Prüfungsmaschinen von Mohr & Federhaff (s. 211) benutzte Diagrammapparat auf. Er unterscheidet sich nur insofern von dem oben beschriebenen, als die Bewegung des

Schreibstiftes zum Aufzeichnen der Belastung nicht durch ein Manometer, sondern durch das Laufgewicht des Waghebels hervorgerufen wird.

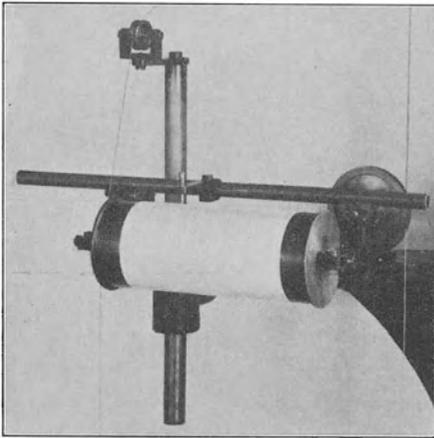


Fig. 277.

Ein bei Materialprüfungsmaschinen mit hydraulischer Kraftmessung gute Dienste leistender Diagrammapparat ist der hydraulische Schreibapparat von Losenhausen (Fig. 278). Er besteht aus einer Meßdose 1 (s. S. 187), die durch das Rohr 2 mit dem Zylinderraum in Verbindung steht, dessen

Flüssigkeitsdruck gemessen werden soll, und einer Schreibvorrichtung, deren Schreibtrommel 3 durch einen am Probestab angreifenden Kettenzug 4 gedreht wird. Der Arbeitsvorgang ist folgender: Die durch das Ventil 5 aus dem Rohr 2 in den Dosenraum 6 eintretende Flüssigkeit drückt auf den Kolben 7 der Meßdose und hebt infolgedessen den Stützapfen 8 proportional dem Drucke nach oben. Diese Bewegung überträgt sich durch das Gehänge 9 und die Schneide 10 auf den mit Schneide 11 am Meßdosengestell gestützten doppelarmigen Schreibhebel 12, der bei 13 an einer Feder 14 aufgehängt ist. Das Ende des Schreibhebels 12 ist mit einem Schreibstift 15 versehen, der die Bewegung auf dem um die Trommel 3 gelegten Papier aufzeichnet und somit in einem gewissen Maßstabe die auf den Probestab wirkende Kraft festlegt. Da ferner die Schreibtrommel gleichzeitig durch die über die Rolle 16 laufende, durch Gewicht 17 gespannte Kette entsprechend der Stabdehnung oder sonstigen Formänderung des Probestückes gedreht wird, erhält man ein Diagramm, in welchem

die eine Koordinate Belastungen und die andere Formänderungen darstellt.

Wegen weiterer Konstruktionen von Diagrammapparaten ist auf das Handbuch von Martens zu verweisen, wo auch solche Apparate beschrieben sind, bei denen durch Verwendung großer Übersetzungsverhältnisse eine Darstellung des Belastungsvorganges innerhalb der Fließgrenze der geprüften Materialien möglich ist.

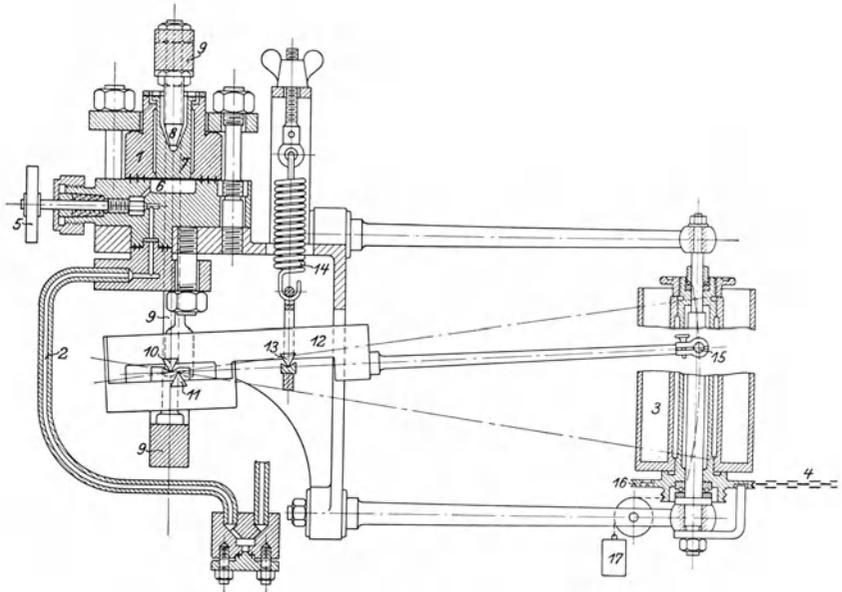


Fig. 278.

## II. Instrumente und Verfahren für Gewichtsermittlungen.

### § 177. Die Wagen und Wägungen.

Die Wagen dienen dazu, die Maße eines Körpers zu bestimmen. Als Einheit gilt dabei das Gramm, d. i. die Masse von 1,00003 ccm Wasser von  $+4^{\circ}\text{C}$ .

Im Materialprüfungswesen werden bei Wägungen in erster Linie die doppelarmigen Wagen benutzt, und zwar kommen je nach der Art der Wägung solche mit mehr oder weniger hoher Empfindlichkeit zur Verwendung.

Die sogen. kurzarmigen Wagen besitzen hohe Empfindlichkeit und gestatten Wägungen mit geringerem Zeitaufwand auszuführen als die langarmigen. Während für eine Schwingungsdauer einer langarmigen

Analysen-Wage 10—15 Sekunden gerechnet werden muß, vollführt eine kurzarmige Wage eine Schwingung innerhalb 6—10 Sekunden.

Da Wagen durch die geringfügigsten Ursachen in ihrer Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Anzeige verändert werden können, soll hier auf die wichtigsten Punkte, die bei Benutzung von Wagen zu berücksichtigen sind, hingewiesen und Anweisung zur Abstellung etwaiger Mängel gegeben werden.

In erster Linie ist der Aufstellung einer Wage besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Wagen müssen einen völlig erschütterungsfreien Standort erhalten und vor Luftfeuchtigkeits- und Temperaturwechseln bewahrt werden. Im Wagegehäuse ist ein Thermometer aufzuhängen. Die Schneiden und Pfannen dürfen keine Stäubchen aufweisen. Sie müssen gegebenenfalls mit einem feinen Haarpinsel gereinigt werden, und da bereits das feinste Stäubchen zwischen Schneide und Pfanne die Einstellung der Wage illusorisch machen kann, überzeuge man sich von dem Erfolg der Reinigung mit einer Lupe.

Gewöhnlich sind die Wagen mit einem Senklot oder einer Libelle versehen, die dazu dienen, eine genaue Einstellung der Wage in der Horizontalebene durch Betätigung der Fußschrauben vorzunehmen.

Hierauf löst man die Arretiervorrichtung und stellt fest, ob sich der Waghebel im Gleichgewicht befindet. Dies ist der Fall, wenn sein Zeiger mit gleichartiger Geschwindigkeit um die Nullage hin und her schwingt. Ist dies nicht der Fall, schlägt z. B. die Wage, wenn sie nach rechts oder links betätigt wird, um, d. h. schwingt sie nicht zurück, dann befindet sie sich im labilen Gleichgewicht. Es rührt dies daher, daß der Schwerpunkt der Wage über ihrem Stützpunkte liegt. Man korrigiert den Fehler durch Herunterschrauben des über dem Stützpunkt angebrachten Laufgewichtes. Zu tiefes Herunterschrauben vermindert die Empfindlichkeit der Wage; es ist daher durch mehrfaches Probieren die Wage auf die gewünschte Empfindlichkeit einzustellen. Schwingt hiernach der Zeiger der Wage nicht um den mittelsten Skalenteilstrich, dann verlegt man den Schwerpunkt des ganzen schwingenden Systems durch Betätigung einer der an den Enden der Wagearme angebrachten Regulierschrauben oder der über den Stützpunkt des Wagehebels befindlichen Fahne usw. Eine Ungenauigkeit von einigen Zehntel eines Skalenteils kann bestehen bleiben, weil der Nullpunkt sich trotz sorgfältigster Einstellung mit der Zeit verändert.

Nach diesen Manipulationen überlasse man die Wage einige Minuten sich selbst, damit sich etwaige, durch Temperaturwechsel bedingte Veränderungen wieder ausgleichen. Hiernach bestimmt man den Nullpunkt der Wage, indem man sie mehrmals um die Mittellage 2—5 mm hin und her schwingen läßt, wobei die Lage der Umkehrpunkte abgelesen wird. Im Allgemeinen genügen drei Umkehrpunkte. Man bildet aus dem ersten

und dritten den Mittelwert und vereinigt diesen mit dem zweiten zu dem endgültigen Mittelwert, der den Nullpunkt der Wage darstellt.

Nun kann mit der Wägung begonnen werden.

Man legt bei arretierter Wage den zu wägenden Körper auf die eine Wagschale (gewöhnlich die linke) und bringt auf die andere Schale so viele Gewichtsstücke, daß die Wage ohne zu großen Ausschlag schwingt. Hierauf sucht man durch Verschiebung des Reiters auf dem Waghebel den Schwingungsmittelpunkt dem vorher bei leeren Wagschalen festgestellten Nullpunkte soweit als möglich nahe zu bringen. Nachdem dies geschehen, macht man, wie vorher, mehrere Umkehrbeobachtungen und berechnet durch Mittelwertbildung den Schwingungsnulldpunkt. Weicht dieser Schwingungs-

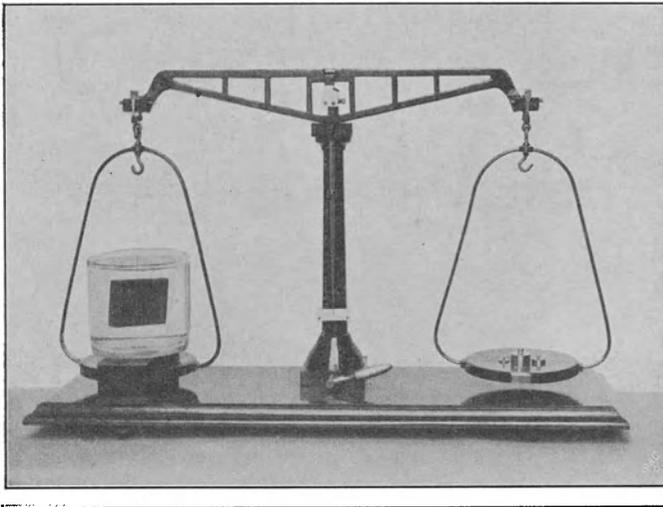


Fig. 279.

nullpunkt von dem Nullpunkt der Wage um  $n$  Skalenteilstriche ab und bedeutet  $C$  die Empfindlichkeit (s. § 178) der Wage, dann ist  $\frac{n}{C}$  die Größe, die man den Gewichtsstücken noch hinzufügen bzw. von ihnen wegnehmen müßte, um die Wage zum Schwingen um den Nullpunkt zu bringen, d. h. um Gleichgewicht zu erzeugen.

Erwähnt soll noch werden, daß die Wägungen bei geschlossenem Wagegehäuse ausgeführt werden müssen.

Für weniger genaue Wägungen benutzt man mit Vorteil Tarierwagen, deren Genauigkeit im allgemeinen hinreicht, um das Gewicht eines Körpers bis auf 1 cg zu bestimmen. Eine brauchbare Tarierwagen für 5 kg Belastung ist in Fig. 279 dargestellt.

Auch Wagen nach Fig. 280 finden im Materialprüfungswesen Verwendung. Sie gestatten die Ausführung von sicheren Gewichtsbestimmungen bis auf 1 g.

Die Gewichte der Analysenwagen sind sorgfältig vor Staub und Schmutz zu bewahren. Sie dürfen nicht mit den Händen berührt, sondern müssen unter Verwendung einer Pinzette auf die Wagschale gelegt werden.

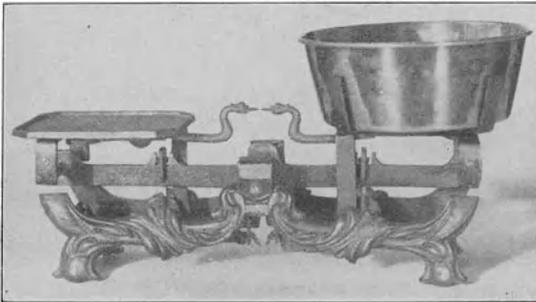


Fig. 280.

Da jedoch Gewichte trotz sorgsamster Behandlung Veränderungen erleiden, empfiehlt es sich, die Gewichte von Zeit zu Zeit eichen zu lassen oder die Eichung unter Benutzung eines besonderen Gewichtsatzes (Quarz) selbst auszuführen.

Das Austarieren von Wägegläschen oder dergl. erfolgt am besten mit Granaten, die gegenüber Bleischrot den Vorzug besitzen, beim Verstauen nicht fortzurollen.

### § 178. Empfindlichkeit einer Wage.

Unter Empfindlichkeit einer Wage versteht man die Änderung der Einstellung für die Mehrbelastung „Eins“ (z. B. 1 mg) einer Schale.

Wegen der geringeren Durchbiegung kurzer Waghebel gegenüber langen besitzen kurzarmige Wagen im allgemeinen eine größere Empfindlichkeit als langarmige. Die Empfindlichkeit wechselt aber je nach der Belastung, und es empfiehlt sich deshalb, zur Ermittlung der Empfindlichkeit der Wage bei jeder Belastung eine Kurve anzufertigen, aus welcher der Ausschlag auf 1 mg als Funktion der Belastung entnommen werden kann.

Die Bestimmung der Empfindlichkeit  $C$  geschieht in folgender Weise: Man belastet die Wage auf beiden Schalen mit gleichen Gewichten und fügt, nachdem man sich durch Wägung von der Gleichheit der Gewichte überzeugt hat, ein kleines Übergewicht auf der einen Schale hinzu, so daß die Einstellung um  $e$  Skalenteilstriche vom Nullpunkt der Wage abweicht. Hierauf bewirkt man durch Mehrbelastung der anderen Wagschale um  $\pi$  mg eine ungefähr ebenso weit nach der anderen Seite abweichende Einstellung  $e'$  und findet die Empfindlichkeit der Wage zu

$$C = \frac{(e - e')}{\pi}.$$

Da die Empfindlichkeit einer Wage Veränderungen erleidet, muß sie von Zeit zu Zeit neu bestimmt werden.

### § 179. Das spezifische Gewicht.

Spezifisches Gewicht  $s$  eines Körpers heißt das Verhältnis seiner Masse zu der Masse eines gleichen Volumens Wasser von  $4^{\circ}$  oder, bei Benutzung des Zentimetergramm-Systems auch das Verhältnis des Gewichtes eines Körpers zu seinem Volumen.

Hiernach ergibt sich das spezifische Gewicht  $s$  eines Körpers, wenn  $m$  seine Masse in Gramm,  $v$  sein lückenloses Volumen in Kubikzentimeter bedeutet

$$s = \frac{m}{v}.$$

Bei Bestimmung des spezifischen Gewichtes ist somit eine Gewichts- und eine Volumen-Ermittlung vorzunehmen.

### § 180. Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten.

#### a) Ermittlung mit dem Pyknometer.

In Fig. 281 u. 282 sind zwei Pyknometer abgebildet; das eine besteht aus einer mit Glasstopfen versehenen Flasche, die am Halse eine feine Ringmarke trägt, das andere besitzt in den Hohlraum eingesetzt ein als Stopfen ausgestattetes Thermometer und außerdem eine seitlich ange-setzte, mit Ringmarke versehene Röhre, die zum Austritt der Luft beim Einfüllen der zu untersuchenden Flüssigkeit dient. Die Anwendung beider Pyknometer geschieht in folgender Weise: Man wägt das Gefäß zuerst leer, sodann mit Wasser und schließlich mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt. Die Differenz zwischen dem Ergebnis der zweiten und ersten, sowie der dritten und ersten Wägung gibt die jeweilige Flüssigkeitsmenge an, die das Pyknometer aufgenommen hat.

Die Temperaturbestimmung geschieht bei Benutzung des Pyknometers nach Fig. 282 mit dem eingesetzten Thermometer und bei Pyknometer nach Fig. 281 dadurch, daß man dasselbe

so lange in ein Bad von konstanter Temperatur stellt, bis man sicher ist, daß die Flüssigkeit die Temperatur des Bades angenommen hat. Bei etwaigem Steigen der Flüssigkeit im Gefäßhalse über die Ringmarke saugt man durch Eintauchen eines Stückchen Fließpapiers etwas Flüssigkeit ab. Vor Ein-

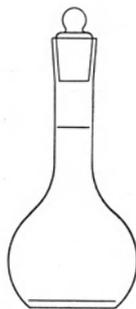


Fig. 281.

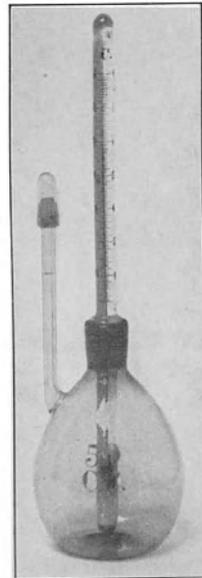


Fig. 282.

füllen der Flüssigkeiten überzeuge man sich, daß die Pyknometer völlig sauber und trocken sind.

Über die Korrektion bei Temperaturschwankungen vergl. § 184, S. 296.

Ein zur Untersuchung von dickflüssigen Körpern, wie Fett, Teer, Pech u. dergl., besonders geeignetes Pyknometer ist das Stereopyknometer von Dr. Max Vogtherr. Es besteht aus einem Aufnahmegefäß (Fig. 283) mit weiter Öffnung, die durch einen, mit langem Hals versehenen, übergreifenden Deckel verschlossen ist. Am Halse ist eine Teilung angebracht, die das Volumen des geschlossenen Apparates abzulesen gestattet. An Stelle des Halses mit nur einer Marke wird der Apparat auch mit zwei Hälsen hergestellt, wobei der zweite zur Aufnahme eines Thermometers bestimmt ist.



Fig. 283.

#### b) Ermittlung mit dem Skalenaräometer.

Ein Skalenaräometer ist, wie Fig. 284 zeigt, ein Senkkörper, der am oberen Ende eine mit einer Teilung versehene Spindel trägt. Seine Konstruktion beruht auf dem Archimedischen Prinzip, wonach ein schwimmender Körper so tief in eine Flüssigkeit eintaucht, daß das Gewicht des von dem untergetauchten Teil des Körpers verdrängten Flüssigkeitsvolumens gleich dem ganzen Gewicht des Körpers ist. Der Schwerpunkt des Aräometers muß tief liegen, damit es beim Schwimmen vertikal steht. Die Teilung an der Spindel des Aräometers zeigt entweder unmittelbar das spezifische Gewicht oder dessen reziproken Wert, das spezifische Volumen,

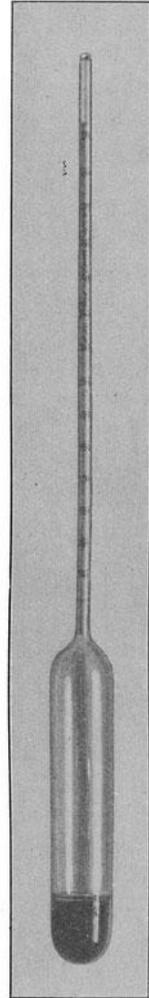


Fig. 284.

an. Für spezielle Zwecke gibt es auch noch anders geteilte Aräometer, die aber hier nicht in Frage kommen.

Die Ablesung geschieht derart, daß man durch Anvisieren denjenigen Teilstrich sucht, der mit der Oberfläche der Flüssigkeit in einer Ebene liegt. Auf große Genauigkeit darf diese Methode keinen Anspruch erheben, weil die unvermeidlichen Fehler, die in ungenauer Ablesung und Kapillarität bedingt sind, einen verhältnismäßig großen Wert erreichen. Außerdem erfordert die Methode größere Flüssigkeitsmengen.

Gewöhnlich besitzt man eine größere Zahl von Aräometern, die für verschiedene Intervalle von spezifischen Gewichten bestimmt sind. Man probiert zuerst mit einem größeren Aräometer, welchem Intervall das spezifische Gewicht der Flüssigkeit nahekommt, und wählt dann das richtige Aräometer aus.

Man beziehe nur geeichte Aräometer, oder lasse sie an geeigneter Stelle mit Instrumenten richtiger Anzeige vergleichen.

e) Ermittlung mit Senkkörper nach der Auftriebsmethode.

Diese Methode kann unter Benutzung einer doppelarmigen Wage in der Weise Anwendung finden, daß man einen mit Faden an die Wage gehängten Glaskörper (Senkkörper) in der Luft ( $G_l$ ), im Wasser ( $G_w$ ) und in der zu untersuchenden Flüssigkeit ( $G_f$ ) wägt. Beträgt der Gewichtsverlust infolge des Auftriebes im Wasser  $w = G_l - G_w$ , in der Flüssigkeit  $m = G_l - G_f$ , so ist das spezifische Gewicht der Flüssigkeit

$$s = \frac{m}{w}.$$

Die Aufhängung des Senkkörpers erfolgt mit einem feinen Faden oder Draht. Beim Eintauchen ist darauf zu achten, daß die Aufhängeschlinge völlig von der Flüssigkeit bedeckt ist und an keiner Stelle Luftbläschen vorhanden sind. Die Senkkörper sind gewöhnlich als Thermometer ausgestaltet (Reimannsche Senkkörper).

Erleichtert wird die Bestimmung des spezifischen Gewichtes nach der vorbeschriebenen Methode durch Verwendung der Mohr-Westphal'schen Wage (Fig. 285). Sie besteht aus einer doppelarmigen Wage ohne

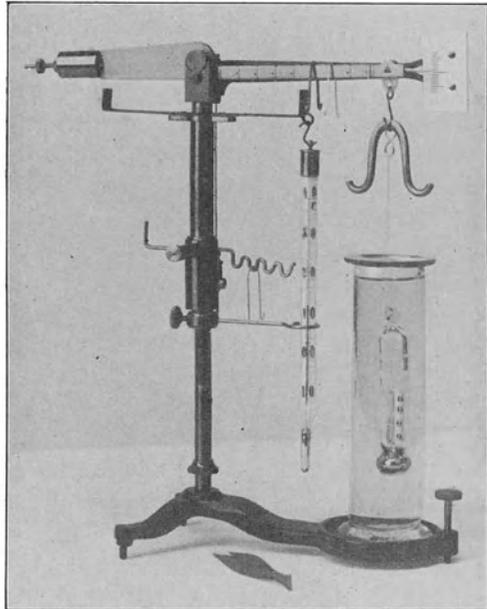


Fig. 285.

Schalen, an deren einem Hebel mit einem feinen Drahte ein Senkkörper aufgehängt ist, dessen Gewicht durch eine konstante Belastung des anderen Hebels ausgeglichen wird. Der Wagebalken ist dezimal geteilt und kann mit Reitern belastet werden, deren Gewicht so bemessen ist, daß das Gewicht des größten gleich dem Auftriebe des Senkkörpers im Wasser ist. Das Gewicht des nächsten ist gleich dem zehnten, hundertsten und tausendsten Teile des größten. Soll eine Bestimmung ausgeführt werden, dann wird der Senkkörper in die Flüssigkeit eingetaucht und der größte Reiter auf den Teilstrich 10 der Wagbalkenteilung gesetzt. Die übrigen Reiter werden dann auf die anderen Teilstriche verteilt, bis die Belastung dem Auftriebe das Gleichgewicht hält. Infolge der dezimalen Teilung des Wagehebels geben seine Teilstriche ohne weiteres die einzelnen Dezimalen des spezifischen Gewichtes an.

Bei der in Fig. 285 benutzten Gewichtsverteilung würde 1,679 abgelesen werden.

### § 181. Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes von festen Körpern.

#### a) Ermittlung durch Wägung und Ausmessung.

Ist das durch Wägung festgestellte Gewicht eines Körpers gleich  $G$  g und das durch Ausmessung ermittelte Volumen gleich  $V$  ccm, dann ist das spezifische Gewicht

$$s = \frac{G}{V}.$$

Ist die Ausmessung des Körpers wegen unregelmäßiger Gestalt nicht zugänglich, dann kann man das Volumen des Körpers durch Eintauchen in eine Flüssigkeit in der Weise bestimmen, daß man ermittelt, wieviel Flüssigkeit aus dem vorher bis zum Rande gefüllten Gefäß durch das Eintauchen ausfließt. Hierbei ist zu beachten, daß an dem Körper keine Luftbläschen haften bleiben.

Man kann zur Volumenbestimmung auch derartig verfahren, daß man den Körper in ein Meßgefäß von bekanntem Inhalt bringt und das Gefäß durch Einfüllen von Flüssigkeit in bekannter Menge bis zur Marke füllt. Der Inhalt des Meßgefäßes, verringert um das eingefüllte Flüssigkeitsvolumen, ergibt alsdann das Volumen des Körpers.

Besonders leicht läßt sich nach letzterem Verfahren das Volumen von pulverigen oder gekörnten Körpern bestimmen. Zu den ersteren können z. B. Zement und zu den letzteren Sand gerechnet werden. Da Zement in Wasser Veränderungen seines Zustandes erleidet, darf aber die Volumenbestimmung nicht mit Wasser vorgenommen werden, sondern sie muß unter Benutzung einer indifferenten Flüssigkeit, z. B. Terpentinöl, erfolgen.

Der einfachste Apparat für diese Zwecke ist das in Fig. 286 abgebildete Volumenometer von Schumann.

### α) Das Volumenometer von Schumann.

Es besteht aus einem Glaskolben, in dessen Hals eine mit Teilung versehene Glasbürette eingeschliffen ist (Fig. 286). Bei Benutzung wird der Kolben mit Flüssigkeit gefüllt, die sorgfältig trocken ausgewischte Bürette aufgesetzt und die Marke festgestellt, auf die der Flüssigkeitsspiegel sich in der Bürette einstellt. Hierauf trägt man durch die Bürette eine vorher gewogene Menge des Materials ein und liest die Steighöhe der Flüssigkeit ab. Die Differenz zwischen dem Flüssigkeitsstande nach und vor dem Eintragen des Materials ergibt alsdann ohne weiteres das Volumen, wenn die Teilung an der Bürette Volumeneinheiten, z. B.  $\frac{1}{10}$  ccm, angibt.

Beim Eintragen des Materials ist darauf zu achten, daß nichts an der Röhre hängen bleibt und die eingeschliffene Bürette sich nicht vom Kolben abhebt. Das Eintragen muß in kleinen Portionen erfolgen; leichtes Neigen der Bürette verhindert das Aufspritzen der Flüssigkeit, was Benetzen der Rohrwandungen zur Folge hat. Bei nasser Rohrwandung bleibt das Material hängen und veranlaßt Verstopfen der Bürette.

Die Handhabung des Apparates ist nicht einfach, es gehört große Übung und Geschicklichkeit dazu, feinpulverisierte Körper unter Verwendung von Terpentinöl auszumessen.

Wesentlich sicherer gestaltet sich die Bestimmung mit dem Volumenometer nach Erdmenger-Mann, von welchem drei Ausführungsformen in Fig. 287—289 dargestellt sind.

### β) Das Volumenometer nach Erdmenger-Mann.

Fig. 287 zeigt die ursprüngliche Form. Innerhalb eines weiten Kühlrohres, das unten einen Zufluß- und oben einen Abflußstutzen, sowie einen zweiten Stutzen zum Einhängen eines Thermometers besitzt, befindet sich eine in Volumeneinheiten geteilte Bürette, deren Nullpunkt am unteren Ende liegt. Über dem Hahn der Bürette mündet das mit Hahn versehene Zuflußrohr für die Meßflüssigkeit in die Bürette ein. Nach Öffnen dieses Hahnes kann mit einem Gummiballgebläse Flüssigkeit in die Bürette gedrückt und ihr Niveau eingestellt werden. Zur Erleichterung der Ablesung befindet sich in der Bürette ein gläserner Schwimmer mit Strichmarke. Das gewogene Material wird in kleinen Portionen in ein Pyknometer eingetragen und zwischen jeder Portion unter Schütteln des Pyknometers Flüssigkeit aus der Bürette eingefüllt. Nach Eintragen des gesamten Materials füllt man bis zur Marke auf und stellt durch Ablesen an der Teilung der Bürette die eingefüllte Flüssigkeitsmenge fest. Der Raum-

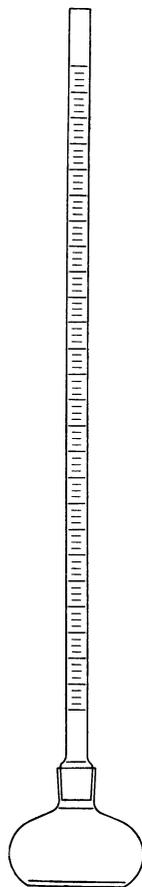


Fig. 286.

inhalt des Pyknometers, verringert um das Volumen der eingefüllten Flüssigkeit, stellt alsdann das Volumen des im Pyknometer befindlichen Materials dar. Da der Nullpunkt der Bürette am unteren Ende liegt, braucht diese Rechnung nicht erst angestellt zu werden; der abgelesene Teilstrich gibt unmittelbar das Volumen des Materials an.

Beim Eintragen pulverförmigen Materials ist darauf zu achten, daß dieses gehörig durchfeuchtet wird und sich nicht zusammenballt. Letzteres

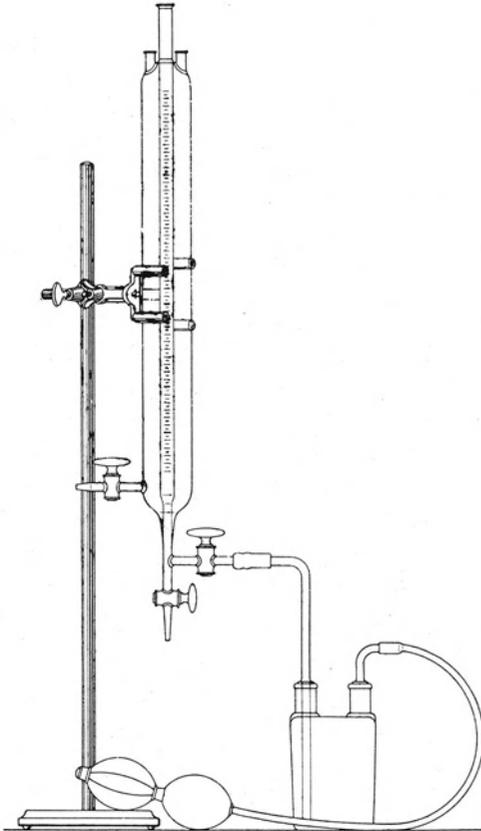


Fig. 287.

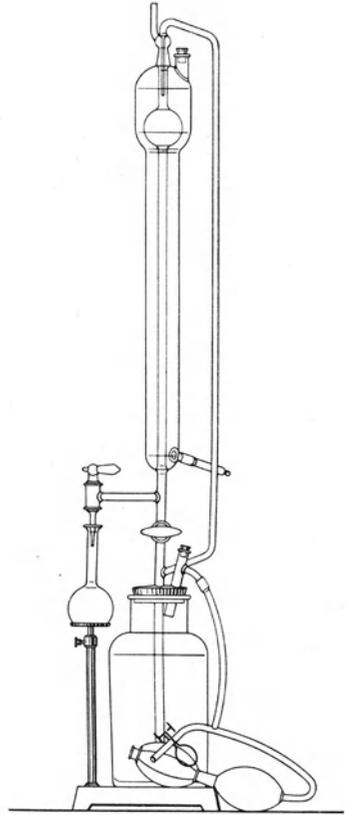


Fig. 288.

wird durch Schütteln des Pyknometers und langsames Eintragen des Materials wirksam verhindert.

Das die Bürette umschließende Kühlrohr ist mit Wasser zu füllen, dessen Temperatur auf derjenigen Höhe gehalten werden muß, bei der die Bürettenskala geteilt wurde. Gewöhnlich geschieht dies bei  $15^{\circ}$ . Die Temperaturmessung erfolgt mit einem in das Kühlrohr eingehängten Thermometer. Da auch die Eichung der Pyknometer gewöhnlich bei  $15^{\circ}$  erfolgt, muß das Pyknometer während des Versuches in ein Bad von dieser Temperatur gestellt werden.

Terpentinöl kann bei dieser Ausführungsform des Volumenometers nicht verwendet werden, weil diese Flüssigkeit die Gummischläuche auflöst.

Daß die Bürette sorgfältig sauber gehalten werden muß, bedarf eigentlich nicht erst der Erwähnung, es empfiehlt sich, sie mit einer Glaskappe zu bedecken und bei Nichtbenutzung bis oben mit Flüssigkeit zu füllen.

Fig. 288 zeigt die Ausführungsform des Erdmenger-Mannschen Volumenometers, wie es in dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde verwendet wird.<sup>1)</sup>

In eine weithalsige Flasche mit doppelt durchbohrtem Gummistopfen ist die Meßröhre durch die vordere, dem Arbeitenden zugekehrte Durchbohrung bis nahezu auf den Grund eingeführt. Durch die zweite Bohrung führt ein kurzes Glas-T-Stück bis etwas unter den Stopfen. An dem einen äußeren Ende befindet sich der Druckball, das andere ist mit einem Korken verschlossen, durch dessen Öffnen der Überdruck aus dem Apparat entfernt werden kann. Gleichzeitig dient diese Öffnung zum Ein- und Nachfüllen der Meßflüssigkeit unter Zuhilfenahme eines dem Apparate beigegebenen Trichters. Die Meßröhre ist folgendermaßen eingerichtet: Am unteren Teile oberhalb des Flaschenstopfens befindet sich ein einfacher Glashahn zur Füllung der Bürette. Darüber liegt ein nach vorn gehendes Ansatzrohr, an dessen vorderem Ende ein Hahn mit Ausfluß nach unten sitzt. Über dem Ansatzrohr beginnt die Teilung der Meßröhre. Unten liegt die Nullmarke. Von 0—15 ccm ist die Meßröhre in  $\frac{5}{100}$  ccm geteilt, oberhalb der 15 ccm-Marke ist sie kugelig erweitert, um sich dann wieder zur Aufnahme der 50 ccm-Marke zu verengen. Die Meßröhre ist von einem Wasserkühlmantel umgeben, der auch die Aufnahme eines Thermometers gestattet. Meßröhre und Flasche sind fest durch ein Stativ verbunden, doch so, daß beide bequem voneinander getrennt werden können, was aber im allgemeinen, und insbesondere zur Füllung, nicht notwendig ist. Unterhalb der Ausflußöffnung am Auslaßhahn der Meßröhre ist auf der Stativplatte ein kleines Tellerstativ aufgeschraubt mit senkrecht verschiebbarem, durch eine Schraube festzustellendem Teller zur Aufnahme der Meßkölbchen. Außerdem befindet sich am Apparat eine selbsttätige Einstellung der Flüssigkeitshöhe, deren Ablaufröhrchen nicht im Innern der Bürette untergebracht, sondern nach dem Muster der Zahnschen Büretten außerhalb derselben verlegt ist.

Für die Dresdner Versuchsanstalt gestaltete Verfasser das Erdmenger-Mannsche Volumenometer nach Fig. 289 aus.

Es unterscheidet sich von der ursprünglichen Konstruktion durch die Art der Flüssigkeitszuführung und Gestaltung der Bürette, sowie Anbringung des Kühlers. Die Flüssigkeitszufuhr geschieht durch das seitlich

<sup>1)</sup> Beschreibung ist entnommen den Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde 1904, S. 217.

angebrachte Heberrohr 1. Durch Heben und Senken des Flüssigkeitsbehälters 2 kann Steigen bzw. Fallen des Flüssigkeitsniveaus in der Bürette 3 bewirkt werden. Bei der ersten Füllung ist die Flüssigkeit in die Bürette zu saugen. Bei späterem Nachfüllen ist dies nicht erforderlich, wenn darauf geachtet wird, daß der Behälter nicht zu weit entleert wird.

Die dargestellte Ausführungsform wird ausschließlich bei Zementprüfungen benutzt. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Ablesung ist die Bürette 3 innerhalb des in Frage

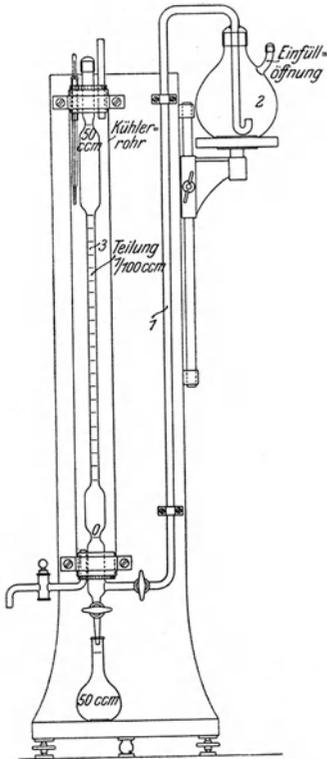


Fig. 289.

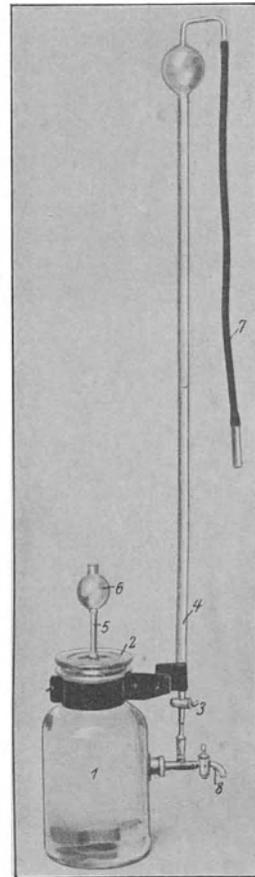


Fig. 290.

kommenden Meßbereiches derart eingeschnürt, daß eine Teilung in  $\frac{1}{100}$  ccm angebracht werden konnte.

Selbsttätige Einstellvorrichtungen an den Büretten erachtet Verfasser für unzweckmäßig, weil sie einerseits den damit Arbeitenden zur Sorglosigkeit bei der Einstellung verleiten, andererseits bei Anordnung als Überlauf im Inneren der Bürette ihre von Flüssigkeit benutzte Oberfläche vergrößern und bei Anordnung außerhalb der Bürette an der Mündung durch abfallende Tropfen Fehler veranlassen können.

### γ) Das Segersche Volumenometer.

Das in Fig. 290 dargestellte Volumenometer dient zur Volumenbestimmung größerer Probekörper, z. B. von Zementprobewürfeln mit 7 cm Kantenlänge (s. § 239).

Es besteht aus einer weithalsigen Glasflasche 1, die oben durch einen Glasstopfen 2 verschlossen werden kann, und einer seitlich angebrachten, mit Hahn 3 versehenen Bürette 4. Der Glasstopfen besitzt in der Mitte eine Öffnung, in die eine dünne Glasröhre 5 mit kugelige Erweiterung 6 am oberen Ende eingeschliffen ist.

Die Bürette ist mit einer Teilung ( $\frac{1}{10}$  ccm) versehen und oben zu einer Kugel erweitert, die einen Rohransatz zur Befestigung eines Gummischlauches 7 trägt. Der Nullpunkt der Bürette liegt auf gleicher Höhe mit einer Strichmarke auf der Röhre 5.

Die Benutzungsweise des Apparates ist folgende:

Man füllt die Flasche 1 mit Wasser oder einer anderen geeigneten Flüssigkeit, drückt den gehörig eingefetteten Stopfen 2 fest in den Flaschenhals und befestigt ihn mit einer eisernen Klemme. Hierauf öffnet man den Bürettenhahn, saugt zur Annäherung der Bürette mit dem Schlauche 7 Flüssigkeit bis zum Kugelrohr in dieselbe und füllt nach Absenken der Flüssigkeit durch das Rohr 5 bis zur Marke Flüssigkeit nach. Hierbei ist darauf zu achten, daß etwaige in der Flasche unter dem Stopfen befindliche Luftblasen entfernt werden. Es geschieht durch vorsichtiges Hin- und Herneigen des Apparates, wobei die Luft in die Röhre 5 gelangt und entweicht. Nachdem man den Apparat etwa 10 Minuten sich selbst überlassen hat, überzeugt man sich nochmals vom ordnungsmäßigen Flüssigkeitsstande, füllt event. wieder auf oder läßt das Zuviel an Wasser durch den Hahn 8 ab. Dann saugt man Flüssigkeit aus der Flasche in die Bürette bis zu völliger Füllung der Kugel, schließt den Hahn 3, öffnet den Stopfen der Flasche, bringt den Probekörper in dieselbe, verschließt wieder und läßt durch Öffnen des Hahnes 3 Flüssigkeit in die Flasche übertreten, bis ihr ehemaliger Stand bei der Strichmarke wieder erreicht ist.

Nach Verlauf von 10 Minuten liest man an der Bürettenteilung ab, wieviel Flüssigkeit in der Bürette zurückgeblieben ist. Diese Flüssigkeitsmenge ist gleich dem Volumen des geprüften Körpers. Ist das Körpervolumen größer als das der Bürette, dann kann man vor Einsetzen des Probekörpers in die Glasflasche eine gewisse Flüssigkeitsmenge unter Verwendung eines Meßkolbens durch den Hahn 8 entnehmen. In letzterem Falle ist das Körpervolumen gleich dem Volumen der abgelassenen Flüssigkeit, vergrößert um das in der Bürette befindliche Flüssigkeitsvolumen.

Körper, die lebhaft Flüssigkeit aufsaugen, müssen vor dem Versuch entweder mit Flüssigkeit gesättigt oder mit Paraffin eingehüllt werden. Das erstere geschieht durch Lagern und Kochen der Körper in Flüssigkeit bis zur Gewichtsgleichheit oder unter dem Rezipienten der Luftpumpe durch Ansaugen der Flüssigkeit.

Bei der Paraffineinhüllung wird der Körper in geschmolzenes Paraffin getaucht und hiernach durch Wägung die gebrauchte Paraffinmenge festgestellt. Bei der Volumenberechnung ist alsdann das Volumen des Paraffins in Abzug zu bringen. Das dazu erforderliche spezifische Gewicht des Paraffins kann man in demselben Apparat oder nach irgend einer anderen Methode ermitteln.

Der Apparat bedarf sorgfältiger Wartung, und beim Versuch muß den zahlreichen eingeschliffenen Stopfen große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es kommt oft vor, daß der eine oder andere von ihnen, besonders bei mehrfachem Hin- und Herneigen des Apparates zur Entfernung der Luft, sich lockert und zu Flüssigkeitsverlusten, die Fehler im Gefolge haben, Anlaß gibt.

b) Mit der Wage nach der Auftriebsmethode.

Besitzt ein Körper bei der Wägung an der Luft ein Gewicht  $G$  und ist sein Auftrieb bei der Wägung unter Wasser  $w$ , so ist sein spezifisches Gewicht

$$s = \frac{G}{w}.$$

Die Wägung wird in folgender Weise ausgeführt. Man hängt den Körper mit einem dünnen Platindrahte an der einen Wagschale einer doppelarmigen Wage auf, wägt ihn in der Luft, senkt ihn alsdann nach Fig. 279 S. 283 in ein Wassergefäß und bestimmt sein Gewicht unter Wasser. Die Differenz beider Gewichte ist gleich dem Auftrieb. Hierauf entfernt man den Körper von dem Drahte und bestimmt noch den Auftrieb des eingetauchten Drahtendes durch Wägung des Drahtes in der Luft und unter Wasser. Zieht man alsdann das Gewicht des Drahtes von dem vorher bei der Wägung in der Luft ermittelten Körpergewicht und den Auftrieb des Drahtes von demjenigen des am Draht hängenden Körpers ab, dann erhält man das wirkliche Gewicht und den wirklichen Auftrieb des Körpers.

Sollten beim Eintauchen am Körper oder am Drahte Luftbläschen hängen bleiben, so kann man sie mit einem Glasstäbchen entfernen. Hat man eine größere Zahl von Wägungen auszuführen oder ist das spezifische Gewicht zerkleinerter Körper zu bestimmen, dann kann man die umständliche Befestigung des Körpers an einem Drahte dadurch vermeiden, daß man ein Schälchen benutzt, welches in die Flüssigkeit eintaucht und den zu wägenden Körper aufnimmt. Die Auftriebsermittlung des Schälchens ist alsdann wegen seiner Unveränderlichkeit gegenüber einem Drahte nur einmal auszuführen.

Das bei der Wägung benutzte Wasser muß zur Vermeidung von Temperaturänderungen während der Wägung möglichst Zimmertemperatur besitzen.

In Wasser lösliche Körper wägt man in einer anderen Flüssigkeit, z. B. Terpentinöl. Das dabei ermittelte spezifische Gewicht des Körpers muß mit dem der Flüssigkeit multipliziert werden.

Da Körper, deren spezifisches Gewicht geringer als das des Wassers ist, bei der Wägung unter Wasser nicht untersinken, muß man sie durch Beschweren zum Untersinken zwingen. Es geschieht am einfachsten dadurch, daß man den Körper in ein gelochtes Gefäßchen bringt und in der weiter oben angegebenen Weise die Wägung durchführt.

c) Nach der Schwebemethode.

Bei Vorhandensein von nur sehr wenig Versuchsmaterial leistet die Schwebemethode gute Dienste.

Sie beruht ebenfalls auf dem Archimedischem Prinzip und besteht darin, daß man durch Probieren Flüssigkeiten mischt, in der die Probekörper weder untersinken noch aufsteigen, sondern in jeder Lage in der Flüssigkeit schweben. Das bedeutet, daß die Körper dasselbe spezifische Gewicht haben, wie die Flüssigkeiten. Geeignete Flüssigkeiten sind:

Chloroform ( $s = 1,52$ )	. . . . .	$CHCl_3$ ,
Bromoform ( $s = 2,9$ )	. . . . .	$CHBr_3$ ,
Methylenjodid ( $s = 3,3$ )	. . . . .	$CH_2J_2$ .

Sie können durch Mischung mit Benzol ( $s = 0,89$ ), Toluol ( $s = 0,89$ ), Xylol ( $s = 0,86$ ), Azetylentetrabromid ( $s = 3,0$ ), Pseudocumol ( $s = 0,88$ ) eingestellt werden, oder man kann auch die Thouletsche Lösung, bestehend aus einer wässrigen Lösung von Kaliumquecksilberjodid,<sup>1)</sup> die bis zu  $s = 3,196$  eingestellt werden kann, verwenden. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeiten kontrolliert man mit der Mohr-Westphalschen Wage (s. S. 287). Die gemischten Flüssigkeiten kann man durch partielle Destillation wieder zerlegen.

### § 182. Raumgewicht und Dichtigkeitsgrad.

Während das spezifische Gewicht  $s$  das Gewicht der Raumeinheit des lückenlosen Stoffes eines Körpers darstellt, wird unter Raumgewicht  $r$  das Gewicht der Raumeinheit eines Körpers einschließlich der eingeschlossenen Hohlräume verstanden. Das spezifische Gewicht  $s$  muß somit größer sein, als das Raumgewicht  $r$ . Je weniger Hohlräume ein Material besitzt, d. h. je dichter es ist, desto mehr nähert sich das Raumgewicht in seiner Größe dem spezifischen Gewicht. Das Verhältnis beider Gewichte gibt somit Aufschluß über den Dichtigkeitsgrad  $d$  des Körpers.

Es ist 
$$d = \frac{r}{s} \cdot 2)$$

Sind beide Gewichte gleich, dann ist der Dichtigkeitsgrad gleich Eins, andernfalls immer kleiner als Eins.

<sup>1)</sup> Greift die Haut an und ist giftig.

<sup>2)</sup> Anstatt des Dichtigkeitsgrades  $d$  wird häufig der Undichtigkeitsgrad  $u$  bzw. Porositätsgrad angegeben. Es ist:

$$u = s - \frac{r}{s}, \text{ also}$$

$$u = 1 - d.$$

### III. Instrumente und Verfahren zur Temperaturmessung.

#### § 183. Allgemeines.

Durch Zu- oder Abführung von Wärme ändert sich die Temperatur aller Körper, und da die Eigenschaften jedes Stoffes mit der Temperatur in unmittelbarem Zusammenhange stehen, ist bei Materialuntersuchungen die Feststellung der Versuchskörper- und Raumtemperatur mehr oder weniger erforderlich. Je nach der Höhe der zu messenden Temperatur und der Art des vorliegenden Körpers werden zur Temperaturbestimmung verschiedenartige Instrumente benutzt. Da für die Materialprüfung jedoch nicht alle Arten zur Anwendung gelangen, sollen hier nur die benutzten beschrieben und ihre Handhabung erläutert werden.

#### § 184. Das Quecksilberthermometer.

Das Quecksilberthermometer beruht auf der Eigenschaft des Quecksilbers, sich bei steigender Temperatur auszudehnen. Die Ausdehnung ist aber der Temperaturzunahme nicht genau proportional, sondern sie erfolgt etwas beschleunigt. Da auch die verschiedenen Glassorten, aus welchen die Thermometerröhren hergestellt werden, ähnliches Verhalten zeigen, muß die Richtigkeit der Thermometeranzeige vor Benutzung kontrolliert werden. Diese Kontrolle geschieht am besten durch Vergleichung mit geeichten Normalthermometern. Thermometer für sehr genaue Temperaturbestimmungen und insbesondere solche für höhere Temperaturgrade eiche man nicht selbst, sondern lasse dies von der physikalisch-technischen Reichsanstalt ausführen. Im allgemeinen liefern die Thermometerfabrikanten auf Wunsch sämtliche Thermometer mit Prüfungsschein.

Die gewöhnlichen Quecksilberthermometer können zur Messung von Temperaturen zwischen  $25^{\circ}$  und ca.  $350^{\circ}$  benutzt werden. Bei Thermometern für höhere Temperaturen (ca.  $550^{\circ}$ ) wird das Quecksilber in der Röhre durch Einfüllen von Stickstoff oder wasserfreier Kohlensäure oberhalb des Quecksilbers unter höheren Druck gebracht, was eine Erhöhung des Quecksilbersiedepunktes ( $360^{\circ}$ ) bewirkt.

Zur Messung von Temperaturen unter  $-25^{\circ}$  benutzt man Weingeistthermometer, welche den Quecksilberthermometern gleich gebaut und konstruiert sind.

Da bei der Ablesung der Thermometeranzeige infolge Parallaxe leicht Fehler gemacht werden können, klemmt man bei durchsichtigen Thermometerröhren hinter dieselben Spiegelscheiben und hält das Auge so, daß das Quecksilberfadenende mit seinem Spiegelbild zusammenfällt. Besser zum Ziele führt die Benutzung einer Lupe oder eines Fernrohres.

Ein wesentlicher Fehler bei Temperaturmessungen mit Quecksilberthermometern entsteht durch ihre Anordnung in dem Raume, dessen

Temperatur festgestellt werden soll. In der Regel ist es nicht möglich, das Thermometer ganz in diesem Raume unterzubringen; ein Teil desselben besitzt daher immer eine andere Temperatur als die Quecksilberkugel, die sich unbedingt in dem Raume befinden muß. Der durch solche Anordnung entstehende Fehler ist um so größer, je erheblicher der Unterschied zwischen der zu messenden Temperatur und der Temperatur der Umgebung ist. Da alle Thermometerskalen unter der Annahme geteilt sind, daß der Quecksilberfaden vollständig in den Raum eintaucht, also dieselbe Temperatur wie die Kugel besitzt, muß bei genauen Messungen eine Fehlerkorrektion stattfinden.

Nach Kohlrausch beträgt der „scheinbare Ausdehnungskoeffizient“ des Quecksilbers im Glase, d. h. der Unterschied der Volum-Ausdehnungskoeffizienten beider Substanzen für gewöhnliches und Jenaer Thermometerglas No. XVI 0,000157, für Jenaer Thermometerglas No. 59 0,000163, für Verre dur 0,000158; also hat man zu der Ablesung  $t$  hinzuzufügen:

$$0,000157 \text{ bzw. } 0,000163 \text{ oder } 0,000158 \cdot a (t - t_0),$$

wenn  $t_0$  die Mitteltemperatur, und  $a$  die in Graden ausgedrückte Länge des herausragenden Fadens ist. Die Mitteltemperatur  $t_0$  wird mit einem Hilfsthermometer bestimmt, dessen Quecksilbergefaß etwa in der mittleren Höhe des herausragenden Fadens angeordnet ist.

Bei der Benutzung von Thermometern ist darauf zu achten, daß sich das Quecksilbergefaß (Kugel) auch an derjenigen Stelle befindet, deren Temperatur bestimmt werden soll, und daß nicht durch Strahlung von den Gefäßwänden oder durch Wärmetransmission durch den Thermometerhalter Fehler hervorgebracht werden. Die Halter sind daher durch einen möglichst schlechten Wärmeleiter zu isolieren.

Will man die Temperaturänderung im Inneren eines festen Körpers mit Quecksilberthermometern bestimmen, dann versieht man den Körper mit einem Loche genügender Tiefe und füllt es zur besseren Wärmetübertragung mit Quecksilber, steckt das Thermometer hinein und isoliert die Oberfläche der Quecksilberfüllung mit Wachs oder dergl. Bei höheren Temperaturen (über 350°) kann an Stelle des Quecksilbers Heißdampföl Verwendung finden.

### § 185. Die Temperaturbestimmung mit Thermoelementen.

Die Thermoelemente gehören zu den elektrischen Pyrometern; bei ihnen werden die sog. Thermostrome zum Messen von Temperaturen benutzt. Solche Ströme entstehen bekanntlich, wenn die Stelle, wo zwei verschiedene Metallstäbe zusammengelötet sind, erwärmt wird. Die Messung der Ströme, deren Stärke mit der Temperatur der Lötstelle im bestimmten Verhältnis steht, erfolgt alsdann durch empfindliche Galvanometer, die man zwischen die Enden der Metallstäbe einschaltet. Ein besonders brauchbares ist das Thermoelement von Le Chatelier, das aus Platin

und Platin-Rhodium (10 % Rhodium) besteht und bis gegen den Schmelzpunkt des Platins (1720°) zuverlässig ist.<sup>1)</sup>

Dieses Element wird von Heraeus in Hanau nach Angabe von Holborn und Wien hergestellt und besteht aus je zwei Drähten von 1,5 m Länge und 0,6 mm Dicke,<sup>2)</sup> die an einem Ende zu einer kleinen Kugel, der sog. „Lötstelle“ zusammengeschmolzen sind. Werden die beiden Drähte (die Schenkel des Elementes) zu einem Stromkreise unter Einschaltung eines Galvanometers geschlossen, wobei die freien Enden des Elementes auf gleicher Temperatur zu halten sind, so entsteht bei Erhitzung der Lötstelle ein Strom, dessen Stärke im Mittel für 100° Temperaturerhöhung 0,001 Volt beträgt. Den Normalelementen wird von Heraeus ein Prüfschein der physikalisch-technischen Reichsanstalt mitgegeben, aus dem die elektromotorische Kraft für Elemente, die aus bestimmten Sorten Drähten hergestellt wurden, entnommen werden kann. Da die Metalle für diese Drähte aber in absoluter Reinheit zur Verwendung gelangen, müssen alle Elemente für gleiche Temperatur der Lötstelle auch gleiche elektromotorische Kraft besitzen, also auch jederzeit vertauschbar sein. Diese Eigenschaft bedingt den Vorzug, daß die Galvanometer zur Messung der thermoelektrischen Kraft mit doppelten Skalen ausgestattet werden können, von denen die eine elektromotorische Kräfte und die andere Temperaturgrade angibt. Nach Feststellungen von Holborn und Wien ist die Genauigkeit dieses Pyrometers eine große, da es bei 1000° nur einen Fehler von  $\pm 5^{\circ}$ , also von  $\pm 0,5\%$  aufwies.

Die normale Benutzungsweise des Pyrometers ist folgende:

Der eine Schenkel des Thermoelementes wird durch ein dünnes übergeschobenes Rohr aus einer besonders schwer schmelzbaren Porzellanmasse, „Marquardtscher Masse,“ gegen den anderen Schenkel isoliert und beide Schenkel gemeinsam in ein einerseits geschlossenes Rohr aus der gleichen Masse geschoben. Hierbei muß man sich überzeugen, daß die Lötstelle auch auf dem Grunde des geschlossenen Rohres liegt und die Elementdrähte nicht durch irgend einen Umstand hängen geblieben sind, so daß die Lötstelle sich an unbekannter Stelle im Rohre befindet. Das geschlossene Ende des Rohres wird alsdann an die Stelle gebracht, deren Temperatur gemessen werden soll. Die freien Enden des Thermoelementes sind durch Verlöten mit Kupferdrähten zu verbinden, deren Widerstand nicht mehr als 1 Ohm betragen darf (bis 100 m Leitungslänge genügt Kupferdraht bis 2 mm Dicke), und die zu dem an beliebiger Stelle aufgestellten Galvanometer geführt werden. Die Lötstellen an den Kupferdrähten sind auf gleicher Temperatur zu halten, was dadurch ge-

<sup>1)</sup> Das Element von Heraeus, welches aus reinem Iridium und einer Legierung von Iridium mit 10 % Ruthenium besteht, reicht bis 2000°.

<sup>2)</sup> Für Laboratoriumszwecke eignen sich auch Elemente aus dünnerem Draht (0,2—0,5 mm) (s. § 332).

schehen kann, daß man sie in U-förmig gebogenen Glasröhren oder in Reagenzgläsern unterbringt und diese gemeinsam in Wasser taucht (s. Fig. 455 § 332). Da die Elemente bei  $0^{\circ}$  Temperatur der Lötstelle geeicht werden, empfiehlt es sich, diese Temperatur auch bei Messungen innezuhalten (Temperatur schmelzenden Eises). Anderenfalls muß der entstehende Fehler korrigiert werden.

Das Einschließen des Thermoelementes in ein Porzellanrohr (Schutzrohr) geschieht zum Schutze der Elementdrähte gegen die Einwirkung von Flammgasen oder dergl.

Ist man gezwungen, das Element ohne Schutzrohr zu verwenden, was erforderlich wird, wenn mit größter Genauigkeit die Temperatur einer bestimmten Stelle eines Körpers ermittelt werden soll, dann ist zu berücksichtigen, daß manche Substanzen mit Platin bei bloßer Berührung in glühendem Zustande Verbindungen eingehen und dadurch das Element unbrauchbar machen. Man hat deshalb für genügende Isolierung der Drähte an der Lötstelle durch Asbestwolle Sorge zu tragen. Ist auch dieses nicht zugänglich, dann vergleiche man nach Benutzung des Thermoelement oftmals mit einem Normalelement, schneide, sobald sich Abweichungen zeigen, die Lötstelle ab und schmelze die Drähte wieder zusammen.<sup>1)</sup> Hat man für das Zusammenschmelzen keine Einrichtung, dann genügt es unter Umständen, die beiden Enden durch mehrmaliges festes Zusammendrehen zu vereinigen. Das Zusammenschmelzen erfolgt in der Stichflamme des Sauerstoffgebläses, indem man die beiden Drahtenden zusammenhält und bis zum Schmelzen erhitzt. Zur Beobachtung bediene man sich einer dunklen Brille.

Ein weiteres Thermoelement für Temperaturen bis  $+650^{\circ}$  ist das Silber-Konstantanelement, welches aus einem Silber- und einem Konstantandraht von 0,5 mm Dicke besteht und eine Genauigkeit von  $\pm 1^{\circ}$  besitzt.

Zur Messung tiefer Temperaturen ist das Kupfer-Konstantanelement sehr geeignet. (Drahtdicke 0,5 mm.) Es findet bei Temperaturen von  $+100^{\circ}$  bis  $-190^{\circ}$  Verwendung. Seine Genauigkeit beträgt  $\pm 1^{\circ}$ . Die thermoelektrische Kraft letzteren Elementes beträgt im Mittel bei

$-187^{\circ}$	$-0,0052$ Volt,
$-80^{\circ}$	$-0,0026$ „
$0^{\circ}$	$0$ „
$+100^{\circ}$	$+0,0041$ „ .

Die Verbindung der Silber- bzw. Kupfer-Konstantanelementdrähte erfolgt durch Lötung mit Silber oder durch Zusammenschmelzen. Auch die Verbindung der Elementdrähte mit den Leitungsdrähten wird zweck-

<sup>1)</sup> Man kann auch derart verfahren, daß man von vornherein kurze Drahtenden in das Element einfügt und sie nach Zerstörung erneuert. Diese Methode besitzt gegenüber der obigen den Vorzug, daß die Länge der Elementdrähte nicht geändert wird.

mäßig anstatt mit Klemmen zur Vermeidung von schädlichen Übergangswiderständen durch Löten mit demselben Metalle vorgenommen.<sup>1)</sup>

### § 186. Zeigergalvanometer.

Zur Messung der thermoelektrischen Spannung der Thermoelemente dienen in der Regel, wenn ihre Empfindlichkeit ausreicht, Zeigergalvanometer, anderenfalls Spiegelgalvanometer.

Die ersteren Galvanometer sind Millivoltmeter der Deprez d'Arsonvaltype mit beweglicher Spule und festem, permanentem Magneten. Die Instrumente mit sehr hohem Widerstande haben gegenüber anderen den Vorzug, daß der Widerstand der Zuleitungen vom Thermoelement zum Galvano-

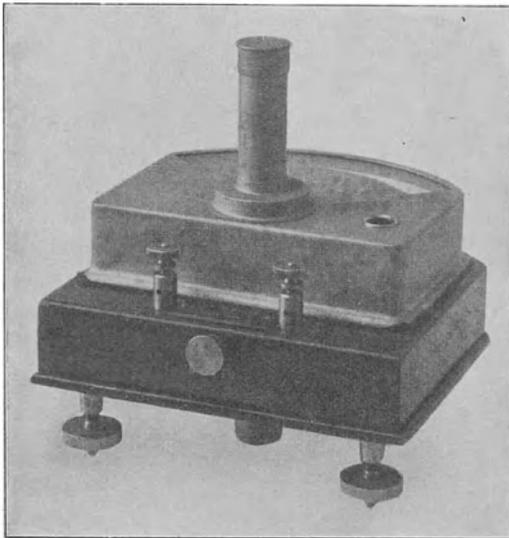


Fig. 291.

meter, sowie der mit der Temperatur veränderliche Widerstand des Thermoelementes selbst keinen Einfluß auf die Messung ausüben. Für feine Messungen sind nur diejenigen Zeigergalvanometer brauchbar, deren Zeiger an einem dünnen Metallbändchen oder -faden aufgehängt ist. Fig. 291 stellt ein Zeigergalvanometer von Siemens & Halske dar.

Das Instrument muß vor Anschluß der Leitungsdrähte mit den Fußschrauben unter Benutzung der an ihm angebrachten Libelle genau horizontal

eingestellt werden. Geschieht dies nicht, dann hängt das Metallbändchen mit dem Zeiger schief und kann sich nicht frei bewegen. Weist der Zeiger anfänglich nicht auf Null, so kann man ihn mit Hilfe einer Stellschraube, die durch Abheben der Schutzkappe freigelegt wird, verdrehen.

Bei den Galvanometern für nur eine Stromrichtung, d. h. bei denen der Skalennullpunkt am Anfang und nicht in der Mitte der Skala liegt, muß zur Vermeidung von Beschädigungen des Instrumentes, durch verkehrten Ausschlag, vor Anschluß der Leitungsdrähte deren Polarität festgestellt werden. Bei Temperaturmessungen unter  $0^{\circ}$  müssen die Klemmen eines solchen Galvanometers wegen der umgekehrten Stromrichtung vertauscht werden. Die Schraube an der Vorderseite des Galvanometers (s. Fig. 291) ist eine Klemmschraube für das bewegliche System; sie muß beim Transport des Instrumentes hineingeschraubt werden.

<sup>1)</sup> Die erwähnten Thermolemente liefert Siemens & Halske, Berlin.

### § 187. Das registrierende Zeigergalvanometer.

Bei fortlaufenden Temperaturmessungen, z. B. zur Bestimmung des Verlaufes der Abkühlung einer Flüssigkeit (s. § 332), ist die öftere Ablesung der Temperatur zu gewissen Zeitintervallen lästig. Bequem ist deshalb die Benutzung von registrierenden Zeigergalvanometern. Bei diesen Instrumenten wird in beliebigen Zeitintervallen automatisch die jeweilige Temperatur als Funktion der Zeit markiert. Sie bestehen aus einem wie oben beschriebenen Zeigergalvanometer und einem Uhrwerk, das einen Papierstreifen, sowie ein Farbband mit gleichförmiger Geschwindigkeit mit dem Zeiger des Galvanometers fortbewegt. Dieser Zeiger trägt auf

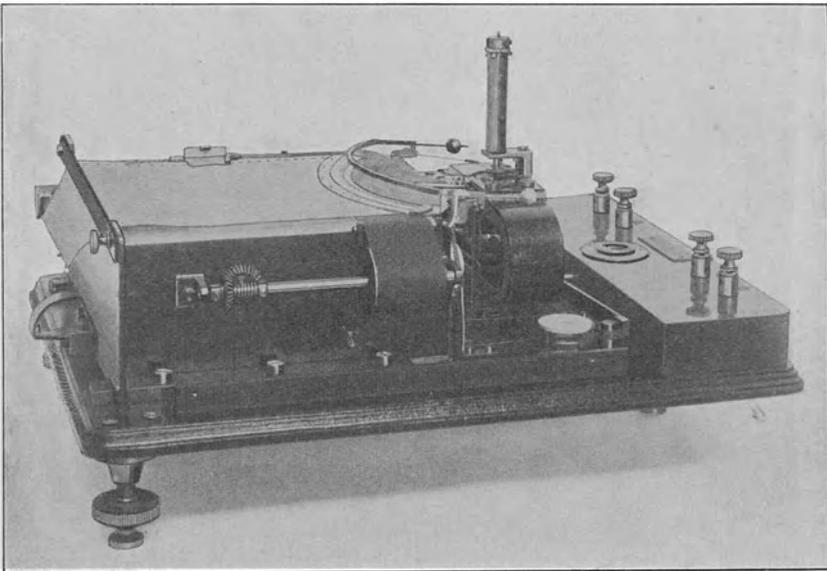


Fig. 292.

der Unterseite einen Stift, der die Markierung der Temperatur dadurch bewirkt, daß alle 15 Sekunden durch einen Elektromagneten ein Bügel, der über der Galvanometerskala liegt, den Zeiger auf den Papierstreifen niederdrückt. Der Papierstreifen ist transparent, und das Farbband läuft unter ihm hindurch. Der beim Niederdrücken des Zeigers mit dem Papier in Berührung gebrachte Stift zeichnet infolgedessen auf dem Papierstreifen eine aus einzelnen Punkten bestehende Kurve auf. Da der Papierstreifen mit einem Koordinatensystem (Zeit-Temperatur) versehen ist, kann aus der Kurve die zu einer beliebigen Zeit vorhanden gewesene Temperatur festgestellt werden.

In Fig. 292 ist das registrierende Zeigergalvanometer von Siemens & Halske mit abgehobenem Schutzkasten abgebildet.

### § 188. Kompensationsschaltung nach Lindeck.

Für thermoelektrische Messungen, bei denen die Empfindlichkeit des Galvanometers nicht ausreicht und der Elementwiderstand zur Erhöhung der Genauigkeit nicht vernachlässigt werden darf, findet die Kompensationsschaltung nach Lindeck Verwendung.<sup>1)</sup>

Das Prinzip der Messung beruht darauf, daß man der unbekanntem elektromotorischen Kraft des Thermoelements eine regulierbare Potentialdifferenz entgegenschaltet, deren jeweiliger Betrag mit Normalwiderstand und Amperemeter gemessen wird.

Fig. 293 zeigt das Schaltungsschema.

$T$  ist das Thermoelement,  
 $H$  ein Spiegel- oder Zeigergalvanometer,  
 $A$  ein Akkumulator,  
 $W$  ein Regulierwiderstand,  
 $M$  ein Milliampereometer und  
 $W_f$  ein fester Widerstand.

Der Hauptstrom durchfließt den Regulierwiderstand  $W$  und den festen Widerstand  $W_f$  von z. B. 0,1 Ohm. Im Nebenschlusse zu diesem

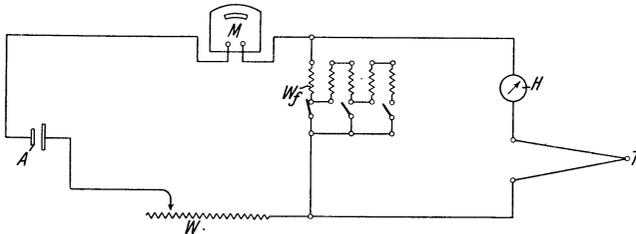


Fig. 293.

liegt die zu messende elektromotorische Kraft des Thermoelements  $T$  und das Galvanometer  $H$ . Man verändert nun mit dem Regulierwiderstand  $W$  die Stromstärke des Hauptstromkreises so lange, bis das Galvanometer  $H$  keinen Ausschlag mehr zeigt. Die Größe der gesuchten elektromotorischen Kraft des Thermoelements ist alsdann gleich dem Produkte aus dem Betrage des festen Widerstandes  $W_f$  und der am Milliampereometer  $M$  abgelesenen Stromstärke in Ampere.

Die einzelnen Bestandteile der Schaltung werden von der Firma Siemens & Halske auf ein gemeinschaftliches Grundbrett von ca. 40.50 cm Größe montiert geliefert.

### § 189. Die optischen Pyrometer.

Die optischen Pyrometer gestatten die Messung von Temperaturen bis über 1600°, und zwar bis zu beliebiger Höhe, wo elektrische Pyrometer nicht mehr anwendbar sind. Die Bestimmungen geschehen durch

<sup>1)</sup> Lindeck und Rothe, Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1900, S. 292.

Photometrieren eines homogenen Teiles der Strahlung des glühenden Körpers unter Benutzung eines konstanten oder veränderlichen Vergleichslichtes.

Ein mit letzterem Vergleichslichte ausgestattetes Pyrometer ist das von L. Holborn und I. Kurlbaum.<sup>1)</sup> Sein Schema ist in Fig. 294

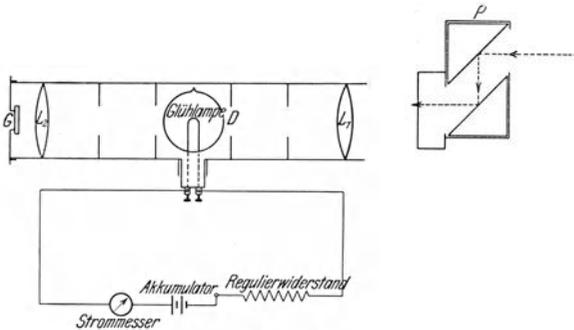


Fig. 294.

dargestellt. (Ausführungsform von Siemens & Halske s. Fig. 295.)

Als Photometer dient ein einfaches Fernrohr, dessen Objektivlinse  $L_1$  hinter der Öffnung des Diaphragmas  $D$  ein Bild der glühenden Fläche erzeugt, deren Temperatur zu messen ist. Hinter dem Diaphragma befindet sich der Kohlefaden einer kleinen Glühlampe von 4 Volt, die in einen mit Strommesser und Regulierwiderstand ausgestatteten elektrischen Stromkreis geschaltet ist. Vor die Okularlinse  $L_2$ , die scharf auf den Kohlebügel eingestellt werden muß, ist zur Erzielung homogenen Lichtes ein Kupferoxydulglas  $G$  geschoben.

Beobachtet man das Bild der glühenden Fläche, so hebt sich bei ausgeschaltetem Strome der Kohlebügel der Lampe schwarz von dem Bilde der leuchtenden Fläche ab, und beim Erglühen der Lampe verschwindet das Bild des Kohlebügels um so mehr, je mehr sich die Helligkeit der Lampe derjenigen der leuchtenden Fläche nähert. Der Kohlebügel verschwindet schließlich vollständig, wenn die Helligkeit seiner roten Strahlen gleich derjenigen der leuchtenden Fläche ist.

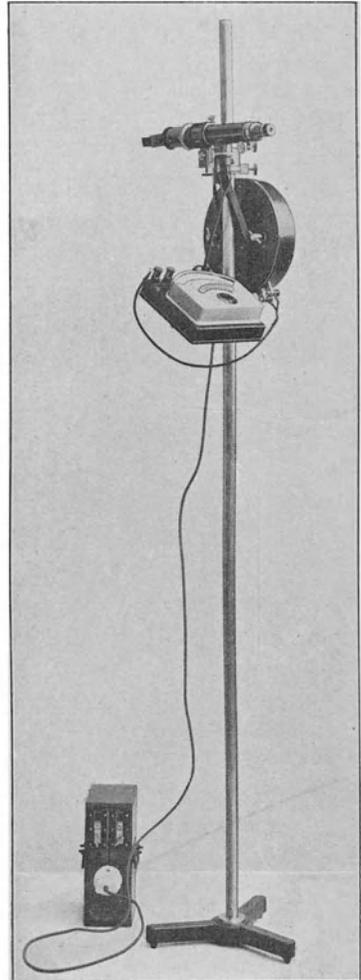


Fig. 295.

<sup>1)</sup> Über ein optisches Pyrometer (Annalen der Physik Bd. 10, S. 225).

Übersteigt die zu messende Helligkeit die größtmögliche der Glühlampe, so wird zur Lichtschwächung vor dem Objektiv ein Reflexionsprismenpaar  $P$  angebracht, dessen Absorption bekannt ist. Die Temperaturmessung kann dann bis zu  $2800^{\circ}$  erfolgen, ohne daß die Glühlampe mit höherer Temperatur als  $1500^{\circ}$  zu brennen braucht.

Bei Temperaturen von  $650$ — $800^{\circ}$  bleibt das Kupferoxydulglas vor dem Okular weg, von  $800$ — $1200^{\circ}$  soll das Glas eine Dicke von  $2$  mm, bei  $0,643 \mu$  Durchlässigkeit besitzen und bei höheren Temperaturen verdoppelt man wegen der großen Lichtintensität die Dicke des Glases, indem man ein zweites Glas vorschiebt.

Beim Auswechseln einer unbrauchbar gewordenen Lampe muß man die neue zur Erzielung möglicher Helligkeit etwa  $30$  Stunden lang bei

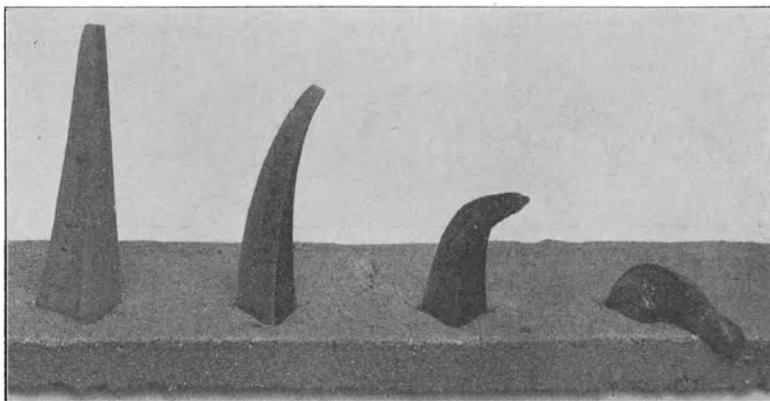


Fig. 296.

etwa  $1900^{\circ}$  brennen lassen. Später beim Gebrauch soll ihre Temperatur  $1500^{\circ}$  nicht überschreiten.

### § 190. Die Segerkegel.

Für angenäherte Temperaturbestimmungen in Glüh-, Brenn- und Schmelzöfen können die sogen. Segerkegel verwendet werden. Es sind dies abgestumpfte dreiseitige Pyramiden von  $6$  oder  $2\frac{1}{2}$  cm Höhe; sie bestehen aus schwer schmelzbaren Silikaten, von deren Zusammensetzung der Schmelzpunkt der Kegel abhängig ist.

Nach Angabe der Herstellerin (Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin) dürfen als Schmelzpunkte der Kegel die in folgender Zahlentafel neben den Kegelnummern aufgeführten Temperaturen angenommen werden.

Sege- kegel- Nummer	Angenäherte Temperatur ° C.	Sege- kegel- Nummer	Angenäherte Temperatur ° C.
022	590	8	1290
021	620	9	1310
020	650	10	1330
019	680	11	1350
018	710	12	1370
017	740	13	1390
016	770	14	1410
015	800	15	1430
014	830	16	1450
013	860	17	1470
012	890	18	1490
011	920	19	1510
010	950	20	1530
09	970	(21) <sup>1)</sup>	(1550)
08	990	(22)	(1570)
07	1010	(23)	(1590)
06	1030	(24)	(1610)
05	1050	(25)	(1630)
04	1070	26	1650
03	1090	27	1670
02	1110	28	1690
01	1130	29	1710
1	1150	30	1730
2	1170	31	1750
3	1190	32	1770
4	1210	33	1790
5	1230	34	1810
6	1250	35	1830
7	1270	36	1850

Bis zu den Temperaturen 1050°, d. i. Segerkegel 05, dürften die mit diesen Kegeln vorgenommenen Temperaturbestimmungen bis auf  $\pm 25^\circ$  genau sein. Bei höheren Temperaturen ist die Ungenauigkeit größer, und es empfiehlt sich, bei Benutzung der Kegel nicht die Temperatur in Graden anzugeben, sondern zu sagen: Die Temperatur entspricht der Schmelztemperatur von Segerkegel 2 oder 5 oder 10 usw.

Als Anhaltspunkte können dabei immer noch die in der Tabelle angegebenen Temperaturen in Graden dienen. Will man z. B. kontrollieren, ob in einem Ofen eine Temperatur von etwa 1350° herrscht, dann wähle man die Segerkegel 9—14 aus, klebe sie mit etwas Gummischleim oder Kaolin aufrecht nebeneinander auf eine Schamotteplatte (s. Fig. 296)

<sup>1)</sup> Die Nummern 21—25 werden nicht mehr hergestellt, weil ihre Schmelzpunkte zu nahe beieinander lagen.

und bringe sie an den Ort, dessen Temperatur ermittelt werden soll; dabei ist darauf zu achten, daß die Kegel nicht durch eine Stichflamme beansprucht werden können, sie sind eventuell durch besondere Schutzhauben, sogen. Hängeschalen (Fig. 297) oder Haubenlerchen (Fig. 298) zu schützen. Ist alsdann nach Beendigung des Glüh- und Brennprozesses Segerkegel No. 9 völlig geschmolzen, No. 10 nur angeschmolzen und stark niedergebogen, No. 11—14 dagegen unverändert geblieben, dann hat eine Temperatur entsprechend Segerkegel No. 10 geherrscht. Nach der Tabelle ist die Temperatur in Graden schätzungsweise  $1330^{\circ}\text{C}$ . Ist eine genauere Feststellung der Temperatur in Graden erforderlich, dann kann sie dadurch erfolgen, daß man nachträglich mit einem thermoelektrischen Pyrometer den Schmelzpunkt von Segerkegel No. 10 ermittelt.

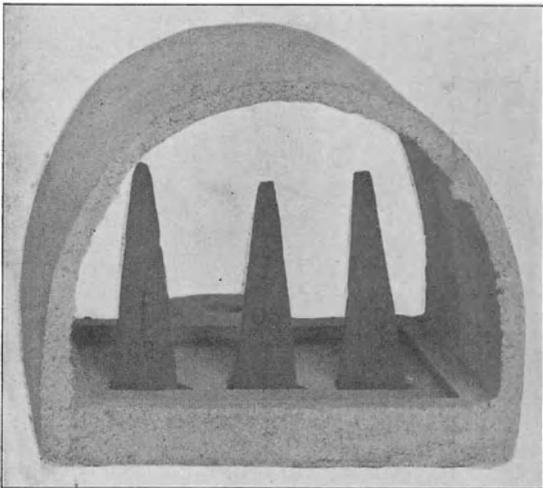


Fig. 297.



Fig. 298.

### § 191. Die Sentinelpyrometer.

Die Sentinelpyrometer<sup>1)</sup> werden von The Amalgams Company in Sheffield erzeugt. Es sind 20 mm hohe Zylinder von 12 mm Durchmesser, die aus Mischungen von Metalloxydsalzen hergestellt sind. Segerkegeln gegenüber besitzen sie den Vorzug leichterer Schmelzbarkeit und somit deutlicherer Anzeige. Es genügt in der Regel ein Temperaturzuwachs von nur wenigen Graden, um das Niederschmelzen des Zylinders zu veranlassen. Ihre Anwendungsweise ist die gleiche wie die der Segerkegel. Bisher werden sie jedoch nur für Temperaturen von  $740^{\circ}$ ,  $760^{\circ}$ ,  $800^{\circ}$ ,  $850^{\circ}$ ,  $950^{\circ}$  und  $1020^{\circ}$  angefertigt.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Salzzylinder-Pyrometer. Näheres s. Metallurgie 1907, S. 379.

<sup>2)</sup> Metalllegierungen mit bestimmten Schmelzpunkten liefert die deutsche Gold- und Silberscheideanstalt in Frankfurt a. M.

## IV. Instrumente zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit und des Taupunktes.

### § 192. Die relative Luftfeuchtigkeit.

Bei manchen Materialprüfungen ist zur Erlangung vergleichbarer Ergebnisse eine bestimmte Luftfeuchtigkeit im Versuchsraume erforderlich. Manche Textilerzeugnisse müssen z. B., bevor sie dem Zerreißversuch unterworfen werden, eine gewisse Zeit bei bestimmter Temperatur zur Erlangung eines gleichen Feuchtigkeitsgehaltes trocknen. Da solche Erzeugnisse aber sehr hygroskopisch sind und ihre Festigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt abhängt, würden sie — bei verschiedener Luftfeuchtigkeit gepruft — abweichende Ergebnisse liefern. Es ist daher vor Beginn der Versuche erforderlich, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Versuchsraume zu ermitteln und, falls erforderlich, zu verändern. Man kann den Feuchtigkeitsgehalt erhöhen durch Verdampfen oder Zerstäuben von Wasser und erniedrigen durch Trocknen der Luft.

Falls besondere Vorrichtungen für diese Zwecke nicht vorhanden sind, genügt im ersten Falle Kochen von Wasser in offenen Gefäßen oder Besprengen des Fußbodens. Im zweiten Falle bewirken flache, mit Schwefelsäure gefllte offene Schalen Entziehung der Feuchtigkeit.

### § 193. Die Haarhygrometer.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft erfolgt am einfachsten und mit hinreichender Genauigkeit mit Hilfe von Haarhygrometern. Diese Instrumente geben die relative Feuchtigkeit bzw. den Sättigungsgrad, d. h. das Verhältnis des wirklich vorhandenen Wassergehaltes zu demjenigen, bei welchem die Luft mit Wasser gesättigt wäre, an.<sup>1)</sup>

Beim Koppeschen Hygrometer (s. Fig. 299)<sup>2)</sup> wird zur Anzeige der Feuchtigkeitsnderung ein entfettetes Haar benutzt, dessen Länge sich mit dem Feuchtigkeitsgehalte ändert. An dem einen Ende (oben) ist es an einer Stellschraube befestigt, und das andere Ende ist um eine Rolle gelegt, die einen Zeiger trägt, der sich vor einer Skala bewegt. Ein kleines Gewicht hält Faden mit Rolle in Spannung. Bei völliger Trockenheit der Luft besitzt das Haar seine geringste Länge, und der Zeiger muß über dem Nullpunkt der Skala stehen. Bei gesättigter Luft besitzt das Haar seine größte Länge, und der Zeiger steht über dem Teilstrich 100  $\frac{0}{0}$ . Zur Prüfung des Nullpunktes stellt man das Instrument unter eine Glocke, in der sich konzentrierte Schwefelsäure befindet, die völlige Trocknung der Luft bewirkt. Der 100  $\frac{0}{0}$ -Punkt wird dadurch kontrolliert, daß man

<sup>1)</sup> Einige Instrumente besitzen auch Skalen, die in Grade eingeteilt sind; die relative Luftfeuchtigkeit muß alsdann berechnet werden.

<sup>2)</sup> Dr. Karl Koppe, Die Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, Zürich 1878.

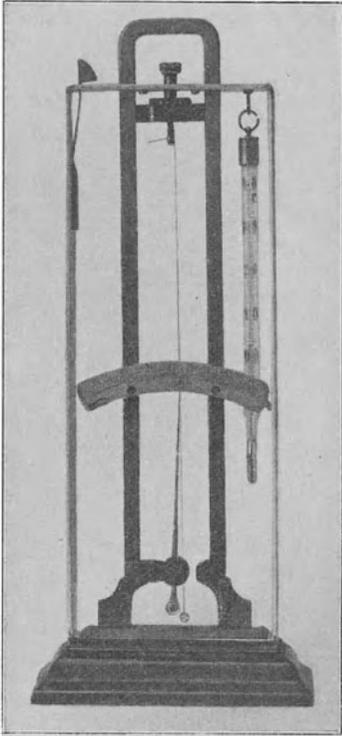


Fig. 299.

an Stelle der Schwefelsäure Wasser unter die Glocke bringt, das die Luft mit Feuchtigkeit sättigt.

Andere Punkte der Skala können nur durch Vergleichung mit einem anderen Hygrometer geprüft werden.<sup>1)</sup> Die Einstellung des Zeigers auf einen der Fixpunkte erfolgt durch Drehen der Stellschraube am oberen Fadenende.

Fig. 300 zeigt dasselbe Hygrometer in Verbindung mit einer Registriervorrichtung.

#### § 194. Die absolute Luftfeuchtigkeit und der Taupunkt.

Den absoluten Feuchtigkeitsgehalt und den Taupunkt kann man mit Hilfe eines Diagrammes nach Fig. 301 bestimmen. Hat man am Hygrometer z. B. 65 ‰, am Thermometer 10° C. abgelesen, so geht man auf der Vertikalen bei 65 aufwärts bis zum Schnittpunkte der Geraden 0—10°. Von hier geht man horizontal nach links und findet dadurch den absoluten Feuchtigkeitsgehalt zu 6 g, d. h., es sind in 1 cbm Luft 6 g Wasser-

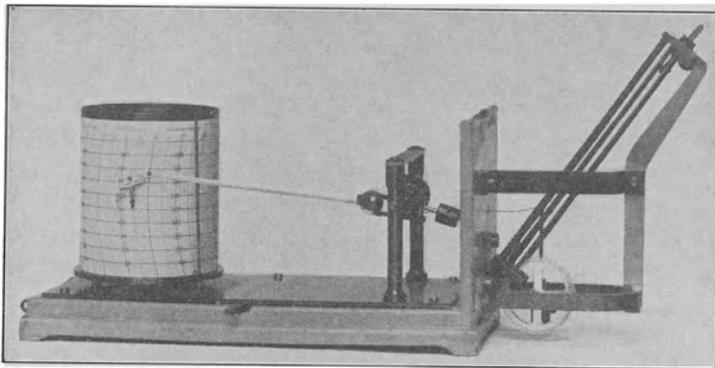


Fig. 300.

<sup>1)</sup> Dr. Karl Koppe, Die Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, Zürich 1878.

dampf enthalten. Verfolgt man die nämliche Horizontale nach rechts, so

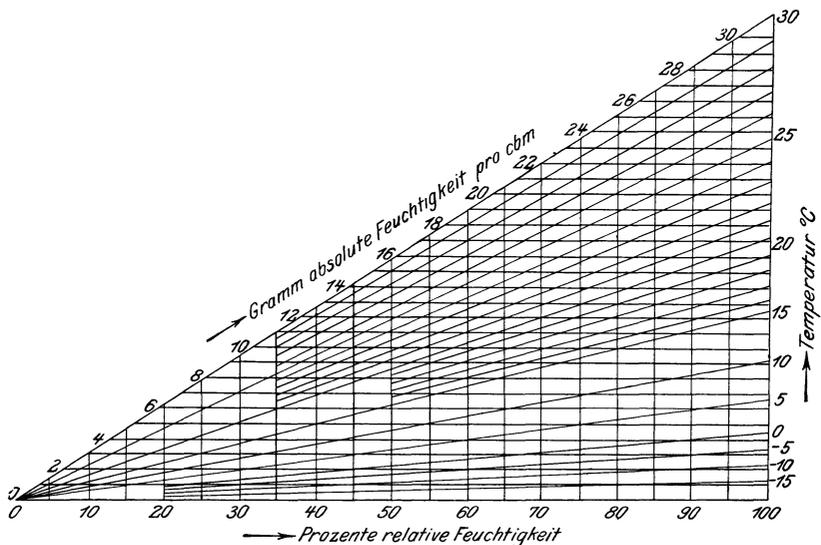


Fig. 301.

ergibt sich der Taupunkt bei 3°, d. h. die Luft kann von 10° auf 3° abgekühlt werden, bevor ein Niederschlag erfolgt.

# Vierter Teil.

## Prüfung der Baustoffe.

### I. Die natürlichen Bausteine.

#### § 195. Einleitung.

Unter natürlichen Bausteinen versteht man alle diejenigen Gesteine, welche in der Natur vorkommen und ohne weitere Behandlung, wie Brennen, Pressen oder dergl., bearbeitet und zu Bauzwecken Verwendung finden können. Da aber nicht alle Gesteine dafür geeignet sind, indem manche wohl hinreichende Festigkeit, aber nicht genügende Wetterbeständigkeit oder Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung von Feuchtigkeit oder gegen sonstige äußere Einflüsse besitzen, ist eine Prüfung von Gesteinen, deren Eigenschaften unbekannt sind, vor ihrer Verwendung unbedingt notwendig, wenn man sich vor Schäden bewahren will.

Eine umfassende Prüfung<sup>1)</sup> von natürlichen Bausteinen erstreckt sich auf die Ermittlung folgender Merkmale und Eigenschaften:

1. Geologisches Alter und petrographische Merkmale.
2. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht, Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrad.
3. Härte.
4. Wasseraufnahmefähigkeit.
5. Druckfestigkeit.
6. Schlagfestigkeit.
7. Wetterbeständigkeit (Frostbeständigkeit).
8. Abnutzbarkeit.

#### § 196. Das geologische Alter und die petrographische Beschreibung.

Das geologische Alter des Gesteins bestimmt man am einfachsten an Hand der geologischen Karte der Fundstätte. Die petrographische Beschreibung dagegen erfolgt in bezug auf Strukturverhältnisse, Form,

---

<sup>1)</sup> Literatur: s. Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten 1885, 1889, 1892, 1897; ferner: Tetmajer, Methoden und Resultate der Prüfung künstlicher und natürlicher Bausteine, Zürich 1900; Hirschwald, Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit, Berlin 1908.

Größe, Farbe und äußere Beschaffenheit der einzelnen Mineralbestandteile bei Besichtigung mit der Lupe oder durch mikroskopische Untersuchung von Dünnschliffen. Außerdem ist die Bank des Bruches zu bezeichnen, welcher das Probematerial entstammt.

### § 197. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht, Dichtigkeitsgrad und Undichtigkeitsgrad.

Das spezifische Gewicht wird am gepulverten Gesteine mit dem Volumenometer (s. S. 289) festgestellt, und zwar wird dasjenige Material für die Ermittlung benutzt, welches beim Absieben zwischen dem Siebe von 900 und 4900 Maschen für das Quadratcentimeter (s. § 231) verbleibt.

Die Bestimmung des Raumgewichtes erfolgt an einem bei  $110^{\circ}$  bis zu gleichbleibendem Gewicht getrocknetem Gesteinsstücke mit Paraffinumhüllung nach einer der in § 181 angegebenen Methoden.

Ebenso erfolgt die Berechnung des Dichtigkeitsgrades und des Undichtigkeitsgrades nach § 182.

### § 198. Die Härte.

Für die Beurteilung der Bearbeitungsfähigkeit und auch zur Feststellung der Eignung für gewisse Verwendungszwecke ist die Kenntnis der Härte erforderlich. Sie wird von alters her nach dem Ritzverfahren mit der Mohsschen Skala (s. § 99) ermittelt. Die Methode ist auch hier nicht ganz einwandfrei, weil sie bei zusammengesetzten Gesteinen, deren Bestandteile verschiedene Härte besitzen, in den meisten Fällen abweichende Ergebnisse liefert. Da aber keine der übrigen bekannten Methoden als geeigneter zu betrachten ist, muß sie bis auf weiteres beibehalten werden.

### § 199. Die Wasseraufnahmefähigkeit.

Zur Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit benutzt man gewöhnlich die zur Ermittlung der Druckfestigkeit bestimmten Probewürfel. Sie werden zuerst bis zu gleichbleibendem Gewicht getrocknet, hiernach gewogen, dann in destilliertes Wasser von  $15\text{--}20^{\circ}$  getaucht<sup>1)</sup> und schließlich nach 12, 24, 48, 96, 120 und 144 Stunden usw. zur Feststellung der aufgesaugten Wassermenge gewogen.<sup>2)</sup> Je nach der Art des Gesteines ist die Wasseraufnahme früher oder später beendet; in manchen Fällen tritt dieser Zeitpunkt bereits nach 24 Stunden, in anderen erst nach mehreren Monaten ein. Vor dem jedesmaligen Wägen werden die Körper mit einem trockenen

<sup>1)</sup> Beim Lagern in Wasser sind die Probekörper zuerst 2 cm, dann allmählich tiefer und erst nach Verlauf von 6 Stunden ganz, aber nur so weit unterzutauchen, daß die Würfel gerade vom Wasser bedeckt sind. Taucht man sie gleich vollständig unter, dann kann die im Innern befindliche Luft nicht entweichen.

<sup>2)</sup> Im allgemeinen genügt eine Beobachtungsdauer von 288 Stunden.

Tuche leicht abgetupft. Angegeben wird die Wasseraufnahme in Prozenten des Trockengewichtes oder in Raumprozenten der Steine. Die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit ist wichtig, weil von ihr die Festigkeit, sowie die Wetter- und Frostbeständigkeit der Gesteine wesentlich abhängt. Außerdem liefert sie einen guten Einblick in die Beschaffenheit des Gesteines, indem sie Schlüsse auf die Porosität zu ziehen gestattet und Aufschluß über etwaige Hohlräume im Inneren des Probekörpers gibt.

### § 200. Die Druckfestigkeit.

Die Druckfestigkeit ist abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung, von dem Bindemittel, von der Art der Gesteinsmasse, von der Dichtigkeit und, wie bereits in § 30 nachgewiesen wurde, von dem Feuchtigkeitsgehalt und nach § 29 auch von der Druckrichtung in bezug auf die Lagerrichtung mancher Gesteine. Als Probekörper dienen Würfel, für deren Abmessungen und deren Herstellung das in § 26 Erwähnte gilt.<sup>1)</sup> Bei der Prüfung gleichartigen Materials sollen mindestens 5 Probewürfel und bei weniger gleichartigem mindestens 10 Verwendung finden. Da, wie bereits auf S. 61 erwähnt, der Feuchtigkeitsgehalt des Gesteins die Festigkeit zu erniedrigen pflegt, dürfen bei Vergleichsversuchen niemals grubenfeuchte Probekörper oder solche, die bei der Bearbeitung oder sonstwie naß geworden sind, benutzt werden, sondern die Probekörper müssen vor dem Versuche in den lufttrockenen Zustand oder auf völlige Trockenheit gebracht werden, die durch zeitweise wiederholte Wägungen festzustellen ist. Da höhere Temperaturen manchen Gesteinen schädlich sind, soll die Trocknung bei höchstens 60° und, wenn nötig, im Vakuum erfolgen. Zur Feststellung der Festigkeitserniedrigung durch Wasseraufnahme und durch Frostbeanspruchung werden die Probekörper benutzt, welche zur Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit und zur Ermittlung des Einflusses von Frost bei den Frostbeständigkeitsversuchen Verwendung fanden. Bei geschichteten Gesteinen ist für den Kraftangriff die Lagerrichtung genau zu beachten, da sie, wie auf S. 58 erläutert, einen erheblichen Einfluß auf das Festigkeitsergebnis ausübt. Die Druckfestigkeit ist deshalb bei Beanspruchung senkrecht zur Lagerrichtung und parallel dazu festzustellen. (Hinsichtlich der Beschaffenheit der Druckflächen s. S. 51, und wegen Verwendung der an manchen Prüfungsstellen gebräuchlichen Zwischenlagen s. S. 52.)

Da Gesteine mit hoher Festigkeit in der Regel plötzlich zu Bruche gelangen, sind wegen der fortgeschleuderten Bruchstücke Vorsichtsmaßregeln anzuwenden. Der beste Schutz ist ein lose um den Probekörper gelegtes Tuch, welches die Bruchstücke auffängt.

---

<sup>1)</sup> Die zur Herstellung der Probekörper benutzten Maschinen sind in § 201 beschrieben.

### § 201. Vorbereitung der Probekörper für die Druckversuche.

Die zur Verfügung stehenden Gesteinsblöcke, auf denen die Lager- richtung durch unverwischbare Farbstriche angegeben sein soll, werden mit Gattersäge oder Kreissäge in Teile zerlegt, deren Abmessungen für die er- forderlichen Würfel ausreichen, wobei zu beachten ist, daß die Sägeschnitte senkrecht und parallel zur Lager- richtung geführt werden. Die auf diese Weise vorbereiteten Gesteinsstücke werden alsdann durch Schleifen oder Hobeln auf genaue Würfel- form<sup>1)</sup> gebracht.

Fig. 302 zeigt eine Gattersäge der Firma Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen. Sie be- steht aus einem Maschinen- gestell, worin ein Rahmen, der die Sägeblätter trägt, durch eine Kurbelwelle hin und her bewegt wird. Harte Gesteine schneidet man dabei mit „Diamant- sägeblättern“.<sup>2)</sup> Es sind dies eiserne Sägeblätter, an deren Schneidfläche Diamantsplitter eingesetzt sind. Für weniger harte Gesteine dagegen genügen gewöhnliche Stahlblätter ohne Zähne, deren Schneid- flächen Sand oder Stahl- körner,<sup>3)</sup> mit Wasser ge- mischt, zugeführt werden. Die Zuführung geschieht durch Rohre von einem über der Maschine lie- genden Behälter aus, in welchen das abfließende Wasser und das Schneidmaterial durch eine unter der Maschine angeordnete Zentrifugalpumpe zurückbefördert wird.

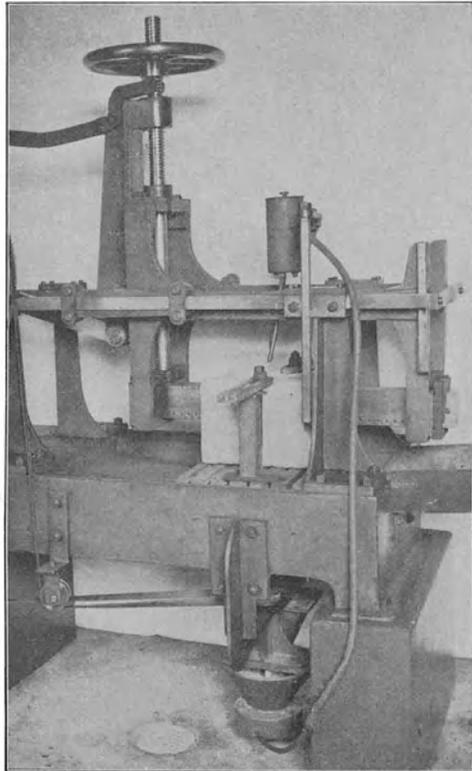


Fig. 302.

Eine für die Steinbearbeitung geeignete Kreissäge von Henrich & Söhne in Hanau ist in Fig. 303 abgebildet. Sie ist mit zwei Säge- blättern versehen und wird in der Dresdner Versuchsanstalt zum Schneiden

<sup>1)</sup> An manchen Prüfungsstellen werden nur die Druckflächen geebnet.

<sup>2)</sup> Lieferant: Lange, Lorke & Co. in Brieg, Reg.-Bez. Breslau.

<sup>3)</sup> Lieferant: Backhaus & Langensiepen in Leipzig.

kleinerer Gesteinsstücke benutzt. Die Sägeblätter bestehen aus Stahlblech von 1 mm Dicke, besitzen keine Zähne und sind auf einer Welle angebracht, die zur Erzeugung verschiedener Umdrehungszahlen mit einer Stufenscheibe versehen ist. Wenig harte Gesteine werden ohne Schleifmittel nur unter Verwendung von Wasser, härtere mit Sand und sehr harte unter Zuhilfenahme von Diamantkörnern zersägt. In letzterem Falle tritt an Stelle des Wassers etwas Petroleum. Das Arbeitsstück ist in eine schraubstockartige Klaue eingespannt, durch die es in einer Geradföhrung mit gleichbleibendem Druck gegen das Sägeblatt gedrückt wird.

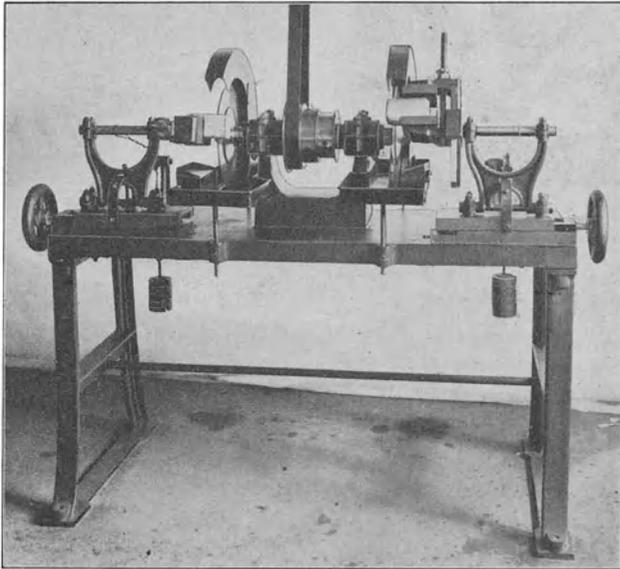


Fig. 303.

Die von Henrich & Söhne in Hanau ausgeführte Schleifmaschine (s. Fig. 304) besteht aus zwei in entgegengesetzter Drehrichtung umlaufende Schleifscheiben (Karbörundum), die auf gleichzeitig parallel beweglichen Supporten gelagert sind und von einem Vorgelege angetrieben werden. Zwischen beiden Schleifscheiben wird der in einem Rahmen eingespannte, auf Würfelform zersägte Stein in einer Geradföhrung auf und ab bewegt; da die Supporte mit einer automatisch wirkenden Schaltvorrichtung versehen sind, die sie nach jedem Hub des Steines parallel verschiebt, wird durch die Schleifscheiben allmählich eine völlig ebene Fläche erzeugt.

### § 202. Die Schlagfestigkeit.

Bausteine, welche als Fußbodenbelagmaterial Verwendung finden, erleiden bei ihrer Benutzung durch Begehen, Befahren, fallende Gegen-

stände usw. dynamische Beanspruchungen (s. S. 107), die auf Zerstörung hinwirken. Zur Ermittlung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen derartige Beanspruchung werden Schlagversuche ausgeführt, indem die Bausteine auf feingesiebttem, trockenem Sande gelagert und durch ein fallendes Gewicht beansprucht werden. Als Fallgewicht dient ein birnenförmiger Körper, dessen Gewicht der mutmaßlichen Schlagfestigkeit des Steines angepaßt wird.<sup>1)</sup> Nach den Mitteilungen aus den technischen Versuchs-

anstalten zu Berlin werden daselbst für diese Versuche vier Fallkörper von 5, 2, 1,  $\frac{1}{2}$  kg Gewicht benutzt, die an dem unteren Ende halbkugelig mit 45, 32, 26, 20 mm Krümmungsradius abgerundet und am oberen Ende mit einer Öse versehen sind. Die Schläge werden auf die Oberfläche, und zwar auf die Mitte der Steine ausgeübt. Als Maß für die Schlagfestigkeit gilt die Arbeit, welche imstande ist, den Probekörper mit einem Schläge zu zertrümmern (Bruchfaktor,<sup>2)</sup> s. S. 110), oder die Zahl der Schläge von gleicher und bestimmter Größe, welche den Bruch herbeiführt. Zur Ausführung der Versuche dient ein maschinelles Fallwerk<sup>3)</sup>. In Ermangelung eines solchen kann

man den Versuch auch derartig durchführen, daß man den Fallkörper an einem dünnen Faden in gemessener Höhe aufhängt und durch Zerschneiden oder Durchbrennen desselben den Fallkörper auf den Probekörper niederfallen läßt.

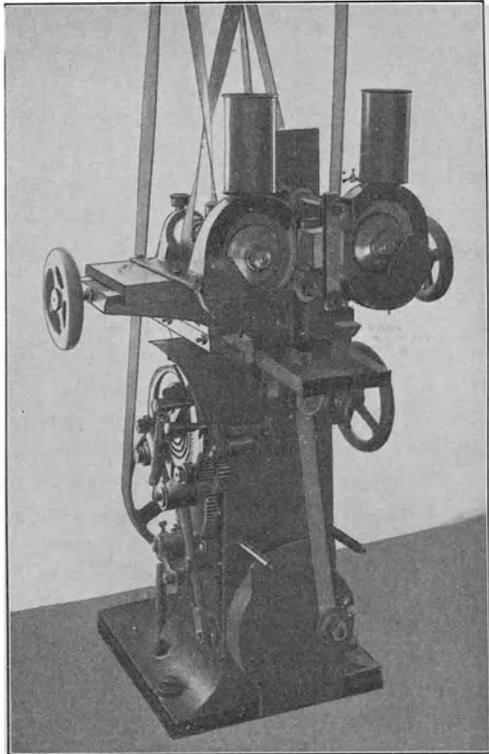


Fig. 304.

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten Berlin 1903, S. 222.

<sup>2)</sup> Martens, Materialkunde I. Abs. 247.

<sup>3)</sup> Burchartz, Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten 1903, S. 223.

### § 203. Die Wetterbeständigkeit.<sup>1)</sup>

Nach Seipp<sup>2)</sup> können die bei normalen Ortsverhältnissen auftretenden Einflüsse chemischer und physikalischer Natur, welche auf die natürlichen (sowie auch künstlichen) Bausteine verändernd und zerstörend wirken, in folgende Gruppen gebracht werden:

1. die eigentlichen Atmosphärlilien, d. h. die normalen Luftbestandteile;
2. die Temperaturschwankungen;
3. die Rauchgase;
4. atmosphärischer Staub, organisches Leben;
5. ausblühende Salze, dem Mörtel, Erdboden usw. entstammend.

#### Gruppe I. Die eigentlichen Atmosphärlilien.

a) Der Sauerstoff der Luft oder des atmosphärischen Wassers wirkt verändernd auf Bausteine ein, indem er

- $\alpha$ ) neue Oxyde bildet oder
- $\beta$ ) schon vorhandene Oxyde höher oxydiert,
- $\gamma$ ) Sulfide zersetzt.

b) Wasser und Kohlensäure:

- $\alpha$ ) Wasser wird von einzelnen Gesteinsbestandteilen oder vom Gestein aufgenommen und bewirkt dadurch Veränderungen.
- $\beta$ ) Auf die Kalkgesteine wirkt das atmosphärische, kohlensäurehaltige Wasser in der Weise, daß es die unlöslichen sekundären Karbonate, aus denen der Stein besteht, in lösliche, primäre Karbonate überführt.
- $\gamma$ ) Silikate werden durch kohlensäurehaltiges Wasser zerlegt.

#### Gruppe II. Die Temperaturschwankungen.

Die Temperaturschwankungen bewirken:

- $\alpha$ ) Ausdehnungen und Zusammenziehungen, die Formveränderungen und Spannungen im Gefolge haben.
- $\beta$ ) Verdunstung der Gesteinsfeuchtigkeit oder Niederschlagen von Wasser an der Oberfläche oder in den Rissen des Gesteines.
- $\gamma$ ) Förderung der am oder im Gesteine auftretenden chemischen Vorgänge.

#### Gruppe III. Die Rauchgase.

Die im wesentlichen aus Wasserdampf, Kohlensäure  $\text{CO}_2$ , Kohlenoxydgas  $\text{CO}$ , Ruß, schwefliger Säure, Schwefelsäure, Salzsäure usw. bestehenden Rauchgase bewirken, da der atmosphärische Sauerstoff die schweflige Säure  $\text{SO}_2$  schnell oxydiert, Sulfatbildung (daneben in geringem Maße Chloridbildung).

<sup>1)</sup> S. a. Hirschwald, Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit, Berlin 1908.

<sup>2)</sup> Seipp, Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine, Jena 1900.

#### Gruppe IV. Atmosphärischer Staub, organisches Leben.

Der in den Poren der Steinoberfläche sich ablagernde Staub kann als Überträger von unorganischen Stoffen, sodann durch Vermoderungsprodukte seiner organischen Substanz, sowie endlich als Träger von Mikroorganismen und pflanzlichen Keimen und Sporen nachteilig auf das Gestein wirken. Auch die abschleifende Wirkung des Staubes spielt eine gewisse Rolle.

#### Gruppe V. Ausblühende Salze.

Hierher gehören als Bestandteile des Humus und des Mörtels das Kochsalz, das Chlormagnesium, die Karbonate und Sulfate, der Salpeter, die Humussäure, das Ammoniak.

Die Prüfung auf Wetterbeständigkeit kann als:

- a) natürliche Wetterbeständigkeitsprobe ausgeführt werden, indem man Gesteinsproben in systematischer Anordnung den Witterungseinflüssen aussetzt und ihr Verhalten viele Jahre hindurch beobachtet;
- b) künstliche (abgekürzte) Wetterbeständigkeitsprobe, bei der die Materialien gewissen Beanspruchungen unterworfen werden, welche den durch die Natur bedingten nahe kommen, aber durch erhöhte Inanspruchnahme schnellere Ergebnisse liefern.

Da für das Materialprüfungswesen die zweite Probe wegen der langen Dauer der ersteren fast ausschließlich zur Anwendung kommen muß, soll diese unberücksichtigt bleiben. Diejenige Probe, welche bei Untersuchung von Gesteinen auf Wetterbeständigkeit zuerst ausgeführt werden muß, ist die Frostprobe. Sie gewährt einen Einblick in das Verhalten der Bausteine bei Beanspruchung durch Temperaturschwankungen, welche bewirken, daß die Gesteinsteilchen abwechselnd einander genähert und wieder voneinander entfernt werden. Auf trockene Gesteine übt mehrmalige Frostbeanspruchung in der Regel keine zerstörende Wirkung aus. Bei nassen dagegen kann das in den Poren eingeschlossene Wasser infolge seiner Volumenvergrößerung beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand den Probekörper zersprengen, oder wenigstens eine Auflockerung des Gesteins bewirken. Trockene Gesteine werden nur dann durch Frostbeanspruchung schädigend beeinflusst, wenn sie Einsprenglinge von Materialien enthalten, die eine andere Ausdehnungsfähigkeit besitzen, als das Gestein selbst.

Die Ausführung der Probe erfolgt mit den im § 243 beschriebenen Einrichtungen. 10 völlig ausgetrocknete Steinwürfel (oder auch Bruchstücke) und 10 für die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit benutzte werden abwechselnd 25 mal 4 Stunden in Luft von  $-25^{\circ}$  aufbewahrt und hiernach jedesmal 4 Stunden lang in Wasser von  $15-20^{\circ}$  aufgetaut. Zeigen die Probekörper nach dieser Beanspruchung weder einen Gewichtsverlust noch Absprengungen, Risse oder sonstige Veränderungen, so dürfen sie als frostbeständig bezeichnet werden. Die Beschädigungen sind jedoch

nicht immer äußerlich sichtbar, und außerdem ist bei einer Beurteilung der Frostbeständigkeit nach solchen Merkmalen eine zahlenmäßige Festlegung des Grades der Frostbeständigkeit nicht zugänglich. Es empfiehlt sich daher, dem Frostversuche eine Druckfestigkeitsprüfung folgen zu lassen und die Veränderung der Druckfestigkeit als Maß für die Frostbeständigkeit zu betrachten.

Hat sowohl die äußerliche Beobachtung der Probekörper als auch die Untersuchung auf Verminderung der Druckfestigkeit ergeben, daß die Frostbeanspruchung keinen oder einen nur unwesentlichen Einfluß geäußert hat, dann kann man zu den weiteren Versuchen zur Klarlegung der unter 1, 3, 4, 5 angegebenen Punkte schreiten. Es geschieht nach einer von Seipp<sup>1)</sup> angegebenen und sehr zweckmäßig erscheinenden Probe, die Seipp Agentienprobe nennt. Die Gesteinsstücke werden getrocknet, gewogen und hierauf einzeln mittelst Platindraht an den Tauchstäben 1 der Versuchsflaschen (Fig. 305), welche bis dicht an die Mündung des Gaseintrittsrohres mit 295 ccm dest. Wasser gefüllt sind, aufgehängt. Durch die einige Zentimeter höhere Anordnung der Gasaustrittsrohre vermögen die wechselweise eingeleiteten Gase, nämlich Kohlensäure  $\text{CO}_2$ , Sauerstoff O und schweflige Säure  $\text{SO}_2$  die Probeplatten in der Längsrichtung zu umspülen. Das Verhältnis der anzuwendenden Gasmengen ist nach Seipp<sup>1)</sup> S. 70 jeweils zu berechnen. Nach Beendigung des Versuches werden die Platten mit reinem Wasser gewaschen, getrocknet, gewogen und der Gewichtsverlust gegenüber dem Anfangstrockengewicht festgestellt. Erweist sich der Verlust gering und verursachte auch die Frostprobe keine Veränderungen des Gesteins, so darf völlige Wetterbeständigkeit des Materials angenommen werden.

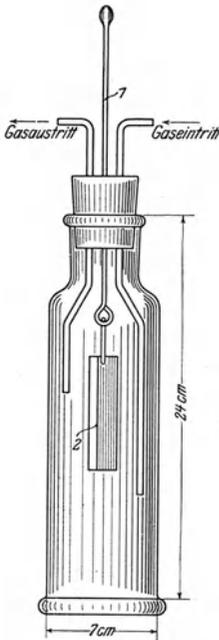


Fig. 305.

Nach den Vorschlägen von Seipp sollen für die Agentienprobe

- a) 3 Probekörper jeder Gesteinsorte in dem Normalformat  $70 \times 30 \times 8,5$  mm benutzt werden, wenn nicht die Art des Gesteins eine größere Zahl erfordert;
- b) die Platten täglich dreimal 2 Minuten lang untergetaucht werden;
- c)  $7\frac{1}{2}$  l Gas jede Stunde eingeleitet werden, wobei die Reihenfolge der Gase sein soll:  $\text{CO}_2$ , O;  $\text{SO}_2$ , O;  $\text{CO}_2$ , O;  $\text{SO}_2$ , O usw.;
- d) insgesamt 200 l  $\text{SO}_2$  Gas benutzt werden, da bei Verwendung dieser Menge die äußerlichen Veränderungen schon deutlich erkennbar sind.

<sup>1)</sup> Seipp, Die abgekürzte Wetterbeständigkeitsprobe der natürlichen Bausteine, Frankfurt 1905.

### § 204. Die Abnutzbarkeit.

Bei Benutzung der natürlichen Steine als Belagmaterial für Gangbahnen, Treppenstufen, Straßenpflasterungen ist Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung zu berücksichtigen. Sie ist teilweise abhängig von der Härte des Gesteins und wird beeinflusst durch seine Zähigkeit.

Zur Ermittlung der Abnutzbarkeit werden drei Verfahren angewendet:

1. Schleifversuche mit der Bauschingerschen Schleifmaschine,
2. Abnutzungsversuche mit dem Sandstrahlgebläse,
3. Mahlversuche mit der Trommelmühle.

Die ersten beiden Verfahren benutzt man zur Prüfung von Bausteinen, die in behauener regelmäßiger Form zur Verwendung gelangen, und das letztere zur Prüfung von Schottermaterial (s. S. 345). Die Versuche werden als Vergleichsversuche durchgeführt, indem man die ermittelte Abnutzungsgröße mit derjenigen bewährter Gesteine in Vergleich bringt und zur weiteren Kennzeichnung des Gesteins seine Druckfestigkeit angibt.

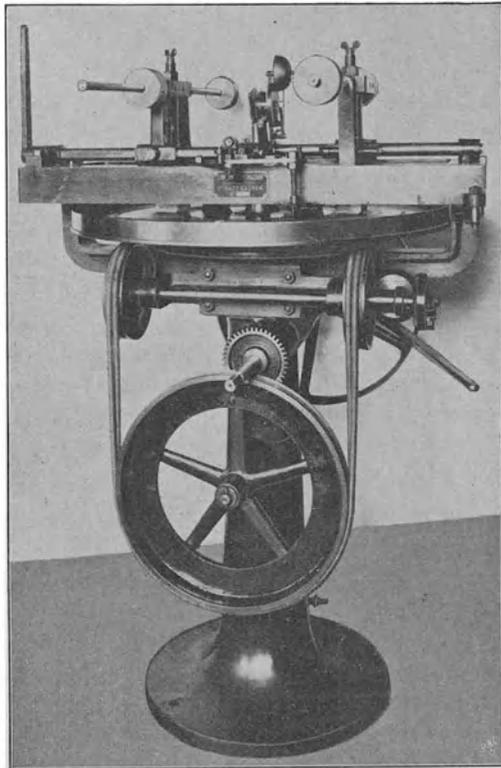


Fig. 306.

#### a) Versuche mit der Schleifmaschine.

Für diese Versuche wird die Bauschingersche Schleifmaschine von Klebe, München oder von Amsler-Laffon & Sohn (Fig. 306) benutzt. Sie besteht aus einer horizontal gelagerten, gußeisernen Schleifscheibe<sup>1)</sup> von 800 mm Durchmesser, die von einem Vorgelege aus mit gleichmäßiger Geschwindigkeit (22 Umdrehungen in der Minute) gedreht wird und deren Umdrehungen durch ein Zählwerk bestimmt werden. In einem gewissen Abstände von der Schleifscheibe sind 2 Haltevorrichtungen zur Aufnahme

<sup>1)</sup> Die Schleifscheibe muß von Zeit zu Zeit abgedreht werden.

der zu prüfenden Probekörper angebracht. Die Probekörper, ebene Platten mit 50 qcm Fläche, werden in die Haltevorrichtungen eingesetzt und durch ein Gewichtshebelwerk in einer Gradführung mit gleichbleibender Kraft gegen die Schleifscheibe gedrückt. Als Schleifmaterial dient Naxos-Schmirgel No. 3.<sup>1)</sup>

Die Ausführung des Versuches geschieht in der Weise, daß zwei getrocknete und gewogene Probekörper, in 22 cm Abstand von der Drehachse der Maschine eingespannt, mit 30 kg belastet und nach Anstellen der Maschine bei Beginn des Schleifens und nach je 22 Scheibenumgängen, d. h. nach je 1 Minute, für jeden Probekörper 20 g Naxos-Schmirgel No. 3 aufgegeben werden. Das Aufbringen des Schmirgels geschieht am besten mit einem Hohlmaß, wobei darauf zu achten ist, daß der Schmirgel gleichmäßig über die Schleiffläche verteilt wird. Nach je 110 Scheibenumgängen, also nach fünfmaliger Schmirgelaufgabe, entsprechend  $2 \cdot 0,22 \cdot \pi \cdot 110 = 152$  m Schleifweg, werden die Probekörper aus der Maschine herausgenommen und nach Entfernung der anhaftenden Schmirgelreste die abgeschliffene Gesteinsmenge durch Wägung ermittelt. Diese Beanspruchung des Probekörpers wird noch dreimal wiederholt und der Schleifverlust als Summe der 4 Einzelergebnisse in Gewichtsteilen berechnet. Hieraus ergibt sich die Abnutzung der Steinmasse dem Volumen nach, wenn  $r$  das Raumgewicht des Materials bedeutet, aus der Beziehung

$$\text{Volumen } V = \frac{\text{Abnutzung } G \text{ in g}}{r}.$$

Die Versuchsergebnisse werden zweckmäßig in folgendes Schema gebracht.

Material:	No. des Versuches	Gewichtsverlust in g				Gesamte Abnutzung*)		
		nach Umdrehungen				g	im Mittel	
		110	220	330	440		g	ccm
Sandstein I	1	3,34	2,91	2,04	1,88	10,17	10,11	4,79
	2	3,58	2,70	2,09	1,68	10,05		
Sandstein II	1	3,63	3,05	2,17	2,17	11,42	11,41	4,38
	2	3,81	3,24	1,90	1,90	11,39		

\*) Granit mit 1570 kg/qcm Druckfestigkeit besitzt eine gesamte Abnutzung von 2,65 ccm.

Zur Bedienung der Maschine sind zwei Personen erforderlich, die, auf gegenüberliegenden Seiten der Maschine stehend, damit beschäftigt sind, den Schmirgel auf die Schleifbahn des Probekörpers zu streichen, den verbrauchten zu entfernen und neuen aufzugeben.

Manchmal tritt der Fall ein, daß auf der Schleiffläche des Probekörpers Furchen entstehen, durch welche der weitere Angriff des Schmirgels

<sup>1)</sup> Lieferant: Naxos-Union, Frankfurt a. M.

verhindert wird. Es rührt dies von ungleichmäßiger Verteilung des Schmirgels, ungleich harter oder unebener Schleiffläche und auch von ungenauer Einstellung des Probekörpers her. Mit solchen Probekörpern darf man den Versuch nicht fortsetzen, sondern es muß die Schleiffläche erst wieder ebengeschliffen werden. Um diesem Umstande zu begegnen, werden an manchen Prüfungsstellen die Probekörper nach einer bestimmten Zahl Umdrehungen um  $90^{\circ}$  gedreht oder auch andauernd in Drehung erhalten, so daß das Schleifen in einer für ersten Schleifrichtung senkrechten Richtung fortgesetzt wird oder dauernd eine andere Schleifrichtung vorhanden ist. Die Dresdner Versuchsanstalt hat dieses Verfahren nicht aufgenommen, weil sich die Furchenbildung bei sorgfältiger Versuchs-

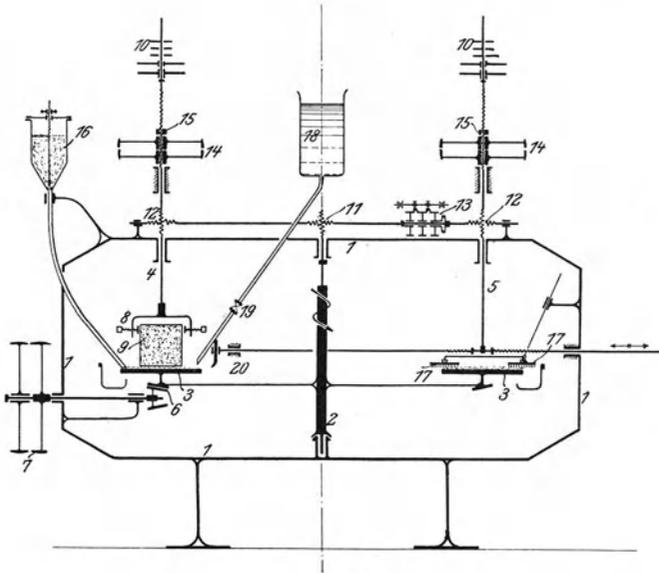


Fig. 307.

ausführung vermeiden läßt und die Abnutzungsversuche mit dem Sandstrahlgebläse den Vorzug verdienen. Jedenfalls dürfen Versuchsergebnisse, die an ruhenden Körpern gewonnen wurden, nicht mit solchen verglichen werden, die man an bewegten Probekörpern ermittelte.

Den Konstruktionsgrundsatz einer Schleifmaschine mit beständig bewegten Probekörpern von Amsler-Laffon & Sohn veranschaulicht das Schema Fig. 307.

Der Ständer 1, in dem die Achse 2 der Schleifscheibe 3 läuft, trägt zwei Halter 4 und 5. Die Umdrehung der Scheibe 3 erfolgt durch Riemen und durch Kegelrad 6 von den Scheiben 7 aus. Jeder Halter 4 und 5 besteht aus einer vertikal leicht verschiebbaren und drehbaren Welle mit der Einspannvorrichtung 8 für das Probestück 9. Das obere Ende des Halters 4 kann durch Gewicht 10 belastet werden. Die beiden Halter 4 und 5

werden durch Schneckengetriebe 11 und 12 von der Scheibenachse 2 aus in Umdrehung versetzt. Nach einer bestimmten Anzahl Umdrehungen der Schleifscheibe 3 stellt sich die Maschine von selbst ab. Der Zähler 13 mit springenden Zahlen zeigt den Schleifweg an. Durch Abwärtsschrauben des Handrades 14 entfernt sich das Probestück von der Scheibe 3; der Anschlag 15 verhindert das zu tiefe Herabsinken des Probestückes 9. Das Schleifmittel ist in der Büchse 16 mit regulierbarem Auslauf enthalten. Die beiden Bürsten 17 unterhalb der Büchse reinigen die Scheibe 3. Aus dem Gefäße 18 mit Auslaufhahn 19 fließt beim Naßschleifen das erforderliche Wasser. Nach Abnutzung der Schleifbahn kann diese mit dem

Drehstuhl 20 wieder ebengedreht werden. Fig. 308 zeigt die Ausführung der Maschine.

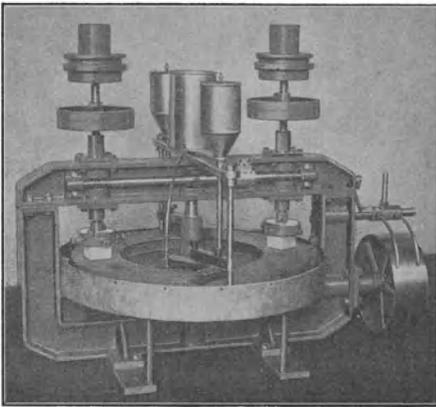


Fig. 308.

b) Versuche mit dem Sandstrahlgebläse.

Während bei dem Abnutzungsversuche mit der Schleifmaschine jedes Korn des Schleifmittels wiederholt zum Angriff auf die zu prüfende Fläche gelangt und auch die abgeschliffenen Materialteilchen eine Wirkung als Schleifmittel äußern, vermeidet das Sandstrahlgebläse

diesen Übelstand, indem jedes Korn des Schleifmittels nur einmal die Schleiffläche beansprucht und dann sofort entfernt wird. Dieses überaus zweckmäßige, den tatsächlichen Verhältnissen nahe kommende Versuchsverfahren wurde nach den Vorschlägen von Gary<sup>1)</sup> im Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde ausgebildet und in das Materialprüfungswesen eingeführt.

Die von der Firma Vogel & Schemann, Kabel in Westfalen, gelieferten Sandstrahlgebläse für Abnutzungsversuche sind für Dampfbetrieb und für Betrieb mit komprimierter Luft eingerichtet. Das Gebläse für Dampfbetrieb ist in Fig. 309 dargestellt. Es arbeitet mit 3 Atm. Dampfdruck und ist mit einem Dampftrockner versehen, da es von Wichtigkeit ist, daß der Sand vollkommen trocken auf die Versuchsfläche trifft. Es tritt deshalb der schon vorher von Wasserteilchen befreite Kesseldampf zunächst in den mit Manometer versehenen Dampftrockner 1 ein, von wo er nach der Abscheidung etwa noch mitgerissenen Wassers durch das Ventil 2 zur Dampfdüse 3 gelangt. Über dieser befindet sich die Misch-

<sup>1)</sup> Gary, Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1901, S. 211; 1904, S. 103. Baumaterialienkunde 1902, S. 24.

düse 4, in die seitlich die Sandzuführungsröhrchen 5 münden. Die vorn offenen Röhrchen tragen außen die Sandtrichter, denen durch die senkrechten Rohre 6 der Sand aus dem Raume 7 zugeführt wird; durch die Drehschieber 8 kann der Sandzufluß über den Trichtern abgesperrt werden. Der aus der Düse 3 austretende Dampf erzeugt in der Mischdüse 4 ein Vakuum, das die bei 9 in die Zuführungsrohre 5 eintretende Luft kräftig ansaugt; der entstehende Luftstrom reißt den von oben einfallenden Sand

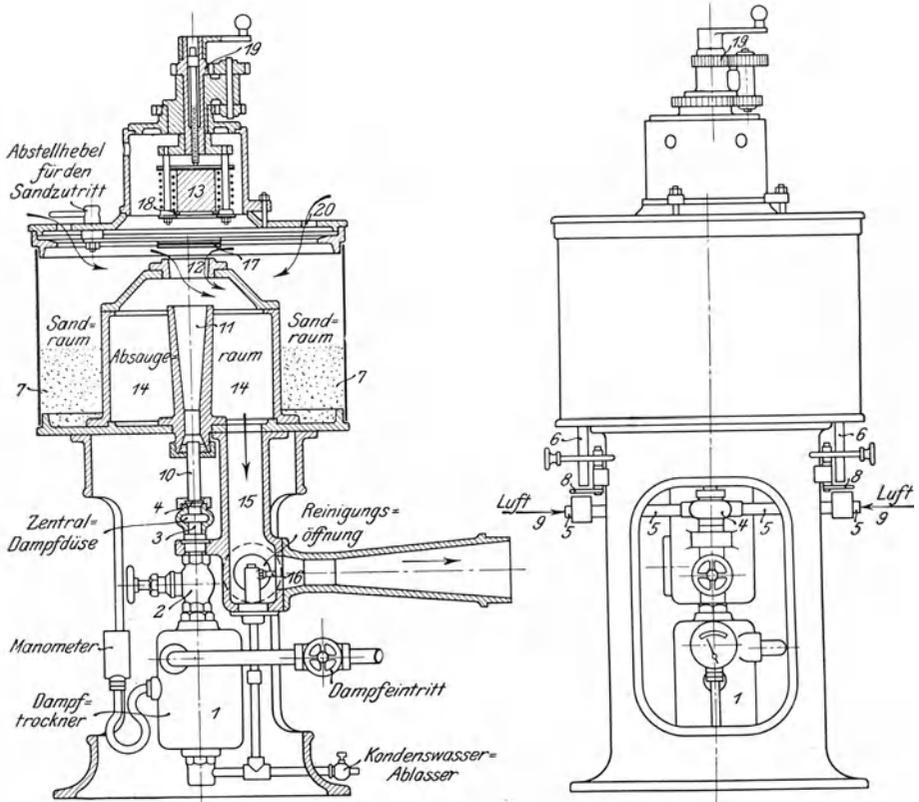


Fig. 309.

mit und führt ihn der Mischdüse und dem in sie mündenden Hartgußröhrchen 10 zu. Letzteres ist mit seinem oberen Ende in dem Blasrohr 11 abgedichtet, durch das nun ein Gemisch von Dampf, Luft und Sand dem Mündungsstück 12 zuströmt. Um den Dampf zu entfernen, bevor der Strahl auf das Versuchsstück 13 trifft, ist um das Blasrohr der Absaugraum 14 angeordnet, von dem das Auswurfrohr 15 unten ins Freie führt. Eine kleine Dampfduße 16 erzeugt in dem Rohre 15 und dem Absaugraum 14 einen Gegenluftstrom, der den Dampf aus dem Strahlgemisch mit sich nach außen reißt. Den nunmehr vollkommen trockenen Sandstrahl

läßt man nach Öffnen des Absperrschiebers 17 auf das Versuchsstück 13 einwirken, das durch eine Stahlschablone 18 bis auf die kreisrunde Öffnung von 6 cm Durchmesser abgedeckt ist. Da nun diese Fläche vollkommen gleichmäßig abgenutzt werden soll, der Sandstrahl aber, schon infolge der einseitigen Dampfabsaugung, nicht in seinem ganzen Querschnitt gleichmäßig wirkt, so ist das Versuchsstück exzentrisch über der Düse 11 gelagert und wird durch ein von Hand bewegtes Planetenradgetriebe 19 kreisförmig über dem Sandstrahl gedreht. Zum Auffangen des benutzten Sandes dient ein über dem Sandraum 7 angeordneter ringförmiger Blechkasten (in der Figur nicht gezeichnet), der zeitweise entleert werden muß. Der Deckel mit der Haltevorrichtung des Probekörpers ist abhebbar eingerichtet und mit Lufteintrittsöffnungen 20 versehen. Der Abstand der Probefläche von der Düsenmündung beträgt 6 cm. Obgleich sich die Drehgeschwindigkeit des Probestückes als einflußlos auf das Ergebnis erwiesen hat, werden in der Regel 24 Umdrehungen in der Minute angewendet. Die Dauer des Versuches beträgt 2 Minuten.

Als Sand wird der Abfallsand von der Normalsandfabrikation (s. § 237) benutzt, der durch ein Sieb von 120 Maschen auf 1 qm gefallen ist. Bei der Inbetriebnahme des Apparates sind einige Handgriffe zu beachten, die sich auf das Anwärmen der einzelnen Teile durch den Dampf zur Vermeidung von Kondenswasser erstrecken.

Mit jedem Material werden zwei Einzelversuche senkrecht zur Lagerfläche des Gesteins und zwei in paralleler Richtung dazu ausgeführt. Die dabei ermittelten Gewichtsverluste werden auf Volumeneinheiten umgerechnet (s. S. 320) und der Mittelwert, bezogen auf die Flächeneinheit der Abnutzungsfläche, als Abnutzungsgröße angegeben (s. folgendes Schema).

Lfd. No.	Sandstrahl senkrecht zur Lagerfläche des Gesteins:				Sandstrahl parallel zur Lagerfläche des Gesteins:			
	Gewichtsverlust in g		Volumenverlust in ccm		Gewichtsverlust in g		Volumenverlust in ccm	
	einzel	im Mittel	gesamt	bezogen auf die Flächeneinheit	einzel	im Mittel	gesamt	bezogen auf die Flächeneinheit
1.	8,60 9,00	8,80	3,2	0,11	6,90 5,85	6,37	2,46	0,09
2.	—	—	—	—	—	—	—	—
3.	—	—	—	—	—	—	—	—

Nachteile der mit Dampf betriebenen Gebläse sind: geräuschvoller Betrieb, Ablenkung des Sandstrahles durch das Absaugen des Dampfes, unter Umständen nicht völlig trockener Sand und die mit der hohen

Temperatur verbundenen sonstigen Übelstände. Wenn daher die höheren Kosten nicht gescheut zu werden brauchen, dürfte ein mit Druckluft betriebenes Gebläse vorzuziehen sein. Die Konstruktion dieses Gebläses stimmt im allgemeinen mit der des vorher beschriebenen Dampfstrahlgebläses überein, doch fallen die durch den Dampfbetrieb bedingten Einzelteile wie Dampftrockner usw. weg.

## II. Die künstlichen Bausteine.

### § 205. Allgemeines.

Die künstlichen Bausteine können in zwei Hauptgruppen eingeteilt werden, und zwar in solche, welche unter Verwendung eines Bindemittels hergestellt werden, und in solche, die eines solchen Bindemittels nicht bedürfen. In die erste Gruppe fallen alle Kunststeine, zu deren Erzeugung Kalk, Zement, Asphalt, Gips oder dergl. Verwendung findet. Die zweite Gruppe dagegen umfaßt alle diejenigen Erzeugnisse, die durch Brennen angefertigt werden.

Die Prüfung der künstlichen Bausteine stimmt mit derjenigen der natürlichen im allgemeinen überein, mit dem Unterschiede, daß sie der Eigenart des betreffenden Materials und dem Verwendungszwecke angepaßt werden muß. Bodenbelagplatten wird man z. B. nicht in derselben Weise prüfen wie Dachschiefer oder gebrannte Tonziegel nicht ebenso wie Asphaltkorksteine usw. Es muß vielmehr von Fall zu Fall entschieden werden, welche Prüfungsverfahren den Beanspruchungen entsprechen, die das Material bei seiner Verwendung als Baumaterial erleidet. (Über die Einteilung und Benennung der künstlichen Bausteine s. Förster, Lehrbuch der Baumaterialienkunde Heft II, 1. Lieferung, Leipzig 1905.)

Im allgemeinen werden zur Prüfung künstlicher Bausteine folgende Eigenschaften ermittelt:<sup>1)</sup>

1. die Form, die Abmessungen und das Stückgewicht der Steine;
2. die Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche und das Bruchgefüge;
3. das spezifische Gewicht  $s$ , das Raumbgewicht  $r$ , der Dichtigkeitsgrad  $d$  und der Undichtigkeitsgrad  $u$ ;
4. die Wasseraufnahme- und -abgabefähigkeit;
5. die Wasserdurchlässigkeit;
6. die Wetterbeständigkeit (Frostbeständigkeit, Gehalt an schädlichen Einlagerungen);

<sup>1)</sup> Kalksandsteine prüft man noch auf Gehalt an löslicher Kieselsäure, von welcher die Güte der Steine wesentlich abhängt. Je höher ihr Gehalt an Kieselsäure ist, desto widerstandsfähiger zeigen sie sich gegen Wasser und Frostbeanspruchung. Die Ausführung der Untersuchung erfolgt nach den in der Chemie üblichen Methoden, wobei die Zerkleinerung des Steines sorgfältig geschehen muß, damit nicht etwa Sandkörner zermalmt werden.

7. die Feuerbeständigkeit;
8. die Druck- und Biegefestigkeit;
9. die Schlagfestigkeit;
10. die Abnutzbarkeit;
11. der Gehalt an löslichen Salzen;
12. die Säurebeständigkeit;
13. die Isolierfähigkeit gegen Temperaturveränderungen.

#### **§ 206. Form, Abmessungen und Gewicht der Steine.**

Die Form wird durch Zeichnung oder Lichtbild und die Abmessungen durch Ausmessen des Probekörpers festgelegt. Da künstliche Steine selten genau übereinstimmende Abmessungen besitzen und auch das Stückgewicht Abweichungen zeigt, werden für die Ermittlung je 10 Steine benutzt.

#### **§ 207. Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche und das Bruchgefüge.**

Die Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche, sowie die Art des Gefüges sind zu beschreiben. Der Farbton ist genau, am besten durch Farbstriche, anzugeben. Es ist ferner festzustellen, ob die Oberfläche oder die Bruchfläche Hohlräume oder Einlagerungen von Fremdkörpern aufweist.

#### **§ 208. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht, Dichtigkeitsgrad, Undichtigkeitsgrad, Feuchtigkeitsgehalt, Glühverlust.**

Das spezifische Gewicht bestimmt man mit dem Volumenometer am gepulverten Material, welches durch Absieben auf einem Siebe mit 900 Maschen für das Quadratcentimeter von groben Körnern und auf einem Siebe mit 4900 Maschen vom feinsten Staube befreit wurde.

Die Raumgewichtsbestimmung geschieht an 10 ganzen Steinen oder, wenn dies nicht angängig, an nicht zu kleinen Bruchstücken nach der Auftriebsmethode (s. § 181 b) oder durch Volumenermittlung (s. § 181 a).

Der Dichtigkeits- und der Undichtigkeitsgrad wird nach § 182 berechnet.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes erfolgt an ganzen Steinen oder an größeren Bruchstücken derselben durch Austrocknen bei 110° oder bei niedrigerer Temperatur im Vakuumtrockenapparat.

Den Glühverlust dagegen bestimmt man am gepulverten Material nach § 232.

#### **§ 209. Die Wasseraufnahme- und -abgabefähigkeit.**

Den bereits für die natürlichen Steine in § 199 und für die Prüfung von Steinzeugwaren in § 309 gemachten Angaben ist hinzuzufügen, daß die Versuche mit je 10 Steinen ausgeführt werden, die vorher bis zu gleichbleibendem Gewicht getrocknet wurden. Als Maß für die Wasser-

aufnahmefähigkeit ist die gesamte bis zur Gewichtsgleichheit aufgesaugte Wassermenge in Prozenten des Trockengewichtes zu betrachten.

Die Bestimmung der Porosität oder des Undichtigkeitsgrades aus der bis zu völliger Sättigung aufgesaugten Wassermenge ist nicht einwandfrei; dieses Verfahren sollte unterbleiben. Manche Materialien besitzen größere Poren, die eine saugende Wirkung nicht zu äußern vermögen, auch oft von gesinterten Wänden umgeben sind, die überhaupt keine Durchlässigkeit aufweisen, so daß die aufgesaugte Wassermenge nicht dem Volumen der Hohlräume entspricht. Die Bestimmung des Undichtigkeitsgrades darf deshalb nur durch Berechnung aus dem spezifischen und dem Raumgewicht erfolgen.

Die Ermittlung der Wasserabgabefähigkeit ist von Bedeutung zur Beurteilung des Austrocknens von Bauten. Sie erfolgt in der Weise, daß man in einem mäßig warmen, gut gelüfteten Raume (ca. 20 °) die Bausteine hochkantig aufstellt und von einem durch Tischfächer erzeugten Luftstrom bestreichen läßt. Die Wasserabgabe der Steine wird durch tägliche Wägung festgestellt.

#### § 210. Die Wasserdurchlässigkeit.

Die Prüfung auf Wasserdurchlässigkeit erfolgt nach den in § 2981 und §§ 245 und 309 c angegebenen Verfahren.

#### § 211. Die Wetterbeständigkeit.

Zur Erprobung der Wetterbeständigkeit der künstlichen Bausteine dient in der Hauptsache der Frostversuch, dessen Ausführung mit dem in § 203 und § 243 beschriebenen übereinstimmt, und die Prüfung auf schädliche Einlagerungen, die jedoch ausschließlich für gebrannte Tonsteine in Betracht kommt. Einlagerungen von kohlenurem Kalk in Stücken, sowie Schwefelkies und Gips erleiden nämlich im gebrannten Zustande, wenn sie feuchter Luft ausgesetzt werden, eine Volumenzunahme, die Ausprengungen der Erzeugnisse verursacht. Man führt die Prüfung in der Weise aus, daß man einige Probesteine 8 Tage lang in feuchter Luft aufbewahrt, z. B. unter einer evakuierten Glasglocke, in der sich ein mit Wasser gefülltes Gefäß befindet. Sind während dieser Zeit Ausprengungen noch nicht aufgetreten, so kann man sicher sein, daß schädliche Bestandteile nicht vorhanden sind.

Eine schärfere Prüfung ist die folgende: Man bringt mehrere Steinstücke in einem Papinschen Topf unter, jedoch so, daß sie nicht vom Wasser berührt, sondern nur vom Wasserdampf getroffen werden, setzt sie 3 Stunden einem Dampfdrucke von 0,25 Atm. aus und untersucht sie hiernach mit der Lupe auf entstandene Risse.

Wenn irgend angängig, soll auch das Rohmaterial (Ton) einer Prüfung auf Gehalt an löslichen Bestandteilen unterzogen werden. Das Rohmaterial wird in Wasser aufgeweicht und durch Absieben auf

einem Siebe von 400 Maschen für das Quadratcentimeter werden die groben Teile ausgesondert. Der so gewonnene Siebrückstand wird mit der Lupe, oder durch Behandlung mit Salzsäure usw. auf die Art seiner mineralischen Bestandteile geprüft.

### § 212. Die Feuerbeständigkeit.

Hinsichtlich der Feuerbeständigkeit ist die Feuersicherheit und die Feuerfestigkeit zu unterscheiden. Jene ist im allgemeinen diejenige Eigenschaft der Bausteine, eine plötzliche Erwärmung zu ertragen, ohne Zerstörung anheimzufallen. Die Prüfung auf diese Eigenschaft wird in der Weise vorgenommen, daß man mehrere Steine in einem Ofen, dessen Temperatur geregelt werden kann, bis zu entsprechender Temperatur (gebrannte Steine bis zur hellen Rotglut) erhitzt und dann plötzlich in Wasser abkühlt. Steine, welche durch diese Beanspruchung eine nur unwesentliche Herabminderung der Druckfestigkeit erfahren, sind als feuersicher zu betrachten.

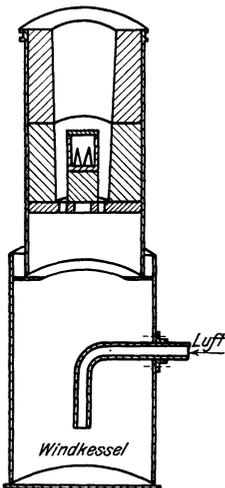


Fig. 310.

Die Feuerfestigkeit ist der Widerstand, den ein Körper hoher Temperatur entgegen zu setzen vermag, ohne zu schmelzen oder an Festigkeit einzubüßen. Für Bausteine ist diese Eigenschaft von besonderer Bedeutung, wenn sie zur Errichtung von Feuerungsanlagen Verwendung finden sollen. Die Prüfung kann als Festigkeitsuntersuchung ausgeführt werden, indem man die auf entsprechender Temperatur befindlichen Steine dem Druckversuch unterzieht,<sup>1)</sup> oder man beschränkt sich darauf, die Erweichungs- oder Schmelztemperatur der Steine zu bestimmen.<sup>2)</sup> Zu letzterem Versuche dient der Devillesche Ofen, der in Fig. 310

dargestellt ist. Der obere mit feuerfester Masse ausgekleidete Raum ist der Feuer- und Schmelzraum, während der untere als Windkessel für die zugeführte Gebläseluft dient. Beide Räume sind durch eine eiserne Platte getrennt, welche in der Mitte eine Öffnung von 3 cm Durchmesser besitzt, um die Löcher von 6 mm Weite angeordnet sind. Der Feuer- bezw. Schmelzraum ist schwach konisch und unten etwa 9 cm, oben 11 cm weit. Die feuerfeste Ausfütterung des Ofens ist etwa 6 cm stark und besteht bis zu etwa 18 cm Höhe aus 2 hydraulisch gepreßten Magnesitringen. Der übrige Teil des Futters ist aus einem Gemisch von 90 Teilen bis zur Sinterung gebrannten Magnesit und 10 Teilen Zettlitzer Kaolin gestampft.

<sup>1)</sup> Der Versuch kann analog dem in § 22 beschriebenen Zugversuch angeordnet werden.

<sup>2)</sup> Segers Ges. Schriften, Berlin 1896, S. 417.

Als Feuerungsmaterial dient Kokes oder Retortengraphit, dem mit einem Gebläse Luft zugeführt wird. Auf der Bodenplatte des Schmelzraumes ruht ein Untersatz, auf welchem ein zylindrischer Tiegel mit Deckel von 40 mm äußerem Durchmesser und 45 mm Höhe angeordnet wird, in dem die zu untersuchenden Materialien mit dem Vergleichsmaterial (Segerkegel, s. § 190) untergebracht werden.

Aus dem zu prüfenden Stein werden mit der Handsäge Körper ähnlicher Abmessungen wie die Segerkegel herausgearbeitet, oder es werden die zur Herstellung der Steine verwendeten Tone mit Wasser angemacht zu solchen Körpern geformt. Während diese vor der Prüfung erst getrocknet und schwach geglüht werden müssen, können jene ohne weiteres gemeinsam mit Segerkegeln in den Tiegel eingesetzt und der Prüfung unterzogen werden.

Um ein Umfallen der Kegel zu verhüten, werden sie auf dem Tiegelboden festgeklebt. Dies geschieht mit Gummileim oder besser mit Schlicker aus Kaolin, in welche man die Kegel mit der Basis eintaucht.

Die Stellung der Kegel zueinander muß angemerkt werden. Zuerst benutzt man Segerkegel 26, 27, 28 neben 2—3 Kegeln aus dem zu prüfenden Körper. Schmelzen alle Segerkegel nieder, bevor der Körper schmilzt, so ist der Versuch mit Segerkegeln höherer Nummern, anderenfalls mit solchen niedrigerer Nummern zu wiederholen. Im allgemeinen können Steine oder Tone, die bei Segerkegel 26 schmelzen, keinen Anspruch darauf machen, als feuerfest bezeichnet zu werden. (Feuerfest sind Steine oder Tone, die bei Segerkegel 30 noch nicht angegriffen werden.)

Das Anzünden des Ofens geschieht ohne Verwendung von Papier, dessen Asche stets Ofenfutter und Tiegel angreift, in der Weise, daß etwa 30 g Holzkohle in einem Sieblöffel über einer kräftigen Bunsenflamme oder einem anderen Feuer zur Glut gebracht, hierauf in den Deville-Ofen eingeführt werden und bei schwachem Gebläsewind der abgewogene Brennstoff, Koke oder Retortengraphit, zugegeben werden.

Das Glühen setzt man so lange fort, bis der Tiegel wieder deutlich sichtbar wird, letzterer wird alsdann mit einer Zange aus dem glühenden Ofen herausgenommen und sein Deckel geöffnet. Ist der Deckel angeschmolzen, so kann man ihn leicht durch Einschieben eines Messers öffnen. Aus dem Aussehen des Segerkegels und des Probekörpers sind alsdann die nötigen Schlüsse zu ziehen.

Für einen Versuch genügen in der Regel 1000 g Koke oder 900 g Retortengraphit, um Segerkegel 26 zum Schmelzen zu bringen. Für die folgenden Versuche werden stets 100 g Koke oder Graphit mehr verwendet. Nach jedesmaligem Versuch muß der Ofen gereinigt werden.

### § 213. Die Festigkeit der künstlichen Bausteine.

In Bauwerken sind die Bausteine den verschiedenartigsten Beanspruchungen ausgesetzt. Sie erleiden Zug-, Druck-, Biegungs-, Scher-

und Torsionsbeanspruchungen und auch zusammengesetzte Anstrengungen, indem zwei oder drei der vorgenannten Beanspruchungsweisen gleichzeitig auf den Körper einwirken.

Zur Erforschung des Verhaltens der Bausteine stellt man daher entsprechende Versuche an, hinsichtlich deren Ausführung auf die einschlägigen Abschnitte des ersten Teils d. B. verwiesen werden kann. Jenen Erläuterungen ist nur noch hinzuzufügen, daß die für die Versuche zu benutzende Probekörperform der Art des Materials und der Art des Kraftangriffes im Bauwerk angepaßt werden muß. Als Hauptgrundsatz muß dabei gelten, daß als Probekörper, solange es sich um eine Güteprüfung des Materials handelt, ganze Bausteine in der Form zu benutzen sind, in der sie im Bauwerk zur Verwendung gelangen, um der Art ihrer gegenseitigen Verbindung Rechnung zu tragen.

Zur Vergleichung der Güte verschiedener Bausteine untereinander oder zur Ermittlung des Einflusses irgendwelcher Inanspruchnahmen, z. B. durch Frost, Feuer, Wasser oder dergl., werden Druck- und Biegeversuche ausgeführt. Für die Druckversuche benutzt man Würfel, welche aus dem Probematerial, wie aus natürlichen Steinen (s. S. 313), herausgearbeitet werden, oder es finden Probekörper Verwendung, die durch Vereinigung mehrerer Materialstücke in der in § 313 beschriebenen Weise erzeugt werden, wenn nicht die Prüfung des ganzen Steines in seinen ursprünglichen Abmessungen erforderlich ist.

Biegeversuche stellt man nach Möglichkeit am ganzen Stein an, indem man ihn an beiden Enden stützt und in der Mitte durch eine Einzelkraft belastet. (Näheres über die Vorbereitung der Probekörper für Druck- und Biegeversuche s. §§ 201 und 298 n.)

Abweichend davon sind diejenigen Bausteine zu behandeln, aus denen sich wegen ihrer Form weder würfelförmige Körper herauschneiden, noch durch Zusammenkitten von zwei Steinhälften annähernde, würfelförmige Körper erzeugen lassen. Es sind dies in erster Linie die Hohlsteine, deren Löcher den Stein entweder in seiner Längsrichtung oder senkrecht zu dieser durchziehen. Würde man solche Steine zerteilen, so ist eine Beschädigung derselben unvermeidlich und außerdem würde ihre Prüfung keinen Aufschluß über die Festigkeit des Steines selbst liefern. Man muß daher Probekörperformen wählen, bei deren Prüfung der Körper Beanspruchungen erleidet, die denen nahe kommen, welchen er im Bauwerke ausgesetzt ist. Die einzige dementsprechende Körperform ist diejenige des ganzen Bausteines.

Man bereitet deshalb für die Druckversuche die Steine, z. B. Deckenhohlsteine, in der Weise vor, daß man sie an den Druckflächen eben schleift oder mit Zementmörtel 1:1 abgleicht. Besitzt z. B. ein Stein die in Fig. 311 angegebene Form, so wird er am oberen und unteren Ende eben geschliffen oder abgeglichen, indem man ihn nach Annässen auf eine Mörtelschicht drückt, die auf einer geölten, glatten Eisen-

oder Glasplatte ausgebreitet wurde. Nach Abbinden des Mörtels hebt man die Platte ab, schneidet mit einem Messer den über die Ränder des Steines hervorstehenden Mörtel ab, entfernt auch den die Löcher verschließenden Mörtel und bereitet die andere Druckfläche in gleicher Weise vor.

Aus hohlen Mauerziegeln, Schornsteinradialziegeln und Zementmauersteinen mit Mörtelvertiefungen nach Fig. 312 werden durch Aufeinanderkitten zweier ganzen Bausteine Druckprobekörper hergestellt, deren Druckflächen mit Zementmörtel 1 : 1 abgeglichen werden. Die Löcher werden ebenfalls, wie oben angegeben, vom Mörtel befreit und bei Angabe der Druckfestigkeit die Bruchbelastung auf die wahre Druckfläche, d. i. die Steinfläche unter Abzug der Lochquerschnitte, sowie auf die gesamte Steinfläche bezogen.

Wegen der schnelleren Erhärtung kann man auch Steine geringerer Festigkeit, wie Schwemmsteine, Schlackensteine und dergl., mit Gips abgleichen.

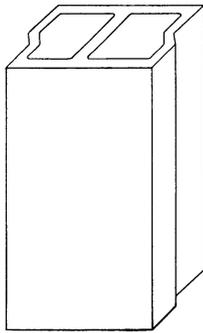


Fig. 311.

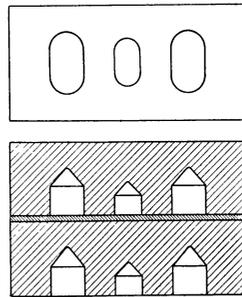


Fig. 312.

Manche künstlichen Bausteine, wie Korksteine, Steinholz, Asphalt usw., welche eine verhältnismäßig geringe Widerstandsfähigkeit gegen Druckbeanspruchung insofern besitzen, als sie bereits bei niedrigsten Lasten bleibende Zusammendrückungen erleiden und bei denen die elastischen Nachwirkungen (s. § 7) groß sind, werden in der Weise geprüft, daß man die Zusammendrückungen plattenförmiger Körper bei gewissen Belastungsstufen mißt und außerdem diejenigen Belastungen feststellt, bei welchen ein auf den Probekörper wirkender Stempel einen deutlich sichtbaren Eindruck hinterläßt. Die erstere Prüfung soll den Setzungsfaktor liefern, mit dem man bei Verwendung des Materials als Baustoff zu rechnen hat, und die letztere soll zahlenmäßige Unterlagen zur Bemessung von Möbelfüßen oder dergl. liefern, die keinen bleibenden Eindruck auf dem Material hinterlassen.

Die Prüfung auf Zusammendrückbarkeit geschieht in einer Materialprüfungsmaschine, indem man Platten von ca.  $12 \times 12$  qcm Fläche oder,

wenn es die Verhältnisse erfordern, auch größere<sup>1)</sup> stufenweise einem allmählich wachsenden Drucke von 0 bis Maximum aussetzt und nach Erreichen jeder Laststufe die Annäherung der Preßplatten mißt.<sup>2)</sup> In ähnlicher Weise werden die Versuche mit dem Stempel ausgeführt. Man lagert den Probekörper auf der unteren Preßplatte der Prüfungsmaschine, setzt auf seine Mitte einen zylindrischen eisernen Stempel von 5, 10, 25, 50 oder 100 qcm Querschnitt, dessen Kanten schwach abgerundet sind und belastet damit stufenweise den Probekörper, mit geringer Kraft beginnend, bis ein meßbarer, bleibender Eindruck auf der Oberfläche des Körpers entsteht. Ist diese Kraft mit Zuverlässigkeit ermittelt, dann steigert man die Belastung, bis die Ränder der beanspruchten Körperoberfläche von

dem Material der Umgebung abreißen, und stellt die Kraft fest, welche hinreicht, um das Abreißen einzuleiten.

Da bei solchen Versuchen die Versuchsdauer (s. § 20) von erheblichem Einfluß ist, empfiehlt es sich, sie als Dauerversuche auszuführen, indem man die Stempelbelastung tage- oder auch monatelang auf den Körper wirken läßt. Eine Vorrichtung der Dresdner Versuchsanstalt für solche Versuche ist in Fig. 313 abgebildet. Sie besteht aus einem kräftigen, gußeisernen Wandkonsol, auf welchem der Probekörper gelagert wird, und der Belastungsvorrichtung, die mit einer Spitze

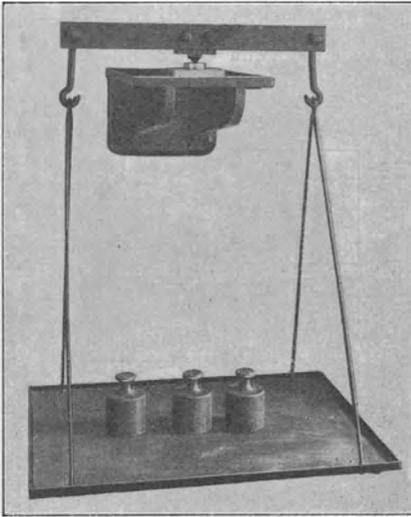


Fig. 313.

am oberen Ende des Stempels angreift. Die Belastungsvorrichtung wird durch ein Gehänge mit Platte zur Aufnahme von Belastungsgewichten gebildet.

Die Prüfung eines Korkestrichs für Fußbodenbelag ergab z. B. bei Beanspruchung mit einem Stempel von 10 qcm Querschnitt und 500 kg Belastung, daß nach 24 Stunden Belastungsdauer noch kein sichtbarer Eindruck entstanden war, daß derselbe aber nach 72 Stunden eintrat. Bei 790 kg Belastung und 168 Stunden Lastwirkung machten sich Risse an der beanspruchten Druckfläche bemerkbar.

Zur Prüfung einer Reihe weniger widerstandsfähiger Asphalte bediente sich Verfasser zylindrischer Stempel mit 10 qcm Querschnitt und

<sup>1)</sup> Unebene Flächen müssen vor dem Versuche ausgeglichen werden.

<sup>2)</sup> Über den dadurch bedingten Fehler s. S. 52 und 57.

verschiedenem Gewichte. Die Stempel wurden auf die Probekörper aufgesetzt und während mehrerer Wochen bei verschiedenen Raumtemperaturen beobachtet, nach welcher Zeit die einzelnen Stempel einen merklichen Eindruck auf dem Material hinterließen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse lieferten auch Anhaltspunkte zur Beurteilung der Erweichungsfähigkeit der Asphalte, die für ihre Verwendung als Straßenpflaster oder dergl., das von der Sonne bestrahlt wird, von Bedeutung ist. (Näheres über solche Prüfungen siehe Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1897, S. 74.)

Eine weitere Prüfung der Bausteine, welche als Pflastermaterial Verwendung finden, ist die Ermittlung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Raddruck.<sup>1)</sup> In der Dresdner Versuchsanstalt geschieht sie in der Weise,

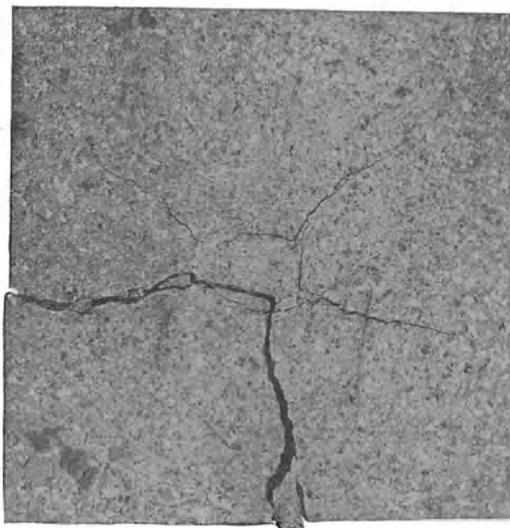


Fig. 314.

daß die auf einem Eisenrahmen mit Zement untergossene, aber sonst allseitig frei aufliegende Platte<sup>2)</sup> in der Mitte durch ein Stück Radkranz aus Gußeisen, dessen Breite der Druckfläche des jeweilig in Betracht kommenden Wagenrades entspricht, langsam ansteigend belastet wird, bis die Zerstörung des Versuchsstückes erfolgt.

Die Ermittlung der Größe der Berührungsfläche geschieht dabei wie bei Prüfung von Gelenksteinen (s. § 315) durch Ausmessen von mit Blaupapier erzeugten Abdrücken.

Fig. 314 zeigt das Aussehen einer quadratischen Kunstgranit-Fußbodenbelagplatte von 300 mm Seitenlänge und 70 mm Dicke und Fig. 315

<sup>1)</sup> Siehe Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1903, S. 235.

<sup>2)</sup> Die Auflagerbreite beträgt 20 mm.

das einer Drahtglasplatte von  $300 \times 385$  mm Fläche und 30 mm Dicke nach der Druckbeanspruchung mit einem Radkranzstück nach Fig. 316.

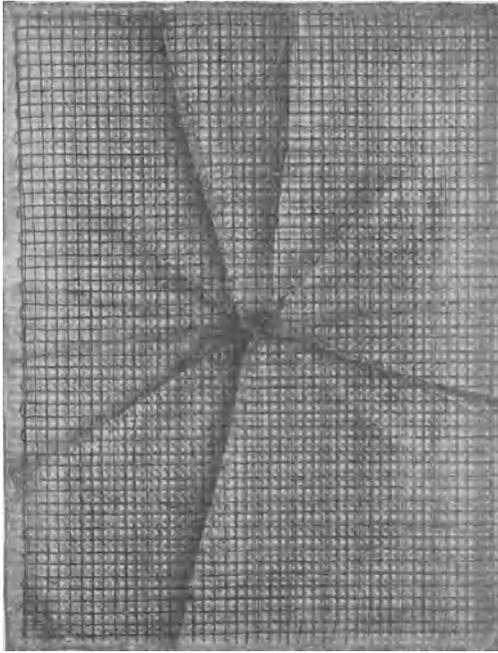


Fig. 315.

Die Prüfung der ersteren ergab eine höchste Tragfähigkeit von 15300 kg, entsprechend einer spezifischen Druckbeanspruchung von 100 kg/qcm. Die Drahtglasplatten gelangten dagegen bei 885 kg gesamtter Belastung zum Bruche.

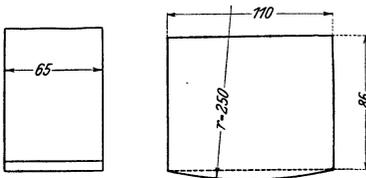


Fig. 316.

#### § 214. Die Schlagfestigkeit.

Die Ermittlung der Schlagfestigkeit erfolgt in derselben Weise, wie in § 202 für die Prüfung der natürlichen

Steine beschrieben wurde. Wegen Prüfung der Dachsteine ist auf § 298 o zu verweisen.

#### § 215. Die Abnutzbarkeit.

Zur Bestimmung der Abnutzbarkeit werden die in § 204 angegebenen Verfahren und Einrichtungen verwendet.

#### § 216. Der Gehalt an löslichen Salzen.

An manchen Bausteinen zeigen sich, insbesondere nach Regenwetter oder bei Grundfeuchtigkeit, wenn die Steine wieder trocken geworden sind,

Auswitterungen, die sich bei der chemischen Untersuchung vorzugsweise als schwefelsaure Salze darstellen. Im allgemeinen treten sie nur bei Bausteinen auf, die aus gebranntem Ton erzeugt wurden, und zwar waren die Salze bereits im Tone vorhanden oder sie sind erst durch die zum Brennen benutzten Brennstoffe in das Material gelangt.

Nach den Beschlüssen der Konferenzen zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsverfahren usw. sollen für die Bestimmung der löslichen Salze 5 Steine und zwar die schwächst gebrannten verwendet werden, die noch nicht vom Wasser berührt sein dürfen. Sie werden nach drei Richtungen gespalten und von den so erhaltenen 8 Spaltungsstücken die nach dem Innern zu gelegenen Ecken abgeschlagen. Diese Stückchen werden gepulvert, bis alles durch ein Sieb mit 900 Maschen für das Quadratcentimeter hindurchgeht, dann wird durch ein Sieb mit 4900 Maschen für das Quadratcentimeter der feine Staub abgeseibt und das zwischen dem 900er und 4900er Sieb verbleibende Material untersucht. 25 g des Pulvers werden mit 250 ccm destilliertem Wasser übergossen und unter Ersatz des verdampfenden Wassers eine Stunde lang gekocht, hierauf abfiltriert und ausgewaschen. Die Flüssigkeit wird abgedampft, der Rückstand schwach geglüht und in Prozenten des Steingewichtes angegeben. Die erhaltene Salzmasse soll quantitativ analysiert werden. Es kommen in Betracht:<sup>1)</sup> Schwefelsäure, Kalk, Magnesia, Kali und Natron, die nach den allgemeinen analytischen Methoden zu bestimmen sind. Am geeignetsten wird der Rückstand in Wasser unter Zusatz einiger Tropfen Salzsäure gelöst und die Lösung auf 200 ccm durch Zusatz von destilliertem Wasser gebracht; 100 ccm dienen zur Bestimmung von Schwefelsäure und Alkalien, die andere Hälfte wird zur Ermittlung des Gehaltes an Kalk und Magnesia verwendet. Neben den schwefelsauren Salzen enthalten die Tone nicht selten Vanadinverbindungen, die sich durch starke grünlich-gelbe Färbung der Tonbausteine bemerkbar machen. Auch Chlorverbindungen, kohlen-saure und phosphorsaure Salze, die dem Mörtel oder dem Erdreich entstammen, können neben schwefelsauren Salzen als Auswitterungsprodukte auftreten. Steht das Mauerwerk mit verwesenden, stickstoffhaltigen Substanzen in Verbindung, so können auch salpetersaure Salze in die Ziegel gelangen. Frisch gebrannte Tonziegel enthalten jedoch niemals Salpeter, wie oft irrtümlich angenommen wird.

Mäckler<sup>2)</sup> hat neuerdings nachgewiesen, daß die Menge löslicher Salze kein sicheres Maß für die Auswitterung darstellt, da Steine mit verhältnismäßig hohem Gehalt an schwefelsaurem Natron und schwefelsaurer Magnesia geringere Auswitterungen zeigten, als solche mit ge-

<sup>1)</sup> Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, 5. Aufl. I., Berlin 1904, S. 612.

<sup>2)</sup> Protokoll der Verhandlung des deutschen Vereins für Ton-, Zement- und Kalkindustrie 1903 u. 1904, s. a. Mäckler, die Ausblühungen des Mauerwerkes 1902.

ringerem Salzgehalt. Aus diesem Grunde stellt man künstliche Auswitterungsversuche<sup>1)</sup> an, indem man halbe Ziegelsteine mit Hilfe darauf gesetzter, oben geschlossener Glaszylinder, aus denen allmählich Wasser in die Steinmasse eindringt, wassersatt macht und dann trocknen läßt. Beim Austrocknen treten je nach Umständen die auskristallisierten leichtlöslichen Salze mehr oder minder deutlich an die Außenfläche der Steinstücke.

### § 217. Die Säurebeständigkeit.

Bausteine für Säurebehälter, Fußbodenbelagsteine dürfen durch Säureeinwirkungen nicht zerstört werden. Die Prüfung auf Säurebeständigkeit erfolgt nach den in § 310 angegebenen Verfahren oder in der Weise,<sup>2)</sup> daß 25 g des gepulverten Steinmaterials, welches beim Absieben zwischen dem 900- und 4900-Maschensieb verblieb, in einem Erlenmeyerschen Kolben der Einwirkung von 250 ccm einer 10 prozentigen Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure 24 Stunden lang unter öfterem Umschütteln ausgesetzt werden. Die überstehende Flüssigkeit wird durch ein vorher getrocknetes und gewogenes Filter gegossen, der Rückstand mit heißem Wasser ausgewaschen und sodann auf das Filter gespült. Nachdem Filter mit Inhalt bei 110° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet ist, gibt die Differenz der beiden Gewichte den Verlust an Metalloxyden an.

### § 218. Isolierfähigkeit gegen Temperaturveränderungen.

Versuche zur Ermittlung der Isolierfähigkeit von künstlichen Bausteinen (Korkbausteine, Schwemmsteine, Gipsdielen, gepreßten Wolleplatten u. dergl.) werden in der Dresdner Versuchsanstalt in der Weise ausgeführt, daß ein doppelwandiger Blechkasten mit dem Isoliermaterial ausgekleidet und die Temperaturveränderungen im Innern des Kastens beobachtet wird, wenn die Außentemperatur des Kastens ab- oder zunimmt.

Der Kasten wird in den Kühlschacht der Kälteerzeugungsanlage (s. § 243) eingesetzt, hierauf die Temperatur im Schacht bis auf — 30° erniedrigt und gewartet, bis die Temperatur im Innern des Kastens gleich der Außentemperatur ist. Nach beendigtem Temperatúrausgleich hebt man den Kasten aus dem Kühlschacht und beobachtet bei gleichbleibender Raumtemperatur mit Hilfe der an verschiedenen Stellen des Kastens außen und innen angebrachten Thermoelemente (s. § 185) den Verlauf der Temperaturzunahme, bis Außen- und Innentemperatur gleich geworden sind (ca. 20°). Der Versuch wird mehrere Male wiederholt und die Ergebnisse mit denen in Vergleich gesetzt, die an Materialien gewonnen wurden, deren isolierende Eigenschaften bekannt sind. Da der Maschinen-

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1903, S. 229.

<sup>2)</sup> Verfahren des Laboratoriums der deutschen Töpfer- und Ziegler-Zeitung s. Lunge, Untersuchungsmethoden 5. Aufl. I., S. 613.

raum immer auf gleiche Temperatur eingestellt werden kann, findet die Wärmezufuhr zum Kasten zu jeder Zeit in gleicher Weise statt und die an verschiedenen Tagen gewonnenen Versuchsergebnisse können deshalb unmittelbar miteinander verglichen werden. Man zeichnet die Temperatur als Funktion der Zeit auf und erhält dadurch eine Kurve, die um so steiler ansteigt, je geringer die Isolierfähigkeit des Materials ist.

### III. Prüfung von Sand, Kies, Steinschlag und deren Ersatzstoffen.<sup>1)</sup>

#### § 219. Begriffsfeststellung und Allgemeines.

##### a) Sand.

Unter Sand versteht man ein loses Gemenge von runden und eckigen Gesteinskörnern von etwa 0,1—7 mm Korngröße (s. Fig. 317). Der am häufigsten zur Verwendung gelangende Sand ist der Quarzsand, welcher aus runden und eckigen Körnern besteht und gewöhnlich Beimengungen von Feldspat, Magnet- eisen- und Glaukonitkörnern sowie Glimmerblättchen und auch Muscheln enthält. Im reinsten Zustande ist Quarzsand farblos, sonst aber je nach seinen Beimengungen oder



Fig. 317. Grubensand mit 0—7 mm Korngröße (natürliche Größe).

Bestandteilen rötlich, gelblich, grauweiß und weiß gefärbt. Nach den Fundorten unterscheidet man Grubensand, Flußsand und Meeressand. Der Grubensand ist häufig mit Ton- und

<sup>1)</sup> Als Ersatzstoffe von Sand, Kies und Steinschlag finden Verwendung: Schlackensand, Bimssand, Lokomotivlösch, Asche, Bimskies, Hochofenschlacke, Schlackenschotter, Ziegelbrocken usw. Ihr Anwendungsgebiet ist aber beschränkt und zur Feststellung ihrer Eignung, insbesondere zur Betonbereitung, ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Materials erforderlich. Die physikalische Prüfung dieser Ersatzstoffe muß entsprechend ihrem jeweiligen Verwendungszweck erfolgen; deshalb können allgemein gültige Angaben über die Versuchsausführung nicht gemacht werden.

Humusstoffen verunreinigt und besitzt eine Korngröße, die von Staubfeinheit bis Erbsenkorngöße wechselt. Die feinen Teile sind für technische Zwecke nur wenig geeignet. Ebenso darf Grubensand, welcher mehr als 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Lehm, Ton oder sonstige Verunreinigungen aufweist, zur Mörtel- oder Betonbereitung nicht verwendet werden.

Flußsand ist gewöhnlich rein, wenn er nicht aus einem Gebiete angeschwemmt wurde, welches durch Fremdstoffe verunreinigt ist.

Meeressand enthält salzige Bestandteile und besitzt deshalb für Mörtelbereitung auch nur untergeordnete Bedeutung.

Als bester Sand für Bauzwecke gilt ein solcher mit scharfkantigen und rauhen Körnern,<sup>1)</sup> der durch Waschen von Lehm-, Ton- und Humusteilen und durch Sieben von allen mehligem Teilchen befreit wurde.

#### b) Kies.

Kies entstammt dem Fluß-, Strand- oder Gletschergerölle und besteht aus abgerundeten Körnern von 7—60 mm Größe (s. § 224).

#### c) Steinschlag.

Mit Steinschlag bezeichnet man unregelmäßig gestaltete, vielkantige Gesteinsbruchstücke, die zur Beschotterung von Straßen, Gleisbettung und Betonbereitung benutzt werden. Seine Herstellung erfolgt von Hand mit dem langgestielten Steinklopfhammer oder mit Steinbrechern (Steinknackern). Die Handarbeit gibt wohl ein Produkt gleichmäßigerer Beschaffenheit als das des Steinbrechers, aber die Erzeugung ist teurer und weniger ausgiebig als die Maschinenarbeit, umsomehr, als auch die aus dem Steinbrecher kommenden feinen Bruchstückchen als Feinschlag oder Steingruß Verwendung finden können.

Zur Straßenbeschotterung werden Bruchstücke benutzt von etwa 3—7 cm Größe und beliebiger Form, zur Gleisbettung solche von 3—6 cm Größe von möglichst würfliger nicht plattiger Form<sup>2)</sup> und für die Betonbereitung solche von 1—7 mm Größe als Gruß, von 7—15 mm als Feinschlag und von 15—35 mm als Klarschlag.

Die Prüfung von Sand, Kies und Steinschlag richtet sich nach dem Verwendungszwecke, dem die Materialien dienen sollen.

Allgemein wird festgestellt:

1. der Ursprung des Materials; die geologischen und mineralogischen Merkmale, sowie die petrographische Bezeichnung;
2. das spezifische Gewicht  $s$  der Kornmasse;
3. das Raumgewicht  $r$  im lose eingefüllten ( $r_f$ ) und eingerüttelten ( $r_r$ ) Zustande, sowie der Dichtigkeitsgrad ( $d_f$  und  $d_r$ );

<sup>1)</sup> Die Form der Körner ist gleichgültig und die Abneigung gegen rundkörnigen Sand unbegründet.

<sup>2)</sup> Normen für den Bau der Haupteisenbahnen Deutschlands vom 5. Juli 1892.

4. der Feuchtigkeitsgehalt;
5. die Korngröße und Form sowie Oberflächenbeschaffenheit der Körner;
6. die Menge der abschlämmbaren Substanz;
7. unter Umständen die chemische Zusammensetzung.

Straßenschotter und Gleisbettungsmaterial wird ferner geprüft auf Druckfestigkeit bei statischer und Schlagbeanspruchung, Abnutzbarkeit und Frostbeständigkeit, sowie Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse.

Die Eignung von Sand, Kies und Steinschlag zur Betonbereitung (s. § 270) wird durch Druckfestigkeitsversuche (s. § 279) an Probekörpern ermittelt, die aus Portlandzement und den genannten Materialien als Zusatzstoffe hergestellt wurden.

### § 220. Ursprung des Materials.

Die Feststellung des Materialursprunges erfolgt nach den in der Geologie, Mineralogie und Petrographie üblichen Methoden.

### § 221. Das spezifische Gewicht.

Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes  $s$  geschieht nach den in § 181 angegebenen Verfahren am gepulverten, völlig trockenen Material.

### § 222. Das Raumbgewicht.

Das Raumbgewicht wird in der Dresdener Versuchsanstalt in der Weise festgestellt, daß das Material in eine zylindrische Hohlform gefüllt und darin gewogen wird.

Bei Bestimmungen für Zwecke der Betonbereitung<sup>1)</sup> besitzt die Hohlform 10 l Inhalt bei 24,8 cm Durchmesser und 20,6 cm Höhe. Für die Prüfung von Straßenbeschotterungs- oder Gleisbettungsmaterial wird dagegen eine zylindrische Hohlform von 100 l Inhalt bei 50 cm Durchmesser und 52 cm Höhe benutzt. Die Versuche erstrecken sich auf das gewaschene und ungewaschene Material im trockenen und im nassen Zustande. Das Einrütteln des Materials wird fortgesetzt, bis keine Gewichtszunahme des gefüllten, gerade abgestrichenen Meßgefäßes eintritt. In der Regel ist dieser Zustand nach 250 maligem Aufstoßen des Gefäßes erreicht.

Neben dem Raumbgewicht wird noch der Dichtigkeitsgrad des geschichteten Materials angegeben. Seine Berechnung erfolgt nach § 182.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Bestimmungen für die Anfertigung und Prüfung von Probekörpern aus Stampfbeton, aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton 1907 (Entwurf).

<sup>2)</sup> Die noch im Gebrauch befindliche Methode, den Dichtigkeitsgrad durch Versuch zu bestimmen, indem man die Hohlräume des Materials in dem Meßgefäß mit Wasser füllt und das Gewicht des Wassers feststellt, ist unzuverlässig und liefert insbesondere bei Sand und Kies stark abweichende Ergebnisse.

**§ 223. Der Feuchtigkeitsgehalt.**

Der Feuchtigkeitsgehalt wird durch Trocknen einer gewogenen Menge des Materials bei  $110^{\circ}$  bis zur Gewichtsgleichheit ermittelt.



Fig. 318. Kies mit 7—15 mm Korngröße.

**§ 224. Die Korngröße, Kornform und Oberflächenbeschaffenheit des Kornes.**

Zur Ermittlung der Korngröße wird der Sand, Kies oder Stein-  
schlag durch Absieben auf gelochten Sieben mit entsprechender Lochweite

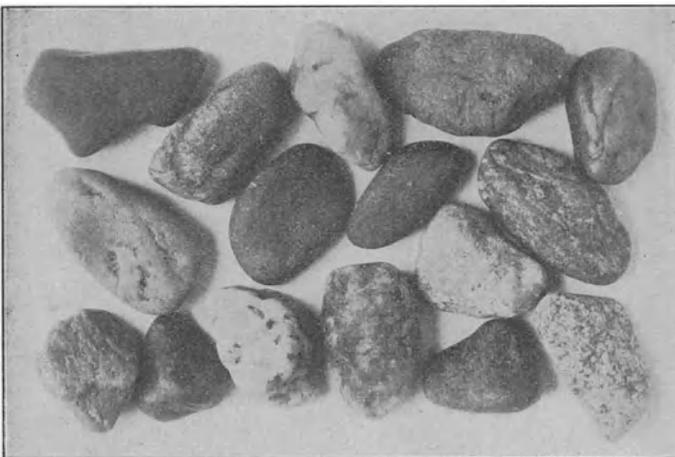


Fig. 319. Kies mit 15—20 mm Korngröße.

abgesiebt. Die Siebe haben 1 qm Größe und sind zur leichteren Handhabung an 4 Eisenstäben aufgehängt. Sand und Kies werden durch

Schütteln der Siebe abgesiebt, und Steinschlag wird in der Weise in seine Teile zerlegt, daß er auf dem Siebe hin- und hergeschoben wird, bis nichts mehr durchfällt. Die auf den einzelnen Sieben zurückbleibenden Be-

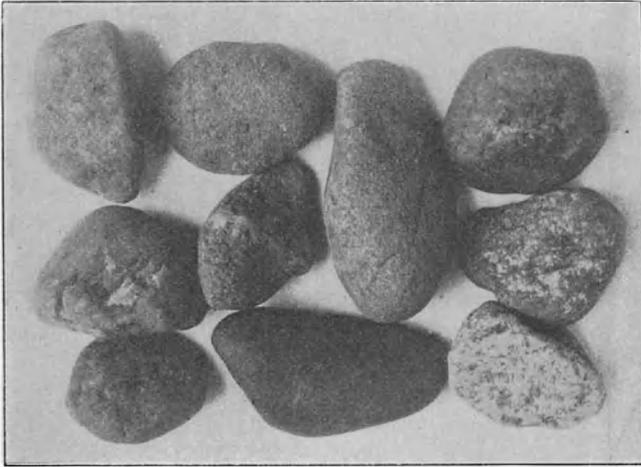


Fig. 320. Kies mit 20—30 mm Korngröße.

standteile werden in Prozenten des Gewichtes des ursprünglichen Materials bestimmt, zur Kennzeichnung werden Raumgewicht und Dichtigkeitsgrad

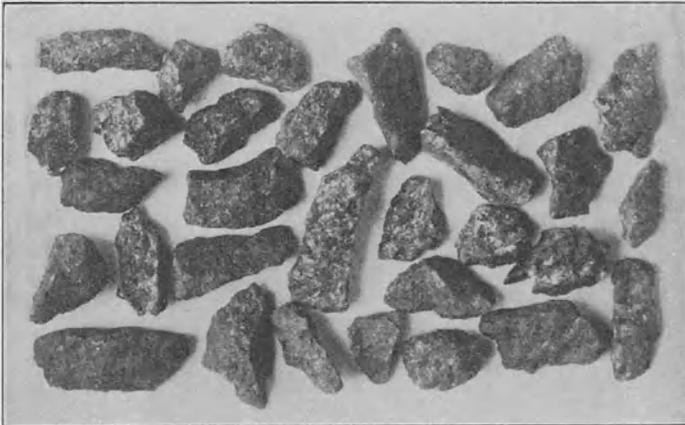


Fig. 321. Syenit-Feinschlag mit 7—15 mm Korngröße.

angegeben. Die Form der Körner, sowie ihre Oberflächenbeschaffenheit wird beschrieben und nötigenfalls durch Lichtbild festgelegt.

In Fig. 317 und Fig. 318—320 sind in natürlicher Größe Körner von Grubensand und Grubenkies aus Cossebaude bei Dresden mit 0—7,

7—15, 15—20 und 20—30 mm Korngröße abgebildet, während Fig. 321 bis 323 Syenitsteinschlag von 7—15, 15—20 und 20—30 mm Korngröße zeigen.



Fig. 322. Syenit-Klarschlag mit 15—20 mm Korngröße.



Fig. 323. Syenit-Klarschlag mit 20—30 mm Korngröße.

### § 225. Menge der abschlämmbaren Substanz.

Die Menge der abschlämmbaren Substanz stellt man dadurch fest, daß man 10 l getrocknetes Material wiegt, hierauf längere Zeit (mindestens 3 Stunden) wäscht und nach dem Trocknen den Gewichtsverlust ermittelt.

§ 226. Die Druckfestigkeit.

A. Versuche mit statischer Beanspruchung.

Da bei Schotter- und Gleisbettungsmaterial die Druckfestigkeit des Gesteins an sich nicht maßgebend ist, werden außer den üblichen Druckversuchen (s. § 200) noch solche mit dem auf gebrauchsfähige Korngröße zerkleinerten Gestein ausgeführt.

Diese Prüfung erfolgt nach dem von Rudeloff<sup>1)</sup> angegebenen Verfahren, indem man

- a) trockenes,
  - b) wassersattes,
  - c) gefrorenes und
  - d) wassersattes Material, welches mehrere Male gefroren und wieder aufgetaut wurde (s. §228),
- in einem geschlossenen Gefäße durch einen Stempel mit 20000 kg belastet, und die dadurch hervorgerufene Zertrümmerung der Körner durch Absieben feststellt. Das von Rudeloff benutzte Gefäß, sowie der Stempel besaßen die aus Fig. 324 ersichtlichen Abmessungen und die Auffüllhöhe des Materials betrug 100 mm. Bei dieser Auffüllhöhe erstreckte sich die Zertrümmerung der Körner über die ganze Füllung des Rohres.

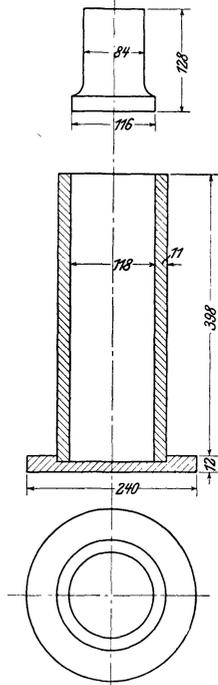


Fig. 324.

B. Versuche mit Schlagbeanspruchung.

Bei Verwendung von Kies und Steinschlag als Gleisbettungsmaterial erfährt es durch die darüberrollenden Züge, sowie durch das Unterstopfen mit der Stopfhacke vielfache Schlagbeanspruchungen, die auf Zertrümmerung des Gesteines hinwirken. Die bei diesen Beanspruchungsweisen auftretenden Erscheinungen sind von Rudeloff eingehend studiert und erörtert worden.

a) Versuche mit der Stopfhacke.

Die Schlagversuche führte Rudeloff mit einem Fallwerke aus, dessen Bär (9,5 kg) durch eine hölzerne Stange geführt wurde und der die in Fig. 325 abgebildete Form einer Stopfhacke besaß. 5,6 kg des Materials wurden in Holzkästen nach Fig. 326 untergebracht, deren Seitenwände 1 und 2 seitlich ausweichen konnten und nur durch Federn 3, 4 angepreßt wurden. Nach 100, 300, 600 und 800 Schlägen gleicher Arbeit, d. h. nach

<sup>1)</sup> Rudeloff, Untersuchungen von Kies und Steinschlag zur Beurteilung ihres Wertes als Stopfmateriale für den Eisenbahnoberbau; Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1897, S. 279.

Ausbüfung von 207, 621, 1242 und 1656 mkg Schlagarbeit (s. § 56) wurde die Korngröße des Materials durch Siebversuche ermittelt und nach gehörigem Mischen die ganze Masse zur Fortsetzung des Versuchs wieder in den Kasten gefüllt.

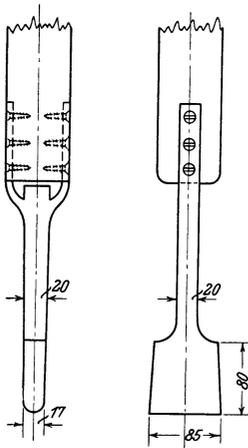


Fig. 325.

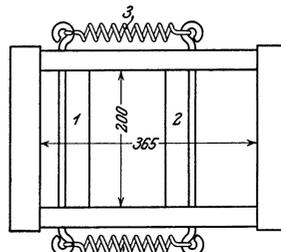
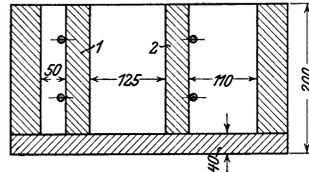


Fig. 326.

### b) Versuche mit dem Stempel.

Durch diese Versuche sollte die schwingende Bewegung der Schienenschwellen nachgeahmt werden.

Als Fallbär benutzte Rudeloff einen Stempel von 15 kg Gewicht nach Fig. 327, den er auf die Gesteinsmasse niederfallen ließ, welche in einem Kasten von 125 mm Breite, 200 mm Länge und 200 mm Höhe 100 mm hoch gefüllt war. Im Gegensatz zu dem Kasten für die Versuche mit der Stopfhacke hatte dieser Kasten feste, unverrückbare Seitenwände. Auch wurden die Schläge mit dem Fallbären nicht unmittelbar auf das Gestein ausgeübt, sondern man bedeckte das-

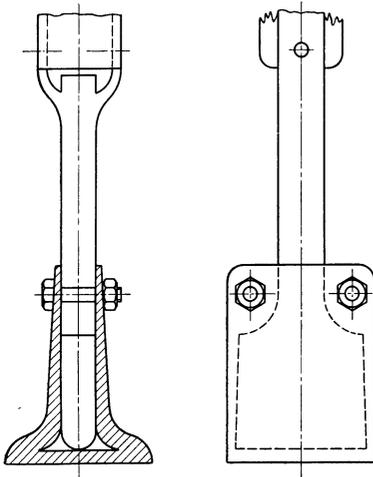


Fig. 327.

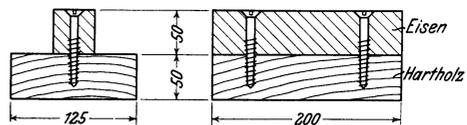


Fig. 328.

selbe mit dem Deckel nach Fig. 328, so daß sich die Gesteinskörner nur gegenseitig und mit Holz rieben. Nach 500, 1000 und 1500 Schlägen,

d. h. nach einer Gesamtschlagarbeit von 1585, 3170 und 4755 mkg wurde die Zertrümmerung des Gesteins durch Siebversuche festgestellt. Rudeloff kam zu dem Schlusse, daß bei der Verwendung von Kies und Steinschlag als Eisenbahnschotter deren Widerstandsfähigkeit gegen Druck durch die stetigen Schwingungen der Schwellen beim Befahren des Gleises von größerer Bedeutung für den Nutzwert des Materials sei, als die Widerstandsfähigkeit gegen die lediglich beim Unterstopfen der Schwellen auftretenden Schläge mit der Stopfhacke.

### § 227. Die Abnutzbarkeit.

Straßenbeschotterungsmaterial ist durch die darüber fahrenden Wagen und den sonstigen Verkehr der Abnutzung unterworfen. Es findet dabei nicht nur eine Zertrümmerung der Gesteinskörner statt, sondern durch die beständige gegenseitige Reibung werden sie auch abgeschliffen. Als das geeignetste Gestein darf deshalb dasjenige bezeichnet werden, welches hohe Widerstandsfähigkeit gegen Druck- und Schlagbeanspruchung (s. §§ 200 und 202) aufweist und geringe Abnutzbarkeit besitzt; Abnutzungsversuche mit einzelnen Gesteinsstücken im Sandstrahlgebläse (s. § 204 b) oder auf der Bauschingerschen Abnutzungsmaschine (s. § 204 a) würden der wirklich auftretenden Beanspruchung nicht nahe kommen, weil dabei nur die Abnutzung der Gesteinsmasse bestimmt wird, ohne daß der Begünstigung der Abnutzung durch die gegeneinander reibenden scharfen Gesteinsecken und Kanten Rechnung getragen wird.

Der geeignetste Versuch zur Prüfung von Straßenschotter auf Abnutzbarkeit dürfte der sein, eine Straße mit lebhaftem Verkehr mit dem Material zu beschottern und sein Verhalten im Gegensatz zu einem bekannten Material festzustellen. Da aber derartige Versuche mit erheblichen Kosten verknüpft sind und längere Zeit erfordern, sind sie nicht immer anwendbar. Man muß sie deshalb durch einen Versuch ersetzen, der den wirklichen Verhältnissen möglichst nahe kommt.

In der Dresdner Versuchsanstalt wird der Versuch nach einem Verfahren des Verfassers<sup>1)</sup> mit einer Trommelmühle ausgeführt. Die Trommel besitzt 400 mm Durchmesser, 400 mm Länge und macht 60 Umdrehungen in der Minute. Das der Prüfung zu unterziehende Gestein wird maschinell oder von Hand (s. § 219 c) auf die vorgeschriebene Korngröße gebracht (in der Regel 4—6 cm) und durch Sieben auf einem Siebe mit 5800 Maschen für das Quadratmeter von Staub und kleineren Bruchstücken befreit.

10 kg dieses so gewonnenen und bei 110° getrockneten Schotters füllt man in die Trommel und stellt nach je 1000 Umdrehungen seine Abnutzung fest. Es geschieht in der Weise, daß er auf dem Siebe mit 5800 Maschen für das Quadratmeter abgesiebt und aus dem Siebfeinen mit einem Siebe von 128 Maschen für das Quadratmeter das Staubfeine

<sup>1)</sup> Ähnlich dem in Frankreich und Amerika üblichen.

entfernt wird, welches man als Abnutzung betrachtet. Hiernach wird der Versuch mit dem auf dem 128 Maschensieb verbliebenen Rückstand fortgesetzt, bis sich die Abnutzung für je 1000 Umdrehungen annähernd konstant ergibt. Dieser Zustand ist in der Regel nach 10000 Trommelumdrehungen eingetreten. Jeder Versuch wird mindestens zweimal aus-

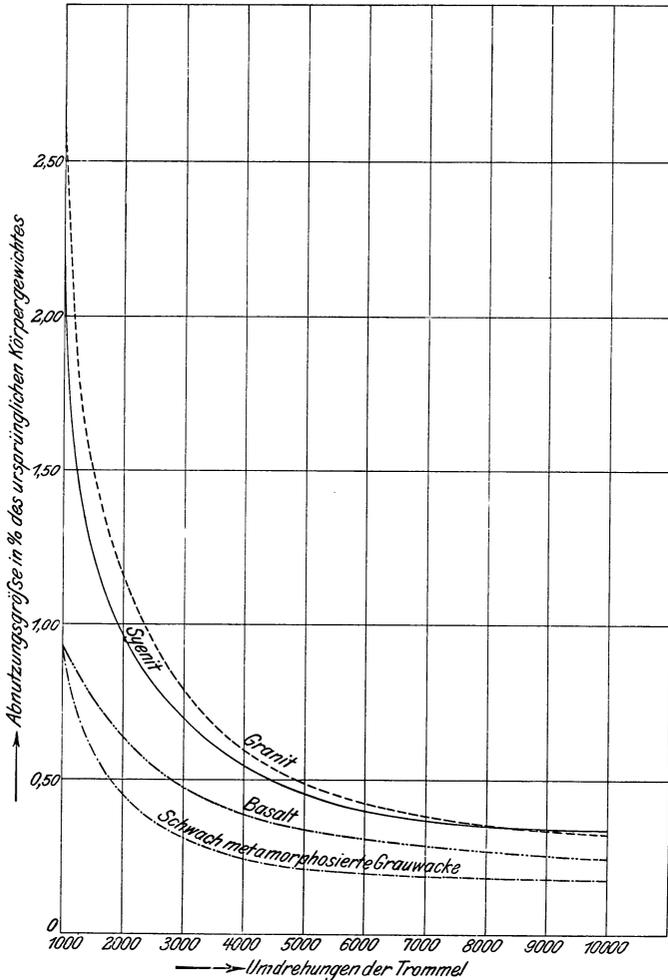


Fig. 329.

geführt und die Abnutzung in Prozenten des ursprünglichen Gewichtes berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den an bekanntem Gestein gewonnenen wird die „Abnutzungsgröße“, d. i. die Abnutzung für je 1000 Trommelumdrehungen, berechnet und als Funktion der Zahl der Trommelumdrehungen graphisch dargestellt.

Fig. 329 zeigt die Kurve der Abnutzungsgröße für

Granit . . . .	(Druckfestigkeit 1420 kg/qcm),
Syenit . . . .	( „ 1400 „ ),
Basalt . . . .	( „ 2100 „ ),
Grauwacke . .	( „ 1970 „ ).

Aus den Kurven für die Änderung der Abnutzungsgröße ist ersichtlich, daß die Abnutzung im Anfange, wo das Gestein noch scharfe Ecken und Kanten besitzt, am stärksten ist, dann allmählich abnimmt und schließlich konstant wird.

### § 228. Die Frost- und Wetterbeständigkeit.

Die Frostversuche werden nach dem in § 243 beschriebenen Verfahren mit je 20 kg gesiebttem, trockenem und wassersatttem Material ausgeführt. Während des Versuches befindet es sich in einem eisernen Drahtkorb, in dem es auch zum Auftauen verbleibt. Entweder wird nach beendetem Frostversuch durch Sieben die Beschaffenheit des Materials nachgeprüft oder man unterzieht es einem Druckversuch nach § 226 A, wobei die Abnahme der Festigkeit ermittelt wird.

Die Prüfung auf Wetterbeständigkeit geschieht in analoger Weise, wie in § 203 angegeben. Hierbei ist nur noch auf eine Eigenschaft des Basaltes, der als Schottermaterial häufig Verwendung findet, hinzuweisen. Es ist dies der sogen. Sonnenbrand der Basalte.<sup>1)</sup> „Sonnenbrenner“<sup>2)</sup> werden nämlich von den Steinbrechern Basalte genannt, welche beim Liegen an der Luft zu einem lockeren Haufwerke von unregelmäßig vieleckigen, scharfkantigen Körnern von Erbsen- bis Haselnußgröße zerfallen. Die Zerstörung beginnt an bestimmten Punkten des Gesteins, indem von ihnen aus mehr oder weniger regelmäßig radiale Haarrisse auslaufen. Frisch aus dem Bruche gebracht, sind an den Bruchflächen des Gesteins keine Anzeichen zu erkennen, welche die Eigenschaft des Sonnenbrandes vermuten ließen. Erst bei längerem Liegen (einige Wochen) an der Luft und im Lichte machen sich an der Oberfläche der Gesteinsstücke kleine, hellere bis weiße Flecken (1—6 mm Größe) bemerkbar, an denen später die Risse auftreten. Leppla führt ihre Entstehung auf die Gegenwart von Nephelin oder einem dem Nephelin ähnlich zusammengesetzten Grundmassenrest im Basalt zurück. Dieses Silikat hat die Neigung, aus der Atmosphäre Wasser aufzunehmen und in zeolithische Zersetzung überzugehen, die eine Volumenausdehnung und infolgedessen Zersprengung des Gesteins verursacht. Steht genügend Zeit zur Verfügung, so kann man die zu untersuchende Gesteinsprobe einige Monate an der Luft liegen lassen und ihr Verhalten beobachten. Treten dabei helle Flecken auf der ursprünglich dunkelgrauen bis schwarzen und gleichförmigen Gesteinsmasse auf, dann

<sup>1)</sup> Leppla, Zeitschrift für praktische Geologie 1901, S. 170.

<sup>2)</sup> Die Bezeichnung ist willkürlich gewählt, da die Erscheinung nicht durch den Einfluß der Sonnenstrahlen, sondern durch den der Luft bewirkt wird.

ist die Gegenwart von Nephelin und die Neigung zu Sonnenbrand höchst wahrscheinlich. Ist aber nicht viel Zeit für die Prüfung vorhanden, so legt man Splitter der Gesteinsprobe einige Stunden in eine warme Lösung von kohlenurem Ammoniak, wodurch die Flecken bald hervortreten. Einen ähnlichen Erfolg hat die mehrere Tage währende Behandlung des Gesteins mit warmer, verdünnter Essigsäure.

## IV. Die Prüfung der Bindemittel.

### § 229. Allgemeines.

Die zur Mörtelbereitung dienenden Bindemittel kann man einteilen<sup>1)</sup> in:

1. Luftkalke,
2. Wasserkalke (hydraulische Kalke, Romanzemente),
3. künstliche Kalke (Pozzuolanzement, Traßzement, Schlackenzement),
4. Portlandzemente,
5. Eisenportlandzemente,
6. Mischzemente.

Das wichtigste der angeführten Bindemittel ist unstreitig der Portlandzement, dessen Verwendung von Jahr zu Jahr gestiegen ist. Seine Produktion beträgt in Deutschland gegenwärtig ca. 27,2 Millionen Faß<sup>2)</sup> (zu 170 kg netto) und ist beständig im Zunehmen begriffen.

Da für seine Prüfung sorgfältig ausgedachte Normen<sup>3)</sup> bestehen und die Prüfungsverfahren der übrigen Bindemittel<sup>4)</sup> sich in hohem Maße an diese Normen anlehnen, muß er bei den weiteren Ausführungen zuerst behandelt werden.

### A. Der Portlandzement.

#### § 230. Begriffsfeststellung.

Der Portlandzement ist im wesentlichen eine Verbindung von Kalk, Kieselsäure und Tonerde. Er wird durch Brennen einer innigen Mischung

<sup>1)</sup> Die Erklärung der Eigenschaften und der Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Bindemittel ist in den einschlägigen Paragraphen angegeben.

<sup>2)</sup> Ungefähre Produktion der Mitglieder des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten im Jahre 1907.

<sup>3)</sup> Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn.

Verfahren zur Prüfung von Metallen und Legierungen von hydraulischen Bindemitteln usw. Leipzig und Wien 1907, Franz Deuticke.

Normen für eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der hydraulischen Bindemittel. Zürich 1901, E. Speidel.

<sup>4)</sup> Gips prüft man in ähnlicher Weise wie Portlandzement. Näheres s. Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1902 und 1904.

von kalk- und tonhaltigen Materialien bis zur Sinterung (ca. 1500 °) und darauffolgenden Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit erzeugt. Seine chemische Zusammensetzung ist Schwankungen unterworfen, die in erster Linie den Unterschieden zuzuschreiben sind, welche die vorhandenen Rohmaterialien aufweisen.

Im allgemeinen bewegt sich die Zusammensetzung der Portlandzemente innerhalb folgender Grenzwerte:

Kalk . . . . .	59—65,0 ‰
• Kieselsäure . . . . .	20—26,0 „
Eisenoxyd . . . . .	2— 4,5 „
Tonerde . . . . .	4— 9,5 „
Magnesia . . . . .	bis 3,0 „
Alkalien . . . . .	„ 3,0 „
Schwefelsäure . . . . .	„ 2,0 „
Glühverlust . . . . .	„ 3,0 „
Unaufgeschlossener Rückstand . . . . .	„ 1,5 „

Als Erfinder des Portlandzementes ist Joseph Aspdin, Maurermeister zu Leeds (England), zu nennen, der im Jahre 1824 auf ein Verfahren zur Herstellung eines Produktes, welches er „Portlandzement“ nannte, ein englisches Patent erhielt. Er wählte den Namen „Portlandzement“ wegen der Ähnlichkeit des Produktes in Festigkeit und Farbe mit dem in England vielfach zu Bauten verwendeten Portlandsteine.

Die Farbe guten Portlandzementes ist grünlich- bis bläulich-grau, auch gelblich. Bräunliche Farbe läßt auf zu hohe Brenntemperatur der Klinker und überhaupt auf minderwertiges Produkt schließen.

### § 231. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll um so besser sein, je feiner er gemahlen ist. Im allgemeinen mag diese Annahme berechtigt erscheinen, doch darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß Zemente, welche nicht gehörig gebrannt wurden, oder bei deren Erzeugung zu viel Ton zugesetzt wurde, beim Mahlen besonders fein ausfallen. Es darf daher fein gemahlener Zement nicht ohne weiteres als guter Zement angesprochen werden. Unter dem Mikroskop betrachtet zeigen die Körnchen gehörig gebrannten Zementes schiefrige Struktur, ähnlich wie gestoßenes Glas. Bei schlecht gebrannten Zementen dagegen sind die Körnchen nur wenig blättrig, sondern mehr rund.

Ermittelt wird die Feinheit der Mahlung nach den Normen durch Siebversuche unter Verwendung von Sieben mit 0,23 und 0,09 mm Maschenweite. Bei ersterer entfallen auf ein Quadratzentimeter des Siebes 900 Maschen und bei letzterer 4900 (5000 Maschensieb). Die Maschen müssen rechteckig sein und die Drahtdicke soll 0,10 und 0,05 mm betragen. Die Siebe sind Kastensiebe von 25 × 25 qcm Fläche oder Siebbüchsen. Gegenüber den ersteren haben letztere den Vorzug, daß kein Verstauben des Zementes eintritt. Ein vollständiger Siebsatz besteht nach

Fig. 330 aus vier aufeinandergesetzten Sieben mit Deckel 1 und Boden 2. Auf das oberste, das 900 Maschensieb, werden 100 g Zement gebracht; der Deckel wird geschlossen und die Büchse geschüttelt. Der Zement trennt sich dadurch in seine Bestandteile (s. Fig. 332—335 S. 352), nämlich in den Rückstand auf dem 900-Maschensiebe, dem 2500, dem 5000 und dem 10000 Maschensiebe und in das Siebfeine, welches durch das 10000 Maschensieb hindurchgefallen ist. Die einzelnen Bestandteile werden hiernach gewogen; ihr Gewicht wird in Prozenten der eingetragenen Gewichtsmenge angegeben. Da die Einwage 100 g ist, ergibt das Einzelgewicht der Bestandteile in Gramm unmittelbar das prozentuale Gewicht.

Die Siebbüchsen dürfen nach beendetem Sieben nicht sofort geöffnet werden; man muß vielmehr warten, bis sich der Zement auf den Sieben

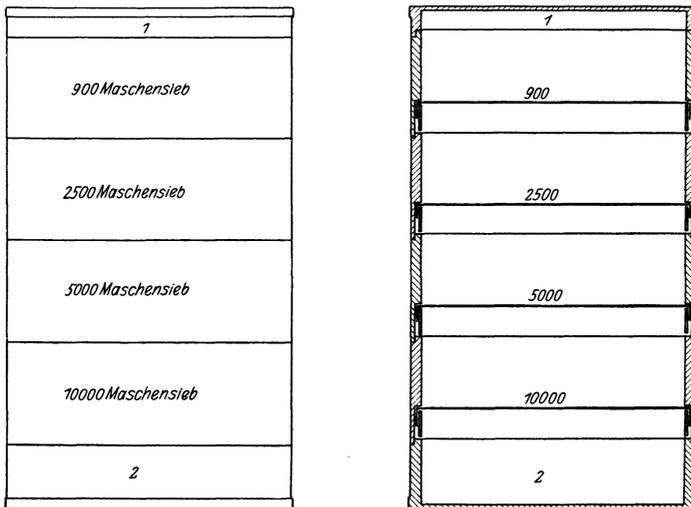


Fig. 330.

abgelagert hat, was nach etwa 2 Minuten geschehen ist. Das Sieben ist als beendet zu betrachten, wenn beim Absieben des Zementes auf ein Blatt weißes Papier nur unbedeutende Mengen Staubteilchen zu erkennen sind. Diese unbedeutenden Mengen beeinflussen das Ergebnis nicht. Es ist besser, das Sieben abzubrechen, weil bei fortgesetztem Sieben sich die einzelnen Teilchen aneinander reiben, sich infolgedessen zerkleinern und ein falsches Bild von der wirklichen Siebfeinheit liefern. In der Dresdner Versuchsanstalt wird daher die Zementprobe einer bestimmten Anzahl Schüttelungen in der Siebbüchse unterworfen und der Versuch alsdann abgebrochen. Die Schüttelzahl wurde auf Grund einer größeren Versuchsreihe festgelegt.

Das Schütteln der Siebe von Hand ist sehr zeitraubend und außerdem bei vorgeschriebener Schüttelzahl nicht einwandfrei. Aus diesem Grunde

werden zum Schütteln Maschinen benutzt. Eine solche Maschine ist in Fig. 331 dargestellt. Die oben in der Maschine befindlichen Siebbüchsen werden durch einen Kurbelmechanismus von Hand oder durch eine Transmission in schüttelnde Bewegung versetzt und die einzelnen Schüttelungen von einem Umdrehungszähler vermerkt. In der Dresdner Versuchsanstalt wird die Maschine nach 6000 Schüttelungen abgestellt.

Oft enthält der Zement geringe Mengen hygroskopischer Feuchtigkeit, welche schlechtes Sieben des Zementes veranlaßt. Auch kommt es vor, daß die Siebe bei längerer Nichtbenutzung etwas feucht sind und infolgedessen der Zement an ihnen haften bleibt. Es empfiehlt sich daher, sowohl die Siebe als auch den Zement vor dem Versuche bei 105° etwa 1 Stunde lang zu trocknen. Veränderungen des Zementes sind dadurch nicht zu befürchten.

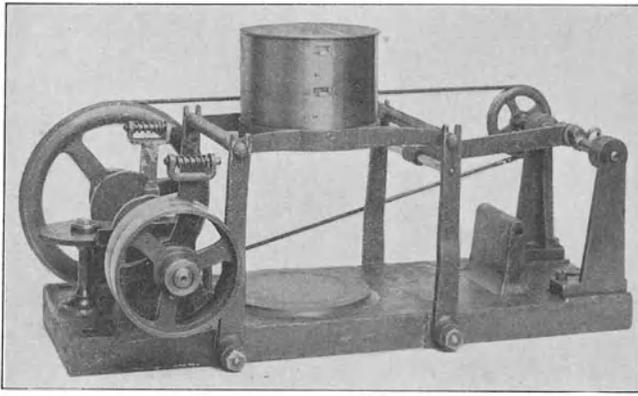


Fig. 331.

Nach den preußischen Normen soll Portlandzement so fein gemahlen sein, daß eine Probe desselben auf einem Siebe von 900 Maschen pro Quadratcentimeter höchstens 10 % Rückstand hinterläßt.<sup>1)</sup>

Diese Vorschrift erscheint nicht mehr zeitgemäß, da gute Zemente auf dem genannten Siebe fast gar keinen Rückstand hinterlassen. Es wird daher bereits das obenerwähnte 5000 Maschensieb benutzt, auf welchem man nur etwa 20 % Rückstand erhält.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Die Normen der einzelnen Länder weichen in diesen Vorschriften voneinander ab: die schweizerischen nennen 5 % Rückstand, die britischen 3 %, die österreichischen 10 % und die russischen 15 %.

<sup>2)</sup> Die preußischen und schweizerischen Normen geben dafür keine Werte an; die österreichischen lassen höchstens 35 %, die russischen 50 %, die britischen 22,5 % und die französischen 25 % Rückstand auf dem 5000 Maschensiebe zu.

Gary und Lindner bemühten sich, mit einem von ihnen konstruierten Windsichtapparate eine weitere Trennung des Siebfeinen unter dem 5000 Maschensiebe zu erzielen.<sup>1)</sup>



Fig. 332.



Fig. 333.

Fig. 332 zeigt bei 10facher Vergrößerung die auf dem Siebe mit 900 Maschen zurückgebliebenen Zementkörner, Fig. 333 die vom 5000 er, Fig. 334 die vom 10000 er und Fig. 335 das Siebfeine des letzten Siebes



Fig. 334.



Fig. 335.

### § 232. Das spezifische Gewicht.

Frischer Portlandzement aus gut gesinterten Klinkern hat ein spezifisches Gewicht  $s$  von etwa 3,13—3,25, jedenfalls nicht weniger als 3,1.

Die Bestimmung geschieht mit einem der in § 181  $\alpha$ ,  $\beta$  beschriebenen Volumenometer. Als Meßflüssigkeit wird Terpentinöl oder Tetrachlorkohlenstoff benutzt, welche beide gegenüber dem Zement völlig indifferent

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten, Berlin, Jahrg. 1906, S. 79, 80.

sind. Letztere Flüssigkeit hat infolge ihres hohen spezifischen Gewichtes dem Terpentinöl gegenüber den Vorzug, daß der Zement im Meßgefäß leicht niedersinkt, ohne zusammenzuballen. Nachteilig ist aber ihre große Tension, welche bei einer Temperaturerhöhung von 10 auf 20° mehr als 1,2% beträgt. Es ist deshalb bei Verwendung dieser Flüssigkeit erforderlich, die Temperatur während des Versuches auf gleicher Höhe zu halten und außerdem durch sorgfältiges Verstopfen der Meßgefäße die Verdunstung auf ein möglichst geringes Maß herabzudrücken.

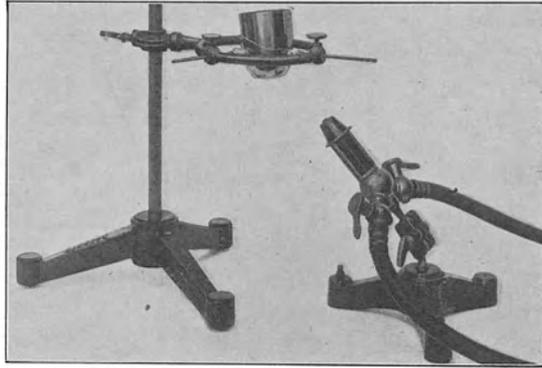


Fig. 336.

Da der zur Prüfung gelangende Zement in der Regel nicht frisch ist, sondern bereits einige Zeit gelagert wurde, wobei er Feuchtigkeit und Kohlensäure aufnahm, muß er vor Bestimmung des spezifischen Gewichtes durch Glühen in den ursprünglichen Zustand zurückgeführt werden. Er verliert dabei an Gewicht und die prozentuale Gewichtsabnahme wird als „Glühverlust“ bezeichnet. Reiner, unverdorbener Zement darf im allgemeinen keinen höheren Glühverlust als 2,6% besitzen.

Das Glühen erfolgt im bedeckten Tiegel (Platin, Nickel, Porzellan) während mindestens 30 Minuten bei ca. 800° in der Gasgebläseflamme oder noch besser im elektrischen Ofen. Fig. 336 zeigt die Anordnung des Versuches mit der Gasgebläseflamme und Fig. 337 einen zweckmäßigen Tiegelofen von Heraeus.<sup>1)</sup> Bei der ersteren Anordnung muß darauf geachtet werden, daß die Flamme nicht in den Tiegel

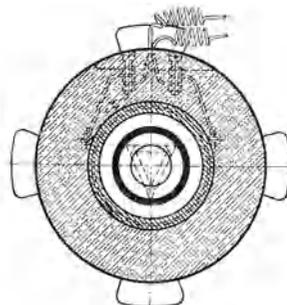
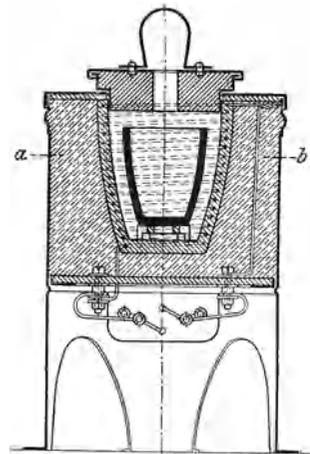


Fig. 337.

<sup>1)</sup> Beschreibung des Ofens s. § 332.

hineinschlägt. Vor der Wägung müssen die Tiegel zur Abkühlung in den Exsikkator gestellt werden. Da sich der Zement beim Glühen zusammenballt, wird die zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes erforderliche Menge in einer Reibschale ohne Anwendung von Druck zerrieben. Gewöhnlich benutzt man 30 g Zement für jeden Versuch, so daß es sich empfiehlt, 40 g für den Glühversuch zu verwenden.

Der allgemein üblichen Anschauung, daß das spezifische Gewicht Rückschlüsse auf die Brenntemperatur und somit auf die Güte des Zementes zu ziehen gestatte, wurde von Meyer-Malstatt<sup>1)</sup> widersprochen. Auf Grund einer großen Anzahl von Brennversuchen gelangte er zu der Überzeugung, daß das spezifische Gewicht jeder Rohmischung mit der Brenntemperatur zunimmt, aber eine Erniedrigung erfährt, sobald diejenige Temperatur erreicht ist, die erforderlich ist, um den Zement raumbeständig zu machen. Hiernach muß somit ein nicht völlig durchgebrannter Zement ein höheres spezifisches Gewicht besitzen als ein bis zur Sinterung gebrannter und somit guter Zement. Da eine zuverlässige Abhängigkeit des spezifischen Gewichtes im ursprünglichen Zustande und des Glühverlustes von dem spezifischen Gewicht im geglühten Zustande bisher nicht gefunden wurde, empfiehlt es sich, außer dem Glühverlust beide spezifischen Gewichte zur Kennzeichnung des Zementes zu bestimmen. Auf Grund einer Untersuchung von 19 verschiedenen Zementen kam Gary<sup>2)</sup> zu dem Schlusse, daß keine der bekannten Rechenmethoden von Hauenschild oder Meyer die rechnerische Bestimmung des spezifischen Gewichtes im geglühten Zustande erlaubt.

### § 233. Das Raumgewicht (Litergewicht).

Trotzdem die Normen keine Vorschriften über die Größe oder die Bestimmung des Raumgewichtes  $r$  enthalten, hat man von jeher das Raumgewicht des Zementes ermittelt. Die Kenntnis desselben ist zur Umrechnung der Mörtelmischungsverhältnisse aus Gewichtseinheiten in Volumeneinheiten und zur Ermittlung des Dichtigkeitsgrades erforderlich. Im Laboratorium werden die Mischungsverhältnisse in der Regel und auch mit Recht nach Gewichtseinheiten bemessen, während sie in der Praxis in Volumeneinheiten ausgedrückt werden.

Man unterscheidet das Raumgewicht im „lose eingefüllten“  $r_f$  und das im „eingertüttelten“ Zustande  $r_r$ .

Nach den Vorschlägen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik soll zur Bestimmung des Raumgewichtes im „lose eingelaufenen“ und „fest eingertüttelten“ Zustande ein zylindrisches Litergefäß benutzt werden, dessen Durchmesser gleich der Höhe ist.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Protokoll der Versammlung des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten, 22. Februar 1905.

<sup>2)</sup> Mitteilung, a. d. Materialprüfungsamt Großlichterfelde, Jahrg. 1905, S. 278.

<sup>3)</sup> Ein solches Gefäß entspricht nicht den deutschen Eichungsvorschriften.

Für das Einlaufen soll ein Apparat nach Fig. 338 benutzt werden. In der Mitte des Trichters befindet sich ein gelochtes Blech (gestrichelt gezeichnet) mit Löchern von etwa 2 mm Durchmesser und an der Trichter- mündung ein Verschlussschieber. Die Entfernung der Oberkante des Liter- gefäßes von der Trichtermündung beträgt 50 mm.

Beim Versuche wird der Zement in Mengen von etwa 300—400 g in den Trichter geschüttet und mit einem Spachtel durch das Sieb getrieben. Erreicht der Fuß des vom auslaufenden Zemente gebildeten Kegels die Rand- höhe des Litergefäßes, dann wird die Auslauföffnung des Trichters ge- schlossen und der überschüssige Zement mit einem geraden Messer ab- gestrichen. Das Gewicht des gefüllten Litergefäßes verringert um das Ge- wicht des leeren Gefäßes ist alsdann das Raumgewicht des Zementes im lose eingelaufenen Zustande.

Zur Bestimmung des Raume- wichtes im eingerüttelten Zustande muß der Zement in das Meßgefäß fest eingerüttelt werden. Es geschieht dadurch, daß man dem Litergefäß solange eine gleichmäßig stoßende Bewegung erteilt, bis das gefüllte und gerade abgestrichene Gefäß keine Gewichtszunahme mehr zeigt.

Wie bei den Sieb- versuchen die Bewegung der Siebbüchsen, ist hier die Bewegung des Gefäßes von Hand zeitraubend und nicht einwandfrei. Man strebt deshalb an, auch für diese Versuche Maschinen zu verwenden.

Eine Ausführungsform solcher Maschinen,<sup>1)</sup> wie sie in der Dresdner Ver- suchsanstalt verwendet werden, ist in Fig. 339 abgebildet. Das Liter- gefäß ist mit einem aufgesetzten 30 mm hohen Rande versehen und wird jede Sekunde einmal auf eine ebene, eiserne Unterlagsplatte heftig auf- gesetzt. Dadurch sinkt der bis zum oberen Rande des Gefäßaufsatzes

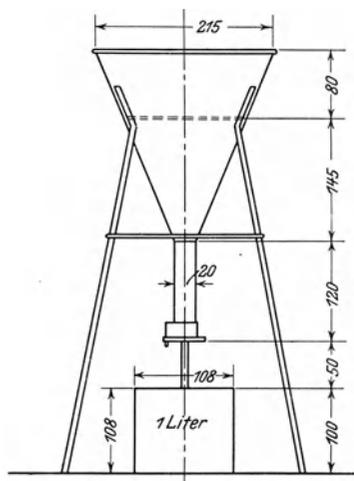


Fig. 338.

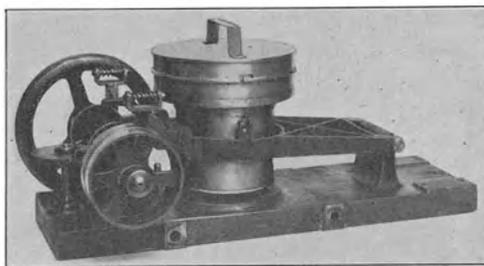


Fig. 339.

<sup>1)</sup> Geliefert von Usteri-Reinach in Zürich.

eingefüllte Zement zusammen. Das Aufstoßen wird wiederholt, bis der Beharrungszustand erreicht ist. In der Dresdner Versuchs-Anstalt hat sich ein 6000 maliges Aufstoßen als ausreichend erwiesen. Nach Beendigung des Versuches wird der Gefäßaufsatz abgehoben, das Gefäß mit einem geraden Messer abgestrichen und gewogen.

### § 234. Das Abbinden des Zementes.

Wenn Portlandzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf ruhender, nicht absaugender Unterlage sich selbst überlassen bleibt, wird er nach einiger Zeit fest.<sup>1)</sup>

Den Vorgang des Festwerdens nennt man „Abbinden“ und die Zeit, welche der Zementbrei zum Abbinden benötigt, die „Bindezeit“.<sup>2)</sup> Der Abbindeprozeß beginnt nicht sofort nach dem Anrühren des Zementes mit Wasser, sondern benötigt, je nach der Eigenart des Zementes, mehr oder weniger Zeit. Ein Zement, welcher bereits in weniger als 2 Stunden abgebunden hat, heißt „Schnellbinder“<sup>3)</sup> im Gegensatz zu den langsam bindenden Zementen, die zum Abbinden mehr Zeit, oft bis zu 12 Stunden benötigen.

Zemente mit hohem Glühverlust, d. s. solche, welche bereits längere Zeit ungünstig gelagert wurden und dabei Feuchtigkeit und Kohlensäure aufnehmen, erleiden eine Veränderung ihrer Bindezeit; manche werden langsamer bindend, andere dagegen schneller bindend. Diese Erscheinung ist noch nicht einwandfrei geklärt. Jedenfalls nehme man alle Angaben über Abbindezeit mit Vorsicht auf, wenn der Zement einen großen Glühverlust, d. i. mehr als 3,5 ‰, besitzt.

Infolge der chemischen Umsetzungen tritt beim Abbinden von Zementbrei eine Wärmeentwicklung auf, die sich bei rasch bindenden Zementen durch eine Temperaturerhöhung bis zu 10° und bei langsam bindenden bis etwa 3,5° bemerkbar macht.

Die Ermittlung der Abbindezeit geschieht mit einem Normal-Zementbrei unter Verwendung des Vicatschen Nadelapparates.

In Fig. 340 ist der Vicatsche Nadelapparat dargestellt. Er besteht aus einer Fußplatte, an der ein Arm befestigt ist, welcher am oberen Ende eine Führung zur Aufnahme der 300 g schweren Vicatschen Nadel (Pistill) besitzt. Die Nadel hat im unteren Teil 1 qmm Querschnitt (1,13 mm Durchmesser) und besitzt keine Spitze, sondern ist scharfkantig

<sup>1)</sup> Durch Stöße oder Umrühren im Abbinden gestörter Zement liefert nicht die richtige Bindezeit; der Brei bleibt länger weich, d. h. der Zement kann sich als Langsambinder zeigen, während er tatsächlich ein Schnellbinder ist.

<sup>2)</sup> Über die chemischen Vorgänge beim Abbinden s. Roland, Der Portlandzement vom physikalisch-chemischen Standpunkte, Leipzig 1903.

<sup>3)</sup> Die britischen Normen nennen Schnellbinder die Zemente, welche zwischen 10 und 30 Minuten, Mittelbinder, die zwischen 30 und 120 Minuten, Langsambinder, die zwischen 2 und 5 Stunden abbinden.

senkrecht zur Achse abgeschnitten. Die Nadel kann in der Führung auf und ab bewegt und ihr Weg an einer Skala mit Zeiger abgelesen werden. Der Zementbrei wird in konische Hartgummiringe, welche auf Spiegelglas-scheiben liegen, gefüllt,<sup>1)</sup> an der Oberfläche mit dem Messer eben gestrichen und innerhalb gewisser Zeitabschnitte durch allmähliches Einsenken der Vicatschen Nadel geprüft. Der Zeitpunkt, in welchem die Nadel den Brei nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, gilt als „Beginn des Abbindens“; die Zeit, welche verfließt, bis die Nadel auf dem erstarrten Zementkuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt, ist die „Bindezeit“.<sup>2)</sup>

Eine rohe Abbindeprobe kann auch derartig ausgeführt werden, daß man den Normal-Zementbrei auf Glasplatten zu etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern hin dünn auslaufenden Kuchen ausbreitet und als abgebunden betrachtet, wenn derselbe einem geringen Druck mit dem Fingernagel widersteht.

Der Normalbrei<sup>3)</sup> wird in folgender Weise hergestellt.

400 g Zement werden auf nicht absaugender Unterlage in Kranzform ausgebreitet; in die Mitte wird das erforderliche Wasser mit einem Male eingegossen und sofort durch drei Minuten dauerndes (bei Raschbindern 1 Minute) kräftiges Durcharbeiten mit einer Kelle (s. Fig. 348 S. 364) ein Brei gleichartiger Steife erzeugt.

Die Steife des Breies ist abhängig von der Größe des Wasserzusatzes, der durch wiederholte Versuche ermittelt werden muß. Der Brei besitzt die richtige Steife, wenn die an Stelle der Nadel in den Vicatschen Nadelapparat eingesetzte „Sonde“ mit 1 qcm Querschnitt den Brei nicht durchdringt, sondern 5—6 mm über dem Boden stehen bleibt.

Da die Bindezeit des Zementes sich bei hoher Temperatur verkürzt, müssen Zement, Anmachewasser und Versuchsraum konstante Temperatur von etwa 15—18° besitzen.

Zur Verhütung der Wasserverdunstung werden die Probekuchen in einen mit feuchter Luft erfüllten Kasten gestellt und nur zur Prüfung

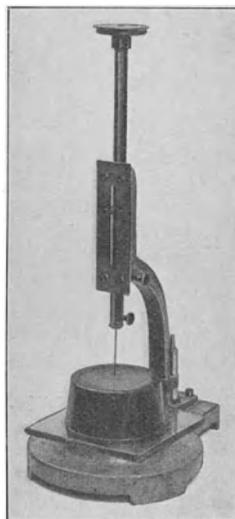


Fig. 340.

<sup>1)</sup> Beim Einfüllen darf der Brei weder eingedrückt noch eingerüttelt werden.

<sup>2)</sup> Alle genannten Zeiträume zählen von dem Augenblicke an, in welchem das Wasser mit dem Zement in Berührung kommt.

<sup>3)</sup> Man nennt „Brei“ den Mörtel, der aus Zement mit Wasser ohne Sandzusatz angerührt wird.

jedesmal herausgenommen. Der Versuchsraum selbst soll eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 60 0/0 besitzen (s. § 192).

Außer dem obengenannten Vicatschen Nadelapparat gibt es noch Apparate, welche den Verlauf des Abbindens mechanisch aufzeichnen. Es geschieht derartig, daß, durch ein Uhrwerk veranlaßt, in gewissen Zeitabschnitten eine Vicatsche Nadel in den Zementbrei gesenkt und die Eindringungstiefe auf einem Papierstreifen markiert wird.

Fig. 341 veranschaulicht den Grundsatz eines solchen Apparates (Bauart Amsler-Laffon & Sohn).<sup>1)</sup>

Der Zementbrei 1 befindet sich in dem Trog 2, der auf dem Wagen 3 ruht. Der Wagen hängt an einer festen Bahn des Gestelles 4 und wird in bestimmten Zeitintervallen verschoben. Die Nadel 5 wird nach jeder Ver-

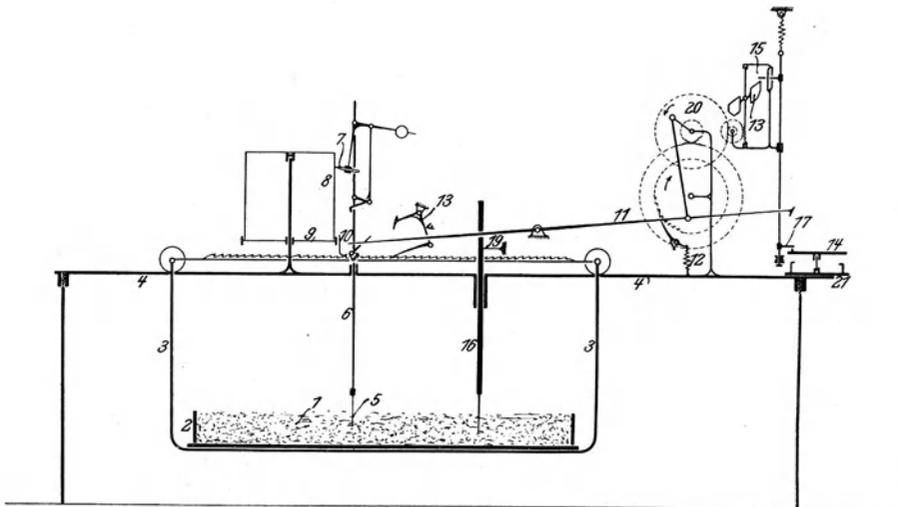


Fig. 341.

schiebung des Wagens 3 herabgelassen und dringt in den Zementbrei 1 ein. Am Halter 6 der Nadel ist der Schreibstift 7 angebracht, der auf der Trommel 8 einen Strich zeichnet, dessen Länge der Eindringungstiefe der Nadel 5 proportional ist. Nach jedem Spiel der Nadel wird die Trommel 8 durch das Schaltrad 9 und den Sperrzahn 10 mittels Lenkerstange 11 gedreht. 11 wird von der Feder 12 durch ein Räderwerk mit Windflügelhemmung betätigt. Die Wechselscheibe 14 der Uhr besitzt regelmäßig verteilte Ausschnitte. Die Lenkerstange 11 hebt einerseits durch die vom Exzenter 20 bedingte zwangläufige Bewegung den Schreibstift 7 von der Trommel 8 weg und führt mit dem Winkelhebel 13 die Schaltbewegung des Wagens 3 aus; sie bewirkt ferner das Einspringen

<sup>1)</sup> Weitere solche Apparate s. Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde, Jahrg. 1906, Heft V.

des Hakens 17 in die Scheibe 14 und das Feststellen des Windflügels durch den Mitnehmer 15. Mit dem im Gestell 4 des Apparates senkrecht geführten Stift 16 stellt man die Normalkonsistenz des Zementbreies fest. Die Eindringungstiefe von 16 ist an einer Teilung bei 19 ablesbar. Die Ausführungsform des Apparates zeigt Fig. 342.

Die beim Abbinden auftretende Temperaturerhöhung (s. S. 356) wird in der Weise gemessen, daß man Normal-Zementbrei in einen konischen mit Deckel 4 versehenen Hartgummiring 1 nach Fig. 343 füllt, der auf einer Glasplatte 2 liegt, und in den Brei ein Thermometer 3 senkt, dessen Ansteigen man während des Abbindevorganges beobachtet. Da diese Art der Versuchsausführung sehr zeitraubend ist, empfiehlt es sich, zur Vermeidung der be-

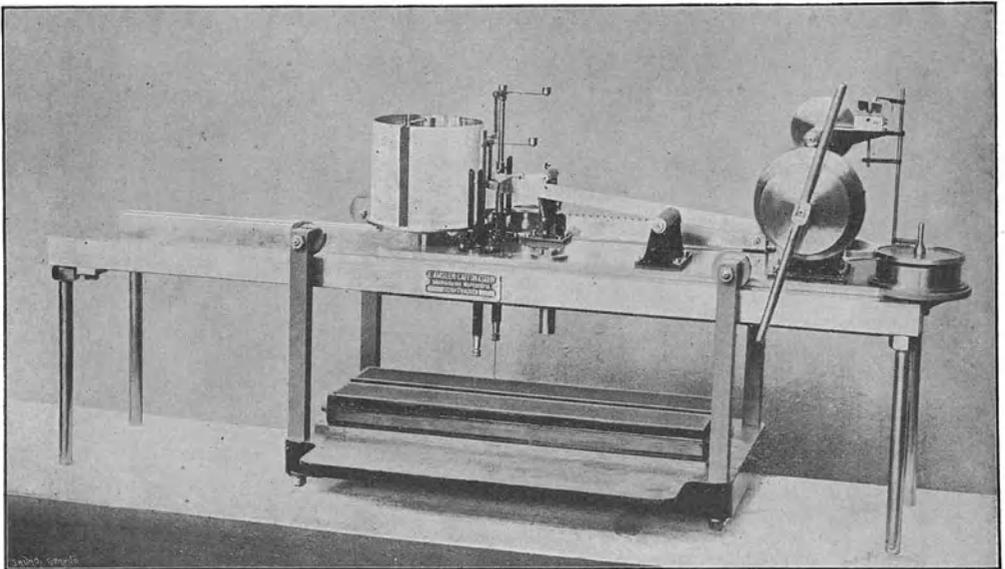


Fig. 342.

ständigen Beobachtung des Thermometers ein Maximumthermometer zu benutzen oder zur Festlegung des ganzen Vorganges durch eine mechanische Einrichtung die jeweilige Temperatur als Funktion der Zeit aufzeichnen zu lassen. Es kann dies dadurch geschehen, daß man, wie bei einem von Gary konstruierten Apparate, den jeweiligen Stand der Quecksilbersäule auf einer mechanisch vorbeibewegten photographischen Platte festhält, oder in einfachster Weise dadurch, daß man ein Thermoelement (s. § 185) in den Zementbrei einbettet und die jeweilige elektromotorische Kraft mit einem registrierenden Zeigergalvanometer (s. § 187) feststellt. Die letztere Methode bietet den Vorteil, daß man die Temperaturerhöhung an dem Probekuchen, der zur Feststellung der Abbindezeit benutzt wird, ermitteln kann. Die feinen Drähte des Thermoelementes beeinflussen in keiner Weise den

Abbindevorgang, und da sie leicht beweglich sind, kann man die thermoelektrische Temperaturmeßmethode auch bei registrierenden Nadelapparaten verwenden.

### § 235. Die Erhärtung des Zementes.

Nach dem Abbinden des Zementes beginnt die Erhärtung, deren Verlauf und Dauer keine gesetzmäßige Beziehung zu anderen Eigenschaften aufweisen. Im allgemeinen benötigen rasch bindende Zemente längere Zeit zur vollen Erhärtung als langsam bindende.

Die während der Erhärtung sich abspielenden chemischen Vorgänge sind noch nicht völlig geklärt. Es ist aber von Michaelis<sup>1)</sup> festgestellt, daß beim Erhärten des Portlandzementes Wasser chemisch gebunden und Kalkhydrat ausgeschieden wird. Beim Erhärten in Wasser werden Alkalien und geringe Mengen von Kalk und Kieselsäure an das Wasser abgegeben. Das ausgeschiedene Kalkhydrat geht an der Luft in kohlen sauren Kalk über, während es in Wasser in Lösung geht.

Bedingung für gute Erhärtung des Portlandzementes ist die Gegenwart von Wasser; daher muß der Zement bei allen Versuchen vor raschem Austrocknen geschützt werden.<sup>2)</sup> Besonders in den ersten Tagen der Erhärtung muß genügend Wasser vorhanden sein, damit die Spaltung der Zementbestandteile, welche sich ja unter dem chemischen Einflusse des Wassers vollzieht, vollkommen stattfinden kann. Sind alle Bedingungen für günstige Erhärtung vorhanden, dann erfolgt in den ersten Tagen eine große Zunahme sowohl der Härte als auch der Festigkeit. Später verlangsamt sich die Zunahme und findet erst nach

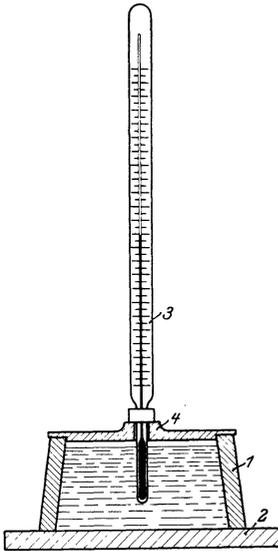


Fig. 343.

langer Zeit, in der Regel erst nach mehreren Jahren ihren Abschluß. (Über das mikroskopische Gefüge von erhärtetem Zement s. Berichte der Deutschen chem. Gesellschaft 1908, No. 8, S. 1742.)

### § 236. Die Selbstfestigkeit und die Mörtelfestigkeit des Zementes.

Man unterscheidet die sogen. „Selbstfestigkeit“ des Zementes von der „Mörtelfestigkeit“. Jene wird an Probekörpern ermittelt, die aus

<sup>1)</sup> Michaelis, Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes, 1896, S. 157 ff.

<sup>2)</sup> Diese Ausführungen widerlegen daher die sogar in Fachkreisen oft geäußerte irrige Anschauung, daß Portlandzement durch Austrocknen erhärte und, wie der Kalk (s. § 256), Kohlensäure zum Erhärten benötige.

einer Mischung von Zement und Wasser hergestellt wird; die Feststellung dieser erfolgt an Probekörpern aus einem Mörtel, der durch Mischen des Zementes mit Normalsand erzeugt wird (s. § 239).

Die Selbstfestigkeit gibt Aufschluß über die Güte einer Zementsorte verglichen mit anderen Zementen oder anderen hydraulischen Bindemitteln, ohne aber ein Maß für die Verwendbarkeit des Zementes im Bauwesen zu liefern. Letztere Eigenschaft kann dagegen durch Ermittlung der Mörtelfestigkeit klargestellt werden; denn erst bei Verarbeitung mit Sandzusatz kommt die wirkliche Bindefähigkeit des Zementes zum Ausdruck.

### § 237. Der Normalsand.

Wie oben erwähnt, wird zur Erzeugung des Mörtels „Normalsand“ benutzt. Der Normalsand ist ein Quarzsand, der mindestens 99 %  $SiO_2$  und nicht mehr als 0,1 % abschlämmbare Substanz enthalten soll. Der deutsche Normalsand entstammt einem bestimmten Flöze der Freienwalder Grube Hammerthal. Er wird durch Waschen und Sieben gewonnen und vom Chemischen Laboratorium für Tonindustrie in Berlin, sowie dem Laboratorium des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten in Karlshorst bei Berlin in Säcken mit 50 kg Inhalt, die mit Plomben des Königl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde verschlossen sind, in den Handel gebracht.

Die Körner dieses Sandes sollen durch Siebe mit kreisrunden Löchern von 1,350 mm fallen und auf Sieben mit kreisrunden Löchern von 0,775 mm Durchmesser liegen bleiben. Die Bleche der Prüfungssiebe sollen 0,25 mm dick sein. Als Abweichung von der Vorschrift werden bis 2 % zu grobe und 10 % zu feine Körner zugelassen.

Die Bestrebungen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik gehen dahin, einen internationalen Normalsand zu vereinbaren, da durch Versuche festgestellt worden ist, daß Sande gleicher Korngröße und gleicher Oberflächenbeschaffenheit sowie ähnlicher Beimengungen sehr verschiedene Festigkeit des Mörtels liefern. Mörtel dagegen, die mit Normalsand an verschiedenen Prüfungsstellen hergestellt wurden, lieferten übereinstimmende Festigkeitsergebnisse. Es empfiehlt sich daher, Prüfungsergebnissen auch Angaben über die Art des verwendeten Sandes und, wenn möglich, sein Raumgewicht (s. § 222) im eingelaufenen und eingerüttelten Zustande beizufügen.<sup>1)</sup>

### § 238. Der Normalmörtel.

Zur Erzeugung von Normalmörtel werden einem Gewichtsteile Zement drei Gewichtsteile Normalsand zugesetzt, wobei die erforderliche Wassermenge durch Sonderversuche ermittelt werden muß. Aber nicht allein

<sup>1)</sup> Der schweizerische Normalsand gibt höhere, der russische dagegen niedrigere Festigkeitswerte als der deutsche.

die Zusammensetzung des Mörtels bedingt die Festigkeit der Probekörper, sondern die Art ihrer Herstellung und die während der Herstellung herrschenden Nebenumstände, wie Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur der Luft, sowie Beschaffenheit des Mörtelwassers, Durcharbeitungsart und

Zeit beeinflussen das Ergebnis. Um diesen Einflüssen nach Möglichkeit zu begegnen, empfehlen neuerdings die Normen zur Herstellung des Normmörtels die Verwendung des Mörtelmischers, Bauart Steinbrück-Schmelzer.

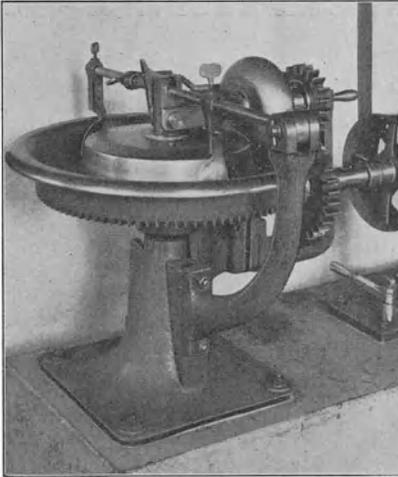


Fig. 344.

Der Mörtelmischer ist in Fig. 344 und 345 dargestellt. Er besteht aus einer Mischschale 1, in welcher der Mörtel unter dem Gewichte der in gleicher Richtung wie die Schale, aber mit anderer Geschwindigkeit laufenden Walze 2 niedergedrückt und auseinandergestrichen wird, um darauf an den beiden Abstreichern 3 und 4

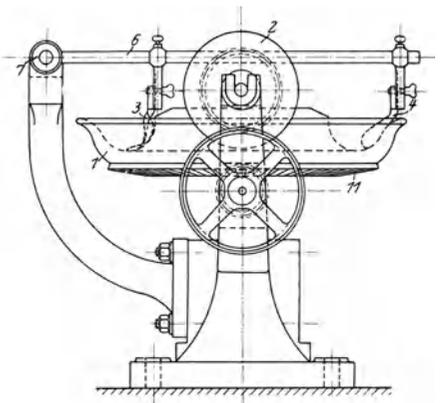


Fig. 345.

wieder aufgelockert und gewendet zu werden. Zum Abstreichen der Walze ist ein Abschaber vorhanden (in der Figur nicht gezeichnet), welcher das Festanhafte des Mörtels verhindert. Die Abstreicher 3 und 4 sitzen auf einem gemeinsamen Halter 6, der um das Gelenk 7 drehbar ist und das gleichzeitige Ausheben der Abstreicher gestattet. Die Achse 8 der Walze 2 ist aus demselben Grunde und zur Anpassung an die Dicke der Mörtelschicht

um das Gelenk 9 drehbar. Zu beachten ist, daß beim Mischen der unter der Walze hervorkommende Mörtel zuerst dem Abstreicher 3 und dann dem Abstreicher 4 zugeführt wird. Der Antrieb des Mörtelmischers erfolgt entweder mit Kurbel von Hand oder durch Riemenscheibe durch die Welle 10. Die Schale 1 besitzt an der Unterseite einen Kegelradzahnkranz 11, in dessen Zähne diejenigen des auf der Welle 10 sitzenden Rades 12 eingreifen.

Die Bewegung der Walze erfolgt durch das Zahnräderpaar 13. Bemerkenswert ist, daß die Umfangsgeschwindigkeit der Walze nicht gleich der der Schalenrinnenmitte ist. Es wird dadurch eine Relativbewegung erzielt, welche das Durcharbeiten des Mörtels befördert.

Die maßgebenden Teile des Mörtelmischers sollen folgende Gewichte und Abmessungen besitzen:

Gewicht der Mischwalze mit Achse . . . . .	21,50—22,00 kg,
„ „ „ ohne „ . . . . .	19,10—19,40 „
Durchmesser der Mischwalze . . . . .	20,25—20,35 cm,
Breite der Mischwalze . . . . .	8,08 cm,
Abstand der Walze vom Schalenboden . . . . .	0,50— 0,60 cm,
Walzenabstand $r$ von der Mitte der Schalendrehachse	19,70—19,80 „ .

Die maschinell betriebenen Mörtelmischer sind mit selbsttätigen Ausrückvorrichtungen versehen, welche den Stillstand des Mörtelmischers nach 20 Umdrehungen der Schale bewirken. Die 20 Umdrehungen müssen innerhalb  $2\frac{1}{2}$  Minuten erfolgen.

Eine maschinell Umdrehungszähl- und Ausrückvorrichtung für Mörtelmischer, Konstruktion des Verfassers, ist in Fig. 346 abgebildet. Die Antriebswelle 10 des Mörtelmischers (Fig. 345) ist mit einem einzahnigen Rade 14 versehen, welches bei jeder Umdrehung

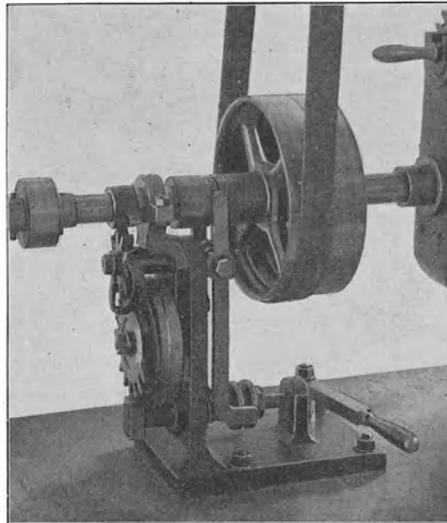


Fig. 346.

die Zählvorrichtung um einen Zahn weiter schaltet. Nach 150 Schaltungen gibt das Zählwerk einen Schieber 15 frei, welcher das Ausrücken der Riemenscheibe 16 durch Federdruck bewirkt.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Diese Vorrichtung wird von Mechaniker Richter, Dresden, geliefert.

Die Schale des Mörtelmischers vermag 2000 g Mörtel zu fassen. Es werden daher 500 g Zement und 1500 g Normsand<sup>1)</sup> in einer trockenen Schüssel (s. Fig. 347) eine halbe Minute lang mit Hilfe eines eisernen Löffels (s. Fig. 348) innig gemischt, dann das in der Schüssel kegelförmig angehäufte Gemisch mit einer Vertiefung versehen und in diese die durch



Fig. 347.

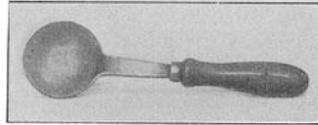


Fig. 348.

Versuch (s. S. 371) zu bestimmende Wassermenge zugesetzt. Die angefeuchtete Masse wird alsdann abermals eine halbe Minute lang mit dem Löffel gemischt, dann in der Schale des Mörtelmischers gleichmäßig ausgebreitet und während  $2\frac{1}{2}$  Minuten durchgearbeitet. Zu beachten ist, daß vor dem Einbringen des Mörtels in die Maschine die Schale derselben mit einem nassen Tuche, am besten mit nassem Zementmörtel ausgewischt wird. Trockene Schale entzieht dem Mörtel Feuchtigkeit.

Daß Schale, Walze und Abstreicher nach jeder Mischung sorgfältig gereinigt werden müssen, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

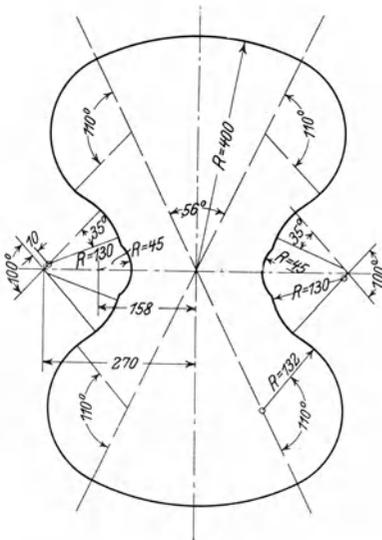


Fig. 349.  
(Maße =  $\frac{1}{10}$  mm.)

sogen. Achterform (s. Fig. 349). Ihr beanspruchter Querschnitt beträgt 5 qcm. Als Druckprobekörper dienen Würfel mit 50 qcm Fläche.

Nach den Vorschlägen des Internationalen Verbandes sind die Probekörper maschinell anzufertigen. Die dazu benutzte Maschine soll derartig beschaffen sein, daß eine gleichmäßige Anzahl Schläge auf jeden Probe-

### § 239. Die Herstellung der Probekörper für die Festigkeitsversuche.

Mit dem fertig gemischten Mörtel werden Zug- und Druckprobekörper hergestellt. Jene haben

<sup>1)</sup> Für die Wägungen ist eine Waage nach Fig. 280 (S. 284) zu empfehlen.

körper ausgeübt wird. Diesen Bedingungen entspricht der „Hammerapparat“, Bauart Böhme, welcher in Deutschland als Normalapparat (s. Fig. 350) eingeführt ist. Er besteht aus einem Schwanzhammer von 2 kg Gewicht, welcher auf jeden Probekörper, gleichgültig ob Zug- oder

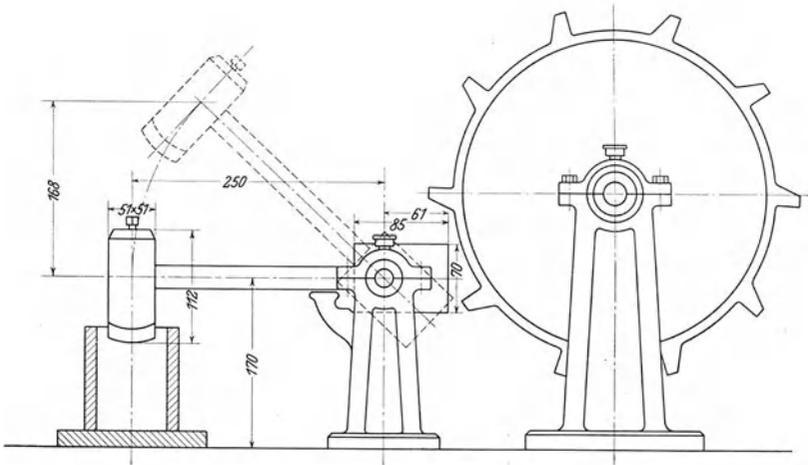


Fig. 350.

Druckprobekörper, aus bestimmter Fallhöhe 150 Schläge ausübt und dann selbsttätig ausgerückt wird. Da der Probekörper um so dichter wird, je

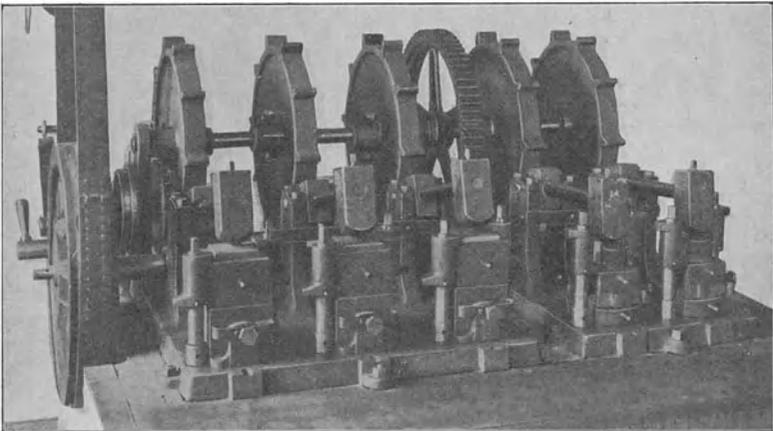


Fig. 351.

größer die zu seiner Herstellung aufgewendete Schlagarbeit war, muß darauf geachtet werden, daß die Abmessungen des Hammers (s. Fig. 350) auch den Vorschriften entsprechen. Es empfiehlt sich daher, bei Neuanschaffungen von Hämmern dieselben vor Inbetriebnahme in einer staatlichen Materialprüfungs-

anstalt untersuchen zu lassen. Man wird sich durch die damit verbundene geringe Geldausgabe vor vielen Mißerfolgen bei der Probekörperherstellung bewahren. Das Aufstellen des Hammerapparates muß auf erschütterungsfreier Unterlage erfolgen, damit die ganze lebendige Kraft des Hammers zur Wirkung gelangen kann. Es muß daher der Apparat auf einem gut fundierten Mauerklotz mit Schrauben befestigt und mit Zementbrei untergossen werden.

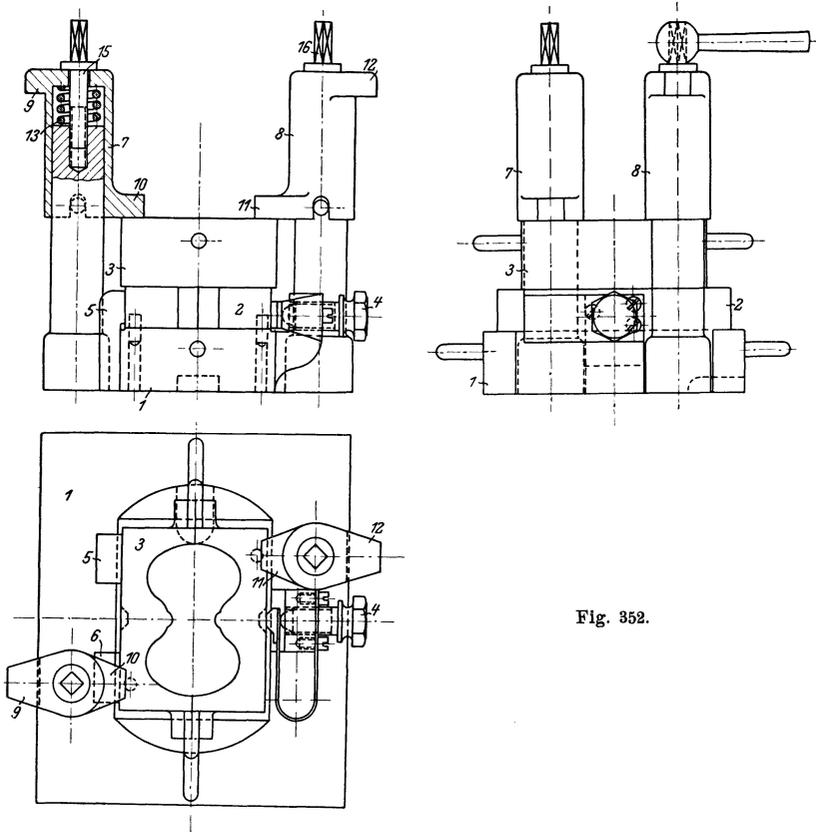


Fig. 351.

In Fig. 351 ist der Fünfhämmerapparat der Dresdner Versuchsanstalt dargestellt. Auf einer gemeinsamen Welle, die durch ein Zahnradvorgelege von einer Riemenscheibe aus angetrieben wird, sitzen 5 Nockenräder, die zum Ausheben der Schwanzhämmer dienen. Unter den Hämmer befinden sich die Formkästen, welche durch Haltevorrichtungen, Bauart Martens, in ihrer Lage unverrückbar gehalten werden. Diese Vorrichtungen besitzen gegenüber den älteren den Vorzug, daß sie sicher wirken, fest mit der Maschine verbunden bleiben und ohne weiteres zur Festhaltung der Zug- oder Druckprobekörperformkästen verwendet werden können. Die Formkästen sind zerlegbar, damit das Entformen der Probe-

körper leicht bewerkstelligt werden kann. Ihre Konstruktion mit Aufsatzkästen und Unterlagen ist aus Fig. 352 und 353 ersichtlich. Auf der Unterlagplatte 1 ruht die Zug- oder Druckprobekörperform 2 und auf ihr der Aufsatzkasten 3. Alle drei Teile werden durch die obenerwähnte Haltevorrichtung in ihrer Lage gesichert. Zum Zusammenpressen der zweiteiligen Form 2 dient die an der Unterlagplatte befestigte Schraube 4, welche die Form gegen die Nocken 5 und 6 drückt. Die Schraube greift

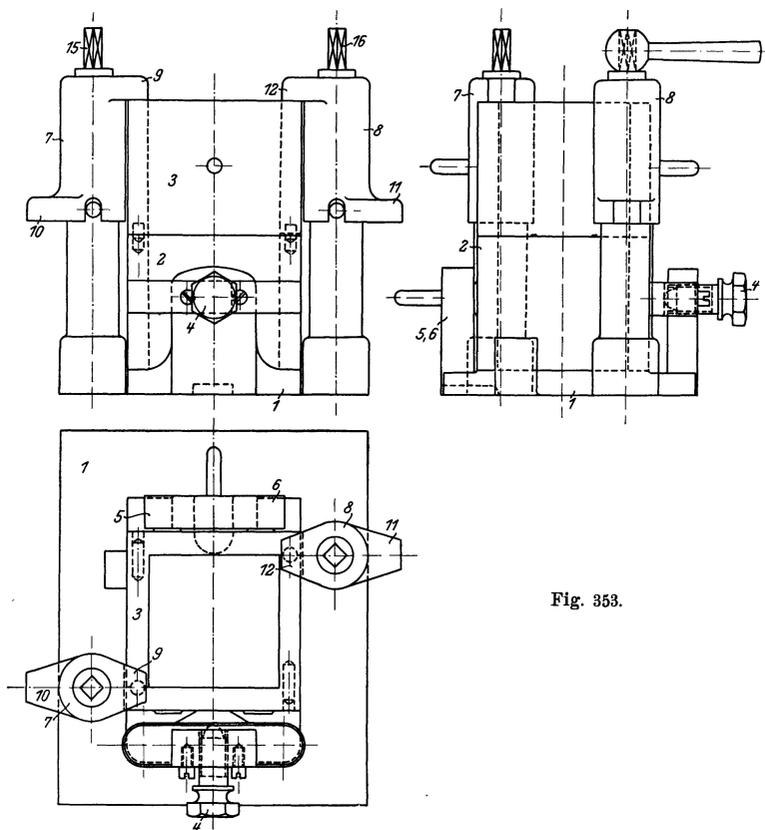


Fig. 353.

bei den Zugprobekörperformen in eine Vertiefung der Form ein, so daß Verschieben derselben infolge von Erschütterungen ausgeschlossen ist. Die Haltevorrichtung besteht im wesentlichen aus zwei in der Hammerfundamentplatte befestigten Säulen, die oben um  $180^\circ$  drehbare Muffen 7 und 8 tragen. Die Muffen haben oben und unten die Nasen 9, 10, 11, 12 und im Innern eine Feder 13 (s. Fig. 352), welche Anheben der Muffe bewirkt, wenn die Schraube 15, 16 gelockert wird. Zur Festhaltung der niedrigen Zugprobekörperformen mit Aufsatzkästen dienen die Nasen 10 und 11 und

der höheren Druckprobekörperformen mit Aufsatzkästen die entsprechend höher angeordneten Nasen 9 und 12.

Auf sichere Befestigung der Formen ist der größte Wert zu legen, weil lockere Formen sich bei jedem Schlage bewegen und dadurch die Erzeugung dichter Probekörper unmöglich wird. Der Hammerapparat (Fig. 351) ist mit einer selbsttätigen Schlagzahl- und Ausrückvorrichtung versehen, die den Stillstand des Hammers nach 150 Schlägen bewirkt.

Die Schlagfolge muß derartig bemessen sein, daß die 150 Schläge  $2\frac{1}{2}$  Minuten Zeit erfordern.

Während bei dem eben besprochenen Böhmeschen Hammerapparat die Herstellung der Zug- und Druckprobekörper mit der gleichen Anzahl

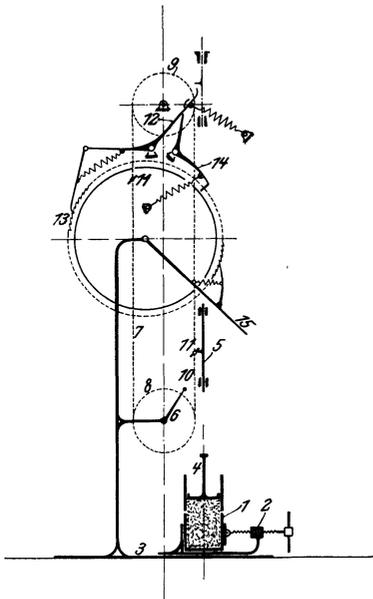


Fig. 354.

steht ein Einfülltrichter und in diesem ein der Form entsprechender Stempel 4, der den Schlag des Fallbärs 5 aufnimmt. Der Einfülltrichter ist auf der Form festgehalten. Von der Antriebswelle 6 wird das endlose, senkrecht laufende Band 7 über die Räder 8 und 9 in Umlauf gesetzt. Der vorspringende Mitnehmerstift 10 am Fallbär 5 wird von dem Mitnehmer 11 des Bandes 7 gefaßt und mit in die Höhe genommen. Sobald der Mitnehmer 11 über das Rad 9 läuft, wird der Bär frei und fällt herab. Gleichzeitig wird der Winkelhebel 12 durch den Mitnehmer 11 gehoben, wodurch die Schaltung des Zahnrades 13 bewirkt

Schläge erfolgt und die aufgewendete Schlagarbeit infolge der größeren Fallhöhe des Hammers bei Anfertigung der niedrigen Zugprobekörper größer als für die Druckprobekörper ist, gestattet der in Österreich, der Schweiz und einigen anderen Ländern eingeführte Rammapparat durch Anpassung der Schlagarbeit an die Art des Probekörpers die Erzeugung von Körpern gleicher Dichte.

Der Konstruktionsgrundsatz eines Rammapparates, Bauart Amsler-Laffon, ist aus Fig. 354 ersichtlich.<sup>1)</sup>

Die Form 1 ist in dem Schraubstock 2 auf der Sohlplatte 3 eingespannt. Zur Bedienung kann 2 nach vorn geschoben werden. Auf der Form 1

<sup>1)</sup> In Rußland wird neuerdings auch ein Rammapparat von Lachtinn, Moskau, verwendet.

wird. Der Sperrzahn 14 fällt nach einer bestimmten Anzahl von Hieben in einen Ausschnitt am Rand des Rades 13, worauf das andere Ende des Winkelhebels den Bär festhält. Das Schalten des Zahnrades 13 hört dadurch auf. Die Anzahl der Schläge wird an einer Teilung des Rades 13 abgelesen.

Um einen neuen Versuch einzuleiten, schaltet man mit dem Hebel 15 das Rad 13 zurück. Ausführung des Apparates s. Fig. 355.

Der Fallhammer ist auswechselbar, so daß zur Herstellung von Zugprobekörpern ein 2 kg schwerer Hammer mit 25 cm Fallhöhe und für Druckprobekörper ein 3 kg schwerer mit 50 cm Fallhöhe benutzt werden kann. Auf die Zugprobekörper werden dabei 120 Schläge<sup>1)</sup> und auf die Druckprobekörper 150 Schläge ausgeübt.

Die Anfertigung der Probekörper geschieht mit beiden Hammerapparaten in folgender Weise. Für einen Zugprobekörper werden 180 g und für einen Druckprobekörper 860 g Mörtel unter Verwendung eines Einfülltrichters in die Formkästen gebracht, leicht mit einem eisernen Stampfer geebnet und der Schlagstempel wird aufgesetzt. Hiernach wird das Zählwerk eingestellt und die erforderliche Anzahl Schläge auf den Schlagstempel ausgeübt. Nach Stillstand der Maschine wird der Hammer abgehoben, gegen Niederfallen gesichert und die Form mit Unterlagplatte aus dem Hammerapparat entfernt. Sie wird mit der Unterlagplatte auf einen schweren, feststehenden Tisch gesetzt, wo

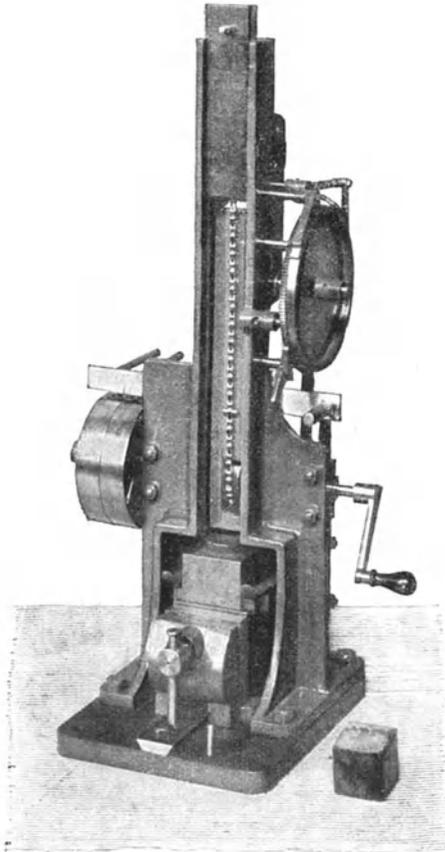


Fig. 355.

sie gegen Verschieben durch eingesetzte Zapfen gesichert ist. Hier erfolgt das Entfernen des überstehenden Mörtels, der mit einem Messer abgeschnitten wird. Schließlich wird die Oberfläche des Probekörpers noch

<sup>1)</sup> Nach den österreichischen und schweizerischen Normen; nach den russischen Normen 40 Schläge.

mit dem Messer geglättet und durch Eindrücken von Buchstaben oder Zahlen gezeichnet.

Der fertige Körper wird alsdann mit der Form von der Unterlagplatte abgezogen und auf einer mit nassem Fließpapier bedeckten Glasplatte in einem mit feuchter Luft erfüllten Raume gelagert. Die Zugprobekörper werden nach einer halben Stunde und die Druckprobekörper nach 20 Stunden entformt. Das Entformen der Körper geschieht entweder von Hand oder mit Vorrichtungen, die in Fig. 356 und 357 dargestellt sind.

Die erstere Vorrichtung zum Entformen von Zugprobekörpern wurde von Michaelis angegeben. Sie wird in der Weise benutzt, daß der Probe-

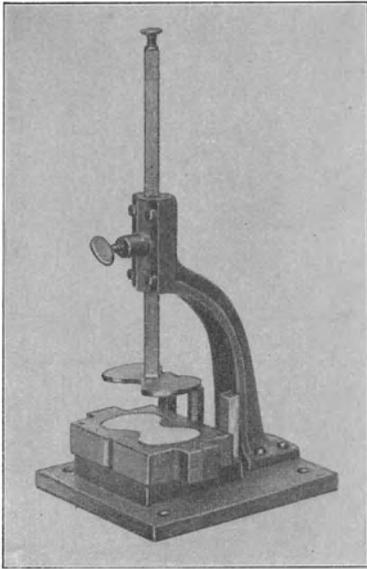


Fig. 356.

körper mit Form auf die Grundplatte gelegt, mit der in einer Führung auf und ab beweglichen, verstellbaren Platte gegen die Unterlage gepreßt und durch vorsichtiges Abheben der Form die letztere von dem Probekörper abgezogen wird.

Der zweite für Druckprobekörper bestimmte Apparat entstand nach

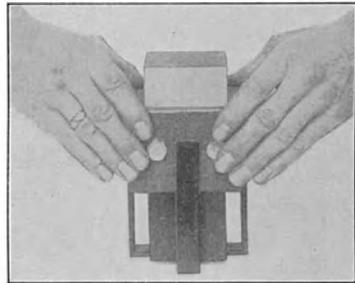


Fig. 357.

Angaben des Verfassers in der Dresdner Versuchsanstalt. Er besteht aus einem eisernen quadratischen Stempel, dessen Querschnittsgröße von der Würfelgröße nur wenig abweicht und der zum Ausdrücken des Probekörpers in der aus Fig. 357 ersichtlichen Weise benutzt wird. Zur Verhinderung des Schiefstellens ist der Stempel mit einer Führung für die Form versehen. Während beim Entformen von Hand auch bei großer Geschicklichkeit des Arbeiters leicht eine Zerstörung des Probekörpers erfolgen kann, ist dies bei mechanischer Entformung mit den obigen Vorrichtungen ausgeschlossen.

Nach dem Entformen müssen die Formen sofort gereinigt und eingefettet werden, weil sie sonst sehr schnell verrosten und die rostigen

Stellen das Abziehen der Formen von den Probekörpern erschweren, wenn nicht gar verhindern. Auch ein leichtes Einölen der Formen vor dem Einfüllen des Mörtels ist zu empfehlen, weil dadurch das Entformen wesentlich erleichtert wird. Vor zu viel Öl muß dagegen gewarnt werden, es würde die Erhärtung der Probekörper beeinträchtigen.

Verwechslung der einzelnen Formen und Formkastenteile braucht nicht befürchtet zu werden. Von zuverlässigen Lieferanten herrührende Einrichtungen sind sorgfältig und auswechselbar hergestellt, sogar die Formhälften können gegenseitig vertauscht werden. Es empfiehlt sich, die einzelnen Teile oft zu vertauschen, damit sie sich nicht ungleichmäßig abnutzen. Bei Neuanschaffungen überzeuge man sich aber, daß alle Teile auswechselbar sind und gut ineinander passen. Besonders ist darauf zu achten, daß die beiden Formhälften passend gearbeitet sind; die geringste Verschiebung der beiden Hälften veranlaßt Abweichungen der Größe des beanspruchten Querschnittes. Der Schlagstempel muß in dem Aufsatzkasten sehr lose geführt sein, damit er, durch zwischendringenden Mörtel veranlaßt, sich nicht festsetzen kann. Auch muß der Querschnitt des Aufsatzkastens etwas geringer sein als derjenige der Form, damit der Schlagstempel bei zu wenig Mörtel sich nicht auf den Rand der Form aufsetzt und diese beschädigt.

Von größter Wichtigkeit ist bei der Herstellung der Probekörper zur Ermittlung der Mörtelfestigkeit die Wahl des geeigneten Wasserzusatzes. Nach einer Ergänzung der Normen vom Jahre 1902 ist der Wasserzusatz nicht mehr der Willkür des Arbeitenden überlassen oder für alle Zemente allgemein gültig festgelegt, sondern es muß der geeignete Wasserzusatz für jeden Zement durch Sonderversuche vor dem Einschlagen der Probekörper ermittelt werden. Es geschieht in folgender Weise.

Aus einem mit 8 % Wasserzusatz hergestellten Mörtel wird ein Druckprobekörper eingeschlagen und während des Einschlagens beobachtet, nach wieviel Schlägen Zementschlamm aus den in der Druckform bei  $a$  und  $b$  befindlichen Löchern (s. Fig. 358) austritt. Der Wasserzusatz ist als richtig anzusehen, wenn dieser Vorgang zwischen dem 90. und 110. Schläge<sup>1)</sup> beginnt. Beginnt er früher, dann enthält der Mörtel zu viel

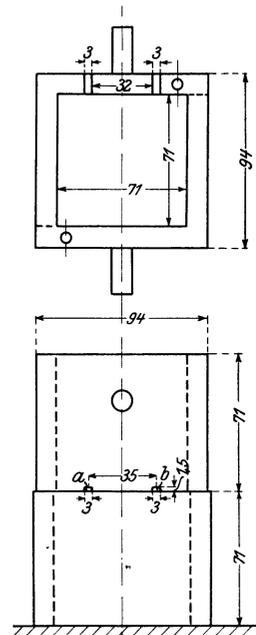


Fig. 358.

<sup>1)</sup> Diese Grenzen sind zu weit; es wäre eine Einengung derselben vorteilhaft, weil der Wasserzusatz um mehr als einviertel Prozent innerhalb der Grenzen variieren kann.

Wasser, beginnt er später, dann ist zu wenig Wasser benutzt worden. Es muß alsdann neuer Mörtel mit weniger oder mehr Wasser hergestellt und der Versuch wiederholt werden. War zu wenig Wasser im Mörtel, dann darf nicht etwa Wasser dem noch vorhandenen Mörtel zugesetzt und dieser benutzt werden, sondern es muß neues Mischen erfolgen.

Schnellbindende Zementmörtel<sup>1)</sup> kann man wegen Zeitmangel nicht mit der Maschine einschlagen, sondern man muß sie von Hand anfertigen. Es werden dazu die mit Feder *f* zusammengehaltenen Formen (Fig. 359) auf fester, ebener, nicht absaugender Unterlage aufgestellt und mit Mörtel, stark gewölbt, gefüllt. Hiernach schlägt man mit einem eisernen Spatel (s. Fig. 360) von  $5 \times 9$  cm Fläche, 35 cm Länge und 750 g Gewicht den überstehenden Mörtel so lange in die Form ein, bis er elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Nach Abstreichen und Glätten der Oberfläche werden die Probekörper der gleichen Behandlung unterworfen, wie die maschinell erzeugten.

Der Wasserzusatz muß durch probeweise erfolgtes Einschlagen mehrerer Probekörper bestimmt werden. Er beträgt bei normalen Ze-

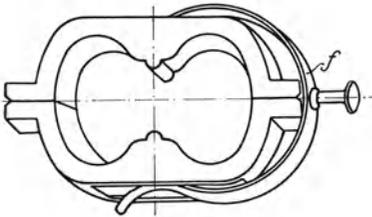


Fig. 359.

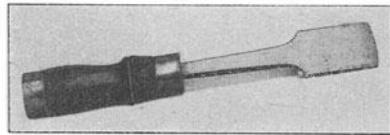


Fig. 360.

menten etwa 8—9 ‰, und zwar meist bei Schnellbindern etwas mehr als bei Langsambindern.

Da die chemische Beschaffenheit des Mörtelwassers von Einfluß auf die Festigkeit ist, indem z. B. hartes, gipshaltiges Wasser dem Mörtel eine höhere Festigkeit verleiht als weiches, empfiehlt es sich, destilliertes Wasser zu verwenden oder wenigstens die Härte und Art des Wassers anzugeben.

Ähnlich wie im vorhergehenden beschrieben, erfolgt die Anfertigung der Probekörper für die Ermittlung der Selbstfestigkeit des Zementes. Sie geschieht ebenfalls von Hand, indem Zementbrei von sirupartiger Steife in die aus Eisen oder Bronze bestehenden Formen eingeschüttet und mit einem Messer eingedrückt wird. Die Formen liegen dabei auf einem glatten Marmortisch oder auf einer polierten Metallplatte; dicke Glasscheiben verrichten dieselben Dienste. Zur Beförderung der Luftentweichung aus dem Zementbrei schlägt man unmittelbar nach dem Einfüllen seitlich an die

<sup>1)</sup> Näheres s. F. Schiffner, Protokoll des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten 1888.

Formen, was Einsinken des Breies zur Folge hat. Wenn der Zement etwas angezogen hat, d. h. etwas steif geworden ist, streicht man mit einem Messer ohne Anwendung von Druck das überstehende Material ab, glättet die Oberfläche und bewahrt die Körper in gleicher Weise wie die Mörtelprobekörper auf.

Ein anderes Verfahren besteht darin, daß eine Mischung von Zement mit wenig Wasser, die das Aussehen feuchter Erde hat, angefertigt und mittelst eines Spatels (s. Fig. 360) in die Form eingeschlagen wird.

Beide Verfahren liefern infolge des verschiedenen Wasserzusatzes und der abweichenden Herstellungsweise, die verschiedene Dichtigkeit der Körper veranlaßt, abweichende Ergebnisse. Die Probekörper dürfen erst nach 24 Stunden entformt werden. Ihre sonstige Behandlung stimmt aber mit derjenigen der Mörtelkörper überein.

Im Alter von 24 Stunden werden alle Probekörper in Wasser gebracht und dort bis zur Prüfung aufbewahrt. Der Wasserstand über den Probekörpern soll 1 m nicht übersteigen. Gewöhnlich beträgt die Wassertiefe im Behälter nicht mehr als 10 cm, so daß die Würfel gerade mit Wasser bedeckt sind. Das Wasser muß jede Woche erneuert und seine Temperatur ohne Schwankungen auf 15—18° erhalten werden. Da auch die Beschaffenheit des Lagerwassers die Erhärtung beeinflusst, empfiehlt es sich, wie in der Dresdner Versuchsanstalt üblich, die Art und Härte des Wassers neben den Prüfungsergebnissen anzugeben.

#### § 240. Zug- und Druckversuche.

Wegen der vielen Faktoren, welche die Ergebnisse der Versuche zu beeinflussen vermögen, werden zur Verkleinerung der methodischen und zufälligen Fehler in jeder Versuchsreihe 10 Probekörper der Prüfung unterzogen; aus den festgestellten Werten wird der Mittelwert gebildet. Bei den Zugversuchen werden diejenigen Einzelwerte von der Mittelwertbildung ausgeschlossen, welche um mehr als 20% geringere Festigkeit als das Mittel aller 10 Probekörper zeigen. Für den Druckversuch können unter Umständen, wenn z. B. das Versuchsmaterial nicht ausreicht, auch nur 5 Probekörper benutzt werden; aber im Streitfalle sollen immer 10 Proben entscheidend sein.

Geprüft werden die Probekörper im Alter von 7 und 28 Tagen. Dabei soll im letzteren Alter nach den Normen bei Wasserlagerung der Probekörper die Zugfestigkeit mindestens 16 kg/qcm und die Druckfestigkeit 160 kg/qcm betragen.

Diese Festigkeitsgrenzen sind nach dem jetzigen Stande der Zementfabrikation zu niedrig; es haben deshalb einzelne Behörden in ihre Lieferungsbedingungen bereits höhere Werte als untere Grenzen für die Festigkeit eingesetzt.

Die Festigkeitsversuche können mit jeder beliebigen richtig angezeigten Materialprüfungsmaschine ausgeführt werden.<sup>1)</sup> Es ist nur zu beachten, daß beim Zugversuch die Belastung stetig um 5 kg in der Sekunde wächst und die Einspannvorrichtung für die Probekörper der in Fig. 361 angegebenen entspricht. Die Druckprobekörper sind in Richtung senkrecht zur Einschlagerichtung zu beanspruchen. Eine besonders geeignete Prüfungsmaschine für Zug- und Druckversuche mit Zementprobekörpern, Bauart Amsler-Laffon, ist in § 148 beschrieben.

Ein verhältnismäßig wohlfeiler Zerreißapparat für Zementprobekörper, dessen Konstruktion von Michaelis herrührt, ist in Fig. 362 abgebildet.

Es ist ein Hebelapparat mit dem Übersetzungsverhältnis 1:50, welches durch die beiden Hebel 1 und 2 mit dem Verhältnis 1:10 und 1:5 erreicht wird. Der Hebelmechanismus dient gleichzeitig als Krafterzeuger und Kraftmesser.

Vor Beginn des Versuches muß der Apparat auf seine Gleichgewichtslage geprüft werden. Es wird bei abgehängter Wagschale 3, und unter Weglassung des Eimers 4, durch Verschieben des Laufgewichtes 5 der Hebel 1 auf die Marke 6 am Apparatgestell eingestellt. Hiernach hängt man die Wagschale 3 ein, ordnet den Probekörper 14 in den Einspannklauen 15 und 16 an und dreht die Schraube 7 mittelst des Handrades 8 so lange nach oben oder unten, bis der Hebel wieder auf die Marke 6 einspielt. Mittelst des Schrotzuführers 9 führt man alsdann Bleischrot in die Wagschale 3 ein.

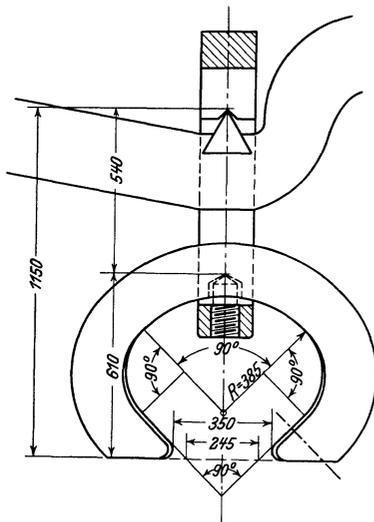


Fig. 361.  
(Maße =  $\frac{1}{10}$  mm.)

Die Größe der Auslauföffnung des Schrotzuführers läßt sich mit Hilfe eines Schiebers 10, der in Verbindung mit der Zahnstange 11 steht, derartig einstellen, daß die obenerwähnte Mehrbelastung von 5 kg in der Sekunde erzielt wird. Infolge des Übersetzungsverhältnisses 1:50 ist dazu eine Schrotmenge von 100 g in der Sekunde erforderlich. Die Einstellung des Schiebers wird durch die Nase 12 des Doppelhebels 13 bewirkt, welcher gleichzeitig zur Ausrückung des Schrotzuführers dient, indem er beim Bruch des Probekörpers durch die fallende Wagschale 3 nach unten gedrückt wird und die Zahnstange auslöst.

<sup>1)</sup> Über ein neues Verfahren zur Ermittlung der Zugfestigkeit von Portlandzement, s. The Engineering Record 1903, No. 20, oder Auszug daraus: Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1903, S. 196.

Letztere fällt durch ihr Eigengewicht nach unten und verschließt mittelst des Schiebers 10 die Auslauföffnung. Das Gewicht des Eimers einschließlich Schrot multipliziert mit dem Übersetzungsverhältnisse des Hebelmechanismus ergibt alsdann die zum Zerreißen des Probekörpers aufgewandte Kraft. Da aber der Probekörper 5 qcm Querschnitt besitzt und das Übersetzungsverhältnis 1 : 50 ist, genügt eine Multiplikation des festgestellten Gewichtes mit 10, um die Zerreißfestigkeit des Probekörpers für den Quadratcentimeter zu erhalten.

Körper mit geringer Festigkeit kommen manchmal schon durch Belastung des Hebels mit der Wagschale 3 zum Bruche; daher muß ihr Gewicht durch ein Gegengewicht ausgeglichen werden. Man hängt dazu

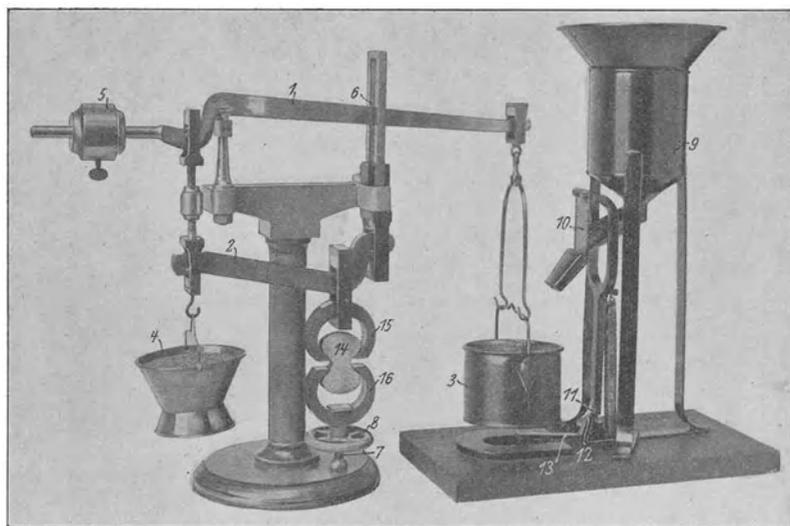


Fig. 362.

an den Haken 14 einen Eimer 4 und beschwert ihn mit so viel Schrot, als erforderlich ist, den Hebel 1 bei angehängter Wagschale 3 auf die Marke 6 zum Einspielen zu bringen.

Benutzt man jetzt noch an Stelle des Schrotes im Schrotzuführer zur Belastung des Eimers Normalsand, so kann man Probekörper prüfen, die zum Zerreißen nur einen Bruchteil eines Kilogramms benötigen.

Zur Gewichtsfeststellung des in die Wagschale 3 eingelaufenen Schrotes oder Sandes kann man auch in Ermangelung einer Wage den Zerreißapparat benutzen, indem man die Wagschale 3 an die Stelle des Eimers 4 bringt und dann auf eine an den Aufhängehaken der Wagschale 3 befestigten Platte (in der Figur nicht vorhanden) Gewichtsstücke auflegt, bis der Hebel 1 auf die Marke 6 einspielt. Da das Übersetzungsverhältnis

dieses Hebels 1 : 10 ist, ergibt sich das Gewicht des Schrotetes mit Wagschale oder des Sandes wie bei einer Dezimalwage durch Multiplikation des auf der Wagschale befindlichen Gewichtes mit 10.

Besondere Aufmerksamkeit ist der Einspannung des Probekörpers in die Einspannklauen zu widmen. Letztere sind an ihren Angriffsflächen gewölbt (s. Fig. 361), um eine Punktberührung des Probekörpers zu gestatten. Der Probekörper muß deshalb genau in die Mittelebene der beiden Klauen geschoben und sorgfältig ausgerichtet werden. Schiefe Einspannung veranlaßt einseitige Belastung des Probekörpers, die das Versuchsergebnis ungünstig beeinflusst.

Bei richtiger Behandlung liefert der Apparat sehr zuverlässige Versuchsergebnisse. Bedingung ist nur, daß besonders die Schneiden und Pfannen sauber gehalten werden und der Apparat von Zeit zu Zeit auf den Bestand seines Übersetzungsverhältnisses geprüft wird. Letzteres geschieht in der Weise, daß die Schraube 7 mit der unteren Einspannklau aus dem Apparate entfernt und in das Gehänge der oberen Klau ein Draht eingeschraubt wird, der durch das Gewindeloch der Schraube 7 geht und am unteren Ende eine Schale zur Aufnahme von Gewichten trägt. Vergleicht man unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses der Hebel das angehängte Gewicht mit dem zur Gleichgewichtserzeugung auf die Wagschale 3 gebrachten, so ergibt die Differenz der beiden den Fehler des Apparates. Der Fehler soll keinesfalls mehr als  $\pm 1\%$  betragen. Im allgemeinen ist er wesentlich kleiner, so daß er in Anbetracht der fast  $6\%$  betragenden Festigkeitsunterschiede, die durch die Eigenart des Probekörpermaterials bedingt sind, vernachlässigt werden darf.

Beim Schopperschen Zerreißapparat (s. § 145) erfolgt die Kraftmessung mit einer Feder, indem an Stelle des Eimers mit Schrotzulauf beim Michaelisschen Apparat ein Federdynamometer angebracht ist. Die Krafterzeugung geschieht dagegen durch Abwärtsbewegen der unteren Einspannklau maschinell oder mit Hilfe einer von Hand zu betätigenden Kurbel, die auf ein Schneckenradvorgelege einwirkt.

#### § 241. Beurteilung der Ergebnisse von Festigkeitsversuchen mit Zement.

Wie hervorgehoben wurde, müssen die zur Erzeugung und Prüfung von Probekörpern benutzten Maschinen und Einrichtungen wie Mörtelmischer, Hammerapparat, Prüfungsmaschinen und die verwendeten Materialien gewissen, sehr scharf umgrenzten Bedingungen genügen. Dies hat zur Folge, daß die Prüfungsergebnisse der erzeugten Probekörper bei Nichterfüllung dieser Bedingungen keine Übereinstimmung mit solchen Ergebnissen zeigen, welche unter Beobachtung aller obenerwähnten Umstände gewonnen wurden. Bevor man daher bei ungünstigen Versuchsergebnissen mit einem im allgemeinen als gut und gleichmäßig bekannten Zemente denselben als schlecht verwirft, wiederhole man, wenn man seiner

Einrichtungen und seiner Arbeitsmethode nicht sehr sicher ist, den Versuch, nach Prüfung aller in Frage kommenden Faktoren, oder man übergebe den Zement für eine Vergleichsprüfung einer der größeren staatlichen Versuchsanstalten, welche ihre Einrichtungen unter ständiger Kontrolle halten, sowie geschultes Personal besitzen und infolgedessen zuverlässige Versuchsausführung gewährleisten.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß die nach vorstehenden Angaben gefertigten und geprüften Probekörper nur Festigkeitswerte liefern, welche den Zweck haben verschiedene Zemente untereinander zu vergleichen, oder die Gleichartigkeit des Produktes verschiedener Brände festzustellen. Es dürfen deshalb die gewonnenen Festigkeitszahlen keinesfalls als Unterlagen für Berechnungen benutzt werden, bei denen eine gewisse Mörtelfestigkeit gefordert wird. Die Probekörper werden unter Verwendung eines Sandes (Normalsand) hergestellt, der in der Praxis niemals benutzt wird und der für Bauzwecke auch ungeeignet ist. Außerdem ist der Wasserzusatz ein anderer, als der im Bauwesen gebräuchliche. Er muß für Bauwerke so hoch bemessen werden, daß der Mörtel kellengerecht wird. Das erfordert einen mehr als doppelt so großen Wasserzusatz wie in den Normen vorgesehen ist. Es lieferte z. B. ein Normalsandzementmörtel mit verschiedenen Wasserzusätzen im Alter der Probekörper von 28 Tagen folgende Festigkeitsergebnisse.

	Wasserzusatz:				
	9 % Normal- mörtel	10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> %	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> %	12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> %	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> % kellengerechter Mörtel
Zugfestigkeit in kg/qcm . . . .	28,0	27,2	24,0	17,6	13,7
Druckfestigkeit in kg/qcm . .	249	231	206	184	147

Die Differenz zwischen der Festigkeit des Normalmörtels und derjenigen des kellengerechten Mörtels beträgt somit bei Beanspruchung

auf Zug . . . 51 %,

auf Druck . . 41 %.

Wenn auch die Differenz in höherem Alter der Probekörper geringer wird, so bleibt sie dennoch sehr lange bestehen, und da die Mörtel im Bauwerke gewöhnlich bereits nach kurzer Zeit ihrer vollen Beanspruchung ausgesetzt werden, muß der Einfluß der Größe des Wasserzusatzes auf die Festigkeit genügend berücksichtigt werden.

Auch die Schnelligkeit der Erhärtung eines Zementes läßt auf die Güte des Fabrikates schließen. Manche Zemente weisen eine rasche

Anfangserhärtung auf, die Weitererhärtung hingegen geht sehr langsam vor sich oder bleibt sogar aus. Andere wieder zeigen geringe Anfangserhärtung und dann stetig fortschreitende Weitererhärtung. In richtiger Erkenntnis der Wichtigkeit des Erhärtungsvorganges schreiben die britischen Normen vom Jahre 1905 eine bestimmte Festigkeitszunahme für den Zement vor. Sie soll für reinen Zement vom 7.—28. Tage nicht weniger betragen als:

25 0/0,	wenn die Zugfestigkeit nach 7 Tagen zwischen 28,0 und 31,5 kg/qcm
20 "	" " " " " 7 " " " 31,5 " 35,0 "
15 "	" " " " " 7 " " " 35,0 " 38,5 "
10 "	" " " " " 7 " " " 38,5 " mehr "

betrug.

Nimmt dagegen die Festigkeit des Zementes innerhalb der Lagerzeit der Probekörper ab, dann liegt die Vermutung nahe, daß der Zement ein „Treiber“ ist, und es muß eine dahingehende Untersuchung angestellt werden.

#### § 242. Die Volumenbeständigkeit.

Nach den Normen soll Portlandzement volumenbeständig sein, d. h. ein aus ihm hergestellter Probekörper soll unverändert seine Form und Größe beibehalten, sowie den Zusammenhang seiner Teilchen bewahren.

Die Prüfung erfolgt durch Beobachtung dreier Kuchen aus Normalbrei (s. S. 357), die ebenso wie bei der Abbindeprobe auf Glasplatten ausgebreitet werden. Die Kuchen sollen 1,5—2 cm Dicke besitzen und nach den Rändern hin dünn auslaufen. Ihre Aufbewahrung erfolgt während der ersten 24 Stunden im bedeckten, mit feuchter Luft erfüllten Kasten. (Überdecken der Kuchen mit nassen Tüchern ist nicht zu empfehlen, da dieselben leicht Beschädigungen oder Anbacken der Kuchen veranlassen.) Hiernach werden sie in Wasser von 15—18° gelagert, und täglich wird ihr Zustand festgestellt. Nach 27 tägiger Wasserlagerung, also im Alter von 28 Tagen, werden sie von den Glasplatten abgezogen und eingehend, am besten mit einer Lupe untersucht. Zeigen die Kuchen leichte Verkrümmungen oder feine Kantenrisse, so ist dies ein Zeichen, daß der Zement Treibneigung besitzt, und man verlängere die Beobachtungsdauer. Ist der Kuchen aber bereits von Rissen kreuz und quer durchzogen und läßt sich aus den Rissen Zement in Pulverform herausheben, dann ist der Zement ein ausgesprochener Treiber und somit von der Verwendung auszuschließen. In der Regel zeigen sich die Treiberscheinungen bereits nach 3 Tagen, manchmal aber, besonders bei magnesiareichen Zementen,<sup>1)</sup> erst viel später (nach Jahren).

Ungedübte Beobachter halten oft die sogen. Schwindrisse für Treiberscheinungen. Schwindrisse treten während des Abbindens auf, wenn

<sup>1)</sup> Dyckerhoff, Protokoll des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten 1889, S. 24.

der Zementkuchen bei der Luftlagerung infolge Feuchtigkeitsmangel an der Oberfläche austrocknet. Sie sind jedoch von Treibrissen, welche erst während der Erhärtung entstehen, leicht zu unterscheiden, wenn man die Art und Weise ihrer Entstehung berücksichtigt. Treiben erfolgt von innen nach außen, während Schwindrisse sich nur an der Oberfläche der Probekörper bemerkbar machen. Treiberscheinungen müssen daher infolge der örtlichen Volumenvergrößerung ein Auseinandersprengen der Probekörper zur Folge haben. Schwindrisse dagegen können den Kuchen nicht vollständig durchdringen, weil der Kern des Kuchens gewöhnlich nicht so schnell austrocknet wie die Oberfläche. Schwindrisse treten gewöhnlich als Sternrisse und kreisförmige Risse auf, während Treibrisse den Kuchen in unregelmäßig verlaufenden, netzartigen Linien durchziehen (s. Fig. 363).

Frische Zemente neigen mehr zum Treiben als abgelagerte; daher werden in den Zementfabriken die Zemente vor dem Versand erst einige Wochen in Silos gelagert. Dort findet unter dem Einfluß der Luft eine Ablöschung des etwa noch im Zemente enthaltenen Ätzkalkes (vergl. Nachlöschen) unter Aufnahme von Wasser und Kohlensäure statt, die gewöhnlich von einem weiteren Zerfall der kleinsten Zementteilchen begleitet ist. Selbst ausgesprochene Treiber können durch mehrwöchentliche Lagerung, deren Einfluß man durch öfteres Umschaukeln unterstützt, verbessert werden.



Fig. 363.

Die Ursache der Treiberscheinungen ist außer auf die obenerwähnte verspätete Ablöschung des Kalkes infolge zu niedriger Brenntemperatur des Zementes auf die Anwesenheit von Magnesia oder einigen Schwefelverbindungen zurückzuführen, die durch Zersetzung, Oxydation oder Wasseraufnahme eine molekulare Raumvergrößerung erfahren und infolgedessen den bereits erhärteten Zementkuchen auseinander treiben.

Außer dem genannten Prüfungsverfahren auf Volumenbeständigkeit sind noch eine ganze Reihe anderer im Gebrauch, welche den Zweck verfolgen, schneller zu einem Ergebnis zu gelangen, als dies die Kuchenprobe gestattet. Es sind dies die sogen. beschleunigten Proben wie:

1. Die Darrprobe.
2. Die Dampfdarrprobe.
3. Die Heintzelsche Kugelglühprobe.

4. Die Michaelissche Kochprobe.
5. Die Maclaysche Heißwasserprobe.
6. Die Prüssingsche Preßkuchenprobe.
7. Die Erdmengersche Hochdruckdampfprobe.

Die Ausführung der Proben geschieht in folgender Weise.

#### 1. Die Darrprobe.

Aus Normal-Zementbrei stellt man auf absaugender Unterlage (z. B. gebrannten Dachziegeln, Gipsplatten oder dergl.) Kuchen her, die man nach dem Abbinden in einem Trockenschrank oder auf einer eisernen Platte während 3 Stunden einer Temperatur von 160—180° C. aussetzt. Durch diese Beanspruchung dürfen die Kuchen weder Verkrümmungen noch Kanten- oder Netzzrisse erhalten.

#### 2. Die Dampfdarrprobe.

Diese Probe unterscheidet sich von der ersteren dadurch, daß man die Probekuchen nicht trocken erhitzter Luft aussetzt, sondern durch Aufstellen eines Wassergefäßes im Trockenschrank die Luft mit Wasserdampf sättigt. Im Anfang des Versuchs schlägt sich der Wasserdampf auf dem kälteren Probekörper als Wasser nieder, später verdampft auch dieses wieder und der Probekörper ruht in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre. Die Dauer des Versuches muß ca. 4—5 Stunden betragen und am Probekörper dürfen sich während dieser Zeit weder Verkrümmungen noch Risse zeigen.

#### 3. Die Heintzelsche Kugelglühprobe.

Aus mäßig angefeuchtetem Zement formt man durch Kneten mit der Hand eine Kugel von ca. 5 cm Durchmesser, legt sie zum Absaugen der Feuchtigkeit etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde lang auf eine Gipsplatte und erhitzt sie alsdann auf einer Eisenblechplatte während 3 Stunden durch einen unter die Platte gestellten Bunsenbrenner. Zement mit Neigung zum Treiben erleidet durch diese Beanspruchung Treibrisse.

#### 4. Die Michaelissche Kochprobe.

Abgebundene, auf Glasplatten hergestellte Probekuchen werden in einem mit kaltem Wasser gefüllten Kochtopf 3 Stunden lang gekocht. Kuchen aus schlechtem Portlandzement zerfallen während des Kochens zu Brei, während gute klingend hart werden und Kuchen aus mittelmäßigem Material Verkrümmungen, sowie Netz- und Kantenrisse erhalten.

#### 5. Die Maclaysche Heißwasserprobe.

Für diese Probe werden 6 Kuchen angefertigt. Der erste Kuchen kommt sofort nach seiner Herstellung in einen mit Wasserdampf erfüllten Trockenschrank, wo er 3 Stunden lang einer Temperatur von ca. 90—95° ausgesetzt wird. Der zweite Kuchen wird nach erfolgtem Abbinden in den Trockenschrank gebracht, der dritte erst nach einer Luftlagerung,

deren Dauer gleich der doppelten Abbindezeit ist, und der vierte 24 Stunden nach erfolgtem Abbinden. Alle Kuchen verbleiben 3 Stunden lang im Dampfbad und werden hiernach sofort 24 Stunden lang in heißem Wasser gekocht.

Der fünfte Kuchen kommt nach dem Abbinden in Wasser von 15 bis 18° C. und der sechste in einen mit feuchter Luft erfüllten Behälter.

Bei den ersten 4 Kuchen kann die Beobachtung nach dem Kochen in heißem Wasser abgeschlossen werden. Die Kuchen dürfen keine Treiberscheinungen zeigen. Die Beobachtung des fünften und sechsten Kuchens erstreckt sich dagegen über 28 Tage.

#### 6. Die Prüssingsche Preßkuchenprobe.

Für diese Probe werden in einer dreiteiligen Metallform, die durch einen federnden Ring zusammengehalten wird, kreisrunde Kuchen von 8 cm Durchmesser und 5 cm Dicke durch Pressung hergestellt. Man setzt die Form auf eine starke, glatte, eiserne Platte, füllt den vorher mit ca. 5—7 % Wasser angemachten Zement ein und streicht die obere Fläche glatt. Hiernach setzt man einen genau passenden Preßstempel auf und preßt den feuchten Zement mit ca. 500 kg Druck in die Form ein.

Nach dem sofort stattfindenden Entformen wird der Kuchen 24 Stunden lang in feuchter Atmosphäre gelagert und dann unter Wasser gelegt. Ein zweiter Kuchen wird nach 24 stündiger Erhärtung 6 Stunden unter Wasser von 15—18° C. gelagert und hiernach in ein Bad von 90° Temperatur gelegt, wo er nach 24 Stunden aufs neue besichtigt wird und, falls er keine Veränderungen aufweist, 28 Tage lang verbleibt.

#### 7. Die Erdmengersche Hochdruckdampfprobe.

Diese Probe ähnelt der Dampfdarrprobe und unterscheidet sich von ihr dadurch, daß die Probekörper bei höherer Dampftemperatur unter Druck geprüft werden.

Man benutzt dazu einen Kessel von ca. 100 l Inhalt, der mit einer verschließbaren Öffnung nach Art der Mannlöcher an Dampfkesseln und mit 2 Manometern sowie einem auf bestimmten Druck einstellbaren Sicherheitsventil versehen ist. Die abgebundenen Probekörper (Zug- oder Druckprobekörper, Kuchen, Heintzelsche Kugeln oder dergl.) werden getrennt nach ihrem Ursprunge in Leinwandbeutel<sup>1)</sup> gefüllt und durch das Mannloch in den Kessel gebracht. Hierauf füllt man den Kessel (ca. 40 l) bis zur Höhe des Mannlochrandes mit Wasser, verschließt das Mannloch sorgfältig und heizt, bis das Manometer den gewünschten Druck (bis 30 Atm.) anzeigt. Je höher der Druck gewählt wird, desto früher zeigt sich die Wirkung bei Probekörpern aus minderwertigen Zementen. Für normale Versuche genügt ein Druck von 10 Atm. und eine Beanspruchungsdauer von 6 Stunden.

<sup>1)</sup> Die Anwendung von Jutebeuteln ist nicht angängig, die Probekörper werden darin fleckig.

Nach Versuchen des Königl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde, die es auf Antrag der vom Verein deutscher Portlandzement-Fabrikanten eingesetzten Kommission zur Klarstellung der Eignung der beschleunigten Volumenbeständigkeitsproben ausführte, ergab sich, daß keine der obengenannten ersten 6 Proben geeignet ist, ein in allen Fällen zutreffendes und schnelles Urteil über die Verwendbarkeit des Zementes in der Praxis zu gestatten.<sup>1)</sup> Von der Nachprüfung der Erdmengerschen Hochdruckdampfprobe wurde abgesehen, weil sie für die Praxis nicht geeignet erschien. Für die Versuche, die sich auf die Dauer von 4 Jahren erstreckten, wurden 10 Zemente benutzt, welche die Normenprobe bestanden, nach dem Ausfall der beschleunigten Proben aber hätten verworfen werden müssen. Sie wiesen nach, daß außer der obenerwähnten Unzuverlässigkeit der beschleunigten Proben der Einwand, die Normenprobe sei ungeeignet, wenn der Zement bei der Verwendung an der Luft erhärtet, nicht berechtigt ist, und daß in jedem Falle die Normenprobe als maßgebend beibehalten werden darf, bis es gelingt, eine Volumenbeständigkeitsprobe zu finden, welche die Prüfung zuverlässig in kürzerer Zeit gestattet, als diese.

Außer den Volumenänderungen, welchen der Zement durch Treiben unterworfen ist, erleidet er durch Temperaturzunahme oder Feuchtigkeitsaufnahme, ebenso wie jeder andere Körper, eine Ausdehnung. Die dadurch bewirkte Volumenvergrößerung ist aber selbst zusammengenommen mit der durch den Erhärtungsvorgang im Wasser bedingten gegenüber anderem Material sehr gering, so daß schon dadurch Zement für viele Anwendungsgebiete den Vorzug verdient. Die Ausdehnung des reinen Zementes ist größer als die des Zementmörtels, bei beiden Materialien aber großen Schwankungen unterworfen, die eine Gesetzmäßigkeit in dem Ausdehnungsvorgang nicht vermuten lassen. Am wichtigsten ist die Ausdehnung des Zementes infolge der Erhärtung; sie ist im Anfange am größten und im allgemeinen der Festigkeitszunahme angenähert proportional.

Zur Feststellung der Ausdehnung des Zementes durch den Erhärtungsvorgang kann der eigens für diesen Zweck konstruierte Bauschingersche Tasterapparat (s. § 166) benutzt werden.<sup>2)</sup> Als Probekörper dienen Parallelepipede von 10 cm Länge und 5 qcm Querschnitt, die aus Normalmörtel von Hand mittelst Spatels in einen metallenen Formkasten eingeschlagen werden. Der Formkasten ist von Zeit zu Zeit zu prüfen, ob seine Seitenwände unverändert sind, da sie beim Einschlagen verbogen werden und dadurch eine Querschnittsabweichung des Probekörpers veranlassen. Zur Schaffung einwandfreier Kontaktstellen am Probekörper werden an den

---

<sup>1)</sup> S. Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1899, Ergänzungsheft 1, ferner 1897, Heft 5, S. 229 und 1900 Heft 2 und Heft 5.

<sup>2)</sup> S. Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Technischen Hochschule in München, Heft VIII.

Enden Achatplättchen,<sup>1)</sup> welche Körnermarken besitzen, mittelst reinen Zementes angekittet. Besser ist, die Plättchen gleich mit einzuschlagen und zu ihrer richtigen Lagerung in den Formkästen Aussparungen anzubringen. Es empfiehlt sich, die Probekörper nicht zu zeitig, jedenfalls nicht vor Ablauf einer halben Stunde zu entformen. Sie sind alsdann in feuchter Luft oder unter Wasser aufzubewahren; nach jedesmaligem Ausmessen wird die Lagerung unter gleichen Verhältnissen fortgesetzt. Die Probekörper sind deutlich zu kennzeichnen, damit sie stets in gleicher Lage der Messung unterzogen werden können. Es genügt dazu die aus Fig. 364 ersichtliche Bezeichnung.

Bei der Messung legt man den Probekörper auf das Tischchen des Tasters, wobei die mit vorn bezeichnete Fläche stets dem Beschauer zugekehrt wird, setzt die Kontaktspitzen des Tasters in die Körner der Plättchen ein und führt die Messung aus. Da die Temperaturschwankungen bei den großen Abmessungen des Tasterbügels das Messungsergebnis wesentlich zu beeinträchtigen vermögen, muß vor jeder Messung die Raumtemperatur an dem Thermometer des Tasters abgelesen und mittelst des Endmaßes der Nullpunkt der Mikrometerschraube festgelegt werden. Kann später die Messung nicht bei derselben Temperatur erfolgen, dann muß die Ausdehnung des Körpers für das betreffende Temperaturintervall rechnerisch bestimmt und das Messungsergebnis korrigiert werden. Den

Ausdehnungskoeffizienten bestimme man sich selbst unter Benutzung des zu messenden Körpers, sowie des Endmaßes, indem man die

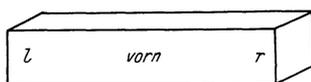


Fig. 364.

bekannten Länge des Endmaßes vergleicht, wobei jedoch darauf geachtet werden muß, daß sowohl der Probekörper als auch das Endmaß die Temperatur der Umgebung angenommen hat.<sup>2)</sup>

Wesentlich einfacher gestaltet sich die Prüfung mit dem Martenschen Apparat zur Messung der Raumänderungen des Zementes (Fig. 365). Er besitzt den Vorzug, daß mehrere Stäbe gleichzeitig beobachtet werden

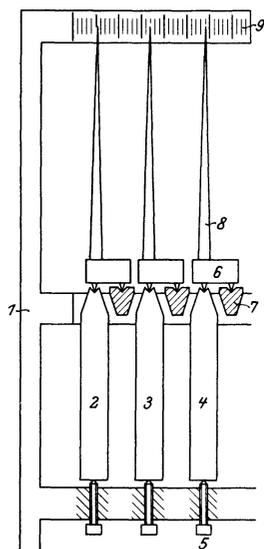


Fig. 365.

<sup>1)</sup> Die früher benutzten Metallplättchen sind wegen ihrer größeren Abnutzbarkeit unzweckmäßig; s. Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1903, S. 106.

<sup>2)</sup> Das Ausmessen des Endmaßes zur Feststellung seines Ausdehnungskoeffizienten kann mit dem Abbeschen Dickenmesser (s. § 168) erfolgen.

können, ohne daß man sie von ihrem Lagerorte entfernt oder bei Wasserlagerung aus der Flüssigkeit herausnimmt. Im wesentlichen besteht er aus einem eisernen Gestell 1, in welchen nebeneinander mehrere Probekörper 2, 3, 4 in vertikaler Lage eingesetzt werden. Am unteren Ende tragen die Körper ebenfalls Körnerplättchen für den Kontakt mit verstellbaren Spitzen 5 im Gestell und am oberen Ende sind sie mit einer Kimme versehen, in welcher die Schneide eines Messingklötzchens 6 aufsitzt;

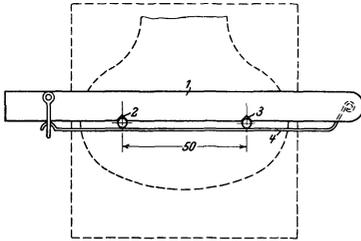


Fig. 366.

dieses ist mit einer zweiten Schneide versehen, die auf dem festen Querbalken 7 des Gestelles 1 ruht. Das Klötzchen ist ferner mit einem leichten Zeiger 8 ausgerüstet, der an einer ebenfalls am Gestell befestigten Skala 9 vorbeispielt. Da jeder Körper einen solchen Zeiger besitzt, kann die Ausdehnung aller Körper gleichzeitig abgelesen werden.

Eine weitere Methode zur Messung der Ausdehnung von Zement ist die mit dem Martensschen Dehnungsmesser.<sup>1)</sup> Es werden dazu in den Probekörper, an welchem die Ausdehnung bestimmt werden soll, mit Hilfe der in Fig. 366 abgebildeten Schablone zwei Stifte parallel zueinander in

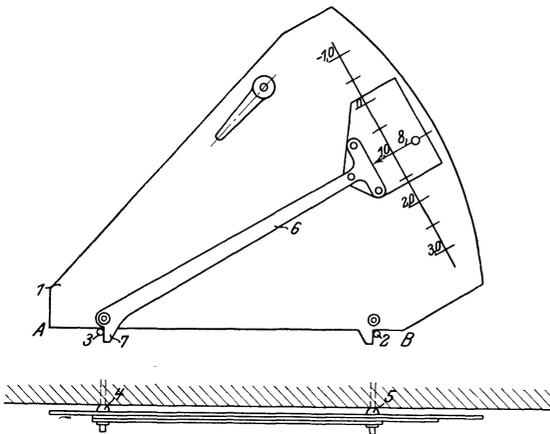


Fig. 367.

50 mm Entfernung eingedrückt. Die Schablone besteht aus einem Lineal 1, welches in 50 mm Abstand zwei Kerben 2 und 3 zur Aufnahme der zylindrischen Stifte gleichen Durchmessers besitzt, die durch eine Drahtfeder 4 in die Kerben gedrückt und auf diese Weise in ihrer gegenseitigen Lage gesichert werden. Drückt man mit dem Lineal die

Stifte in den noch weichen Probekörper bis zum Anliegen des Lineals ein, so ist man sicher, daß beide Stifte parallel stehen. Hiernach löst man vorsichtig die Feder und hebt das Lineal von den Stiften ab. Ist der Zement abgebunden, dann bestimmt man in gewissen Zeitabschnitten mit dem in

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde 1905, S. 203.

Fig. 367 abgebildeten Dehnungsmesser die Entfernungsänderung der Stifte, welche der Ausdehnung des Zementes entspricht.

Zur Messung wird das Stahlblech 1, auf welchem der Dehnungsmesser aufgebaut ist, mit der Kante  $AB$  auf die Stifte derartig aufgesetzt, daß der Stift 2 sich genau in den rechtwinkligen Ausschnitt des Bleches legt, während dieses mit seiner Rückenfläche auf der Probekörperfläche ruht. Auf dieser Rückenfläche sind aus praktischen Gründen die Stifte 4 und 5 als Kuppen ausgebildet, so daß die Berührungskante  $AB$  nicht an dem Fuß der in den Probekörper eingesteckten und mit ihm nach dem Erhärten des Zementes fest verbundenen Stifte anliegt, sondern etwas höher; denn an den Stiften wird der letzte Zementrest immer einen kleinen Wulst bilden, der das genaue Anliegen der Meßflächen hindern würde.

Beim Aufsetzen hebe man den Zeiger 6 in seine äußerste Lage bei  $-1,0$ , lege die Kante  $AB$  des Bleches auf den Stift 2 und 3, wobei Stift 3 dicht in dem Ausschnitt liegen muß, und lasse den Zeiger 6 bei leicht geneigter Lage des Probekörpers infolge seines Eigengewichtes vorsichtig nach unten sinken. Dadurch legt sich der Fortsatz 7 des Zeigers an den Stift 3 an und der Zeiger weist mit seiner Strichmarke 8, die auf einem durchsichtigen Glimmerplättchen angebracht ist, auf einen Strich der auf dem Blech befindlichen Teilung. (Ablesung auf der Mittellinie der Teilung.) Vor der Ablesung klopfe man zur Erschütterung des Instrumentes leicht mit dem Finger an den Probekörper, wodurch etwa vorhandene Lose in den beweglichen Teilen ausgeglichen wird. Der Maßstab des Instrumentes ist in Millimeter geteilt, so daß bei dem Übersetzungsverhältnis  $1:20$  des Zeigers ein Ausschlag von 10 mm einer wirklichen Entfernungsänderung der Stifte von 0,5 mm entspricht. Die Bezifferung der Teilung ist dementsprechend gewählt, so daß bei jeder Zeigerstellung die entsprechende Abweichung der Stiftentfernung von der ehemaligen, 50 mm betragenden Meßstrecke abgelesen werden kann. Man messe jedesmal von beiden Seiten der Stifte und nehme aus beiden Ablesungen das Mittel.

Ein sehr einfaches Verfahren (von Le Chatelier) zur Ermittlung der Volumenbeständigkeit des Zementes geben, unter völligem Verzicht auf die deutsche Kuchenprobe, die britischen Normen an. Sie schreiben vor, daß der Zement nach 24 stündiger bzw. 7 tägiger Lagerung an der Luft keinesfalls mehr als 12 bzw. 6 mm Ausdehnung (gemessen an den Spitzen des Apparates Fig. 368) aufweisen darf. Der zur Ausführung des Le Chatelierschen Versuches dienende Apparat ist in Fig. 368 dar-

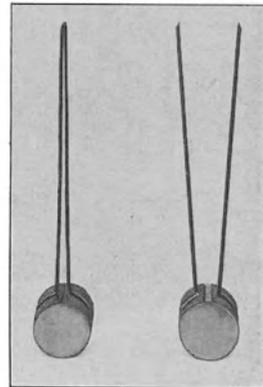


Fig. 368.

gestellt. Er besteht aus einem kleinen aufgeschlitzten Zylinder von 30 mm Länge und 30 mm Durchmesser, der aus 0,5 mm dickem Messingblech oder einem anderen geeigneten Material gefertigt ist. An beiden Seiten des Schlitzes sind Zeiger mit Spitzen angebracht. Die Entfernung der Spitzen von der Zylindermitte beträgt 175 mm.

Zur Ausführung des Versuches wird der Zylinder vertikal auf eine Glasplatte gestellt und mit Zementbrei gefüllt, wobei darauf zu achten ist, daß der Zylinder sich nicht aufbiegt. Dies kann durch Zusammenhalten der unteren Zeigerenden mittelst eines übergeschobenen Ringes bewirkt werden. Die Form wird alsdann mit einer zweiten Glasplatte bedeckt, genügend beschwert, sofort unter Wasser von 14—18° getaucht und darin 24 Stunden lang aufbewahrt. Hiernach wird der Ring von den Zeigern abgezogen, die Entfernung der Spitzen gemessen und die Form mit dem inzwischen abgebundenen Probekörper in kaltes Wasser gebracht, das innerhalb 15—30 Minuten zum Sieden erhitzt und 6 Stunden lang in diesem Zustande erhalten wird. Die Entfernung der Zeigerspitzen wird alsdann wieder gemessen, wobei der Unterschied zwischen dem ersten Messungsergebnis die Ausdehnung des Zementes darstellt.

#### § 243. Die Frostbeständigkeit.

Guter Portlandzement ist nach erfolgtem Abbinden als völlig frostbeständig zu bezeichnen. Nur während des Abbindens kann Frost schädlich wirken, weil das gefrierende Wasser die einzelnen Mörtelteilchen auseinander treibt, so daß sie beim Auftauen nicht mehr genügend verbunden sind. Es tritt dies besonders bei kellengerechtem Mörtel ein, der viel Wasser enthält. Trockenem Mörtel schadet der Frost weniger; es wird der Abbindeprozeß nur wegen des im gefrorenen Zustande nicht chemisch wirksamen Wassers verzögert. Das Abbinden erfolgt langsamer, und auch die Erhärtung schreitet nicht so schnell vorwärts, wie im normalen Zustande. Zur Erniedrigung des Gefrierpunktes des Wassers setzt man in kalten Gegenden, wo oft bei Kälte gearbeitet werden muß, dem Mörtelwasser Salz zu. Es ist dies nicht gerade schädlich, aber es bewirkt häßlich aussehende Auswitterungen an den Bauausführungen. Besser ist, das Wasser und den Sand anzuwärmen und möglichst wenig Wasser anzuwenden, damit kein freies Wasser vorhanden ist, welches die obenerwähnte, sprengende Wirkung äußert.

Zahlenmäßig wird der Einfluß des Frostes durch Festigkeitsversuche mit Probekörpern ermittelt, die vor ihrer Prüfung nach erfolgtem Abbinden einer mehrmaligen Frostbeanspruchung ausgesetzt werden. Die Probekörper werden entweder im trockenen oder wassersatten Zustande durch kalte Luft beansprucht und nach gehörigem Durchfrieren in Luft oder Wasser von etwa 15—20° wieder aufgetaut. Bei dieser Beanspruchung dürfen sie weder Abblätterungen noch Risse oder sonstige Zerstörungen erleiden.

Wichtig ist bei diesen Versuchen, dass die Probekörper auch vollständig durchfrieren. Oft sind sie nur äußerlich gefroren, so daß die inneren Teile keine Frostbeanspruchung erleiden. Es ist deshalb erforderlich, die verwendeten Frostzeuger auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. Man tut dies dadurch, daß man einen Probekörper von den größten Dimensionen, die zur Verwendung gelangen sollen, mit einer feinen Bohrung versieht und in dieselbe ein Thermoelement (s. S. 297) einbettet. Die verbleibende Öffnung wird sorgfältig mit Wachs verschlossen. Den Probekörper setzt man in die Gefriervorrichtung ein

und stellt die Zeit fest, welche erforderlich ist, um das Innere des Körpers bis auf die gewünschte Temperatur abzukühlen. Es darf sich aber nicht der mit dem Thermoelement versehene Körper allein in der Gefriervorrichtung befinden, sondern es müssen neben ihm so viele Körper eingesetzt werden, als später beansprucht werden sollen. Dies ist deshalb nötig, weil einem einzelnen Körper schneller die gesamte Wärme entzogen wird, als mehreren. Gut eingerichtete Prüfstellen haben maschinell betriebene Gefriervorrichtungen.

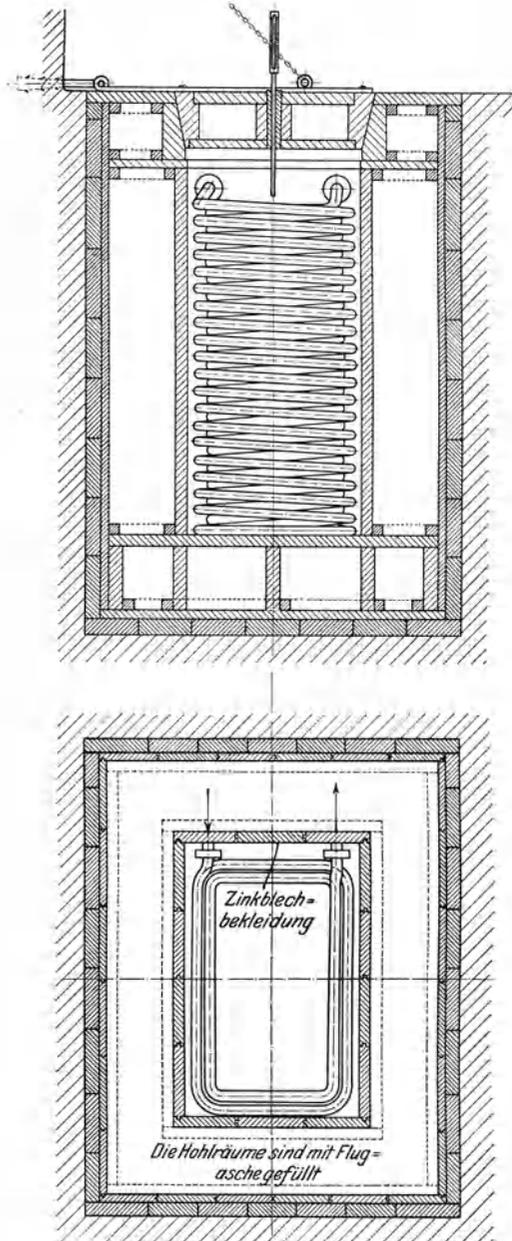


Fig. 369.

Für die Dresdner Versuchsanstalt konstruierte Verfasser einen unter dem Fußboden des Raumes angeordneten Gefrierschacht, dessen Einzelheiten aus Fig. 369 ersichtlich sind. Die Kühlung wird durch eine Kühlschlange mittelst Kohlensäure erzeugt, die durch einen Kohlensäurekompressor verdichtet wird. Bei einer Beschickung des Schachtes mit 100 wasser-satten Zementprobekörpern konnte innerhalb von  $2\frac{1}{2}$  Stunden die Temperatur von  $+10^{\circ}$  bis auf  $-30^{\circ}$  erniedrigt werden. Die Temperatur stieg hiernach bei stillstehendem Kompressor innerhalb 12 Stunden um ca.  $20^{\circ}$ . Zur Kontrolle der Temperatur ist der Gefrierschacht mit entsprechenden Meßvorrichtungen versehen. Damit die kalte Luft die Probekörper allseitig bestreichen kann, werden sie auf Holzrosten in einem eisernen Gestell gelagert, mit dem sie nach der Frostbeanspruchung gemeinsam aus dem Schachte gehoben und entweder in den daneben angeordneten Auftauschacht, der mit Wasser gefüllt ist, gesenkt oder an der Luft zum Auftauen gelagert werden.

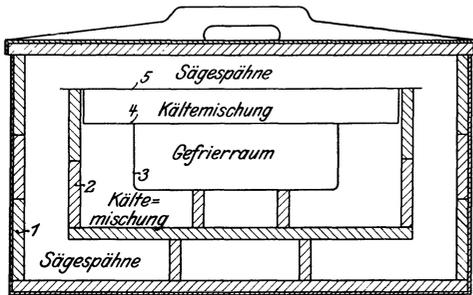


Fig. 370.

Sind keine maschinell betriebenen Einrichtungen vorhanden, so kann als Frost-erzeugungseinrichtung der Belelubskysche Frostkasten benutzt werden. Er besteht, wie Fig. 370 zeigt, aus einem hölzernen, außen mit Filz bekleideten Kasten 1, in welchen noch zwei ineinandergestellte Kästen 2

und 3 gesetzt werden. Der mittlere Kasten 2 ist auch aus Holz und innen mit Eisenblech bekleidet, der innere 3 ist dagegen aus Zinkblech hergestellt. Als Abdeckung des Kastens 3 dient der Blechkasten 4 mit einem aus Eisenblech bestehenden Deckel 5. In den inneren Kasten 3 werden die Probekörper gebracht; der Zwischenraum zwischen ihm und dem Kasten 2 wird mit einer Kältemischung, z. B. 1 Gewichtsteil Kochsalz und 3 Gewichtsteile fein zerkleinertes Eis, gefüllt. Hiernach wird der Kasten 4 eingesetzt, ebenfalls mit der Kältemischung gefüllt und mit dem Bleche 5 abgedeckt. Der Raum zwischen Kasten 2 und 1 enthält trockene Sägespäne, und zur Isolierung nach oben wird auch das Deckelblech 5 mit Sägespänen überschüttet und dann der Holzdeckel des Kastens 1 geschlossen.

Die niedrigste Temperatur, welche mit diesem Frostkasten erzeugt werden kann, beträgt entsprechend der Kältemischung  $-10^{\circ}$  bis  $-15^{\circ}$ . Hinsichtlich der Temperaturmessung gilt das weiter oben bei den maschinellen Kälteerzeugungsanlagen Erwähnte. In Ermangelung eines Thermoelementes leistet ein Minimumthermometer zur Kontrolle der tiefsten Temperatur gute Dienste. Sehr wichtig bleibt auch hierbei, sich von der Wirksamkeit der Kälteerzeugungs-vorrichtung durch Sonderversuche zu überzeugen.

### § 244. Die Wetterbeständigkeit.

Während von reinem Zement wegen des Auftretens von Schwind- und Haarrissen, die den Eintritt von Wasser gestatten, keine weitgehende Wetterbeständigkeit erwartet werden darf, muß Zementmörtel völlig wetterbeständig sein. Durch den Sandzusatz wird nämlich die Eigenschaft des Schwindens des Zementes während des Abbinde- und Erhärtungsprozesses wesentlich herabgemindert. Schon bei dem Mischungsverhältnis von 1 Gewichtsteil Zement und 1 Gewichtsteil Sand schwindet guter und richtig hergestellter Mörtel nicht mehr.

Zur Feststellung der Wetterbeständigkeit<sup>1)</sup> empfiehlt Verfasser folgendes Verfahren. Auf einhalb Steinstarke Mauerwerkskörper von etwa  $60 \times 60$  cm Fläche wird ein  $1\frac{1}{2}$  cm dicker Zementputz in dem beabsichtigten Mischungsverhältnisse aufgetragen. Nach dem Abbinden des Zementes wird die Putzfläche während 3 Stunden der direkten Sonnenbestrahlung oder der Wärmebestrahlung durch einen Gasofen mit Reflektor ausgesetzt. Hiernach wird die Fläche in einem Kälteschachte durch Frost beansprucht.

Hat der Putz nach fünfmaliger Wiederholung dieser Beanspruchung keine Beschädigung erfahren, dann wird der Mauerwerkskörper mit der Putzfläche 24 Stunden lang in eine flache Wasserschale gelegt und dem Putz auf diese Weise Gelegenheit gegeben, Wasser aufzunehmen. Die Eintauchtiefe darf dabei 5 mm nicht überschreiten. Hierauf setzt man den Putz in gleicher Weise wie vorher einer mehrstündigen Frostbeanspruchung aus; taut ihn an warmer Luft auf, legt ihn wieder in Wasser und wiederholt den Versuch etwa 15 mal.

Bei minderwertigem Zement treten bald Abblätterungen des Putzes auf; auch Abspringen ganzer Putzflächenteile ist zu beobachten. Übersteht der Putz diese Probe, dann darf er als wetterbeständig angesprochen werden.

### § 245. Wasserdichtigkeit.<sup>2)</sup>

Nach Versuchen von R. Dyckerhoff ist eine 1,5 cm starke Mörtelschicht aus 1 Teil Zement und 1 Teil Sand sofort nach der Herstellung völlig

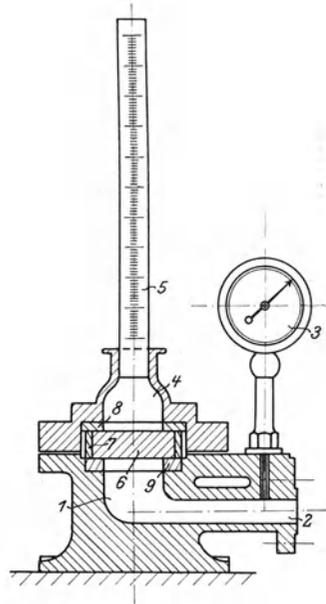


Fig. 371.

<sup>1)</sup> Das Verfahren eignet sich auch zur Prüfung von Putzmassen, wie Terranovaputz, Reformputz usw.

<sup>2)</sup> S. a. § 281.

wasserdicht. Erhöht man den Sandzusatz, so nimmt die Wasserdichtigkeit ab, und zwar um so mehr, je gröber der verwendete Sand ist. Wenn auch Prüfungen auf Wasserdichtigkeit verhältnismäßig selten vorkommen, so sind sie doch notwendig, da die Verwendung des Zementes für den Bau von Wasserbehältern Wasserdichtigkeit erfordert.

Ein sehr einfacher Apparat von Tetmajer zur Bestimmung der Wasserdichtigkeit ist in Fig. 371 dargestellt. Er besteht aus einem gußeisernen Gehäuse 1, welches mit dem Rohrstutzen 2, der mit Manometer 3

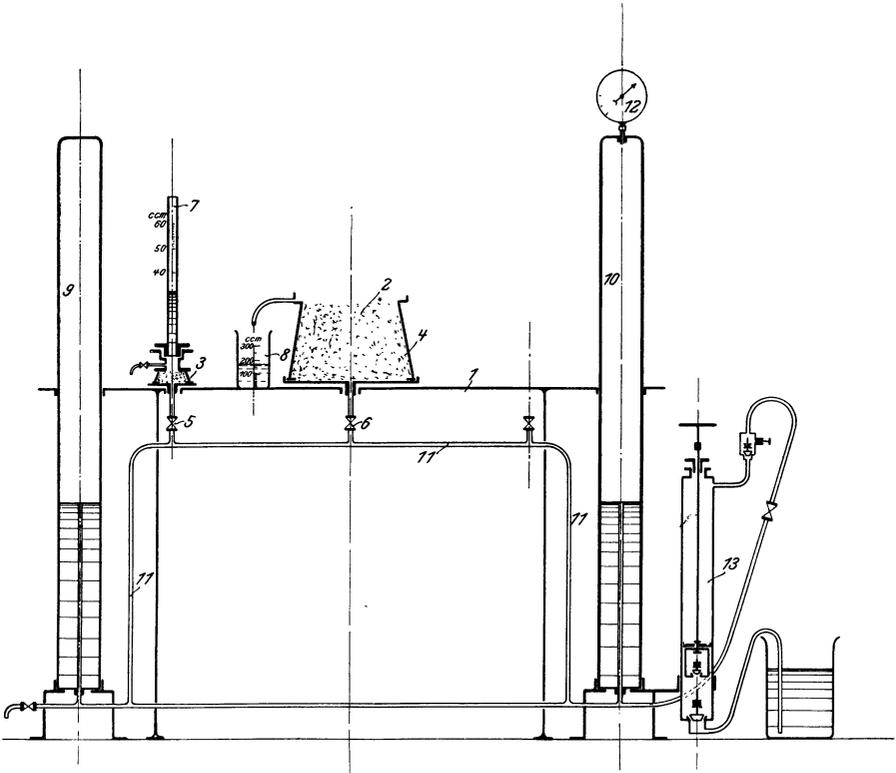


Fig. 372.

versehen ist, an die Wasserleitung oder eine andere Druckwasseranlage angeschlossen wird, und dem Oberteil 4 mit Meßröhre 5. In das Gehäuse wird ein wassergesättigter Zementkuchen 6, der in einem Metallring 7 von 72 mm Durchmesser und 20 mm Höhe eingeschlagen wurde, nach entsprechender Erhärtung eingesetzt und unter Zwischenschaltung von Gummiringen 8 und 9 mit Schrauben zwischen Deckel und Gehäuse geklemmt. Der freie Kuchenquerschnitt beträgt hiernach 40 qcm. Öffnet man bei gleichzeitiger Entlüftung des unter dem Zementkuchen befindlichen Hohlraumes den Wasserzulußhahn und füllt über den Zementkuchen in die Röhre Wasser bis zu einer bestimmten Marke ein, so steigt bei Wasser-

durchlässigkeit infolge des Überdruckes das Wasser in der Röhre oder behält bei Wasserdichtigkeit sein anfängliches Niveau bei. Die Wasserdurchlässigkeit wird ausgedrückt durch die Wassermenge, welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit des Probekuchens tritt.

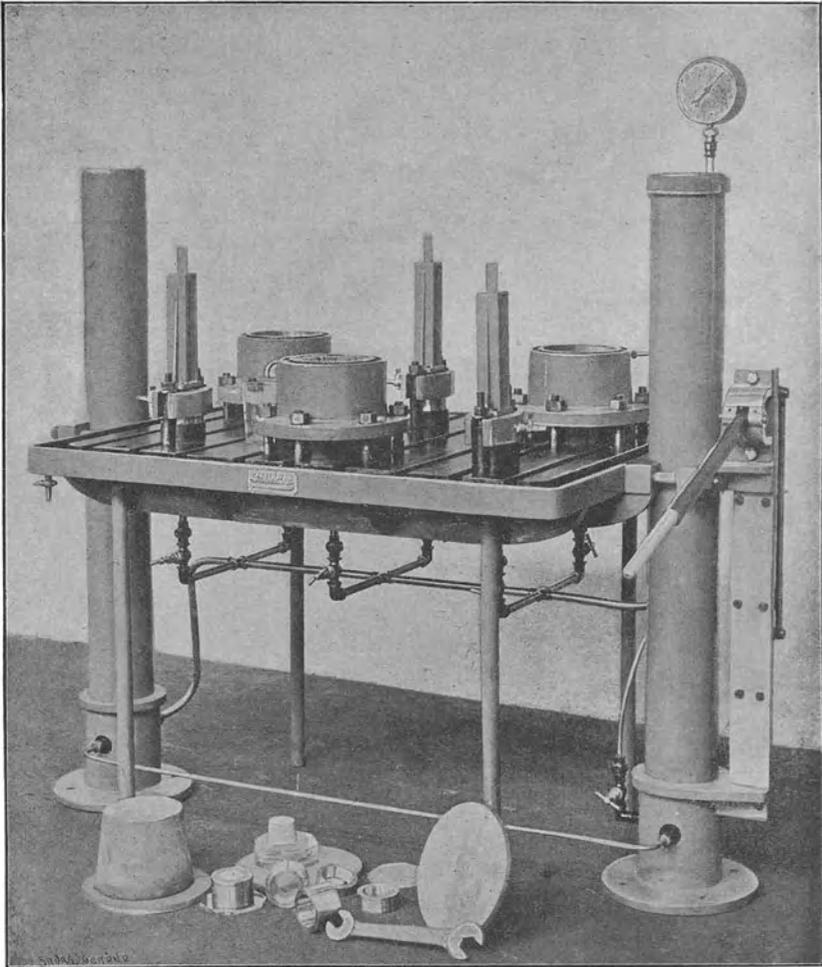


Fig. 373.

Ein auf demselben Grundsatz beruhender Apparat zur Bestimmung der Wasserdichtigkeit ist der Wasserdurchlässigkeitsapparat von Amsler-Laffon & Sohn, der schematisch in Fig. 372 und dessen Ausführungsform in Fig. 373 dargestellt ist.

Auf dem Tisch 1 sind die mit dem abgebundenen Bindemittel 2 gefüllten Formen 3 und 4 befestigt. Das Druckwasser wird von unten

durch die Hähne 5, 6 in die Formen gepreßt. Das durchgedrungene Wasser sammelt sich bei der kleinen Form 3 oberhalb der Form in dem Glasrohr 7, bei der großen Form 4 in einer Rinne und fließt durch ein Röhrchen in den eingeteilten Glasbecher 8. Das Wasser ist im unteren Teil der beiden säulenartigen Stahlflaschen 9 und 10, an welchen der Tisch 1 befestigt ist, enthalten. Die im oberen Teil der Flaschen enthaltene komprimierte Luft hat das Bestreben, das Wasser durch die Rohrleitung 11 nach den Formen 3 und 4 zu drücken. Die Luftspannung, ablesbar an dem Manometer 12, wird erreicht durch Einpumpen oder Ablassen von Luft. Zum Einpumpen von Luft und Wasser wird die einfach wirkende Handpumpe 13 benützt.

Andere Apparate sind beschrieben in den Mitteilungen aus den Königl. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1893 und in Büsing & Schumann, Der Portlandzement. Berlin 1905.

#### § 246. Prüfung auf Reinheit des Zementes.

Zement aus dem Handel bezogen, ist nicht immer rein. Es werden z. B. rasch bindende Zemente durch Gipszusatz langsamer bindend gemacht, oder es werden in gewinnstüchtiger Absicht Hochofenschlacke, Kalkstein, Tonschiefer, Asche, Sand u. dergl. zugesetzt. In einigen Fällen lassen sich diese Beimengungen durch quantitative chemische Analyse feststellen: in anderen dagegen versagt diese Methode, weil z. B. Mischungen aus Portlandzement und Schlackenmehl Analysenzahlen (s. S. 349) liefern können, die guten Portlandzementen eigen sind.

Schon aus dem spezifischen Gewichte lassen sich gewisse Schlüsse auf die Reinheit des Zementes ziehen; findet man nämlich das spezifische Gewicht im geglühten Zustande (s. S. 353) niedriger als 3,125, so ist der Zement dringend verdächtig, vermischt zu sein.

Ein oberflächlicher Nachweis, ob Beimengungen vorhanden sind, kann dadurch erbracht werden, daß man 3 g des Zementes in einem Becherglase mit 50 ccm verdünnter Salzsäure (1 Raumteil reine Salzsäure von 1,12 spezifischem Gewicht und 4 Raumteile Wasser) durch Umrühren mit einem Glasstabe behandelt.<sup>1)</sup> Bei reinem, unverfälschtem Zemente färbt sich die Flüssigkeit gelb, ohne daß sonst auffallende Erscheinungen eintreten. Findet bei der Vereinigung des Zementes mit der Säure sofort lebhaftes Aufbrausen statt, so deutet dies auf Beimengung von kohlen-saurem Kalk oder hydraulischem Kalk, der beim Lagern rasch Kohlensäure aufnimmt, hin. Schwaches, bald wieder verschwindendes Aufbrausen dagegen ist ohne Bedeutung und rührt von der bei längerer Lagerung aufgenommenen Kohlensäure her. Macht sich aber ein starker, anhaltender Geruch nach Schwefelwasserstoff bemerkbar, der bei wiederholtem Umrühren erneut auftritt, und wird die Flüssigkeit gleichzeitig entfärbt und milchig

<sup>1)</sup> Büsing & Schumann, Der Portlandzement usw., Berlin 1905, S. 51.

getrübt (ausgeschiedener Schwefel), so läßt dies auf einen Zusatz von Hochofenschlacke schließen. Reiner Portlandzement enthält nur höchst geringe Mengen von Schwefelverbindungen, während Hochofenschlacke deren bis zu 2 0/0 und mehr enthält. Dieser hohe Schwefelgehalt ruft die beschriebenen Erscheinungen hervor.

Ferner kann man derart verfahren, daß man den Zement auf dem 5000 Maschensiebe absiebt (s. § 231) und den Siebrückstand unter dem Mikroskop oder mit der Lupe untersucht. Bei gut gebranntem, reinem Portlandzement besteht der Rückstand aus fast gleichmäßig gefärbten, schwärzlich-grünen Körnern, während sich bei vermischten Zementen eine beträchtliche Menge heller Körnchen erkennen läßt. Übergießt man den Siebrückstand mit verdünnter Salzsäure (1 : 4) und beobachtet man hierbei, daß die hellen Körner unter Aufbrausen Kohlensäure entwickeln, so ist die Verfälschung mit kohlen-saurem Kalk bewiesen, da die größeren Zementteile niemals Kohlensäure enthalten. Durch eine Gewichtsbestimmung der Kohlensäure im Zement kann dann der Gehalt an kohlen-saurem Kalk berechnet werden.

$$(CO_2 \cdot 2,273 = C_a CO_3.)$$

Enthält der Rückstand weißliche Körnchen, die mit Salzsäure starken Geruch nach Schwefelwasserstoff entwickeln, so liegt jedenfalls eine Vermischung mit Schlackenmehl vor, welche durch die in § 247 angegebene Prüfung nachzuweisen ist.

### § 247. Die Schwebeanalyse.

Als bisher zuverlässigstes Mittel zum Nachweise von Hochofenschlacke im Zemente dient die Schwebeanalyse in Verbindung mit der chemischen Analyse. Das neueste, im Königl. Materialprüfungsamte Großlichterfelde ausgearbeitete Verfahren wird von Gary in den Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamte 1905, Heft 1 wie folgt beschrieben:

Ist dargetan, daß der Zement mit Wahrscheinlichkeit freie Schlacke enthält, so werden etwa 500 g des Zementes auf einem Siebe von 10000 Maschen für 1 qcm abgesiebt. Im allgemeinen werden dabei etwa 30 0/0, also etwa 150 g Rückstand erhalten. Dieser Siebrückstand wird mit dem Magneten vom metallischen Eisen befreit, dann mit Alkohol und Äther zur Entfernung der anhaftenden staubfeinen Teilchen gewaschen und im Dampftrockenschrank getrocknet. 60 g dieses Grieses werden in einem gläsernen Scheideapparat (s. Fig. 374) von etwa 150 ccm Inhalt mit Methylenjodid-Terpentin vom spezifischen Gewicht 3,0 gründlich auf-

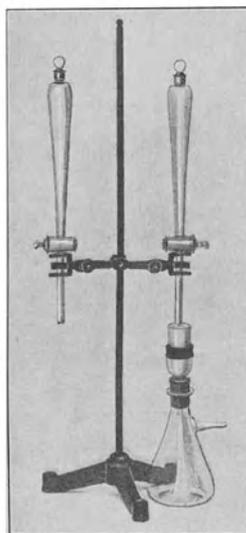


Fig. 374.

geschüttelt und so lange sich selbst überlassen, bis eine glatte Trennung erfolgt ist. Durch Abfiltrieren der Flüssigkeit werden dann die schweren und leichten Anteile gesondert gewonnen. Um sicher zu gehen, daß nicht die schwereren Anteile noch Schlacke, die leichteren noch Klinkerbestandteile enthalten, werden beide Teile noch jeder für sich mit einer leichteren bzw. schwereren Scheideflüssigkeit in der gleichen Weise, wie oben beschrieben, behandelt. Wie das spezifische Gewicht dieser Flüssigkeit im einzelnen gewählt werden muß, läßt sich nicht allgemein vorweg bestimmen. Übung und Erfahrung in der Beobachtung der Art der Absonderung beim ersten Trennversuch müssen den richtigen Weg weisen. Hat man es mit schwerem Klinker und schwerer Schlacke zu tun, so wird bei der Trennung mit der Scheideflüssigkeit vom spezifischen Gewicht 3,0 der Grieß sich mehr in der unteren Hälfte des Apparates halten, bei leichterem Klinker und leichter Schlacke wird das Umgekehrte eintreten. Am schnellsten wird eine glatte und richtige Trennung erzielt, wenn sehr schwerer Klinker und sehr leichte Schlacke vorliegen. Am schwierigsten gestaltet sich die Sachlage, wenn verhältnismäßig leichter Klinker mit schwerer Schlacke vermischt worden ist, weil die Trennung naturgemäß um so schwieriger vor sich geht, je näher die spezifischen Gewichte der zu trennenden Körper aneinanderliegen. Im allgemeinen kann als Regel angegeben werden, daß die schweren Grießanteile noch mit Methylenjodidmischung vom spezifischen Gewicht 3,04—3,10 je nach der Lage der Sache nachbehandelt werden müssen, die leichten ebenso mit Scheideflüssigkeit vom spezifischen Gewicht 2,96—2,90; jedoch kommen auch Ausnahmen vor.

Die so erhaltenen schwersten und leichten Anteile und der Zement im Anlieferungszustande werden nun auf Glühverlust, Kieselsäure, Kalk, Unlösliches (Sand) und Sulfidschwefel untersucht. Die Schwefelbestimmung wird in folgender Weise ausgeführt: In 4 g Substanz wird die Schwefelsäure in üblicher Weise als schwefelsaurer Baryt bestimmt. Weitere 4 g werden mit Bromwasser und Bromsalzsäure oxydiert, wodurch der Sulfidschwefel in Schwefelsäure übergeführt wird. Alsdann wird durch Chlorbarium die gesamte Schwefelsäure — die bereits vorhandene wie auch die durch Oxydation gebildete — als Bariumsulfat ausgefällt. Aus der Differenz der beiden durch Analyse gefundenen Schwefelsäuremengen ergibt sich der als Sulfid vorhandene Schwefel. Der Gehalt an Sulfidschwefel in der Schlacke, den Klinkern und dem Gemisch wird der Berechnung des Schlackengehaltes des Gemisches zugrunde gelegt und die Rechnung wie folgt durchgeführt.

Enthalten: die Schlacke, frei von Kohlensäure, Wasser und in Salzsäure unlöslichem Rückstand  $a\%$  Sulfidschwefel, die Klinkeranteile  $b\%$  Sulfidschwefel, der Mischzement  $c\%$  Sulfidschwefel, so berechnet sich der Gehalt  $x$  des Mischzementes an Hochofenschlacke nach der Gleichung:

$$x = 100 \cdot \frac{c - b}{a - b}.$$

Bezeichnet  $y$  den Gehalt des Mischzementes an Klinkerteilen, so ist

$$y = 100 - x.$$

Die Ableitung ist die folgende:

$$x + y = 100,$$

$$\frac{x \cdot a}{100} + \frac{y \cdot b}{100} = c,$$

$$\frac{x \cdot a}{100} + \frac{(100 - x) \cdot b}{100} = c,$$

$$\frac{x \cdot a + 100 \cdot b - x \cdot b}{100} = c,$$

$$x = 100 \cdot \frac{c - b}{a - b}.$$

Hatte der Mischzement . . . . .	0,9 0/0 (c)	} Sulfidschwefel
„ „ Schlackengrieß . . . . .	2,8 „ (a)	
„ „ Klinkergrieß . . . . .	0,2 „ (b)	

(bezogen auf den kohlen säure-, wasser- und rückstandsfreien Zustand), so ist

$$x = 100 \cdot \frac{0,9 - 0,2}{2,8 - 0,2} = \frac{70}{2,6} = 27 \text{ 0/0}.$$

Es berechnen sich also 27 0/0 freie Hochofenschlacke; bezogen auf den ganzen Zement einschließlich Kohlen säure, Wasser und Rückstand, die zu bestimmen sind, ergibt sich entsprechend weniger.

## B. Luftkalk.

### § 248. Begriffsfeststellung und allgemeine Eigenschaften der Luftkalke.

Luftkalke sind durch Brennen von Kalksteinen (kohlen saurem Kalk) gewonnene Erzeugnisse, die im Gegensatz zu den sogen. Wasser- oder hydraulischen Kalken nur an der Luft durch Kohlen säureaufnahme von außen nach innen erhärten. Beim Ablöschen erfahren sie infolge der Wasserbindung, die eine veränderte Molargruppierung bedingt, unter erheblicher Wärmeentwicklung<sup>1)</sup> eine Raumvergrößerung (Gedeihen, Ergiebigkeit), die abhängig ist von der mehr oder minder großen Reinheit des Kalkes. Reine Kalke, d. s. solche, die mindestens 90 0/0 Ätzkalk enthalten und beim Ablöschen zu einem feinen, mehrlartigen Pulver zerfallen oder beim Naßlöschen einen weichen, speckigen Brei ergeben, heißen Fett-, Speck- oder Weißkalke. Andere dagegen mit 15—30 0/0 fremden Bestandteilen (Tonerde, Eisenoxyd, Magnesia) liefern beim Trocknölöschen ein mehr oder weniger körniges Pulver und beim Naßlöschen einen sich sandig anführenden Brei. Da sie beim Ablöschen wenig ergiebig sind,

<sup>1)</sup> 1 kg reines  $CaO$ , mit Wasser zu  $Ca(OH)_2$  gelöst, 277 Kalorien.

also eine verhältnismäßig geringe Raumvergrößerung erfahren, werden sie Magerkalke genannt.

An dieser Stelle ist der irr tümlichen Auffassung entgegenzutreten, daß Magerkalke stets „hydraulische“, also Wasserkalke seien. Es kann ein Kalk sehr wohl mager sein, wie es in der Regel die Dolomitzkalk sind, er braucht aber darum noch nicht hydraulische Eigenschaften zu besitzen. Manche Magerkalke, die ihrer Natur nach Luftkalke sind, erhärten wohl manchmal im Wasser weiter, sie dürfen aber trotzdem noch nicht als Wasserkalke bezeichnet werden. Von Mörteln aus Wasserkalken darf man verlangen, daß sie nach dreitägiger Lufterhärtung unter Wasser nicht aufgelöst werden, sondern an Festigkeit mehr zunehmen, als bei reiner Lufterhärtung. Solche teilweise hydraulische Eigenschaften weisen aber auch manche Luftkalke auf; deshalb ist eine strengere Scheidung der Luftkalke von den Wasserkalken anzustreben. Verfasser möchte solche Kalke, deren Mörtel nach dreitägiger Lufterhärtung unter Wasser eine weitere ständige Festigkeitszunahme erfahren, als „Wasserkalke“ und die anderen als „Luftkalke“ bezeichnet wissen.

#### § 249. Das Löschen des Kalkes.

Vor der Verarbeitung zu Mörtel muß jeder Kalk gelöscht werden, d. h. er muß mit so viel Wasser getränkt werden, als zur vollständigen Umbildung des Ätzkalkes zu Kalkhydrat erforderlich ist. Da gebrannter Stückkalk sehr porös ist, saugt er begierig Wasser auf. Infolge des Entweichens der in den Poren eingeschlossenen Luft entsteht dabei ein zischendes Geräusch, welches aufhört, sobald die Wassersättigung vollzogen ist. Bei manchen Kalken beginnt sofort die chemische Bindung des Wassers, bei anderen dagegen erst nach mehreren Minuten. Begleitet ist die chemische Reaktion von Wärmeerzeugung, die starke Verdampfung des aufgesaugten Wassers veranlaßt; die Kalkstücke zerfallen dabei zu einem mehr oder minder feinen Pulver, das völlig rein ist oder steinartige Beimengungen enthält. Bei weiterem Wasserzusatz geht das Pulver in einen Brei über, den man „Kalkbrei“ nennt.

Die Wassermenge, welche zum vollständigen Ablöschen des gebrannten Kalkes notwendig ist, richtet sich nach der Art des Kalkes. (Bei der Bildung von trockenem Kalkhydrat verbinden sich 56 Gewichtsteile Kalkerde (chemisch rein) mit 18 Gewichtsteilen Wasser.) Der Löschwasseranspruch der Wasserkalke entspricht etwa demjenigen der Magerkalke. Gibt man dem Kalke weniger Wasser, als er zu binden vermag, so „verbrennt“ er; es entsteht ein sandartiges Pulver oder ein körniger Brei. Jenes kann durch weitere Wasserzugabe nicht mehr zum Zerfallen gebracht werden, und dieser benötigt zur Nachlöschung, wenn sie überhaupt eintritt, längere Zeit, manchmal mehrere Jahre. Verwendet man zu viel Löschwasser, so „ersäuft“ der Kalk. Es ist daher der Löschwasserbedarf mit möglichster Sorgfalt durch Sonderversuche zu bestimmen, wenn man

einen Kalk erzielen will, der sich durch große Ergiebigkeit (s. § 250 a und b) auszeichnet.<sup>1)</sup>

Die Ergiebigkeit ist bei Fettkalken etwa  $2\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{2}$  fach<sup>2)</sup> und bei Mager- sowie Wasserkalken etwa bis  $2\frac{1}{2}$  fach. Es bedeutet dies, daß beim Löschen eine  $2\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{2}$  oder bis  $2\frac{1}{2}$  fache Volumenzunahme eintritt, die auch mit „Wachsen“ oder „Gedeihen“ des Kalkes bezeichnet wird. Wie bereits vorausgeschickt wurde, ist die Wasserbindung von einer erheblichen Temperaturzunahme begleitet, die Wasserdampfbildung verursacht. Sie ist um so bedeutender, je rascher sich der Kalk löst und je mehr Ätzkalk er enthält.

Da durch die Wasserdampfbildung dem Kalk viel Wärme entzogen wird, die er zum völligen Aufschließen benötigt, muß das Entweichen des Dampfes durch Bedecken des Kalkes verhindert werden. Es geschieht am besten durch Löschen unter Druck in geschlossenen eisernen Gefäßen.

Das Löschwasser darf nicht zu hart sein und soll auch nur wenig Kohlensäure enthalten. Hartes oder viel Kohlensäure führendes Wasser verzögert den Löschvorgang erheblich. Salzhaltiges Wasser, Meerwasser, Sole usw. sind zum Kalklösen überhaupt untauglich, während warmes Wasser, oder solches mit einem geringen Gehalt an Wein- oder Essigsäure den Löschprozeß befördert.

### § 250. Die Lösungsverfahren.

Für die Materialprüfung empfiehlt Verfasser die in der Dresdner Versuchsanstalt benutzten und unter a) Trockenlöschung und b) Naßlöschung beschriebenen Lösungsverfahren. Sie sind dem altrömischen Lösungsverfahren nachgebildet und haben sich bei den umfangreichen Kalkuntersuchungen der Versuchsanstalt bewährt.

#### a) Trockenlöschung.

Gebrannter, in walnußgroße Stücke zerschlagener Kalk wird portionenweise in einem sackartigen, engmaschigen Drahtkorbe von ca. 25 cm Durchmesser und 30 cm Tiefe bis zum Aufhören von Blasenbildung unter Wasser von ca. 20° oder 50° getaucht und dann in einen mit Deckel versehenen, innen mit Blech ausgeschlagenen Holzkasten geschüttet, wo er zu Pulver (Kalkhydrat) zerfällt. Die dabei auftretende Temperaturzunahme wird mit einem Maximumthermometer gemessen. Zur Feststellung des Wasseranspruches und der Ergiebigkeit des Kalkes wird nach Verlauf von

<sup>1)</sup> „Abgestandener oder abgestorbener“ Kalk ist solcher, der durch Lagern an der Luft Feuchtigkeit und Kohlensäure aufgenommen und unter geringer Volumenzunahme zerfallen ist. Solcher Kalk ist unbrauchbar. Gebrannter Kalk muß daher in trockenen Räumen gelagert und vor Feuchtigkeitsaufnahme geschützt werden.

<sup>2)</sup> Bei Trockenlöschung; bei Naßlöschung ist sie geringer.

24 Stunden das durch ein Sieb mit 20 Maschen pro Quadratcentimeter gesiebte Kalkhydrat<sup>1)</sup> gewogen.

Stellt  $G_s$  das Gewicht des Stückkalkes,  
 $G_h$  „ „ „ Kalkhydrates,  
 $G_w$  „ „ „ Löschwassers,  
 $G_r$  „ „ „ der abgeseihten steinigen Rückstände im  
 trockenen Zustande  
 und  $V_s$  „ Volumen des Stückkalkes,  
 $V_h$  „ „ „ Kalkhydrates

dar, so ergibt sich der Wasseranspruch  $W$  und die Ergiebigkeit  $E$  durch folgende Rechnung:

$$W = \frac{G_w}{G_s} \cdot 100 \text{ ‰ Gewichtsteile,}$$

$$E = \frac{V_h}{V_s} \text{ nach Raumteilen.}$$

Das Gewicht der steinigen Rückstände  $G_r$  wird in Prozenten des Stückkalkgewichtes  $G_s$  angegeben.

#### b) Naßlöschung.

Faustgroße Stücke bei Fettkalk, walnußgroße bei Magerkalk werden in etwa 8 cm hoher Schicht in einem mit Blech ausgekleideten und mit Deckel versehenen Holzkasten ausgebreitet und durch Brause mit so viel Wasser von ca. 20° oder 50° benetzt, als sie aufzusaugen vermögen. Bei beginnendem Zerfallen rührt man das entstehende Kalkhydrat mit einer Löschrücke (Fig. 375) beständig um und setzt Wasser zu, bis ein dickflüssiger Brei entsteht. Hiernach schließt man den Deckel des Kastens und überläßt den Kalk 24 Stunden sich selbst. Nach Verlauf dieser Zeit rührt man ihn zur Feststellung der ungelöscht gebliebenen Teile durch ein Sieb mit 20 Maschen für das Quadratcentimeter und stellt das Volumengewicht des Breies fest, nachdem man ihn auf „Normalkonsistenz“ (s. S. 399) gebracht hat. Da Breikalk zum „Nachlöschen“<sup>2)</sup> neigt, empfiehlt es sich,

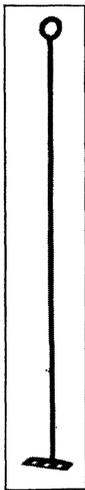


Fig 375.

<sup>1)</sup> Der „Trockenkalk“ (Kalkhydrat) nimmt aus der Luft Feuchtigkeit und Kohlensäure auf; deshalb ist der Kalk in luftdicht verschlossenen Gefäßen aufzubewahren. Bei dieser Aufbewahrungsart ist er unbegrenzt haltbar. In der Dresdner Versuchsanstalt dienen zur Aufbewahrung luftdicht verschließbare zylindrische Steinzeugfässer von 150 l Inhalt.

<sup>2)</sup> Wenn im Kalk ungelöschte Teilchen verblieben sind, tritt durch Aufnahme von Feuchtigkeit während oder nach der Verarbeitung zu Putz oder dergl. Nachlöschen ein. Das betr. Kalkteilchen nimmt dadurch an Volumen zu, was ein Absprennen des in seiner Umgebung befindlichen Mörtels verursacht und bei Mauerwerk eine Lockerung der Fuge nach sich ziehen kann.

ihn vor der weiteren Verarbeitung (z. B. zu Mörtel) mindestens zwei Wochen einzusumpfen.<sup>1)</sup> Dadurch wird den im Brei verteilten ungelöscht gebliebenen Kalkteilchen Gelegenheit zum vollständigen Löschen gegeben.

Der Wasseranspruch und die Ergiebigkeit bei der Naßlöschung berechnen sich in gleicher Weise wie bei der Trockenlöschung.

Bedeutet  $G_s$  das Gewicht des Stückkalkes,

$G_b$  „ „ „ Breikalkes von Normkonsistenz,

$G_w$  „ „ „ Löschwassers,

$G_r$  „ „ der steinigen Rückstände im trockenen Zustande,

$V_s$  das Volumen des Stückkalkes,

$V_b$  „ „ „ Breikalkes,

so ist

der Wasseranspruch  $W = \frac{G_w}{G_s} \cdot 100$  ‰ Gewichtsteile,

die Ergiebigkeit  $E = \frac{G_b}{G_s}$  nach Gewichtsteilen oder

$= \frac{V_b}{V_s}$  nach Raumteilen.

Hierbei ist  $V_b = \frac{G_b}{r_b}$  und  $V_s = \frac{G_s}{r_s}$ ,

wenn  $r_b$  und  $r_s$  das Litergewicht (s. § 253) des Breikalkes und des Stückkalkes bedeutet.

Die Normkonsistenz des Breikalkes wird derart erzeugt, daß man dem speckigen Kalk unter stetigem Umrühren so viel Wasser zusetzt, daß er dickflüssig wird. Von diesem Kalk schüttet man etwa 5 l auf ein Leinentuch, das etwa je 20 Ketten- und Schußfäden auf das Quadratcentimeter besitzt, bindet mit einem Bindfaden das Tuch zu einem Beutel zusammen und quetscht ihn in einer Presse unter 100 kg Belastung während 3 Stunden aus. Von dem so erhaltenen Brei von Normkonsistenz wird der Wassergehalt durch Trocknen auf dem Wasserbad und das Hydratwasser durch Glühen festgestellt. Der Wassergehalt beträgt nach dem Auspressen bei fast allen Luftkalken ca. 55 ‰.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zum Einsumpfen benutzt man für die Zwecke der Materialprüfung am besten tönerner Gefäße, in die der Breikalk eingefüllt wird. Bei längerem Stehen löschen die etwa ungelöscht gebliebenen Teilchen nach, das zuviel zugesetzte Löschwasser sondert sich an der Oberfläche ab und der Breikalk erfährt eine Verdickung, so daß er speckige Konsistenz annimmt. Vor der Verarbeitung dieses Kalkes muß das darüber stehende Wasser sorgfältig abgeschöpft werden, weil sich auf ihm durch den Kohlensäuregehalt der Luft eine dünne Schicht kohlen-sauren Kalkes bildet, der den Breikalk beim Umrühren verunreinigen würde.

<sup>2)</sup> Siehe auch Burchartz, Luftkalke und Luftmörtel, Berlin 1908, S. 15.

### § 251. Beschaffenheit des gelöschten Kalkes.

#### a) Trockenkalk.

Trockenkalk<sup>1)</sup> soll ein feines, mehlartiges Pulver darstellen. Sandartige Beschaffenheit deutet auf unrichtiges Löschen oder auch auf Minderwertigkeit des Kalksteines hin. Steinige Beimengungen, die beim Absieben richtig gelöschten Kalkes auf dem Siebe mit 20 Maschen für das Quadratzenimeter zurückbleiben, bestehen aus Kohlschlacke, herrührend vom Brennen, oder aus gesinterten Kalkteilen (Griefen), oder aus quarzigen Beimengungen. Reine Kalksteine, die richtig gebrannt und deren Brennprodukt richtig gelöscht wird, ergeben einen Trockenkalk ohne Rückstände.

#### b) Breikalk.

Breikalk besitzt speckige Beschaffenheit und weiße, graue oder auch gelbliche Farbe; aus völlig reinem Ätzkalk erzeugter enthält 150 % Wasser. Durch Einsumpfen darf er eindicken, aber nicht erhärten. Alle Kalke sind daher nicht zum Einsumpfen geeignet. In der Regel sind dies die Kalke mit hydraulischen Eigenschaften; sie verzehren das Wasser durch chemische Bindung, so daß der Brei allmählich hart wird.

### § 252. Das spezifische Gewicht und das Raumgewicht.

Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes des Kalksteines und des gebrannten Stückkalkes erfolgt am gepulverten und getrockneten Material mit dem Volumenometer (s. § 181 a). Die Bestimmung des Raumgewichtes geschieht am vorteilhaftesten nach der Auftriebsmethode (s. § 181 b) an walnußgroßen Stücken, die nach dem Trocknen mit Paraffin eingehüllt wurden.

Das spezifische Gewicht des reinen Kalksteines beträgt 2,5—2,7; das des reinen gebrannten Kalkes ist je nach dem Brenngrade 2,6—3,4 und das von chemisch reinem Kalkhydrat 2,08—2,30.

### § 253. Das Litergewicht.

Das Litergewicht wird ermittelt:

- a) am Stückkalk: durch die Gewichtsbestimmung eines Liters in haselnußgroße Stücke zerschlagenen gebrannten Kalkes;
- b) am Trockenkalk: durch Gewichtsbestimmung eines Liters
  - α) lose eingefüllten Kalkhydrates (Ausführung s. S. 355),
  - β) eingerüttelten Kalkhydrates (Ausführung s. S. 355);
- c) am Breikalk: durch Gewichtsbestimmung eines Liters
  - α) lose eingefüllten Breikalkes,
  - β) eingerüttelten Breikalkes von Normalkonsistenz.

---

<sup>1)</sup> D. i. trocken gelöschter Kalk (Kalkhydrat).

### § 254. Siebfeinheit des Trockenkalkes.

Die Siebfeinheit des Trockenkalkes wird mit ähnlichen Siebsätzen ermittelt, wie die des Zementes (s. § 231), wobei das Probematerial vor dem Versuch völlig zu trocknen ist. Der beste Kalk ist derjenige, welcher zu einem derart feinen Pulver zerfällt, dass auf dem 900 und 4900 Maschensieb kein Rückstand verbleibt.

Es ergab z. B. ein gebrannter Dolomit von der Zusammensetzung:

Glühverlust . . . . .	3,5 ‰
Kieselsäure . . . . .	7,4 „
Eisenoxyd und Tonerde . . . . .	1,8 „
Ätzkalk . . . . .	53,8 „
Magnesia . . . . .	33,3 „

folgende Siebrückstände:

Auf dem Siebe mit 225 Maschen pro qcm . . . . .	5,6 ‰
„ „ „ „ 300 „ „ „ . . . . .	0,7 „
„ „ „ „ 500 „ „ „ . . . . .	1,2 „
„ „ „ „ 600 „ „ „ . . . . .	5,19 „
„ „ „ „ 900 „ „ „ . . . . .	2,08 „
„ „ „ „ 4900 „ „ „ . . . . .	11,36 „

Es gingen somit 73,87 ‰ durch das feinste Sieb.

Ein reiner Muschelkalk von der Zusammensetzung:

Glühverlust . . . . .	0,3 ‰
Kieselsäure . . . . .	1,1 „
Eisenoxyd und Tonerde . . . . .	1,2 „
Ätzkalk . . . . .	97,4 „

ergab folgende Siebrückstände:

Auf dem Siebe mit 225 Maschen pro qcm . . . . .	1,6 ‰
„ „ „ „ 300 „ „ „ . . . . .	0,1 „
„ „ „ „ 500 „ „ „ . . . . .	0,4 „
„ „ „ „ 600 „ „ „ . . . . .	0,1 „
„ „ „ „ 900 „ „ „ . . . . .	1,1 „
„ „ „ „ 4900 „ „ „ . . . . .	1,7 „

Es gingen somit 95,0 ‰ durch das feinste Sieb.

### § 255. Die Raumbeständigkeit.

Zur Prüfung auf Raumbeständigkeit werden Kuchen aus reinem Kalk und aus Kalkmörtel auf Glasplatten und auf gebrannten unglasierten Dachziegeln<sup>1)</sup> ausgebreitet. Einige derselben werden dauernd an der Luft, andere nach mehrtägiger Luftlagerung in feuchtem Sande oder auch unter Wasser aufbewahrt (s. § 242).

<sup>1)</sup> Die Dachziegel müssen vorher gut mit Wasser benetzt werden, damit sie dem Mörtel keine Feuchtigkeit entziehen.

Durch diese Behandlungsweise dürfen die Kuchen keine Veränderungen erleiden, sondern sie müssen allmählich erhärten. Die Beobachtungsdauer hat sich über mindestens 120 Tage zu erstrecken.

### § 256. Das Anziehen und die Erhärtung des Luftkalkes.<sup>1)</sup>

Unter Anziehen des Kalkes versteht man den Übergang des Kalkes aus dem breiigen in den starren Zustand. Es entspricht dies etwa dem Abbinden des Zementes, ohne jedoch mit den dabei auftretenden Vorgängen identisch zu sein. Fälschlicherweise wird das „Anziehen“ des Kalkes oft mit „Abbinden“ bezeichnet, obgleich das Abbinden des Kalkes dem Anziehen bereits vorausgegangen ist, wenn man nach Knapp den Vorgang des Ablöschens, bei welchem ebenso wie beim Abbinden des Zementes eine Wasserbindung stattfindet, als Abbinden betrachtet.

Das Anziehen geschieht durch Wasserabgabe, die infolge Schwindens eine Verdichtung des Kalkbreies oder Mörtels bewirkt und bereits dadurch eine Festigkeitserhöhung verursacht, welche um so größer ist, unter je höherem äußeren Druck das Anziehen erfolgte. Der Erhärtungsvorgang dagegen ist ein chemischer Vorgang, bei welchem das Kalkhydrat durch Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft in kohlen-sauren Kalk verwandelt wird. Dabei spielt die Feuchtigkeit des Kalkes oder Mörtels eine wichtige Rolle, indem die Kohlensäure sich nur unter Vermittelung von Feuchtigkeit mit dem Kalkhydrat zu verbinden vermag; trockenes Kalkhydrat und trockene Kohlensäure reagieren nicht miteinander. Ebenso ist aber auch zu viel Wasser schädlich. Ist der Mörtel zu naß, so findet keine Kohlen-säureaufnahme statt, weil sich dann sofort eine dünne Haut von kohlen-saurem Kalk an der Oberfläche bildet, die das weitere Eindringen von Kohlensäure verhindert. Am günstigsten ist eine mäßige Feuchtigkeit des Mörtels und daher müssen Probekörper vor zu schneller Austrocknung durch Anfeuchten geschützt werden. Je langsamer die Austrocknung vor sich geht, desto härter und fester wird der Mörtel.

Die lange bestandene Anschauung, daß Luftkalkmörtel zum Teil auch durch Silikatbildung erhärte, indem durch die ätzende Wirkung des Kalkhydrates die Quarzsandkörner an der Oberfläche aufgeschlossen würden, ist in neuerer Zeit von Cramer widerlegt worden. Auch Donath<sup>2)</sup> hat nachgewiesen, daß absolut reiner Quarzsand durch Ätzkalk selbst nach langer Einwirkungsdauer keine chemische Veränderung erfährt. Nach Michaelis kann der Angriff von Quarzsand durch Kalkhydrat nur unter der Einwirkung hoher Temperaturen, d. i. über 100°, in Gegenwart von Feuchtigkeit vor sich gehen. Hierauf beruht das Patent Michaelis

<sup>1)</sup> S. Michaelis d. Ä., Der Kalkmörtel; Zentralblatt der Bauverwaltung No. 17, 1908.

<sup>2)</sup> Die chemische Bewertung des Mörtelsandes; Tonindustrie-Zeitung 1900, No. 3 und No. 6.

D. R. P. 14195, welches die Grundlage für die gesamte Kalksandstein-erzeugung nach dem Hochdruckverfahren bildet.

Die Bestimmung der bis zum Anziehen verstreichenden Zeit erfolgt mit dem Vicatschen Nadelapparat in der § 234 erläuterten Weise. Das Anziehen beginnt bei einem Wassergehalt unter 60% und ist eingetreten, wenn die Vicatsche Nadel unter 300 g Belastung in den Kalk- oder Mörtelbrei nicht mehr einzudringen vermag.

Mörtel beginnt früher anzuziehen als Kalkbrei, weil infolge des Sandzusatzes der Kalk eine größere Oberfläche der Luft darbietet, was die Wasserverdunstung beschleunigt. Aus demselben Grunde erhärtet auch Mörtel schneller und stärker als reiner Kalk. Der Beginn des Anziehens von Mörtel wird festgestellt an Probekuchen, die auf Glasplatten ausgebreitet werden (s. S. 357).

### § 257. Die Festigkeit des Kalkes und des Kalkmörtels.

Hinsichtlich der Festigkeit des Kalkes sind ebenso wie bei der Prüfung des Portlandzementes Eigenfestigkeit und Mörtelfestigkeit zu unterscheiden. Die Eigenfestigkeit bedingt in erster Linie die Festigkeit der aus dem Kalke hergestellten Mörtel und liefert somit Anhaltspunkte zur Beurteilung der Erhärtungsfähigkeit eines Kalkmörtels im Mauerwerk. Da aber Kalkprobekörper länger in den Formen verbleiben müssen als Zementkörper, bietet die Entformung Schwierigkeiten wegen des Festhaftens des Kalkes an den Wänden der eisernen Formen. Ein Verfahren zur Vermeidung dieses Umstandes gibt Burchartz<sup>1)</sup> an. Er legte Pausleinwandstreifen so an die Seitenwände der Formen, daß sie unten und oben ein wenig über die Form hinausragten und an den Innenflächen der Form fest anlagen. Hierauf wurde der Aufsatzkasten aufgesetzt und das Ganze in den Hammerapparat so eingespannt, daß beim Einstampfen der eingefüllten Kalkmasse die Leinwand nicht zerknittert werden konnte. Maschinelles Einschlagen der Probekörper aus Kalkhydrat ist nicht anständig, weil sie unerklärlicherweise beim Entformen zerfallen. Es erfolgt deshalb das Einschlagen mit dem Spatel oder einem kleinen Stampfer von Hand.

Das Kalkhydratpulver wird wie Zement in einer Schüssel mit einem eisernen Löffel unter Zusetzen von Wasser zu einer erdfeuchten Masse angerührt.<sup>2)</sup>

Zur Ermittlung der Mörtelfestigkeit benutzt man einen Mörtel, der 1 Teil Kalkhydratpulver oder Breikalk und 3 Teile Normalsand enthält. Hierbei wird die Zusammensetzung derart bemessen, daß die Teile auf das trockene Kalkhydrat bezogen werden. Bei der Benutzung von Trockenkalk (Kalkhydratpulver) wird erst der Sand mit dem Kalk trocken gemischt,

<sup>1)</sup> Burchartz, Luftkalke und Luftkalkmörtel, Berlin 1908.

<sup>2)</sup> Die erforderliche Wassermenge ist durch Sonderversuche zu bestimmen.

dann das Wasser zugesetzt, von Hand durchgerührt und schließlich im Mörtelmischer (s. § 238 und S. 413 d. Anm. 2) fertig gemischt.

Verwendet man Breikalk für die Probekörper, so wird der Kalk erst dickflüssig gemacht, dann von Hand mit Sand gemischt und hierauf in einem Filtertuche ausgepreßt (s. S. 399). Dieser Mörtel wird nochmals im Mörtelmischer gemischt und stellt nach nochmaliger Handmischung eine erdfeuchte Masse dar, die sich gut verarbeiten läßt.

Der Wasserzusatz bei den Mörtelprobekörpern wird am besten durch Sonderversuche in der Weise ermittelt, daß man einige Druckprobekörper mit willkürlich gewähltem Wasserzusatz auf dem Hammerapparat einschlägt und ihr Verhalten beobachtet. Körper mit zu hohem Wasserzusatz zeigen nach dem Entformen an den Seitenflächen Risse und sinken nach dem Abstreichen der Oberfläche allmählich ein, während zu niedriger Wasserzusatz ein Abbröckeln der Kanten veranlaßt. Die Würfel enthalten die richtige Wassermenge, wenn ihre Oberflächen eben und rißfrei sind und der zur Herstellung verwendete Mörtel das Aussehen feuchter Erde ohne klumpige Beimengungen aufgewiesen hat. Es ist nicht möglich, für Kalk eine allgemein gültige Regel zur Bemessung des Wasserzusatzes wie für Zement (s. § 238) aufzustellen, da Kalk einer individuellen Behandlung bedarf.<sup>1)</sup>

Besondere Aufmerksamkeit ist der Aufbewahrung der Probekörper zu schenken. Entsprechend der bereits in § 256 erwähnten Eigenschaft des Luftkalkes, nur bei Gegenwart von Wasser Kohlensäure zu binden, muß den Probekörpern Gelegenheit gegeben werden, die erforderliche Wassermenge zu behalten oder aufzunehmen. Die Körper sind deshalb vor zu schnellem Austrocknen zu schützen. Es geschieht durch Lagerung in offenen Kästen, die in zugfreiem, gut gelüftetem Raume mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit aufgestellt sind.

Die günstigsten Erhärtungsbedingungen für Probekörper aus Luftkalkmörteln bietet eine Lagerung an der Luft, die durch eine zeitweise Wasserbenetzung unterbrochen wird. Burchartz folgert aus seinen Versuchen zur Bestimmung des Einflusses der Art der Erhärtung auf die Festigkeit von Luftkalkmörtel,<sup>2)</sup> daß:

1. das Raumgewicht der benetzten Probekörper mit fortschreitendem Alter mehr zunimmt, als das der nicht benetzten;
2. die Festigkeit der angefeuchteten Probekörper höher ist, als die der nicht angefeuchteten; der Unterschied nimmt innerhalb der bei der Beobachtung benutzten Zeitgrenzen (28 Tage bis 1 Jahr) mit dem Alter zu;
3. die benetzten Proben mehr Kohlensäure aufnehmen, als die nicht benetzten.

<sup>1)</sup> Eine Berechnung des Wasserzusatzes für Mörtelprobekörper gibt F. Ritzmann in seiner Dissertation: „Untersuchungen über Traß-Kalk-Sandmörtel“, Heidelberg 1907.

<sup>2)</sup> Burchartz, Luftkalke und Luftkalkmörtel, Berlin 1908.

Er nimmt an, daß die Benetzung des Mörtels wahrscheinlich Ausscheidung von Kalk durch Umlösung bewirkt, die größere Verdichtung und Verkittung der Mörtelmasse zur Folge hat. Durch das jedesmalige Befeuchten wird immer wieder Kalk gelöst, ausgeschieden, in kohlen-sauren Kalk übergeführt und so die Festigkeit des Mörtels gesteigert.

Die Prüfung der Probekörper erfolgt mit dem Michaelis-Frühling-schen Zerreißapparat (s. § 240) und einer beliebigen Materialprüfungs-maschine für Druckversuche. Zerreißprobekörper sehr geringer Festigkeit werden in der Dresdner Versuchsanstalt auch mit dem Zerreißapparat (Fig. 376), Konstruktion des Verfassers, durch direkte Belastung geprüft. Die Wirkungsweise des Apparates ist ohne Erläuterung erkenntlich.

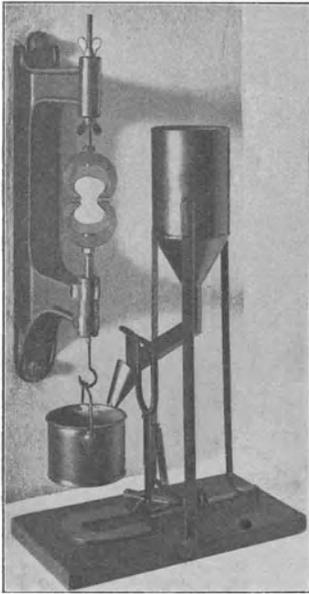


Fig. 376.

### § 258. Die Haft- und Scherfestigkeit des Kalkmörtels.

Manchmal ist es erforderlich, die Haftfestigkeit oder auch die Scherfestigkeit von Mörtel festzustellen. Insbesondere sind solche Prüfungen von Bedeutung, wenn zur Errichtung von Bauten

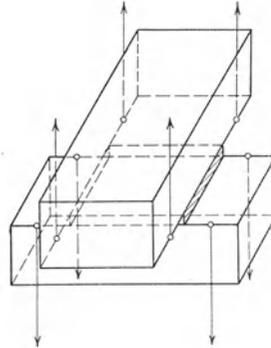


Fig. 377.

neuartige Bausteine Verwendung finden sollen. Man benutzt für die Versuche Probekörper nach Fig. 377. Sie werden derart hergestellt, daß man zwei Mauersteine kreuzweise mit dem Mörtel bei 1 cm Fugenstärke aneinanderkittet und nach entsprechender Erhärtung die Kraft bestimmt, welche erforderlich ist, die beiden Steine voneinander zu reißen. Beim Zusammen-mauern sind die Steine zur Vermeidung des Wasserabsaugens gehörig anzunässen und zur Verdichtung des Mörtels bis zum Erhärtungsbeginn mit einem Gewicht, z. B. 0,01 kg/qcm,<sup>1)</sup> zu belasten.

<sup>1)</sup> Burchartz. Luftkalk und Luftkalkmörtel, Berlin 1908, S. 162.

In gleicher Weise werden die Probekörper zur Ermittlung der Scherfestigkeit (s. § 42) angefertigt. Ihre Form ist aus Fig. 378 und 379 ersichtlich und der Kraftangriff darin durch Pfeile angedeutet (s. § 44).

### § 259. Die Mörtelergiebigkeit.

Zemente werden in bestimmten Mischungsverhältnissen, die hinlänglich erprobt sind, zu Mörtel verarbeitet. Da aber Kalk nie in solcher gleichartigen Beschaffenheit wie Zement geliefert wird, weil Ursprung, Brenntemperatur sowie Brenndauer seine Eigenschaften wesentlich beeinflussen, ist die Ermittlung der Mörtelergiebigkeit eines Kalkes wichtig.

Derjenige Kalk läßt sich am ökonomischsten verwerten, welcher ohne Schädigung seiner Erhärtungsfähigkeit am meisten mit Sand gemagert werden kann. Man verfährt bei dieser Ermittlung am besten derart, daß man eine größere abgewogene Menge Trockenkalk oder Breikalk in

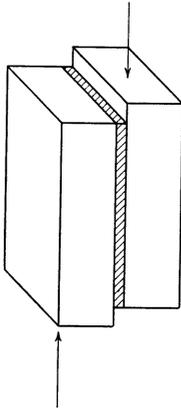


Fig. 378.

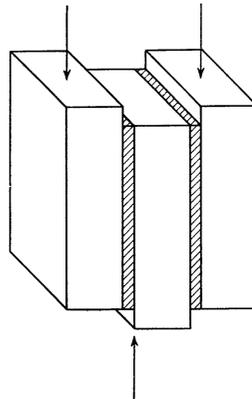


Fig. 379.

gewöhnlicher Weise zu Mörtel verarbeitet und allmählich Sand zusetzt, bis der Mörtel eine solche Beschaffenheit erhält, daß er erfahrungsgemäß gerade noch zum Mauern oder Putzen benutzt werden kann.

Ein Maß für die Mörtelergiebigkeit ist alsdann die Verhältniszahl „Raumteile Sand dividiert durch Raumteile Trockenkalk oder Breikalk“. Naturgemäß muß die Mörtelergiebigkeit mit Bausand ermittelt werden. Normsand ist für Kalkuntersuchungen überhaupt nur wenig geeignet, wegen seines gleichmäßigen und großen Kornes.

### § 260. Bestimmung des Kalkgehaltes im Kalkmörtel.

Zur Kontrolle vorgeschriebener Mörtelmischungsverhältnisse wird manchmal die Aufgabe gestellt, den Kalkgehalt im Kalkmörtel zu bestimmen.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die erforderlichen Einrichtungen liefert das Chemische Laboratorium für Tonindustrie, Berlin.

Es geschieht an einer Probe, die mit einem Stecher (s. Fig. 380) entnommen wird, der aus einem Rohr 1 mit beweglichem Boden 2 besteht und 50 ccm Mörtel faßt. Das Rohr wird, nachdem der bewegliche Boden bis zur Mündung des Rohres herausgedrückt ist, auf die Mörtelmasse gesetzt, in dieselbe eingedrückt und dadurch mit 50 ccm Mörtel gefüllt. Der den Rand überragende Mörtel wird mit einem Messer abgestrichen. Hierauf gibt man den Mörtel in eine Pulverflasche von etwa 500 ccm Inhalt, fügt 25 g Chlorammon hinzu, füllt die Flasche bis zur Hälfte mit Wasser und schüttelt nach Aufsetzen des Stöpsels gut durch. Dann setzt man etwa 20 Tropfen Phenolphthalein-Lösung hinzu, wodurch Wasser und Mörtel rot gefärbt werden, und schüttelt nach Aufsetzen des Stöpsels nochmals gut durch; nunmehr füllt man aus einer Bürette 50 ccm Salzsäure (1 ccm = 0,05 g) in die Flasche, wodurch die Rötung verschwindet, jedoch nur scheinbar, denn nach kräftigem Schütteln tritt sie wieder auf. Nun setzt man in Mengen von etwa 1 ccm unter ständigem Umschütteln wiederholt Salzsäure zu, bis die Rötung verschwunden ist. Eine nach etwa 5 Minuten nochmals auftretende weinrote Tönung ist ohne Belang und kann unberücksichtigt bleiben. Der Kalkgehalt wird dann aus der verbrauchten Salzsäuremenge berechnet. Werden beispielsweise 98 ccm Salzsäure verbraucht und entspricht 1 ccm 0,05 g Kalkhydrat ( $Ca(OH)_2$ ), so enthalten die geprüften 50 ccm Kalk  $98 \cdot 0,05 = 4,9$  g Kalk.<sup>1)</sup>

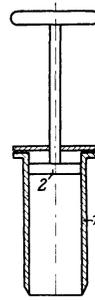


Fig. 380.

### § 261. Der Normalkalk.

Der Normalkalk wurde von dem Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik eingeführt<sup>2)</sup> und ist für die Prüfung von Traß oder anderer Pozzuolane bestimmt. Er ist nur „normal“ in bezug auf Reinheit und kann deshalb nicht als Maßstab für die Gütebemessung anderer Luftkalk dienen. Der Normalkalk entstammt dem Rübeler Bruch der A.-G. Vereinigte Harzer Kalkindustrie zu Elbingerode a. H. und wird als Breikalk in plombierten<sup>3)</sup> Blechgefäßen vom Chemischen Laboratorium für Tonindustrie, Berlin, vertrieben. Die chemische Zusammensetzung des dazu verwendeten Kalksteines und des gebrannten Kalkes ist aus folgender Tabelle ersichtlich.

<sup>1)</sup> Eine Methode zur Prüfung von abgebundenem (erhärtetem) Zementmörtel und Beton, sowie von Kalkmörtel auf mechanische Zusammensetzung s. Burchartz, Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt, Großlichterfelde 1906, S. 291.

<sup>2)</sup> Gary, Normalkalk; Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde 1903, S. 188.

<sup>3)</sup> Plombe des Königl. Materialprüfungsamtes Großlichterfelde.

	Kalkstein	Gebrauntes Kalk
	%	%
Glühverlust . . . . .	43,89	—
Kieselsäure und Unlösliches .	0,40	0,71
Eisenoxyd und Tonerde . . .	0,24	0,43
Ätzkalk . . . . .	54,87	97,79
Magnesia . . . . .	0,18	0,32
Schwefelsäureanhydrid . . .	0,07	0,12
Rest (Alkalien usw.) . . . .	0,35	0,62

Seine Verarbeitung geschieht in derselben Weise wie die jedes anderen Breikalkes, und es finden auf ihn auch alle für diesen angegebenen Prüfungsmethoden sinngemäße Anwendung.

### C. Die natürlichen Wasserkalke (hydraulische Kalke).

#### § 262. Begriffsfeststellung und allgemeines.

Wasserkalke sind Erzeugnisse,<sup>1)</sup> welche durch Brennen von Kalkmergeln oder Kieselkalken unterhalb der Sintergrenze gewonnen werden und die nicht allein durch Kohlensäureaufnahme von außen nach innen, sondern vorzüglich durch chemische Bindung von Wasser in sich erhärten. Während angezogene und auch bereits teilweise erhärtete Luftkalkmörtel sich unter Wasser auflösen, erfahren Mörtel aus Wasserkalken eine fortschreitende Erhärtung. Im allgemeinen werden die Wasserkalke hydratisiert und zerkleinert als „Sackkalke“, seltener als Stückkalke in den Handel gebracht. Zerkleinert und noch nicht hydratisiert stellen sie ein erdigkörniges Pulver dar (spezifisches Gewicht 2,6—2,9) von hellgelblicher, grauer oder auch bräunlicher Farbe; abgelöscht gleichen sie in ihrem Aussehen den mageren Luftkalken.

#### § 263. Das Ablöschen und die Ergiebigkeit.

Das Ablöschen und die Bestimmung der Ergiebigkeit des als Stückkalk in den Handel gebrachten Wasserkalkes geschieht wie bei den Luftkalken (s. § 250 a). Vor der Verarbeitung zu Mörtel werden auch sie einige Zeit (mindestens 3 Tage) gelagert.

Pulverförmige Kalke<sup>2)</sup> werden dagegen entweder mit Wasser zu einem steifen Brei angerührt oder im trockenen Zustande mit der für die Mörtelbereitung vorgesehenen Sandmenge trocken gemischt und dann erst durch Wasserzusetzen gelöscht. In beiden Fällen wird die erforderliche Wassermenge festgestellt und in Prozenten des Kalkpulvers angegeben.

<sup>1)</sup> Hierher gehören außer den eigentlichen hydraulischen Kalken die Romazemente und die Dolomit- oder Magnesiaelemente.

<sup>2)</sup> Auszuschließen sind hier diejenigen Kalke, die bei sehr hoher Temperatur gebrannt und dann zerkleinert wurden. Sie müssen wie Zement behandelt werden.

Die zweite Methode ist in dieser Beziehung nicht einwandfrei, weil der trockene Sand selbst Feuchtigkeit an sich zieht und infolgedessen ein zu hoher Wasseranspruch ermittelt wird.

Fast jeder Lieferant von Wasserkalk fügt seinen Lieferungen Löschvorschriften bei, deren Befolgung dringend anzuraten ist, wenn man hinsichtlich Ablöschung und größter Ergiebigkeit Mißerfolge vermeiden will. Da die Eigenschaften dieser Kalke in erster Linie durch die chemische Zusammensetzung beeinflußt werden und diese wiederum der Natur des Kalkes entsprechend wechselt, können einheitliche Vorschriften für die Ablöschung nicht aufgestellt werden.

Zum Einsumpfen sind Wasserkalke natürlich nicht geeignet, weil sie schnell hart werden. Während Luftkalke jahrelang eingesumpft stehen können, wenn sie vor Kohlensäureaufnahme geschützt werden (s. S. 400), entstehen in den Wasserkalken chemische Verbindungen der aufgeschlossenen Kieselsäure mit Kalk und Tonerde, die eine Erhärtung hervorrufen.

#### § 264. Sonstige physikalische Eigenschaften des Wasserkalkes.

Die Ermittlung der sonstigen physikalischen Eigenschaften des Wasserkalkes erfolgt im allgemeinen wie die des Portlandzementes. Abweichungen sind nur bei Feststellung der Korngröße des Kalkhydrates und der sogen. Abbindezeit (Anziehen),<sup>1)</sup> sowie bei Aufbewahrung der Probekörper zu beachten. Die Feststellung der Korngröße geschieht durch Siebversuche wie bei der Prüfung der Luftkalke (s. § 254).

Die Bestimmung der sogen. Abbindezeit wird derart ausgeführt, daß entweder Kalkhydratpulver in der in § 256 beschriebenen Weise geprüft wird oder daß gemahlener Kalk wie Zement nach § 234 behandelt wird. Die Erstarrung des mit Wasser angemachten Trockenkalkes ist eine Folge des Eintrocknens bei gleichzeitig eintretendem Erhärtungsvorgang und die des gemahlenden Kalkes eine Folge der Wasserbindung, die von einer Volumenzunahme (Gedeihen) begleitet ist.

Portlandzementmörtel sind nach wenigen Stunden abgebunden, und daraus hergestellte Probekörper für Festigkeitsversuche sollen normgemäß 24 Stunden nach ihrer Herstellung zur weiteren Erhärtung unter Wasser gelagert werden. Mörtel aus Wasserkalken dagegen, welche zum völligen Anziehen längere Zeit benötigen, müssen mindestens bis nach erfolgtem Anziehen zur Wasserabgabe und Einleitung der Erhärtung, was in der Regel nach 3 Tagen geschehen ist, der Einwirkung der Luft ausgesetzt werden. Bringt man sie früher unter Wasser, so zerfallen sie oder werden aufgeweicht. Den genauen Zeitpunkt, zu welchem die Widerstandsfähigkeit des Mörtels gegen das Wasser beginnt, bestimmt man in der Weise, daß eine Reihe gleichzeitig hergestellter Probekörper einzeln in gewissen Zeitintervallen nach äußerlich sichtbarem Erhärtungs-

<sup>1)</sup> S. § 256.

beginn in Wasser gelagert und ihr Verhalten beobachtet wird. Zeigt sich, daß der zuletzt unter Wasser gelegte Probekörper unbeschädigt bleibt, so darf die Lagerungszeit dieses Probekörpers für die übrigen als maßgebend betrachtet werden.

Näheres über die Prüfung der Wasserkalke und der dabei gewonnenen Ergebnisse s. Tetmajer, Methoden und Resultate der Prüfung der hydraulischen Bindemittel Heft 6, 1893; Burchartz, Hydraulische Kalke, Mitteilungen aus den Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1902, S. 255; Feichtinger, Die chemische Technologie der Mörtelmaterialien, 1885.

## D. Die künstlichen Wasser- oder hydraulischen Kalke.

### § 265. Begriffsfeststellung und allgemeines.

Zu den künstlichen hydraulischen Kalken gehört der Pozzuolanazement,<sup>1)</sup> der Traßzement<sup>2)</sup> sowie der Schlackenzement.<sup>3)</sup> Sie sind Mischprodukte, deren einer Bestandteil Kalk ist, dem ein Stoff zugesetzt wurde, der verbindungs-fähige Kieselsäure zu liefern vermag. Solche natürlich vorkommenden Zusatzstoffe, welche die erforderlichen Hydraulefaktoren enthalten, sind die natürlichen Pozzuolane, nämlich: Pozzuolanerde, Santorinerde und der Traß. Neuerdings werden diese Stoffe auch durch künstliche Produkte, z. B. Hochofenschlacke, Ziegelmehl und dergl., ersetzt.

### § 266. Normen für die Prüfung von Traß.

Am meisten angewendet von den 3 natürlichen Pozzuolanen wird der Traß, für den neuerdings durch den Verband der Materialprüfungen der Technik (Rüdesheim 1900) Prüfungsnormen aufgestellt wurden, denen die folgenden Ausführungen entsprechen.<sup>4)</sup>

#### a) Bestimmung des hygroskopischen Wassers und des Hydratwassers (Glühverlust).

Vorbemerkung. — Guter Traß wird aus hydraulischen Tuffsteinen gemahlen. Die Untersuchung auf Glühverlust gibt in den meisten Fällen Anhalt dafür, ob der Traß aus guten hydraulischen Tuffsteinen hergestellt ist.<sup>5)</sup> Guter Traß soll mindestens 7 0/10 Glühverlust ergeben, doch soll diese Prüfung nicht allein als entscheidend für den Wert des Trasses angesehen werden. Trasse von 5 1/2—7 1/2 0/10 Glühverlust sind zum

<sup>1)</sup> Pozzuolane (vulkanischer Tuff) genannt nach der Fundstätte Pozzuoli.

<sup>2)</sup> Traß, trachitischer Tuff.

<sup>3)</sup> Hochofenschlacke.

<sup>4)</sup> Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, 5. Aufl. I.

<sup>5)</sup> Wird das chemisch gebundene Wasser ausgetrieben, so verliert die Pozzuolane fast vollständig ihre Eigenschaft als Hydraulefaktor und damit ihren Wert als Mörtelzuschlag.

Gebrauche zuzulassen, wenn die für die Festigkeit gestellten Bedingungen erfüllt werden.

$\alpha$ ) Vorbereitung der Proben. — Von dem zu untersuchenden Traß wird eine Durchschnittsprobe von etwa 20 g entnommen und in einer Reibschale so weit zerkleinert, daß alles durch ein Sieb von 5000 Maschen auf das Quadratcentimeter geht.

Wird der zu untersuchende Traß aus angelieferten ungemahlene Tuffsteinen hergestellt, so ist darauf zu achten, daß die aus den letzteren entnommene Probe eine möglichst richtige Durchschnittsprobe von etwa 10 kg aus der Lieferung darstellt und daß die entnommenen Steine genügend durcheinandergemischt werden. Die 10 kg faustgroßen Stücke sind im Mörser zu zerstoßen, bis auf dem 10 Maschensieb kein Rückstand verbleibt. Von dem Siebgut ist nach gründlichem Durchmischen 1 kg zu entnehmen, welches so weit zerkleinert wird, daß auf dem 60 Maschensieb kein Rückstand verbleibt. Von diesem Siebgut sind 100 g fein zu reiben, bis auf dem 900 Maschensieb kein Rückstand verbleibt.

$\beta$ ) Ermittlung des Trockenverlustes. — Um die Menge des hygroskopischen (mechanisch festgehaltenen) Wassers zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter  $\alpha$ ) vorbereiteten Traßmenge 10 g in ein Wägegölchen mit eingeschliffenem Stopfen und einer Bodenfläche von mindestens 4 cm Durchmesser gebracht. Das Glölchen wird offen, mit geneigt auf die Öffnung gelegtem Stopfen in einen Trockenschrank mit Wasserumspülung und Lufterneuerung<sup>1)</sup> gebracht und während drei Stunden gleichmäßig auf annähernd 98° C. erhitzt. Alsdann wird das Gefäß mit dem warmen Stopfen verschlossen, herausgenommen und zum Abkühlen in einen Exsikkator gebracht. Die dann festgestellte Gewichtsabnahme wird als der Gehalt des Trasses an hygroskopischem Wasser angesehen.<sup>2)</sup>

$\gamma$ ) Ermittlung des Glühverlustes. — Um den Glühverlust zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter  $\alpha$ ) vorbereiteten Traßprobe 10 g (die zweite Hälfte der vorbereiteten Menge) in einem Platin- oder Porzellantiegel entweder 30 Minuten über dem Gasgebläse (s. S. 353, Fig. 336) oder im Hempelschen Glühofen mindestens 40 Minuten bis zur Rotglut erhitzt. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Anfangserwärmung des Trasses, der außer Wasser noch Luft enthält,

<sup>1)</sup> Es ist darauf zu achten, daß die Flamme nicht unter dem Boden des Schrankes herausschlägt und die Tür erhitzt, wodurch der Trockenraum stärker erwärmt wird, als es das kochende Wasser bedingt. Es ist ferner darauf zu achten, daß sich keine Wasserdämpfe im Innern des Schrankes niederschlagen können.

<sup>2)</sup> Für die genaue Ermittlung des mechanisch gebundenen Wassers ist es notwendig, die Trocknung bei ungefähr 98° C. bis zu gleichbleibendem Gewicht fortzusetzen; für die Praxis werden aber meistens 3 Stunden Trockenzeit genügen, da nach dieser Zeit die Gewichtsabnahme nur noch Zehntelprozente zu betragen pflegt, um welche sich der Glühverlust alsdann höher stellt.

nur langsam gesteigert wird, so daß erst in 5—10 Minuten Rotglut eintritt. Bei zu schneller Erhitzung reißen das heftig austretende Wasser sowie die eingeschlossene Luft feine Teile des Trasses mit sich, wodurch Stoffverlust entsteht, der sich fälschlich als Glühverlust geltend machen würde. Nach Ablauf der Glühzeit ist der Tiegel mit einer angewärmten Zange sofort zum Erkalten in einen Exsikkator zu bringen. Nach dem Erkalten wird die Gewichtsabnahme festgestellt.

Bei der Berechnung des Glühverlustes (Hydratwassers) muß von dem Gewichtsverlust des geglühten Trasses der Gewichtsverlust des gleichzeitig getrockneten Trasses (das hygroskopische Wasser) in Abzug gebracht werden. Der dann noch bleibende Gewichtsverlust des geglühten Trasses muß auf die Gewichtsmenge des vorgetrockneten Trasses, also Trasses ohne hygroskopisches Wasser, in Prozenten berechnet werden.

#### b) Mahlfineinheit.<sup>1)</sup>

Für die Prüfung auf Mahlfineinheit werden die auf S. 349 erwähnten Siebe mit 144, 900 und 5000 (4900) Maschen auf 1 qcm benutzt. Es sind 100 g bei 98—100° getrockneten Pulvers zu benutzen und die Siebung soll auf dem feinsten Gewebe beginnen. Der darauf zurückbleibende Rest ist zu wägen und auf das nächstfolgende Sieb zu bringen (im übrigen s. S. 350).

#### c) Nadelprobe (s. S. 356).

Das Traßpulver ist im Anlieferungszustande zu verwenden, doch sollen die auf dem 144 Maschensieb liegenden Körner ausgeschlossen werden, da sie den Nadelversuch vereiteln können. Eine Mischung von 2 Gewichtsteilen Traß, 1 Gewichtsteil Kalkhydratpulver und 0,9 bis 1 Gewichtsteil Wasser ist bei 15—18° anzurühren und, in die bekannten Hartgummidosen (s. S. 357) gefüllt, sofort unter Wasser von 15—18° zu bringen.<sup>2)</sup> Nach 2, 3, 4 und 5 Tagen wird der Mörtel mit dem Vicatschen Nadelapparat geprüft, indem festgestellt wird, mit welcher Belastung die 300 g schwere Nadel von 1 qmm Querschnitt den Mörtel durchdringt.

Wenn Traßmörtel bei niedrigen Temperaturen verwendet wird, z. B. im Winter oder bei Grundbauten, so empfiehlt es sich, eine zweite Versuchsreihe bei entsprechender Temperatur auszuführen. In jedem

---

<sup>1)</sup> Der Traß soll so fein wie möglich gemahlen werden, da die Bindefähigkeit des Stoffes mit seiner Feinheit wächst. Zurzeit ist es gerechtfertigt, zu fordern, daß auf dem Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm höchstens 25 % und auf dem Siebe von 5000 Maschen auf 1 qcm nicht mehr als 50 % liegen bleiben.

<sup>2)</sup> Die Ausführung der Nadelprobe bei Luftlagerung wird empfohlen, wenn der Traßmörtel zu Luftbauten verwendet werden soll.

Falle ist die Wasser- und Luftwärme anzugeben.<sup>1)</sup> Als Kalk ist Normalkalk (s. S. 407) zu verwenden.

#### d) Zug- und Druckfestigkeit.

Die Festigkeitsversuche werden mit Zug- und Druckprobekörpern (s. § 239) ausgeführt, die aus 1 Gewichtsteil Normalkalk (s. § 261), 2 Gewichtsteilen Traßmehl, 3 Gewichtsteilen Normalsand (s. § 237) und 0,9—1 Gewichtsteil Wasser<sup>2)</sup> durch Einschlagen auf dem Böhmeschen Hammerapparat (s. S. 365) erzeugt werden. Die Zugproben sind 20 Minuten nach Herstellung und die Druckprobekörper 24 Stunden nach Herstellung zu entformen. Alle Körper werden sofort nach der Herstellung in bedeckten, mit feuchter Luft erfüllten Zinkkästen (s. S. 370) aufbewahrt und 24 Stunden darin gelassen (nur zum Entformen werden sie den Kästen entnommen). Hiernach werden sie unter Wasser von 15—18° C. gelagert und im Alter von 7 oder 28 Tagen geprüft (s. S. 374).

#### § 267. Besondere, in den Normen nicht vorgeschriebene Traßprüfungen.

Außer den vorgenannten Versuchen werden noch folgende ausgeführt. Das spezifische Gewicht des Trasses wird mit dem Volumenometer (s. § 181a) und das Raumbgewicht (Litergewicht) im eingelaufenen und eingerüttelten Zustande (s. § 233) festgestellt. Die Raumbeständigkeitsprüfung erfolgt nach § 242 mit dem Bauschingerschen Tasterapparat oder an Kuchen aus kellengerechtem Normalsandmörtel 1:2:3, die auf Glasplatten und auf Dachziegeln ausgebreitet und nach erfolgtem Abbinden unter Wasser gelagert werden. Treiben<sup>3)</sup> macht sich durch Rissigwerden bemerkbar und ist nach Michaelis auf ungenügendes Ablöschen des verwendeten Kalkes zurückzuführen.

Da Kalktraßmörtel häufig bei Wasserbauten (Talsperren) Verwendung findet, ist er auch der Prüfung auf Wasserdichtigkeit zu unterwerfen.

<sup>1)</sup> In der Praxis ist es meist üblich, zu fordern, daß nach 4 Tagen die Vicatnadel bei 15° C. und unter einer Belastung von 1 kg nicht mehr als 5 mm in die Mörtelmischung eindringt, während schon am zweiten Tage der Eindruck eines Fingers nicht mehr bemerkbar sein soll. Bei höherer Temperatur als 15° C. soll die Belastung gesteigert werden, und zwar soll dieselbe bei ca. 18<sup>3</sup>/<sub>4</sub>° C. Temperatur 2 kg, bei 22<sup>1</sup>/<sub>2</sub>° C. Temperatur 3,25 kg betragen. (A. Hambloch, Der rheinische Traß usw., Andernach 1903.)

<sup>2)</sup> Da zum Mischen eines solchen Mörtels wegen der Neigung des Kalkes und des Traßmehles zum Zusammenballen der Steinbrücksche Mörtelmischer (s. § 238) nicht geeignet ist, wird in der Dresdner Versuchsanstalt hierzu eine Mischmaschine, Konstruktion Hambloch, verwendet, welche ein innigeres Durchkneten des Mörtels bewerkstelligt.

<sup>3)</sup> Bei Verwendung des Normalkalkes ist Treiben nicht zu befürchten. Dagegen tritt diese Erscheinung häufig bei Benutzung von Kalkhydratpulver auf.

Die Probekörper werden aus Normalmörtel 1:2:3 mit dem Spatel (S. 372, Fig. 360) von Hand in Metallringe eingeschlagen und nach der vorgeschriebenen Erhärtungsdauer in dem Wasserdurchlässigkeitsprüfer (s. § 245) einem Wasserdruck von  $2-2\frac{1}{2}$  kg/qcm ausgesetzt.

Weitere Prüfungen sind noch: die Feststellung der Mörtelergiebigkeit, Frostbeständigkeit, Verputzfähigkeit; sie werden nach den in §§ 259, 244 angegebenen Verfahren ausgeführt.<sup>1)</sup>

## V. Die Prüfung des Zementbetons.<sup>2)</sup>

### § 268. Begriffsfeststellung und Bestandteile des Betons.

Der Zementbeton ist ein Gemenge von Zementmörtel und den Zusatzstoffen Sand, Kies oder Steinschlag, oder ein Gemenge von allen diesen Bestandteilen. Das trockene Gemenge der Bestandteile wird als Betongemenge, das mit Wasser fertig gemischte mit Betonmasse und die eingestampfte Betonmasse mit Beton bezeichnet. Der zur Betonbereitung benutzte Sand (s. § 219a) soll nicht zu fein sein und soll scharfkantige, nicht glatte Körner besitzen. Er soll möglichst frei sein von lehmigen Bestandteilen und sonstigen Verunreinigungen, wie z. B. Kohlenstückchen (Elbsand enthält solche), Holzstückchen, Pflanzenresten und dergl.

Der Kies (s. § 219b) soll ebenfalls vorwiegend rauhe Körner und keine Beimengungen aufweisen. Die Steinstücke des Steinschlages (s. § 219c) müssen frei von Erde, Staub und lehmigen Bestandteilen sein und sollen nötigenfalls mit reinem Wasser gewaschen werden. Der Form nach sollen die Steinstücke nicht plattig oder stänglig, sondern würflich sein. Sie müssen genügende Wetterbeständigkeit und mindestens die gleiche Festigkeit besitzen, wie der zur Betonbereitung verwendete Mörtel.

Die Zusammensetzung des Betongemenges sei derart, daß möglichst wenig Hohlräume vorhanden sind. Zu diesem Zwecke müssen die Mengenverhältnisse der Zusatzstoffe derart bemessen werden, daß die feinkörnigen Bestandteile die zwischen den gröberkörnigen verbleibenden Zwischenräume ausfüllen und der Zement nicht als Füllstoff, sondern möglichst nur als Kittmasse für die einzelnen gröberen und feineren Teile zu dienen braucht.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Näheres über künstliche Kalke s. Schoch, Die moderne Aufbereitung und Wertung der Mörtelmaterialien, Berlin 1896. Michaelis, Über das Verhalten hydraulischer Bindemittel zu Meerwasser; Zeitschr. d. Ver. f. Gewerbeleiß 1896. Burchartz, Traß- und Traßmörtel; Mitteilungen aus den Königl. techn. Versuchsanstalten zu Berlin 1900. Ritzmann, Untersuchungen über Traß-Kalk-Sandmörtel, Heidelberg 1907, J. Hörnig. Hambloch, Der rheinische Traß, Andernach 1903.

<sup>2)</sup> S. a. Büsing & Schumann, Der Portlandzement und seine Anwendung im Bauwesen, Berlin 1905.

<sup>3)</sup> S. S. 416.

Die Abmessungen der größten Stücke im Beton richten sich nach der Art seiner Verwendung. Zu Fundamenten großer Abmessungen und dergl. benutzt man Stücke bis zu 6 cm Größe und darüber; Eisenbeton dagegen erfordert feinere Zusatzstoffe, und zwar richten sich ihre Abmessungen nach der Dicke, Form und gegenseitigen Anordnung der Eisenlagen.

Entsprechend seiner Zusammensetzung unterscheidet man unter anderem:

- Kiesbeton (Gemisch aus Bindemittel, Sand und Kies);
- Schotterbeton (Gemisch aus Bindemittel, Sand und Steinschotter);
- Kies-Schotterbeton (Gemisch aus Bindemittel, Sand, Kies und Steinschotter);
- Schlackenbeton (Gemisch aus Bindemittel, Sand und Schlacken oder Bindemittel und Schlacken);
- Ziegelbeton (Gemisch aus Bindemittel, Sand und Ziegelbrocken).<sup>1)</sup>

### § 269. Umfang und Zweck einer Betonprüfung.

Die Prüfung des Betons erstreckt sich auf die Ermittlung der Beschaffenheit des verwendeten Zementes, des Sandes und der Zusatzstoffe (Kies und Steinschlag), sowie auf Feststellung der Druckfestigkeit des nach bestimmten Vorschriften<sup>2)</sup> angefertigten Betons.

Da die Prüfung des Zementes, des Sandes und der Zusatzstoffe bereits in den einschlägigen Abschnitten besprochen wurde, brauchen sich die folgenden Ausführungen nur auf die Prüfung des Betons auf Druckfestigkeit und auf die dabei zu beachtenden Maßnahmen zu erstrecken. Es soll an dieser Stelle jedoch besonders darauf hingewiesen werden, daß die Prüfung des Betons nach den erwähnten Vorschriften eine Güteprüfung der zur Betonbereitung benutzten Baustoffe ist und keine Ergebnisse liefert, die ohne weiteres als Unterlagen für die Berechnung von Bauwerksteilen benutzt werden dürfen. Es ist dies darin begründet, daß auf der Baustelle Herstellung des Betons, Auswahl der Materialien, Bemessung des Wasserzusatzes und der Stampfarbeit niemals mit der Sorgfalt geschehen können, wie bei der Erzeugung von Probekörpern. Ferner ist zu berücksichtigen, daß das Einstampfen der Probekörper in eiserne Formen erfolgt, welche kein Wasser hindurchlassen, während bei der Bauausführung die hölzernen Schalungen das überschüssige Wasser absaugen. Berechnungsunterlagen sind nur zu erlangen durch Prüfung von Probekörpern möglichst großer Abmessungen, die nicht zu Prüfungszwecken hergestellt, sondern

---

<sup>1)</sup> Näheres über Materialien zur Betonbereitung und über die Anwendung von Beton, s. F. Ast, Der Beton und seine Anwendung, Berlin 1907.

<sup>2)</sup> Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Bauten aus Stampfbeton aufgestellt vom Deutschen Betonverein.

Bestimmungen für die Anfertigung und Prüfung von Probekörpern aus Stampfbeton, aufgestellt vom Deutschen Ausschluß für Eisenbeton 1907.

in geeigneter Weise aus fertigen Bauwerksteilen herausgearbeitet wurden. Bei zahlreichen derartigen in der Dresdner Versuchsanstalt ausgeführten Prüfungen hat sich gezeigt, daß ein geschickter Arbeiter Würfel aus größeren Blöcken herausarbeiten kann, ohne daß das Gefüge des Betons Beschädigungen erleidet.

Näheres über den Einfluß der Eigenschaften der zur Betonbereitung benutzten Baustoffe, des Mischungsverhältnisses, der Art des Mischens, des Zustandes der Mischung, der Art der Probekörperherstellung und des Stampfens, der Größe der Probekörper, der Art und Dauer der Erhärtung usw. auf die Versuchsergebnisse s. Burchartz, Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1903, S. 111.

### § 270. Allgemeine Gesichtspunkte für Bereitung der Betonmasse.

Entweder wird zur Anfertigung der Druckprobekörper Betonmasse verwendet, wie sie bei Bauausführungen Benutzung findet, oder man stellt Betonmasse in bestimmten Mischungsverhältnissen her, wenn man die Eigenschaften mehrerer Baustoffe oder Mischungen kennen lernen will.

### § 271. Mischungsverhältnis und Art der Betonmasse.

Das Mischungsverhältnis (Zement : Sand : Gestein) ist in Gewichts- oder Raumteilen anzugeben. Die Korngröße und die Raumgewichte der Zusatzstoffe sind zu ermitteln; die Art der Betonmasse ist zu beschreiben. Erdfeucht ist eine Betonmasse, die nur so viel Wasser enthält, daß erst nach beendetem Stampfen die Oberfläche des Druckprobekörpers anfängt Wasser abzusondern oder unter Fingerdruck nachgibt. Für eine Betonmasse, die infolge der Eigenschaften des Sandes und der Zusatzstoffe derartige Erscheinungen nach dem Stampfen nicht zeigt, gilt als Merkmal des erdfeuchten Zustandes, daß beim Formen eines Ballens mit der Hand deutlich sichtbare Nässe auf der Handfläche zurückbleibt. Weich (plastisch) ist eine Betonmasse, deren Wasserzusatz so bemessen ist, daß die Ränder der durch einen Stampfstoß hervorgerufenen Vertiefung kurze Zeit stehen bleiben und nur langsam verlaufen, so daß eine verdichtende Wirkung vom Stampfen noch erwartet werden kann.

Bei der Ermittlung des günstigsten Mischungsverhältnisses, d. h. desjenigen, bei dessen Verwendung der dichteste Beton erzielt wird, muß man von folgender Überlegung ausgehen. Wie bereits in § 268 erwähnt wurde, darf der Zement im Betongemenge nicht nur als Füllstoff dienen, sondern er soll die einzelnen Gemengteile miteinander verkitten. Zu diesem Zwecke muß er die kleinsten zwischen den Sandkörnchen noch vorhandenen Hohlräume ausfüllen und die Oberfläche aller vorhandenen Körner überziehen. Es ist somit ein Überschuß an Zement erforderlich, der zum Überziehen der Gemengteile bestimmt ist. Würde man daher nur so viel Zement verwenden, als zum Ausfüllen der durch Versuch oder Berechnung bestimmbar Hohlräume nötig ist, so würde er nicht hinreichen, die ein-

zelenen Gemengteile wirksam miteinander zu verkitten. Man gibt daher zu dem durch Berechnung festgestellten Zementzusatz einen Überschuß an Zement, dessen Höhe von der Oberfläche der verwendeten Zusatzstoffe abhängig ist.<sup>1)</sup>

Ein Beispiel mag die Berechnungsweise erläutern.

Ist  $r_r$  das Raumgewicht der Zusatzstoffe im eingerüttelten Zustande,

$s$  das spezifische Gewicht, ermittelt am gepulverten Material,

$\frac{r_r}{s} = d$  der Dichtigkeitsgrad der ohne Bindemittel eingestampften Zuschlagstoffe und

$1 - d = u$  der entsprechende Undichtigkeitsgrad,

so ist für einen Sand mit

$$r_r = 1,85, \quad s = 2,64, \quad d = \frac{1,85}{2,64} = 0,70$$

der Undichtigkeitsgrad, also der Gehalt an Hohlräumen:

$$u = 1 - d = 1 - 0,70 = 30\%$$

Diese Hohlräume müssen mit Zementbrei ausgefüllt und die Sandkörner verkittet werden. Der Mörtel setzt sich demnach zusammen aus 30% (Vol.) Zementbrei + 70% (Vol.) Sand + Überschuß an Zementbrei. Wählt man erfahrungsgemäß 15% Überschuß, so müssen dem Sand 45% (Vol.) Zementbrei zugesetzt werden und das Mischungsverhältnis ist 39% Zementbrei + 61% Sand. Beträgt die Undichtigkeit des Steinschlages 0,40, so wären mit dem obigen Mörtel 40% Hohlräume auszufüllen und außerdem die Steinschlagstücke zu umhüllen. Die für letzteren Zweck erforderliche Mörtelmenge ist abhängig von der Oberfläche, also auch von der Größe der Steinschlagstücke, und wechselt von etwa 15—25% der zum Ausfüllen der Hohlräume erforderlichen Mörtelmenge. Wählt man im vorliegenden Falle ebenfalls wie beim Sande 15% Überschuß, so erhält man die Zusammensetzung der Betonmasse zu

48% (Vol.) Mörtel + 52% (Vol.) Steinschlag

oder

19% (Vol.) Zementbrei, 29% (Vol.) Sand, 52% (Vol.) Steinschlag.

Beträgt der Wasserzusatz 7% (Vol.), so ist das endgültige Mischungsverhältnis des Betons

12 % (Vol.) Zement	oder 1,0	Raumteil	oder ~ 1,0
29 " " Sand	" 2,4	"	" ~ 2,5
52 " " Steinschlag	" 4,3	"	" ~ 4,5
7 " " Wasser	" 0,58	"	" ~ 0,58

<sup>1)</sup> Aus diesem Grunde ist die Meinung nicht ganz zutreffend, daß derjenige Beton den sparsamsten Zementverbrauch ergibt, dessen Zusatzstoffe dicht liegen. Es sind wenig Hohlräume vorhanden, aber es ist sehr viel Bindemittel zum Überziehen der Körner erforderlich.

Die Volumprocente sind in der Weise zu verstehen, daß Volumen auszulegen ist als Quotient aus

$$\frac{\text{absolutes Gewicht des Materials}}{\text{Raumgewicht im eingerüttelten Zustande}}$$

### § 272. Der Wasserzusatz.

Es darf nur reines Wasser<sup>1)</sup> zur Verwendung gelangen; seine Menge ist nach Prozenten des Trockengewichtes sämtlicher in der Mischung enthaltenen Baustoffe anzugeben. Die Ermittlung des Feuchtigkeitsgehaltes (s. § 223) der einzelnen Bestandteile der Mischung zur Feststellung des gesamten Wassergehaltes hat deshalb der Bemessung<sup>2)</sup> des Wasserzusatzes voranzugehen und sind zu diesem Zwecke 3 l des jeweiligen Zusatzstoffes zu benutzen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Zusatzstoffe ist besonders anzugeben.

### § 273. Das Mischen.

Nach den Normen soll das Mischen durch eine Mischmaschine<sup>3)</sup> erfolgen, welche das Mischgut nicht nur durcheinandermengt, sondern auch knetet. Außerdem soll die jedesmal eingebrachte Mischgutmenge für mindestens 3 Probekörper ausreichen. Die Mischzeit beträgt  $\frac{1}{2}$  Minute für Trockenmischung und weitere  $2\frac{1}{2}$  Minuten nach Zugabe des Wassers.

#### a) Handmischung.

Steht keine Mischmaschine zur Verfügung, so muß man sich mit Handmischung behelfen. Die Betonmasse wird dabei auf einer gut gelagerten, kräftigen, dichtschießenden Pritsche oder auf sonst ebener, schwer absaugender und fester Unterlage durch Umschaukeln der Masse hergestellt. Zunächst ist Sand oder Kiessand mit dem Zement trocken zu mischen, bis er ein gleichfarbiges Gemenge ergibt, dann erst sind die vorher angetzten Zusatzstoffe (Kies, Steinschlag) zuzusetzen und das Gemenge mit dem zugegebenen Wasser so lange weiter zu mischen, bis eine gleichmäßig feuchte Masse entsteht und die Steine mit innig gemischtem Mörtel behaftet sind.<sup>4)</sup>

#### b) Die Beton-Mischmaschine „Hüser“.

In einem zwischen zwei kräftigen Ständern (s. Fig. 381) angeordneten Mischgefäß besonderer Form, welches unten durch eine drehbare

<sup>1)</sup> Art und Härte des Wassers sind, wenn möglich, anzugeben.

<sup>2)</sup> Stark poröse Zusatzstoffe saugen viel Wasser auf und entziehen dadurch dem Mörtel Feuchtigkeit.

<sup>3)</sup> Bauart Hüser (Kesseldurchmesser 1100 mm, beim Leergang in der Minute 100 Umdrehungen) (s. Fig. 381).

<sup>4)</sup> Die Betonmasse darf nicht lagern, sondern muß sofort nach ihrer Herstellung verarbeitet werden.

Halbkugel geschlossen ist, laufen zwei sich um ihre eigene Achse drehende Quirle, welche das gesamte Mischmaterial einer innigen Durcheinanderknetung unterwerfen. Gleichzeitig die Kesselwandung und die Halbkugel abstreichende federnde Messer führen das Material stets wieder in den

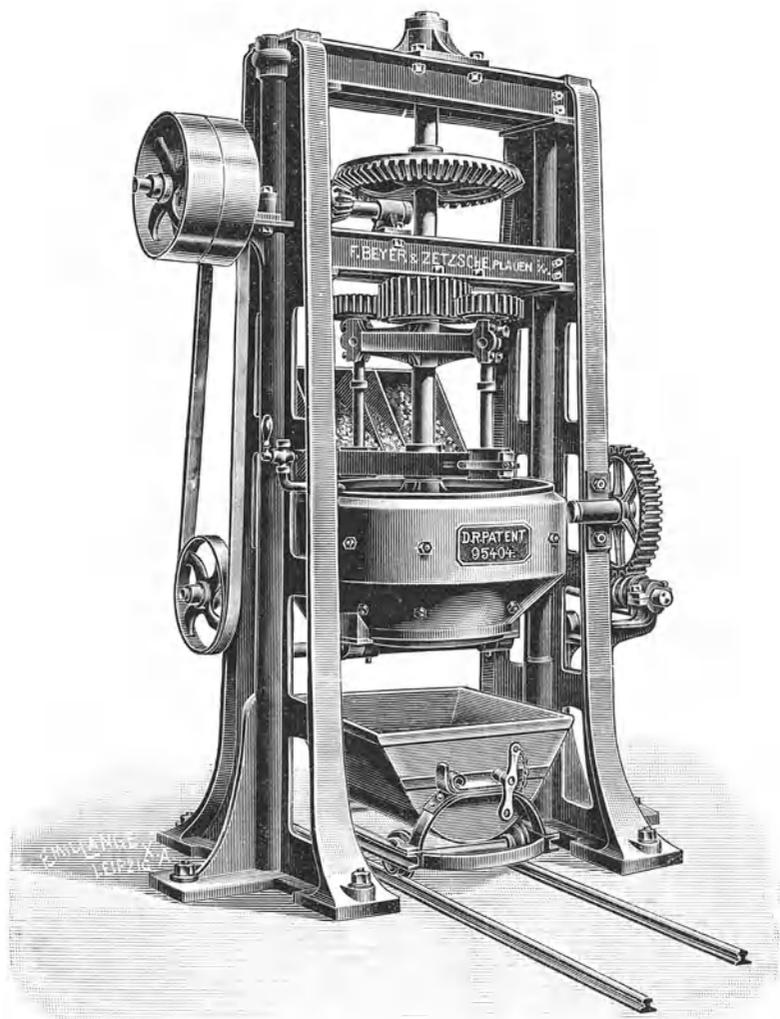


Fig. 381.

Bereich der Quirle, die, frei schwebend aufgehängt und durch die Zentrifugalkraft nach außen geschleudert, größeren Steinstückchen auszuweichen und sich außerdem zu heben vermögen, so daß Verklümmungen unmöglich sind. Nach einigen Gängen in trockener Mischung wird von allen Seiten gleichmäßig das erforderliche Wasserquantum aus einem besonderen, an

die Wasserleitung angeschlossenen Gefäß zugeleitet. Die Wassermenge ist je nach dem Feuchtigkeitsgehalte der Rohmaterialien und dem gewünschten Feuchtigkeitsgrade des Mörtels regulierbar. Das fertige Mörtelmaterial fällt bei der Drehung der abschließenden Halbkugel in den untergefahrenen Wagen.

Das Einfüllen der zu mischenden Materialien geschieht auf folgende Weise: An der hinteren Seite des Mischgefäßes ist ein Blechgefäß, der Einschüttkasten, angeordnet. Während die Maschine immer im Gang bleibt, schaufeln die Arbeiter den Einschüttkasten mit den zu mischenden Materialien (Kies, Steinschotter usw., Sand und Zement) voll und rücken dann einen Hebel ein. Hierauf kippt der Einschüttkasten selbsttätig seinen Inhalt in das Mischgefäß, worin, da die Quirle stets umlaufen, sofort das Mischen der Materialien beginnt. Während dann der Einschüttkasten wieder selbsttätig in seine frühere Lage zurückkehrt und von neuem vollgeschaufelt wird, entleert sich das Mischgefäß nach einer ganz bestimmten Zeit selbsttätig (nachdem das nötige Wasser zugelassen wurde), indem sich die Halbkugel öffnet und sich dann auch selbsttätig wieder schließt, worauf der Mechanismus seine Tätigkeit zunächst einstellt. Unterdessen ist aber das Einschaufeln in den Einschüttkasten beendet, die Arbeiter rücken wieder den Hebel ein und die Mischung beginnt von neuem. Der Einschüttkasten kann dabei auch durch verstellbare Zwischenwände in einzelne Fächer geteilt werden, deren Inhalte in dem gewünschten Mischungsverhältnis zueinander stehen und die dann mit den betreffenden Materialien gefüllt werden.

#### § 274. Die Arbeitsstelle.

Die Anfertigung der Probekörper hat in einem geschlossenen, mäßig warmen Raume, vor Sonne und strahlender Ofenwärme geschützt, zu erfolgen; die Temperatur der Baustoffe (auch des Wassers) soll während der Verarbeitung 10—25° betragen. Die Unterlage, auf welche die Formkästen (§ 275 a) gestellt werden, muß erschütterungsfrei sein; insbesondere sollen neben bereits fertig gestampften Würfeln keine neuen eingestampft werden, weil durch die Erschütterung des Bodens die fertigen leiden können.

#### § 275. Die Geräte zur Herstellung der Probekörper.

##### a) Die Formen.

Da in der Regel 3 Probewürfel mit 30 cm Kantenlänge<sup>1)</sup> anzufertigen sind, müssen auch mindestens 3 Formkästen vorhanden sein. Letztere haben die aus Fig. 382 ersichtliche Konstruktion. Sie bestehen aus der eigentlichen zerlegbaren Form, deren Seitenwände gegenseitig und

<sup>1)</sup> Für feinkörnigen Beton werden auch Würfel mit 20 cm Kantenlänge benutzt.

mit dem Boden durch Schrauben verbunden sind, und dem Aufsatzkasten, der durch Schrauben auf der Form befestigt ist. Die Innenflächen der Form sind sauber, eben bearbeitet; hinsichtlich ihrer Pflege ist auf das S. 370 für die Würfelformen der Zementprobekörper Erwähnte zu verweisen.

#### b) Die Stampfer.

Zum Stampfen sind quadratische Normalstampfer von 12 cm Seitenlänge und 12 kg Gewicht zu benutzen (s. Fig. 383.)

### § 276. Einlegen und Stampfen der Betonmasse.

In die auf einer 3 cm hohen Sandunterlage stehenden Würfelformen wird die Betonmasse in 2 Schichten von gleicher Höhe eingelegt. Bei grober und steinreicher Betonmasse empfiehlt es sich, um am Würfelförper dichte Kanten und Ecken zu erzielen, vor dem Einlegen der Betonmasse am Boden an den Kanten der Form etwas Mörtel vorzulegen. Dieser Mörtel ist der Betonmasse durch Absieben mit dem 7 mm Siebe zu entnehmen.

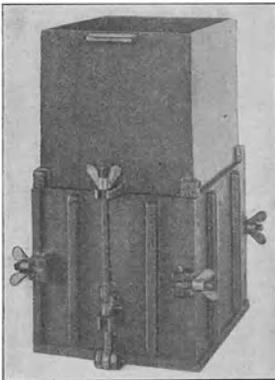


Fig. 382.

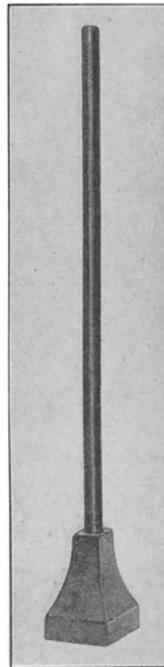


Fig. 383.

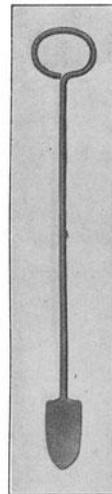


Fig. 384.

Jede Schicht ist zunächst zu ebenen. An den Wandungen der Form muß mit einem passenden Gerät (s. Fig. 384) hinuntergestochen werden, um etwa dort festliegende Steine hinabzudrücken und die Bildung von Nestern und Hohlräumen zu verhindern.

Zur Erzielung eines stets gleichmäßigen Aufwandes an Stampfarbeit und infolgedessen gleichartiger Verdichtung der Betonmasse darf das Stampfen nur durch freien Fall des Stampfers bei rund 25 cm Fallhöhe bewirkt werden. Insgesamt ist jeder Probekörper mit 216 Stampfstößen

herzustellen, und zwar mit 4 mal je 3 = 12 Stampfstößen für jede Stampfstelle jeder Schicht, wobei die Stampfstellen nach Fig. 385 zu wählen sind.<sup>1)</sup>

An einer Ecke, z. B. Fläche 1, beginnend, werden 3 Stampfstöße auf derselben Stelle ausgeübt, hierauf wird der daneben liegende mittlere Teil der ersten Stampfreihe (Fläche 2) derart gestampft, daß der 12 cm breite Stampfer ca. 3 cm auf die erste Stampfstelle übergreift. In gleicher Weise wird bei der dritten Stampfstelle der ersten Stampfreihe, sodann bei der mittleren und dritten Stampfreihe verfahren. Die Stampffläche ist hierauf zum zweiten Male wie vorstehend beschrieben, aber in umgekehrter Reihenfolge, an der zuletzt gestampften Stelle (Fläche 9) beginnend, in 3 Reihen mit je 3 Stößen für jede Stampfstelle zu bearbeiten. Schließlich ist die Fläche in gleicher Weise und Reihenfolge noch ein drittes und viertes Mal zu stampfen. Vor dem Einlegen der zweiten Schicht muß die Oberfläche der ersten Schicht zur Erzielung guter Verbindung aufgeraut werden. Das Stampfen der zweiten Schicht hat in

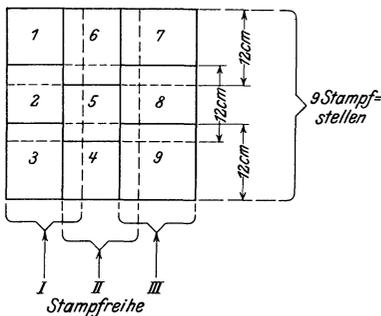


Fig. 385.

gleicher Weise zu erfolgen, wie das Stampfen der ersten Schicht. Nach Beendigung des Stampfens wird der Aufsatzkasten abgehoben, der überstehende Beton mit einem eisernen Lineal abgestrichen und etwaige Hohlräume in der Oberfläche werden mit Mörtel aus der übrigen Betonmasse ausgefüllt. (Die abgestrichene Betonmasse darf nicht zur Herstellung weiterer Probekörper benutzt werden, weil ihre Zusammensetzung sich durch das

Stampfen verändert hat.) In die Niederschrift über die Anfertigung der Probekörper sind Temperaturen und Witterungsangaben einzutragen.<sup>2)</sup> Manche Behörden besitzen zur Anfertigung von Probekörpern besondere Vorschriften, welche von den vorstehend angegebenen abweichen und infolgedessen keine vergleichbaren Festigkeitsergebnisse liefern können.

Die Königl. Generaldirektion der Sächs. Staatseisenbahnen schreibt z. B. vor, daß die Fallhöhe des Stampfers 25 cm betragen und das Ein-

<sup>1)</sup> Bei allen Betonarten ist es nicht möglich, beim Einstampfen drei Stampfstöße hintereinander auf dieselbe Stelle des Betonkörpers zu führen. Der Stampfer dringt bei weichem Beton tief in die Masse ein und lockert die daneben liegenden Teile auf. Man muß sich in solchen Fällen mit einem Stampfstoß auf jede Stelle begnügen und jede Schicht 12 mal anstatt 4 mal in der angegebenen Reihenfolge stampfen.

<sup>2)</sup> Es empfiehlt sich auch den Namen des Arbeiters anzugeben, welcher die Probekörper herstellte.

füllen der Betonmasse in die Formen in 3 Schichten für je 10 cm Würfelhöhe erfolgen soll.

Neuerdings findet zur Herstellung der Probewürfel an einigen Prüfstellen auch die Schmidtsche Betonstampfmaschine Verwendung, s. § 277.

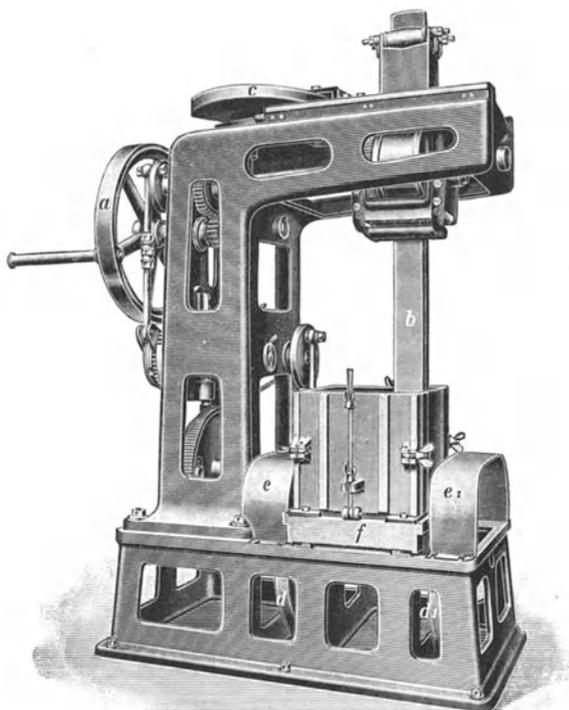


Fig. 386.

### § 277. Schmidts Betonstampfmaschine.

Die Grundaufgabe der Stampfmaschine (s. Fig. 386) besteht darin, die willkürlichen und die unwillkürlichen Beeinflussungen des Handstampfens zu beseitigen, also

1. die Fallhöhe,
2. den Ort der Stampfschläge und
3. die Zahl der Schläge

genau festzulegen.

Die Maschine ist demgemäß so eingerichtet, daß

1. der Stempel, gleichgültig wie weit die Form gefüllt ist, immer aus gleicher Höhe (25 cm) frei auf die in der Normalform (s. Fig. 382 S. 421) befindliche Betonmasse fällt,
2. der die Form tragende Tisch und der Stempel selbsttätig gegeneinander absatzweise so verschoben werden, daß die einzelnen Stampf-

stellen bei gleichen Abständen in geraden Reihen liegen, sich gegenseitig um ein gewisses Maß überdecken und in wiederkehrender Folge unter den Stempel gebracht werden und daß schließlich

3. nach einer genau einstellbaren Anzahl von Stampferschlägen der Antrieb für die Vorrichtung zwangsläufig und augenblicklich ausgerückt wird.

Bei den Probewürfeln von 30 cm Kantenlänge kommen, da man einen quadratischen Stempel von 12 cm Seitenlänge verwendet, auf die Fläche 9 Stöße und diese übt die Maschine in der aus Fig. 387 ersichtlichen Reihenfolge aus. Dabei wird der Stampfer von links nach rechts bzw. umgekehrt und der Tisch, auf dem sich die Form befindet, von vorn nach hinten oder umgekehrt bewegt. Die Verschiebung von Tisch und Stempel erfolgt von dem Handrad *a* aus, ebenso wie das Anheben und Freigeben des Stempelstiels *b*. Die Bewegungen geschehen absatzweise, aber stoßfrei und so genau, daß der Stampfer immer erst dann wieder herunterfällt, wenn der Tisch an dem neuen Orte angekommen ist. Die zwangsläufige Verschiebung geschieht mittelst der Kurvenscheiben *c*, *d*, *d*<sub>1</sub>, die von der Welle des Handrades durch die an dem senkrechten

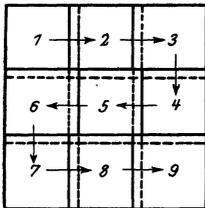


Fig. 387.

Ständer der Maschine sichtbaren Zahnräder und Stangen bewegt werden. Die beiden Scheiben *d* und *d*<sub>1</sub> sind durch Schutzbleche *e* und *e*<sub>1</sub> vor Verunreinigungen mit Mörtelmasse geschützt.

Der Verlauf der Stampfarbeit ist nun, wenn man von der Stellung 1 (Fig. 387) ausgeht, folgender. Ist der erste Schlag gefallen, so wird der Stempel *b* mit seinem ganzen Arbeitsmechanismus an dem Ausleger der Maschine

um die Stampferbreite nach außen geschoben und nach dem zweiten Schlag in derselben Richtung bis an die andere Seite der Form. Während aber nunmehr der Stempel durch die besondere Gestaltung der Führungsrinne in der Kurvenscheibe *c* stehen bleibt, wird der Tisch *f* um eine Stempelbreite nach hinten geschoben. Es folgt der Schlag 4. Die Kurvenscheibe *c* zieht weiterhin unter Vollendung eines Umganges den Stempel nach links in die Stellungen 5 und 6 zurück und, nachdem inzwischen der Tisch um einen weiteren Absatz nach hinten geschoben wurde, beginnt der Stempel seinen alten Weg. Ist der Schlag 9 gefallen, so bleibt der Tisch noch in der dritten Stellung für die nächsten 3 Schläge stehen und setzt dann seinen Weg rückwärts in umgekehrter Reihenfolge wie vorher fort. Hiernach wiederholt sich dasselbe Spiel.

Die Maschine ist mit einem Zählwerk versehen, das nach Bedarf eingestellt werden kann und nach Ausübung der vorgeschriebenen Anzahl Schläge auf jede Stampfstelle, also bei 12 (s. S. 422) nach 108 Schlägen, den ganzen Bewegungsmechanismus ausrückt oder feststellt.

Durch eine einfache Umschaltvorrichtung ist die Maschine auch unmittelbar zum Stampfen von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge benutzbar

zu machen. Sie übt dann auf die ganze Oberfläche nur 4 Schläge aus, deren Folge aus Fig. 388 zu ersehen ist.

Ferner kann man durch Einschaltung eines besonders geformten Zahnrades erreichen, daß auf jede Stampfstelle 3 Schläge hintereinander ausgeübt werden und somit die maschinelle Stampfausführung der zurzeit angestrebten Handarbeit völlig gleicht.<sup>1)</sup>

### § 278. Behandlung und Aufbewahrung der Probekörper.

Sofort nach dem Einstampfen werden die Probekörper durch Eindrücken von Zahlen mit Bezeichnungen versehen. Sie verbleiben alsdann mindestens 24 Stunden in den Formen und nach Abnehmen der 4 Seitenwände der Formkasten nochmals 24 Stunden auf dem Boden des Formkastens. Hiernach werden sie in einem geschlossenen, frostfreien Raume (wenn möglich bei 15—20°) in feuchtem Sande<sup>2)</sup> gelagert. Der Sand muß erd- und lehmfrei sein und soll jeden Würfel in 10 cm dicker Schicht umgeben.<sup>3)</sup> Während der Lagerungsdauer ist der Sand feucht zu halten.<sup>4)</sup>

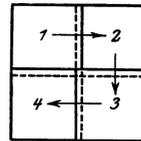


Fig. 388.

### § 279. Die Druckprobe.

Die Prüfung der Probewürfel erfolgt in der Regel 28 Tage nach der Herstellung der Probekörper. Für etwaige weitere Proben sind Fristen von 90 Tagen, 1, 2 und 5 Jahren üblich.<sup>5)</sup>

Vor der Prüfung sind Gewicht und Abmessungen der Probekörper zu ermitteln und festzustellen, ob die Druckflächen eben und parallel sind. Unebene und nicht parallele Flächen werden mit Zementmörtel 1 : 1 dünn abgeglichen, der aufgebrauchte Mörtel soll bei der Prüfung annähernd die Festigkeit des Betonkörpers haben. Zur Ermittlung der Druckfestigkeit wird der Probewürfel zwischen die Preßplatten der Prüfungsmaschine gebracht,<sup>6)</sup> mit Hilfe der beweglichen Druckplatte (s. S. 53) ausgerichtet

<sup>1)</sup> Lieferant der Maschine ist das Chemische Laboratorium für Tonindustrie in Berlin.

<sup>2)</sup> Manche Probekörper werden auch unter Wasser gelagert (s. S. 373).

<sup>3)</sup> Bei Platzmangel können 4 Schichten Probekörper übereinander gesetzt werden.

<sup>4)</sup> Bei etwaigem Versand werden die Probekörper in feuchtes Sägemehl verpackt.

<sup>5)</sup> Die Druckversuche mit 1, 2 und 5 Jahre alten Probekörpern haben für die Praxis, weil nach diesen Zeiträumen der Bau gewöhnlich beendet ist, nur insofern Wert, als sie einen Einblick in die Nacherhärtung des Betons liefern, deren Kenntnis für spätere Bauausführungen wertvoll ist.

<sup>6)</sup> Die Druckrichtung ist einflußlos, der Würfel kann parallel zur Einstampfrichtung und auch senkrecht dazu geprüft werden. Beide Beanspruchungsweisen liefern das gleiche Ergebnis, d. h. für sogen. praktische Verhältnisse, weil dabei schon bei gleichartiger Beanspruchungsweise die durch die Eigenart

und mit allmählich gesteigertem Druck bis zum Eintritt des Bruches belastet. Der Bruch ist als eingetreten zu erachten, wenn der Kraftanzeiger der Prüfungsmaschine einen Rückgang der Belastung anzeigt. Absplittern von Kanten des Würfels oder von Schalen an den Seitenflächen ist noch nicht als Bruch zu betrachten.

In den Versuchsanstalten erfolgt die Prüfung der Probekörper in der Regel mit stationären Prüfungsmaschinen verschiedener Bauart. Für die Baustelle ist dagegen die von Martens konstruierte Betonprüfungsmaschine für 300 t Belastung<sup>1)</sup> mit Fahrwerk, deren neueste Ausführungsform in § 130 beschrieben ist, besonders zweckmäßig. Hydraulische Presse mit Pumpwerk, sowie Kraftmesser sind auf einem mit Rädern versehenen Gestell montiert, so daß die Presse in einfachster Weise zum jeweiligen Lagerungsorte der Probekörper geschafft werden kann. Da die Presse auf Baustellen gewöhnlich nicht mit der nötigen Sorgfalt behandelt und gepflegt werden kann wie die Prüfungsmaschinen der Versuchsanstalten, empfiehlt es sich, sie öfters zu eichen oder wenigstens nachsehen zu lassen.

### § 280. Die elastischen Eigenschaften des Betons.

Bei manchen Bauwerken, Betonbrücken, Betondecken usw., die durch bewegliche Lasten wiederholt durchgebogen werden, erleidet der Beton ständig Dehnungen und Zusammendrückungen, die niemals so groß werden dürfen, daß die Elastizitätsgrenze (s. § 4) des Betons überschritten wird. Es ist deshalb wertvoll, die elastischen Eigenschaften des Betons durch geeignete Versuche zu studieren. Die umfangreichsten Versuche auf diesem Gebiete dürfte Bach<sup>2)</sup> ausgeführt haben, der auch mit Sicherheit feststellte, daß für Beton nicht das Hookesche Gesetz (s. § 4) gültig ist, sondern, daß die Dehnungen rascher wachsen als die Spannungen.

des Materials bedingten Abweichungen der Druckfestigkeit der einzelnen Probekörper den Einfluß der Stampfrichtung auf die Druckfestigkeit des Probekörpers überwiegen. Bei Laboratoriumsversuchen dagegen ergibt sich die Druckfestigkeit der Würfel bei Beanspruchung senkrecht zu ihrer Stampfrichtung größer, als bei Beanspruchung in der Stampfrichtung. Selbstverständlich übt aber auch hierbei die Größe des Wasserzusatzes einen erheblichen Einfluß aus; die Verschiedenheit der Druckfestigkeiten nimmt um so mehr ab, je höher der Wasserzusatz ist. Am zweckmäßigsten erscheint es, die Würfel in derselben Richtung zu zerdrücken, wie der Beton im Bauwerke beansprucht wird, wenn man nicht dazu übergehen will, eine bestimmte Druckrichtung wie bei der Prüfung von Portlandzement vorzuschreiben.

<sup>1)</sup> Auf einen Fehler der älteren Konstruktionen dieser Maschinen ist bereits auf S. 54 hingewiesen worden. Ergänzend ist noch hinzuzufügen, daß bei einigen Maschinen sich auch die untere Traverse, in welche der Zylinder eingebaut ist, durchbiegt, so daß der ehemals kreisrunde Zylinderquerschnitt elliptisch wird und der Kolben klemmt.

<sup>2)</sup> Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1895, S. 489, 1896, S. 1381, 1897, S. 248.

Der Dehnungskoeffizient ist abhängig von der Zusammensetzung des Betons und den dazu verwendeten Baustoffen. Die von Bach benutzte Probekörperform für Zug- und Druckversuche, die auch andernorts fast ausschließlich Anwendung findet, ist bereits auf S. 30 erwähnt und dargestellt worden. Die Probekörper besitzen an den Enden Verbreiterungen, mit denen sie in die Einspannköpfe der Materialprüfungsmaschine eingehängt werden; sie sind aber auch abgeplattet, so daß sie gleichzeitig für Druckversuche Benutzung finden können. Dies ist ein wesentlicher Vorteil, da man dadurch in der Lage ist, an einem einzigen Körper den Dehnungskoeffizienten für Zug- und Druckbeanspruchung festzustellen. Die Probekörper werden durch Einstampfen des Betons in zerlegbare eiserne Formen (s. Fig. 389) hergestellt und im übrigen wie die Druckprobekörper behandelt. Neuerdings verwendet Bach<sup>1)</sup> Probekörper mit Einspannvorrichtungen nach Fig. 390. Die Dehnungsmessung erfolgt in der Dresdner Versuchsanstalt mit Martensschen Spiegelapparaten unter Benutzung einer 25 cm langen Meßstrecke. Wegen des großen Querschnittes der Probekörper werden drei Paare Spiegelapparate verwendet (ihre Verteilung ist aus Fig. 391 ersichtlich) und aus ihren Anzeigen der Mittelwert gebildet.

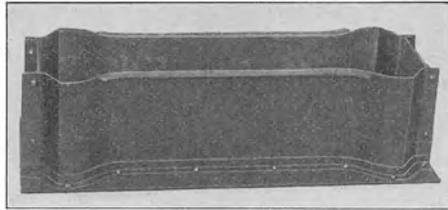


Fig. 389.

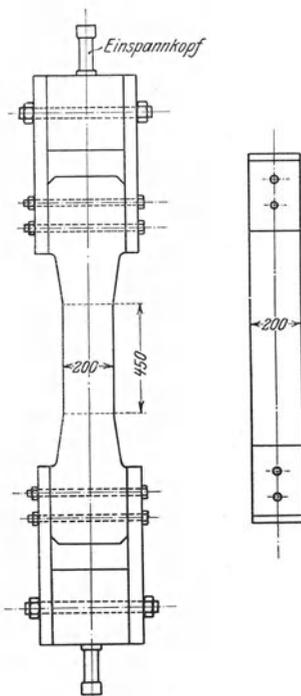


Fig. 390.

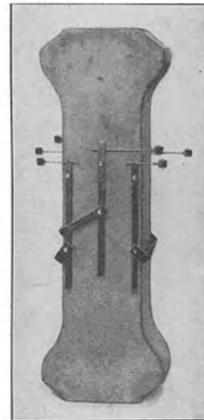


Fig. 391.

Fig. 391 ersichtlich) und aus ihren Anzeigen der Mittelwert gebildet.

<sup>1)</sup> Bach, Versuche mit Eisenbetonbalken, Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 39, 45—47.

### § 281. Die Wasserdichtigkeit des Betons.

Für gewisse Zwecke wird große Wasserdichtigkeit des Betons verlangt. Sie ist abhängig von dem Mischungsverhältnis und von der Dichtigkeit des Betons selbst, ohne daß zu einem bestimmten Mischungsverhältnis oder zu einem gewissen Dichtigkeitsgrade eine bestimmte Wasserdichtigkeit gehört. Auch gibt es Zemente, welche poröse Mörtel liefern, deren Poren auch bei fortschreitender Erhärtung sich nicht schließen und dadurch die Wasseraufnahme und somit den Wasserdurchtritt begünstigen.

Da eine Erprobung des Betons auf Wasserdurchlässigkeit unter solchen Verhältnissen, wie sie bei Wasserbassins vorliegen, mit dem in § 245 beschriebenen Apparate zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit von Zement infolge der geringen Abmessungen der Probestücke nicht angängig ist, konstruierte Verfasser zur Prüfung größerer Betonplatten

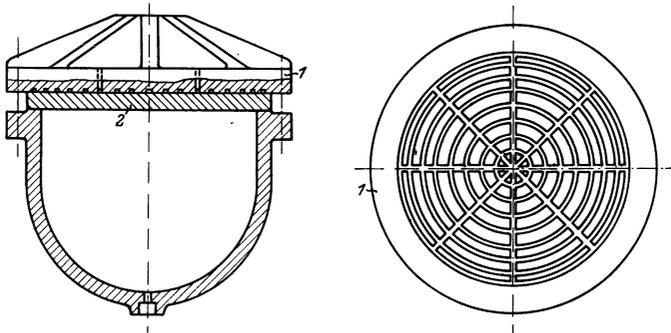


Fig. 392.

die in Fig. 392 dargestellte Vorrichtung. Sie stellt einen Autoklaven dar, dessen Deckel 1 mit Rinnen und Löchern versehen ist. Die Betonplatte 2 wird in den Autoklaven eingesetzt und stützt sich bei Erhöhung des Flüssigkeitsdruckes in dem Autoklaven gegen den Deckel, ohne daß Biegungsspannungen im Beton auftreten können. Bei Undichtigkeiten vermag die Luft und das Wasser durch die Rinnen und Löcher im Deckel 1 zu entweichen und die undichte Stelle des Betons ist durch die Färbung zu erkennen, welche die dem Wasser zugesetzte Anilinfarbe bewirkt. Mit dieser Vorrichtung werden auch Anstrichmassen oder sonstige Mittel zum Abdichten von Beton geprüft. Es wird dazu die Innenseite der Betonplatte mit dem Anstrich versehen (oder mit dem Dichtungsmittel belegt oder auch damit getränkt) und der Flüssigkeitsdruck festgestellt, der erforderlich ist, um innerhalb einer Stunde den Wasserdurchtritt durch die Betonplatte einzuleiten.

## VI. Die Prüfung des Holzes.

### § 282. Allgemeines.

Die vielseitige Verwendbarkeit des Holzes als Baumaterial hat bereits frühzeitig zur Erprobung seiner physikalischen Eigenschaften Veranlassung gegeben. Bereits im Jahre 1847 stellte Nördlinger<sup>1)</sup> umfassende Holzuntersuchungen an, und seine Versuche sind für die spätere Ausgestaltung der Prüfungsverfahren für Holz vorbildlich geblieben. Auf einheitliche Grundlage gestellt wurden sie jedoch erst durch die Bemühungen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, welcher im Jahre 1906 die von einer Sonderkommission vorgeschlagenen Grundsätze zur Prüfung von Holz annahm.<sup>2)</sup> Unberücksichtigt blieben in diesen Grundsätzen die Untersuchungen über die Dauer und Härte des Holzes.

Bevor man an eine Holzuntersuchung herantritt, muß die Frage geklärt sein, ob die Prüfung Aufschluß über die Eigenschaften eines vorliegenden Probestückes oder die eines Stammes, oder die eines ganzen Waldbestandes geben soll. Im ersteren Falle genügt die Untersuchung ohne Rücksicht auf Entstehung und Ursprung des Holzes. Im zweiten Falle sind bereits Erwägungen darüber anzustellen, welchem Teile des Stammes die Versuchskörper entnommen werden müssen, und der dritte Fall erfordert eingehende Besichtigung des Waldbestandes, außerdem Erhebungen über die Entstehung des Waldes, ferner über das Alter, die Wachstumsverhältnisse, die klimatischen Verhältnisse usw.

Unter den letzten Gesichtspunkten wird in den folgenden Paragraphen die Prüfung des Holzes auf diejenigen Eigenschaften erläutert werden, deren Kenntnis zu seiner Beurteilung erforderlich ist. Hierzu gehören:

Standort und Ursprung,  
 Äußere Beschaffenheit,  
 Raumbgewicht,  
 Feuchtigkeitsgehalt,  
 Schwinden und Quellen,  
 Zug-, Druck-, Biege-, Scherfestigkeit,  
 Spaltbarkeit,  
 Härte,  
 Dauerhaftigkeit.

### § 283. Probeentnahme.

Bei der Probeentnahme ist zuerst der Ursprung des Probematerials festzustellen, und zwar nach Standort, Wachstum, Alter, Fällungszeit, Art der Lagerung und Lage des Versuchsstückes im Stamme.

<sup>1)</sup> Nördlinger, Die technischen Eigenschaften der Hölzer, Stuttgart 1860, s. a. Chevandier & Wertheim, Mémoires sur les propriétés mécaniques du bois, Paris 1848.

<sup>2)</sup> Die Bearbeitung der Grundsätze erfolgte in der Hauptsache durch Rudeloff.

## a) Standortbeschreibung.

Hierzu ist die Anleitung zur Standort- und Bestandsbeschreibung beim forstlichen Versuchswesen (Neudamm 1907, Verlag von J. Neumann, Preis 1,20 M.) zu benutzen.

Es kommen in Betracht:

- α) die allgemeine geographische Breite und Länge, sowie ob Küstenland, Flußniederung, Flachland, Hochebene, Hügelland, Mittelgebirge, Hochgebirge;
- β) die besondere örtliche Lage (d. i. absolute Höhe über N. N., Neigungsrichtung und Neigungswinkel der achtteiligen Windrose, Bodenausbildung, nachbarliche Umgebung);
- γ) das Klima, gekennzeichnet durch die mittlere Jahrestemperatur, die mittlere Niederschlagsmenge;
- δ) der Boden, beschrieben nach Art und Struktur des Grundgesteines bzw. nach der geologischen Zugehörigkeit desselben (z. B. Dünen sand, Talsand, Flußsand, Diluvialmergel, Aueboden und dergl.), nach seinem äußeren Zustande (nackt, bedeckt, Bodenflora, Humusformen), nach seinen Bestandteilen (mineralische oder auch chemische Zusammensetzung), nach seinen physikalischen Eigenschaften (Gründigkeit, Bindigkeit, Durchlässigkeit, Frische, Farbe), nach dem Bodenprofil und schließlich noch nach Verbreitung der Wurzeln.

## b) Die Standortsgüte.

Unterschieden in:

- α) „gut“ (Standortsklassen I und II);
- β) „mittel“ (Standortsklasse III);
- γ) „gering oder schlecht“ (Standortsklassen IV und V).

## c) Art des Bestandes.

Unterschieden in:

- α) „im Freien gestanden“;
- β) „aus durchlichtetem Bestande“;
- γ) „aus geschlossenem Bestande“.

Bei Auswahl der Probestämme aus geschlossenen oder annähernd geschlossenen Beständen sollen die Mittelstämme unter den 200 stärksten Stämmen als Repräsentanten des ganzen Bestandes benutzt werden. Wenn eine derartige Wahl nicht stattfinden kann, sollen der Regel nach nur herrschende Stämme (d. h. zeitentwickelte Stämme mit normaler, dem Durchschnitte der besseren Stämme des betreffenden Standes entsprechenden Stamm- und Kronenform) zur Untersuchung herangezogen werden. Andererseits ist wenigstens anzugeben, ob die zu untersuchenden Stämme den stärksten, mittleren oder geringeren Stämmen des Bestandes angehören.

## d) Wachstumsverhältnisse.

Die Wachstumsverhältnisse werden gekennzeichnet durch:

$\alpha$ ) den Formquotienten  $\frac{\delta}{d}$ ;

Es ist  $\frac{\delta}{d} = \frac{\text{Durchmesser in halber Stammhöhe}}{\text{Durchmesser 1,3 m über dem Erdboden}}$ ;

$\beta$ ) das Kronenverhältnis, d. i. Gesamtlänge des Stammes, Länge der Krone, größter Durchmesser der Krone;

$\gamma$ ) die Entstehungsweise, d. h. ob aus Saat, Pflanzung, Naturbesamung, Stockausschlag hervorgegangen;

$\delta$ ) die Jugendentwicklung;

$\epsilon$ ) die bisherige wirtschaftliche Behandlung.

## e) Das Alter des Baumes.

Das Alter eines Baumes wird ermittelt durch Auszählen der Jahresringe am Stockabschnitt, d. h. am unteren Ende des Stammes.

## f) Die Fällungszeit.

Es ist das Datum der Fällung nach Jahr, Monat und Tag festzustellen.

## g) Art der Lagerung.

Es ist festzustellen, ob der für die Prüfung bestimmte Stammabschnitt im freien oder geschlossenen Raume gelagert und ob er nach der Fällung getrocknet wurde. Gegebenenfalls ist die Art des Trocknens zu ermitteln.

## h) Lage des Versuchsstückes im Stamm.

Es ist festzustellen, welcher Zone des Stammes das Probestück entnommen wurde. Der Beschreibung ist zweckmäßig eine Skizze beizufügen, aus welcher die Lage des Versuchsstückes im Stamme ersichtlich ist und aus der gleichzeitig die Himmelsrichtung in bezug auf den Stammquerschnitt zu erkennen ist.

## § 284. Die Beschreibung der äußeren Kennzeichen des Probestückes.

Ebenso wie durch den Ursprung die physikalischen Eigenschaften des Holzes beeinflusst werden, zeigen sie auch eine Abhängigkeit von der äußeren sichtbaren Beschaffenheit. Ihre Beschreibung hat zu erfolgen:

a) nach dem Aussehen des Längsschnittes oder der Spaltfläche, und zwar ist anzugeben:

$\alpha$ ) der Verlauf der Holzfasern, gerade oder krumm gewachsen,

$\beta$ ) Anzahl, Art und Verteilung etwa vorhandener Aststummel;

b) nach dem Aussehen des Querschnittes, wobei festzulegen ist:

$\alpha$ ) die durchschnittliche radiale Jahrringbreite; Holz mit schmalen Jahrringen heißt „feinjährlig“, solches mit breiten „grobjährlig“,

- β) die Breite von 30 zu 30 Jahrringen, als Maß für gleiche Altersabschnitte, beginnend mit dem äußeren Ringe,
- γ) die Jahrringlänge auf 1 qcm Querschnittsfläche, ermittelt mit Hilfe eines Meßrädchens,
- δ) Art der Anlagerung der Holzringe, „kreisförmig“ oder „exzentrisch“,
- ε) bei Nadelhölzern das mittlere gemessene Breitenverhältnis zwischen den Herbst- (Spät-) holz- und Frühjahrholzschichten.

Ferner ist zur Kennzeichnung des Holzes seine Farbe und sein Geruch anzugeben. Nadelholz riecht z. B. nach Harz und Terpentin, Eichenholz nach Gerbsäure, Weichselkirsche nach Waldmeister usw.

### § 285. Entnahme der Versuchskörper aus den Probestücken.

Ebenso wie die Entnahme der Probestücke aus einem Stamme oder einem Waldbestande (s. § 283 h) vorschriftsmäßig zu erfolgen hat, sind bei Entnahme der Versuchskörper gewisse Umstände zu berücksichtigen. In erster Linie müssen die Versuchskörper schätzungsweise Material mittlerer Güte des Probestückes darstellen. Sie sollen tunlichst astfrei sein, oder, wenn auch die Eigenschaft ästigen Holzes in Frage kommt, ist astfreies und ästiges Holz zu prüfen. Die Versuchsergebnisse sind jedoch auseinanderzuhalten. Im allgemeinen können Regeln für Entnahme der Versuchskörper aus den Probestücken nicht aufgestellt werden. Die jeweilig in Frage kommenden Gesichtspunkte werden daher bei den Prüfungen, für welche die Versuchskörper dienen sollen, angegeben werden.

Soweit es sich darum handelt, Versuchskörper aus einem ganzen Stamme zu entnehmen, gilt allgemein folgendes:

Beim Zerlegen des Stammes ist zu beachten, daß die Reststücke wirtschaftlich verwendbar bleiben. Die ehemalige Lage der Probestücke im Stamme muß angegeben und am besten an der Hand einer Skizze erläutert werden. Bei Untersuchungen über den Einfluß der Höhenlage des Versuchskörpers im Stamme ist der unterste Abschnitt zur Ermittlung der Druckfestigkeit und für die des Raumgewichtes ein 1,3 m über dem Boden gelegener zu wählen. Die weiteren sind bei 1, 5, 11, 17 m und so fortschreitend um je 6,0 m über dem Stockabschnitte zu entnehmen, bis der Durchmesser des Stammes weniger als 13 cm beträgt.

Zur Erprobung von Stämmen auf Verwendbarkeit als Tragbalken und Stützen von bestimmter Länge werden Biegeprobekörper (s. § 291) benutzt, die tunlichst aus Zonen des Stammes herrühren sollen, welche der Mitte des Gebrauchsstückes entsprechen.

Zur Ermittlung der Durchschnittseigenschaften der Stämme ist folgendes Versuchsmaterial zu entnehmen:

Ein Abschnitt für Biegeprobekörper, zwischen 7 und 10 m der Stammhöhe, die Proben zu den übrigen Versuchen unmittelbar oberhalb bzw. unterhalb des Biegeprobekörpers.

### § 286. Das Raumgewicht.

Das Raumgewicht ist abhängig von der Dichtigkeit des Holzes, die wiederum durch die Weite der Holzzellen und Gefäße, sowie durch die Dicke ihrer Wandungen bedingt ist. Es schwankt bei den einzelnen Holzarten in weiten Grenzen und ist groß bei feinjährigen Nadelhölzern, die auf rauhen Höhen gewachsen sind, ferner bei ringporigen Laubhölzern mit breiten Jahrringen und bei Bäumen, welche in tropischen Gegenden heimisch sind. Holz von der Nordseite eines Bestandes besitzt höheres Raumgewicht als solches von der Südseite. Auch ist das Raumgewicht größer bei Bäumen von trockenem Standort als bei solchen von nassem, bei langsam gewachsenen größer als bei solchen mit üppigem Wachstum, bei im Winter geschlagenen größer als bei den im Sommer gefällten. Ferner besitzt Kernholz ein größeres Raumgewicht als Splintholz, Maserholz ein größeres als nicht gemasertes.

Beeinflusst wird das Raumgewicht in hohem Maße durch den Feuchtigkeitsgehalt des Holzes. Derselbe ist bei den einzelnen Holzarten verschieden und abhängig von der Jahreszeit, zu welcher das Holz gefällt wurde.

Man unterscheidet:

- α) das Grüngewicht, d. i. das Gewicht des frisch gefällten, saftreichen Holzes;
- β) das Lufttrockengewicht, d. i. das Gewicht nach dem Austrocknen an der Luft. Es schwankt mit seinem Feuchtigkeitsgehalt (ca. 10 bis 15 %), der von jenem der Luft abhängig ist;
- γ) das Darrgewicht, d. i. das Gewicht des künstlich bei 95° getrockneten Holzes (s. S. 434).

Alle Festigkeits- und Gewichtszahlen werden auf Holz im lufttrockenen Zustande mit 15 % Feuchtigkeitsgehalt bezogen.

Zur Berechnung des Dichtigkeitsgrades (s. S. 295) dagegen wird das Darrgewicht benutzt, wobei das spezifische Gewicht der porenlos gedachten Holzmasse, für alle Holzarten etwa gleich 1,5, gewählt werden kann.

Nach Versuchen des Verfassers ist das spezifische Gewicht des Zellstoffes

- von Kiefernholz = 1,5414, bei einem spezifischen Gewicht im gedarrten Zustande von  $s = 0,4296$ ;
- von Eichenholz = 1,5341, bei  $s = 0,6373$ ;
- von schwerem Eukalyptusholz = 1,5248, bei  $s = 0,9580$ ;
- von leichtem Eukalyptusholz = 1,5331, bei  $s = 0,7044$ .

Die Bestimmung des Raumgewichtes von Holz erfolgt entweder stereometrisch durch Berechnung aus den Abmessungen sauber bearbeiteter, rißfreier Versuchskörper (s. § 181 a) oder nach der Wasserverdrängungsmethode (s. § 181 a γ) oder, wenn weitgehende Genauigkeit gefordert wird, nach der Auftriebsmethode (s. § 181 b). Da Holz begierig Wasser aufsaugt, muß die Bestimmung zur Vermeidung von Fehlern schnell (15—20 Sekunden)

durchgeführt werden oder der Versuchskörper durch einen Überzug von Leinöl oder einer Lösung von Paraffin in Benzol gegen das Eindringen von Wasser geschützt werden (s. S. 293).

### § 287. Der Feuchtigkeitsgehalt.

Da der Feuchtigkeitsgehalt, wie bereits mehrfach erwähnt, alle Eigenschaften des Holzes beeinflußt und seine Größe abhängig ist von der Fällungszeit, der Aufbewahrungsart und der Lage des Versuchskörpers im Probestück, muß seine Bestimmung unmittelbar an dem Versuchskörper erfolgen, zu dessen Beurteilung die Kenntnis des Feuchtigkeitsgehaltes gefordert wird.

Alle Angaben haben in Prozenten des Darrgewichtes, also des Holzgewichtes im vollständig trockenen Zustande, zu erfolgen.

Bei der Untersuchung umfangreicher Versuchskörper, deren Trocknen umständlich wäre, entnimmt man dem Körper sofort nach der Prüfung an mehreren Stellen mit der Handsäge<sup>1)</sup> Abschnitte von ca. 2—5 cm Faserlänge und bildet aus ihrem Feuchtigkeitsgehalt den für den ganzen Versuchskörper gültigen Mittelwert. Weicht der Mittelwert stark von dem Feuchtigkeitsgehalt des Probestückes an der Bruchstelle ab, so wird zur Bruchfestigkeit der letztere und nicht der Mittelwert angegeben.

Die Trocknung erfolgt in einem gut ventilierten Trockenschrank bei 95—98° oder besser in einem Vakuumtrockenapparat bei niedriger Temperatur und gehöriger Luftverdünnung. Höhere Temperatur kann infolge von Trockendestillation eine chemische Veränderung des Holzes herbeiführen. Als beendet ist die Trocknung anzusehen, wenn die Gewichtsunterschiede der zeitweilig wiederholten Wägungen, die erst nach völliger Abkühlung des Versuchskörpers über Schwefelsäure im Exsikkator erfolgen dürfen, nicht mehr als 0,3 % betragen. Die aus dem Exsikkator kommenden Versuchskörper sind sehr hygroskopisch, weshalb die Wägung schnell ausgeführt werden muß.

Versuchskörper aus Hartholz, welches die Feuchtigkeit beim Trocknen schwer abgibt, erscheinen manchmal trocken, obgleich sie, besonders bei größeren Abmessungen, im Inneren noch erhebliche Mengen Feuchtigkeit besitzen. Es empfiehlt sich daher, solche Körper nach beendeter Trocknung mehrfach zu spalten und in diesem Zustande einer nochmaligen Trocknung zu unterziehen. Als „Normalfeuchtigkeitsgehalt“ des Holzes wird ein solcher von 15 % bezeichnet. Auf ihn sind alle Eigenschaften, die bei anderen Feuchtigkeitsgehalten festgestellt wurden, zu beziehen.

<sup>1)</sup> Das Abtrennen des Probestückes hat mit der Handsäge zu erfolgen, weil die schnell arbeitende Maschinensäge so viel Luft zur Schnittstelle führt, daß Feuchtigkeitsverluste eintreten (s. Rudeloff, Aufstellung einheitlicher Methoden für die Prüfung von Holz. Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt Großlichterfelde 1907, S. 10).

### § 288. Das Schwinden und Quellen.

Während des Trocknens schrumpfen die Holzzellen zusammen, und das Volumen des Probestückes erfährt eine Verminderung. Diese Verminderung heißt „Schwinden“. Sie ist um so größer, je schneller das Holz ausgetrocknet wurde und je saftreicher es war.

Linear schwindet Holz in tangentialer und radialer Richtung in bezug auf die Jahrringe mehr als in axialer Richtung. Letztere Schwindung ist sehr gering, so daß sie für die praktische Verwendung des Holzes nicht in Frage kommt. Die Folge dieses ungleichmäßigen Schwindens ist das „Werfen“ des Holzes. Wegen dieser Eigenschaft sollen Versuchskörper erst dann aus den Probestücken hergestellt werden, wenn letztere denjenigen Feuchtigkeitsgehalt besitzen, mit welchem sie zu prüfen sind.

Ähnliche Eigenschaften wie die vorgenannten weist Holz auf, welchem nach der Austrocknung wieder Feuchtigkeit zugeführt wird. Durch die Feuchtigkeitsaufnahme werden die eingetrockneten Holzzellen erweicht und erweitert, so daß das Holz an Volumen zunimmt. Diese Eigenschaft heißt „Quellen“, und der bei der Aufbewahrung des Holzes an der Luft stattfindende Vorgang des Schwindens und Quellens „Arbeiten“. Bei der Feststellung des linearen Schwindens oder Quellens des Holzes ist die Richtung in bezug auf den Jahrringradius anzugeben, in welchem die Messung erfolgte. Man unterscheidet dabei die bereits weiter oben erwähnten Richtungen: axial, tangential und radial zu den Jahrringen.

Das Messen der Längenänderung geschieht am vorteilhaftesten an Würfeln mit ca. 10 cm Kantenlänge, die derartig geschnitten sind, daß eine Würfelkante Sehne zu den Jahrringen ist, unter Benutzung des Abbeschen Dickenmessers (s. § 168) oder des Martensschen Dehnungsmessers (s. S. 384). Jede Messung ist an zwei Stellen des Versuchsstückes auszuführen, und die Genauigkeit soll mindestens 0,1 mm betragen.

Die Volumenänderung stellt man ebenfalls an Würfeln oder auch an unregelmäßig gestalteten Körpern durch Volumenbestimmung fest (s. § 181 a,  $\gamma$ ).

Neben den Längen und Volumenänderungen müssen aber auch die Gewichtsveränderungen ermittelt werden, da beide in keiner unmittelbaren Beziehung zueinander stehen.

Die Größe des Schwindens oder Quellens wird entweder in Prozenten der Körperlänge im absolut trockenen Zustande angegeben oder sie wird, wie in der Versuchsanstalt zu Mariabrunn üblich, als Flächenschwindungsprozent, bezogen auf die Abmessungen im absolut trockenen Zustande und für 1% Feuchtigkeitsverlust vom feuchten oder lufttrockenen Zustande bis zum absolut trockenen berechnet nach der Formel:

$$\text{Flächenschwindungsprozent} = \frac{(F - f) \cdot 100}{f \cdot S},$$

wenn bedeuten:

- $F$  die Querschnittsfläche der feuchten oder lufttrockenen Probe,  
 $f$  die Querschnittsfläche der absolut trockenen Probe,  
 $S$  den ursprünglichen Feuchtigkeitsgehalt der Probe.

### § 289. Die Festigkeitseigenschaften des Holzes.

Zur Kennzeichnung der Festigkeitseigenschaften eines Bauholzes dient an erster Stelle der Druckversuch, ferner der Biege- und der Scherversuch. Außerdem empfiehlt es sich, Zug- und Spalteversuche anzustellen.

Da die Festigkeitseigenschaften an den verschiedenen Stellen eines Probestückes nicht übereinstimmen, sind mindestens drei Parallelversuche anzustellen. Es ist dabei der Feuchtigkeitsgehalt zu ermitteln, und wenn derselbe von dem „Normalfeuchtigkeitsgehalte“ (s. § 287) abweicht, sind die Festigkeitswerte auf ihn umzurechnen, soweit natürlich der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Festigkeitseigenschaften bekannt ist. Auch die Belastungsgeschwindigkeit (s. § 20) übt bei Holzprüfungen einen wesentlichen Einfluß aus, weshalb sie derartig zu regeln ist, daß der Spannungszuwachs im beanspruchten Querschnitt 20 kg/qcm in der Minute beträgt.

Wegen der großen elastischen Nachwirkung (s. § 7), die Holz besitzt, mißt man bleibende Formänderungen erst dann, wenn sie nach erfolgter Entlastung während einer Minute keine Abnahme zeigen.

### § 290. Der Druckversuch.<sup>1)</sup>

Zur vollständigen Untersuchung gehört die Ermittlung:

- a) der Spannung an der Proportionalitätsgrenze,
- b) des Dehnungskoeffizienten  $\alpha$  bzw. des Elastizitätsmoduls  $E$ ,
- c) der Druckfestigkeit,
- d) der Verkürzungen mit fortschreitender Belastung bis zum Bruche und
- e) des Quotienten  $\frac{\text{Druckfestigkeit}}{\text{Raumgewicht}}$  beim Normalfeuchtigkeitsgehalt.

Für die Versuche zur Feststellung der Druckfestigkeit werden Würfel und für die zur Ermittlung des Dehnungskoeffizienten Prismen mit quadratischem Querschnitt, deren Länge gleich der dreifachen Querschnittsbreite ist, benutzt. Die zur Dehnungsmessung dienende Meßlänge ist dabei gleich der Länge einer Querschnittsbreite und soll symmetrisch zur Mitte der Körperlänge liegen. Bei der Untersuchung ganzer Stämme ist der Entnahme der Versuchskörper aus dem Stamme besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Sie sind nach Fig. 393 aus einem Stammabschnitte derartig herauszuschneiden, daß der Körper 1 bzw. 2 Kernholz und Splintholz gleichzeitig enthält und eine Diagonale der Würfel­fläche gleichzeitig Radius der Jahr-

<sup>1)</sup> S. a. §§ 25, 26, 27, ferner S. 57, 59 und 61.

ringe ist. Die Versuchskörper sind alsdann an den Flächen zu behobeln und zwar an den Druckflächen mit besonderer Sorgfalt. Gutgeführte Sägeschnitte können aber behobelte Flächen ersetzen. Oft reicht bei dicken Stämmen die Kraft der vorhandenen Prüfungsmaschine nicht zum Zerdrücken so großer Stücke aus. Man zerteilt sie alsdann durch weitere Schnitte parallel zu den Würfelflächen in vier oder neun gleiche Teile von quadratischem Querschnitt und wählt für die Prüfung systematisch einige aus oder zerdrückt alle.

Neben den ermittelten Zahlen sind im Prüfungsprotokoll an der Hand einer Skizze noch Angaben zu machen über das Breitenverhältnis des Kernholzes und Splintholzes im Versuchskörper, sowie über die Bruchform (s. S. 57).

### § 291. Der Biegeversuch.

Der Biegeversuch ist mit prismatischen Stäben vorzunehmen, die an den Enden gestützt und in der Mitte belastet werden (s. S. 65). Da

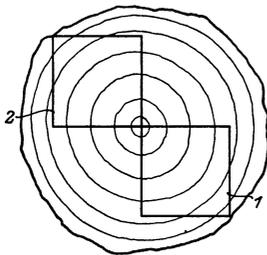


Fig. 393.

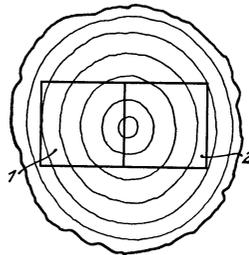


Fig. 394.

der Druck am Kraftangriffspunkt senkrecht zur Holzfaser wirkt und die Druckfestigkeit in dieser Richtung (s. S. 59) verhältnismäßig gering ist, werden die auf S. 80 erwähnten Zwischenlagen verwendet. Die Zwischenlage am Kraftangriff soll folgende Abmessungen besitzen: Breite = Stabbreite; Länge =  $\frac{1}{10}$  Stützweite; Dicke =  $\frac{1}{3}$  der Stabhöhe. Die Zwischenlagen an den Stützen erhalten zweckmäßig eine Fläche, deren Größe gleich der des Stabquerschnittes ist.

Bei Prüfung ganzer Stämme erfolgt die Entnahme der Versuchskörper nach demselben Schema wie beim Druckversuch (s. Fig. 393), d. h. der Stammradius soll gleichzeitig Diagonale im Biegestab sein. Für den Biegeversuch ist der Stab so zu stützen, daß eine der beiden im Stamme radial gelegenen Flächen auf der Zugseite liegt.

Für die Biegeversuche mit einzelnen Holzstücken entnimmt man die Biegestäbe 1 und 2 so, daß die Jahrringssehnern senkrecht zu einer Querschnittsseite verlaufen (s. Fig. 394). Auch soll diese Seite als Zugseite gewählt werden. Weicht man von dieser Regel ab, so erläutere man den Verlauf der Jahrringe in bezug auf die Jahrringssehne an einer Skizze.

Die Ausführung des Biegeversuches erfolgt unter Berücksichtigung der angegebenen Gesichtspunkte, wie in § 31 erläutert.

Der Bruch tritt im allgemeinen derartig ein, daß zuerst die Holzfasern auf der Druckseite des Biegestabes zerstört werden. Später zerreißen einzelne Faserbündel auf der Zugseite (s. Fig. 395) und die Tragfähigkeit des Stabes hört auf.

Ein vollständiger Biegeversuch mit Holz erfordert die Ermittlung

- a) der Spannung an der Proportionalitätsgrenze (s. S. 72),
- b) des Dehnungskoeffizienten (s. S. 66),
- c) der Biegefestigkeit, (s. S. 65).
- d) der Durchbiegungen bei den einzelnen Belastungen bis zum Bruche,
- e) der Biegearbeit bis zur Proportionalitätsgrenze,
- f) der Biegearbeit bis zur Bruchgrenze.

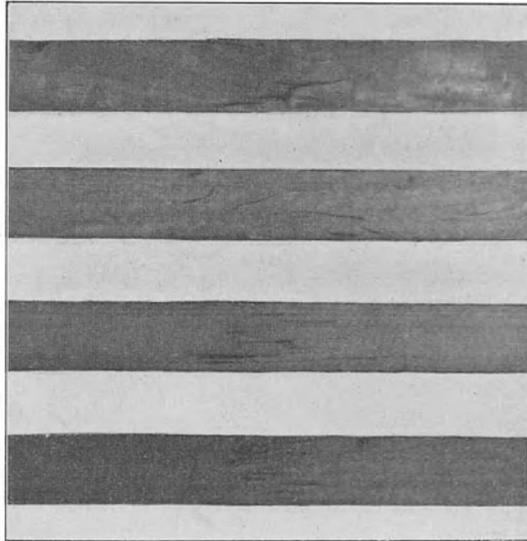


Fig. 395.

Hierzu gilt folgendes:

Die Spannungen sind nach der Gleichung (24), S. 65 unter der Annahme ihrer Gültigkeit bis zum Bruche zu berechnen, und die Durchbiegungen sind mit der Genauigkeit von 0,01 mm zu messen. Als Bruchlast ist die höchste vom Stabe getragene Belastung zu betrachten, Brüche einzelner Faserbündel oder Flächenabschieferungen sind noch nicht als Bruch anzusehen.

Um die Werte für Stäbe von verschiedenen Abmessungen vergleichbar zu machen, ist die Biegearbeit auf einen Normalbiegestab von  $10 \times 10$  cm Querschnitt und 1,5 m Stützweite zu beziehen.

### § 292. Der Scherversuch.

Der Scherversuch<sup>1)</sup> wird nach Fig. 94, S. 91 einschneitig durchgeführt, und es ist die Scherfestigkeit radial und tangential zu den Jahrringen zu ermitteln. Beide Festigkeiten sind voneinander verschieden, ohne daß eine Gesetzmäßigkeit besteht. Bei manchen Holzarten ist die erste höher als die zweite und bei anderen wieder umgekehrt.

Eine Ermittlung senkrecht zur Faserrichtung ist zwecklos, weil reine Scherbeanspruchung infolge der geringen Druckfestigkeit des Materials nicht möglich ist. Die benutzten Scherbacken sollen nicht über 1 cm breit sein und ihre Angriffsflächen senkrecht zur Krafrichtung stehen. Die Versuchsstücke sind derartig zu bemessen, daß die Scherfläche in der Krafrichtung (Länge) gleich der vierfachen Breite der Scherbacken, also nicht mehr als 4 cm ist, und bei Abscherung nach einer Radialebene ihre Breite nicht über 5 cm, sowie bei Abscherung nach einer Tangentialebene nicht über 3 cm beträgt.

Ermittelt wird beim Versuch die Scherfestigkeit, bezogen auf den vollen beanspruchten Querschnitt ohne Berücksichtigung etwaiger Verdrückungen des Holzes durch die Scherbacken.

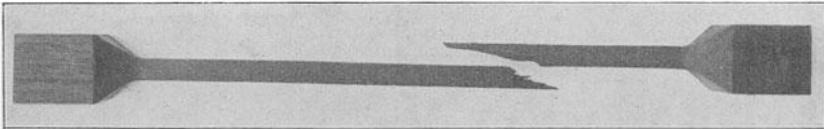


Fig. 396.

### § 293. Der Zugversuch.

Den bereits auf S. 16, 30 und 34 mitgeteilten Angaben ist nur noch hinzuzufügen, daß in der Regel der Stabquerschnitt nicht weniger als  $1 \times 2$  cm und die Versuchslänge 22 cm betragen soll. Die Stäbe werden am besten aus Spaltstücken herausgearbeitet, weil man dann sicher ist, daß der Stab in seiner Längsrichtung das gleiche Faserbündel enthält. Fig. 12 S. 16 zeigt die Bruchform eines Zerreißstabes aus Kiefernholz und Fig. 396 die eines ebensolchen aus Eukalyptusholz.

### § 294. Der Spaltversuch.

Die Spaltfestigkeit wird nach dem bereits von Nördlinger<sup>2)</sup> angegebenen Verfahren an klammerartigen Probekörpern (Fig. 397) ermittelt, indem man die Kraft bestimmt, welche in den Nuten angreifend zum Auseinanderreißen der beiden Schenkel erforderlich ist. Die Bearbeitung der Probekörper muß sehr sorgfältig erfolgen; insbesondere ist darauf zu

<sup>1)</sup> S. S. 90 § 42.

<sup>2)</sup> Nördlinger, Die technischen Eigenschaften der Hölzer, Stuttgart 1860.

achten, daß die Holzfasern der Spaltfläche genau parallel zu einer Seitenfläche des Probekörpers verlaufen und die Abmessungen aller Probekörper genau übereinstimmen.

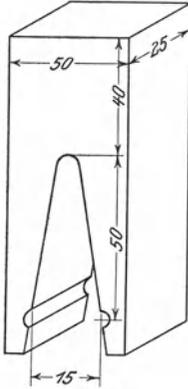


Fig. 397.

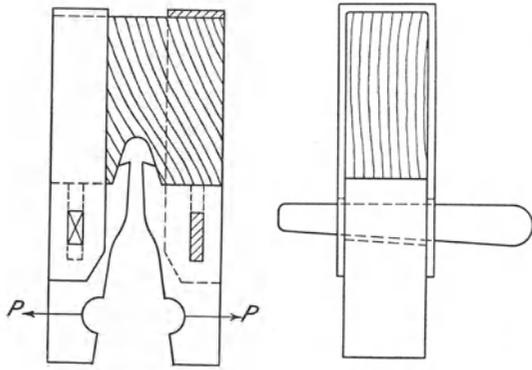


Fig. 398.

Reicht das Probematerial für Probekörper nach Fig. 397 nicht aus, so verwendet man zweckmäßig die von Rudeloff<sup>1)</sup> vorgeschlagene Probekörperform nach Fig. 398. Die Schenkel, welche mit Keilen am Holz befestigt werden, bestehen dabei aus Eisen.



Fig. 399.

Als Maß für die Spaltfestigkeit gilt die Gesamtbruchlast; sie ist getrennt, für Spaltflächen radial und tangential zu den Jahrringen, anzugeben. Der Spaltversuch kann in jeder Materialprüfungsmaschine nach Art eines Zugversuches ausgeführt werden. Sehr einfach ist die Einrichtung, welche Verfasser bei einer großen Reihe von Spaltversuchen benutzte. Sie ist aus Fig. 399 ersichtlich.

In die Klauen eines Michaelischen Zerreißapparates (s. Fig. 362, S. 375) wurden vierkantige Stahlstücke eingepaßt, welche zur Kraftübertragung auf die Schenkel der Klammern dienten. Die Bestimmung der Bruchlast erfolgte durch Abwiegen des

<sup>1)</sup> Rudeloff, Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten Berlin 1899, S. 191.

Schrotes oder bei Ermittlung der Spaltarbeit aus den Gewichten auf der Wagschale. In Fig. 400—403 sind Spaltflächen von verschiedenen Hölzern

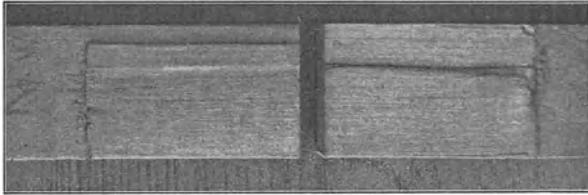


Fig. 400.

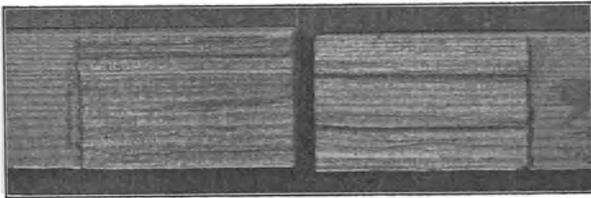


Fig. 401.

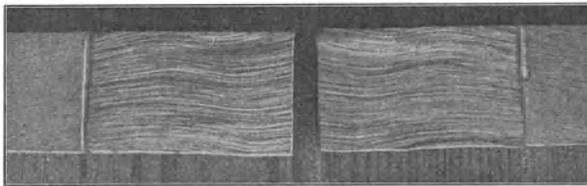


Fig. 402.

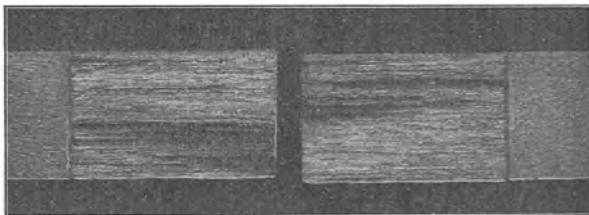


Fig. 403.

dargestellt. Fig. 400 zeigt die Bruchfläche der Wölbfläche und die Fig. 401 die der Spiegelfläche von Kiefernholz. Fig. 402 entspricht der Wölbfläche und Fig. 403 der Spiegelfläche von Eukalyptusholz (Tallowwood).

Die Flächen in Fig. 400 und 401 sind im allgemeinen eben, wegen des geraden Wuchses der Kiefer. Aus Fig. 402 und 403 ist dagegen ersichtlich, daß das Holz keinen geraden Faserverlauf, sondern wimmerigen Wuchs besitzt, und daß die Fasern sozusagen miteinander verflochten sind. Im allgemeinen spalten die Hölzer in der Wölbfläche schwerer als in der Spiegelfläche.

### § 295. Die Härte des Holzes.

Vereinbarungen über die Härteprüfung (s. S. 135) des Holzes sind noch nicht getroffen worden, obgleich gerade diese Eigenschaft von wesentlicher Bedeutung für die Bearbeitung des Holzes ist. Verfasser benutzte die Brinellsche Kugelprobe (s. § 92) und glaubt, daß dieselbe als Vergleichsprobe für die Härteprüfung des Holzes geeignet ist. Ob sie aber zuverlässige Schlüsse auf die Bearbeitbarkeit zu ziehen gestattet, muß dahingestellt bleiben, bis durch systematische Versuche ihre Brauchbarkeit nachgewiesen wird.

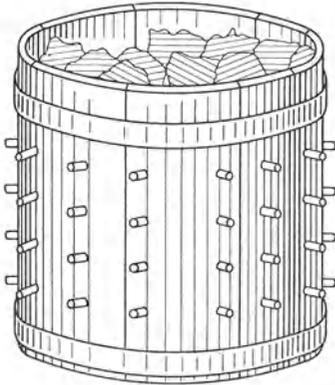


Fig. 404.

### § 296. Die Dauerhaftigkeit des Holzes.

Die Dauerhaftigkeit des Holzes hängt naturgemäß von den Eigenschaften seiner Umgebung ab. Im Wasser oder im nassen Sand- oder Lehm Boden hält sich das Holz verhältnismäßig lange, im trockenen dagegen sehr schlecht. Im Innern von Gebäuden, wo es gegen die Witterungseinflüsse geschützt ist und beständig Luft hinzutreten kann, ist die Dauerhaftigkeit von Holz unbegrenzt, wenn es nicht Krankheitserreger (z. B. Schwamm, *Merulius lacrymans*) in sich trägt.

Die ersten Versuche zur Ermittlung der Dauerhaftigkeit stellte Hartig an (Versuche über die Dauer der Hölzer von Georg Ludwig Hartig, Stuttgart und Tübingen, 1822). Seine Versuche wurden im größten Maßstabe eingeleitet. Ob sie aber zum Abschluß gelangt sind, ist dem Verfasser nicht bekannt geworden.

Ein sehr einfaches Verfahren zur Bestimmung der relativen Dauer des Holzes, das ziemlich schnell Ergebnisse liefern muß, gibt Nördlinger<sup>1)</sup> an. In die Wandung einer aus sehr gutem Eichenholz oder gebranntem Ton bestehenden Kufe (s. Fig. 404) werden Löcher gebohrt und in diese Dübel gleicher Abmessungen von etwa Fingerlänge eingeschlagen. Die

<sup>1)</sup> Nördlinger, Die technischen Eigenschaften der Hölzer, Stuttgart 1860, S. 459.

Kufe wird mit mäßig feuchten und locker erhaltenen, faulenden Substanzen, Dünger, Asche und dergl. gefüllt und von Zeit zu Zeit der Fortschritt des Verderbens der Holzdübel festgestellt.

## VII. Die Prüfung von Dachbedeckungsmaterialien.

### § 297. Allgemeines.

Als Dachbedeckungsmaterialien finden hauptsächlich Anwendung:

Gebrannte Tonziegel, Zementdachsteine, natürliche Schieferplatten, Kunstschieferplatten, Dachpappe, Holzzement. Kupferbedachungen und solche aus Zinkblech oder Eisenblech finden nur selten Verwendung und bedürfen ihrer bekannten, unveränderlichen Eigenschaften wegen keiner Prüfung.

Ihrem Bestimmungszweck entsprechend, nämlich das Innere der Gebäude gegen Witterungseinflüsse zu schützen und bei Bränden eine Übertragung des Feuers auf noch nicht angegriffene Gebäudeteile zu verhindern, erstreckt sich die Prüfung auf Ermittlung der physikalischen Eigenschaften des Dachbedeckungsstoffes und auf die Feststellung der Widerstandsfähigkeit der Dachbedeckung gegen Feuerübertragung. Zur Schaffung von Unterlagen für die Berechnung der Dachkonstruktion ist außerdem die Feststellung des Gewichtes der Flächeneinheit einer Dachbedeckung erforderlich. An den meisten Orten werden die obenerwähnten Dachbedeckungen als harte Dachungen im Gegensatz zu weichen Dachungen, z. B. Schindeldächer, Strohdächer usw., bezeichnet. Nach dem Sächsischen Baugesetz dagegen findet eine solche Scheidung nicht mehr statt, da die Dachbedeckungen darin zweckentsprechender als feuersichere und nichtfeuersichere bezeichnet werden. Von den obenerwähnten sogen. harten Dachungen gelten Pappdächer nicht als unbeschränkt feuersicher, weshalb sie nur auf untergeordneten Gebäuden und unter gewissen Voraussetzungen benutzt werden dürfen.

### § 298. Prüfung der Dachziegel.

Die Prüfung der Dachziegel erstreckt sich auf folgendes:

#### a) Äußere Beschaffenheit.

Es wird festgestellt:

- α) das Material, aus welchem die Ziegel bestehen;
- β) die Beschaffenheit der Oberfläche, nämlich ob glasiert, engobiert oder roh, ferner ob Risse, Löcher oder Einschlüsse sichtbar sind;<sup>1)</sup>
- γ) die Farbe, Härte und Struktur des Scherbens (s. S. 326); die Härtebestimmung geschieht mit der Moßschen Reihe (s. S. 147).

#### b) Die Form.

Die Form des Ziegels ist in einer Skizze niederzulegen, und bei Angabe der Abmessungen sind die Maximal- und Minimalwerte der Probestücke anzuführen (s. a. S. 326 § 206).

<sup>1)</sup> Festlegung durch Aufnahme von Lichtbildern ist zu empfehlen.

## c) Das Gewicht.

Das Gewicht des einzelnen Ziegels ist festzustellen als Mittelwert aus dem Gewichte von 10 willkürlich ausgewählten Ziegeln.

## d) Das Gewicht von 1 qm Dachbedeckung.

Hierzu wird festgestellt, wieviel Ziegel zur Eindeckung von 1 qm Dachfläche erforderlich sind, und aus der Zahl wird das Gesamtgewicht berechnet.

## e) Das spezifische Gewicht.

Das spezifische Gewicht wird mit Volumenmeter (§ 181 a  $\alpha$ ,  $\beta$ ) am gepulverten Material bestimmt, das durch Absieben auf einem Siebe mit 900 Maschen für das Quadratcentimeter von groben Körnern und auf einem Siebe mit 4900 Maschen vom feinsten Staube befreit wurde.

## f) Das Raumgewicht.

Die Ermittlung des Raumgewichtes geschieht nach der Auftriebsmethode (s. § 181 b) durch mindestens fünf Einzelbestimmungen an getrockneten und mit Paraffin umhüllten Scherben mehrerer Ziegel (s. S. 293).

## g) Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrad.

Die Berechnung erfolgt aus dem spezifischen und dem Raumgewicht nach den in § 182 gemachten Angaben.

## h) Ermittlung der Wasseraufsaugefähigkeit,

sowie

## i) Bestimmung der wasserlöslichen Salze

und

## k) Die Prüfung auf schädliche Einlagerungen wie lösliche Kalkteile usw.

geschieht in analoger Weise wie bei der Prüfung der Ziegelsteine (s. §§ 209, 216, 217).

## l) Die Wasserdurchlässigkeit.

Für diese Prüfung werden mindestens fünf bei 110° getrocknete Dachsteinscherben benutzt, die schätzungsweise etwa 20—25 ccm Wasser aufzunehmen vermögen.<sup>1)</sup> Sie werden an den Rändern mit Wachs<sup>2)</sup> gedichtet; auf ihre Oberfläche werden graduierte, zylindrische Röhren von 10 qcm Querschnitt mit Wachs aufgesetzt (s. Fig. 405).<sup>3)</sup>

Es wird alsdann beobachtet:

- a) die Zeit, während welcher 10 ccm Wasser einziehen, die in die Röhre von 10 qcm Querschnitt gebracht werden;

<sup>1)</sup> Bei glasierten Dachsteinen oder solchen mit Farbüberzug wird die Glasur oder die Farbe vor dem Versuch entfernt.

<sup>2)</sup> Mischung von Erdwachs und Kolophonium.

<sup>3)</sup> Zur Verhinderung der Wasserverdunstung werden die Röhren mit Uhrgläsern bedeckt.

- b) die Zeit, welche vergeht, bis bei weiterer Wassereinführung von 10—15 ccm sich an der unteren Fläche tauartige Durchfeuchtung des Scherbens zeigt;
- c) die Zeit, welche vergeht, bis sich etwaige Tropfenbildung an der unteren Fläche bei weiterer Einführung von 10 ccm Wasser in das Rohr bemerkbar macht, oder die Wassermenge, welche bei etwaiger Durchlässigkeit der Dachziegel in ein untergesetztes Becherglas tropft.

Gute gebrannte Tonziegel dürfen keine Tropfenbildung und auch keine tauartige Durchfeuchtung zeigen. Die ersten 10 ccm Wasser werden in etwa 20 Stunden aufgesaugt.

Profilierte Dachziegel bieten zur Anbringung der graduierten Glasröhren keine genügend große Fläche. Man benutzt deshalb zu ihrer Prüfung folgendes Verfahren.

Auf die Oberfläche des Dachziegels wird mit Gips ein Blech- oder Papierrahmen aufge kittet, wobei der Gips nach dem Abbinden mit Asphalt gedichtet wird. In die so entstandene Wanne füllt man Wasser bis zu 10 cm Höhe auf und beobachtet die Zeit, welche vergeht, bis sich auf der Unterseite des Dachziegels Tropfenbildung oder tauartige Durchfeuchtung zeigt. Tritt innerhalb dreier Tage keine solche ein, so darf der Dachziegel als wasserdicht bezeichnet werden. Auch Berieselungsversuche mit ganzen Dachflächen werden gelegentlich ausgeführt, wobei das Verhalten der Dachziegel auch an den Überdeckungsstellen und Falzen beobachtet werden kann.

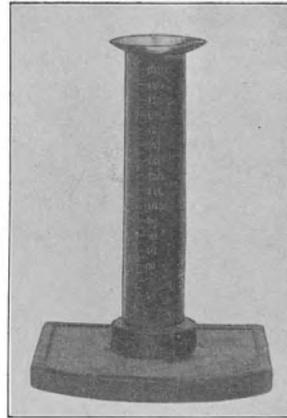


Fig. 405.

#### m) Die Frostbeständigkeit.

Die Ermittlung der Frostbeständigkeit erfolgt an 10 trockenen und an 10 wassersatten (vor der Wassersättigung bei 110<sup>0</sup> getrockneten) Dachziegeln in derselben Weise, wie in § 243 dargelegt.

Durch diese Behandlung dürfen die Dachziegel keine Risse erhalten. Absplitterungen oder Absandungen dürfen nicht stattfinden und Abspringen der Nasen darf ebenfalls nicht eintreten. Sind nennenswerte Absplitterungen zu verzeichnen, so ist ihr Trockengewicht in Prozenten des Dachziegelgewichtes anzugeben. Zur Beurteilung der Festigkeitsabnahme werden die Dachziegel auf Biegefestigkeit geprüft.

#### n) Die Biegefestigkeit.

Zur Prüfung auf Biegefestigkeit werden 10 Ziegel an den Enden in einem Abstände von 20 cm gestützt und in der Mitte der Stützweite be-

lastet. Der Kraftangriff erfolgt an der Oberseite. Zur gleichmäßigen Verteilung der Last über die ganze Ziegelbreite werden die Ziegel an den Auflagerstellen bzw. am Kraftangriff mit Leisten von 2 cm Breite aus Portlandzement bzw. Gipsmörtel versehen (s. Fig. 406). Die Berechnung der Biegefestigkeit erfolgt nach Gleichung (24) S. 65.

Um den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes und der Frostwirkung festzustellen, wird auch die Biegefestigkeit der Dachsteine im wassersatten Zustande und im Zustande nach der Frostbeanspruchung ermittelt. Im allgemeinen bewirkt die Wassersättigung eine Verminderung der Biegefestigkeit und die Frostbeanspruchung im wassersatten Zustande eine weitere, wenn die Steine nicht frostbeständig sind.

#### o) Die Stoßfestigkeit.

Die Prüfung auf Stoßfestigkeit erfolgt mit einem birnenförmigen Fallkörper von 2000, 1000 oder 500 g Gewicht, den man aus gemessener

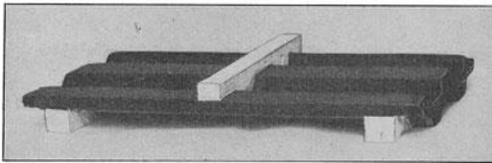


Fig. 406.

Höhe auf die Oberseite des Dachziegels fallen läßt, welcher auf fein gesiebttem Sande ruht. Die Anzahl Schläge, welche zur Zerstörung des Ziegels erforderlich sind, gibt in Verbin-

dung mit der zum Zerschlagen aufgewandten Arbeit (s. § 58) ein Maß zur Beurteilung der Güte des Ziegels.

#### p) Die Abnutzbarkeit.

Durch Flugsand und dergl. erleidet die Oberfläche der Dachziegel eine Abnutzung. Man unterzieht daher die Dachziegel gelegentlich auch dem Abnutzungsversuch mit dem Sandstrahlgebläse (s. § 204 b).

#### q) Die Feuerbeständigkeit.

In der Dresdner Versuchsanstalt erfolgt die Prüfung von Dachziegeln auf Feuerbeständigkeit an einem Versuchshause (s. Fig. 407), welches mit eisernen Dachsparren bzw. Latten zur Aufnahme der Ziegel versehen ist. Die innere Grundfläche des Hauses beträgt  $2 \times 2$  m und die Neigung des Satteldaches  $45^\circ$ . Am oberen Ende der einen Giebelwand befindet sich die Abzugsöffnung für die Rauchgase des auf dem Rost befindlichen Feuers, und die Zuführung der Verbrennungsluft erfolgt von unten durch einen gemauerten Luftkanal, dessen Öffnung mit einem Schieber verengt oder erweitert werden kann. Als Feuerungsmaterial dienen ca. 420 kg getrocknetes, erstklassiges kiefernes Scheitholz, welches vor Beginn des Versuches auf dem Roste eingebaut wird. Nachlegen während des Versuches findet nicht statt, weil dadurch die Heiz-

wirkung beeinträchtigt wird, und es ist auch nicht erforderlich, da die Menge des Holzes für den Versuch ausreicht. Um sofortige volle Flammenentwicklung zu erzeugen, wird das Holz mit 25 l Petroleum begossen. Die unter der Dachfläche herrschende Temperatur wird mit Pyrometern, z. B. mit Segerkegeln (s. § 190), die in Haubenlerchen (s. § 190) eingesetzt sind, gemessen.<sup>1)</sup> Nach den üblichen Vorschriften muß die Temperatur mehr als  $800^{\circ}$  betragen (s. a. § 326).

Der Versuch wird in der Weise durchgeführt, daß das Verhalten der Dachziegel unter der Feuerwirkung beobachtet wird. Die Ziegel dürfen nicht zerspringen oder wenigstens nicht ihren Zusammenhang verlieren. Nach 20 Minuten wird die äußere Dachfläche durch einen kräftigen und gleichmäßig einwirkenden Wasserstrahl abgekühlt. Auch durch diese einseitige Abkühlung darf ein Zerfallen der Ziegel nicht eintreten. Nach 60 Minuten wird der Versuch als beendet angesehen, das Feuer abgelöscht und die Dachziegel der Abkühlung überlassen. Hiernach werden die einzelnen Ziegel äußerlich untersucht und durch Beklopfen mit einem Holzhammer ihr Zusammenhang geprüft. Schließlich werden noch 10 nicht beschädigte Ziegel dem Biegeversuche (s. S. 445) unterzogen, um den Einfluß der Feuerwirkung auf das Material festzustellen. Gebrannte Tonziegel erleiden durch die Feuerbeanspruchung im allgemeinen keine Veränderung, Zementdachsteine dagegen werden spröde und zerspringen größtenteils.

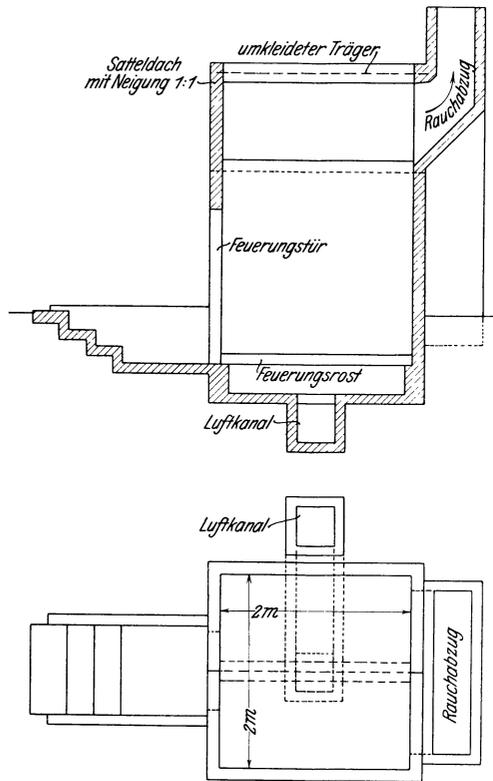


Fig. 407.

<sup>1)</sup> Die Schmelzpyrometer müssen derartig angeordnet werden, daß man durch Schaulöcher beobachten kann, wann sie niederschmelzen. Bei unachtsamer Feuerführung, insbesondere bei Verwendung von viel Petroleum, kommt es vor, daß nur zeitweise eine hohe Temperatur herrscht, welche vorzeitiges Schmelzen der Pyrometer hervorruft.

Durch die einseitige Abkühlung mit Wasser ziehen sich die letzteren auch krumm.

r) Haltbarkeit des Farbüberzuges und der Glasur.

Die Haltbarkeit des Farbüberzuges (Engobe) der Dachziegel prüft man dadurch, daß man trockene und nasse Scherben der Dachsteine der Einwirkung von gasförmiger Salzsäure und gasförmiger schwefliger Säure aussetzt. Durch diese Behandlung darf der Farbüberzug keine wesentliche Veränderung erleiden. Glasierte Ziegel werden in ähnlicher Weise behandelt. Man legt Scherben unter eine Glasglocke, unter der sich eine Schale mit Salzsäure befindet, und beobachtet während 24 Stunden die Einwirkung der gasförmigen Säure auf die Glasur. Nimmt der Glanz der Glasur ab oder treten bunte Farbenschimmer auf, so ist die Glasur nicht haltbar. Am schlechtesten ist diejenige Glasur, welche sich bei der Einwirkung der Säuredämpfe mit einer weißen Haut (Hydrosilikat) überzieht. Um festzustellen, ob die Glasur zum Abblättern neigt, werden Stoßversuche (s. S. 446) mit dem 500 g Gewicht ausgeführt. Haftet die Glasur nicht fest, so springt sie bei dieser Beanspruchung ab, ohne daß der Stein eine Beschädigung erleidet.

### § 299. Prüfung von natürlichem Dachschiefer.

Ein guter natürlicher Dachschiefer<sup>1)</sup> muß wetter- und farbbeständig sein, glatte, ebene Spaltflächen und feines Korn aufweisen und geringe Wasseraufnahmefähigkeit besitzen; er soll eine angenehme dunkle, gleichmäßige und bestimmte Färbung wie bläulich-schwarz, grün oder rotbraun ohne starken, spiegelnden Glanz aufweisen, geringes Gewicht haben, sich leicht und dünn aufspalten, bohren und namentlich durchlochen lassen und beim Anschlagen mit dem Hammer einen hellen Klang geben.

Dachschiefer ist um so weniger gut, je größer die Menge der eingelagerten Mineralien von Pyrit, Markesit und kohlen-sauren Erden ist. Das Vorhandensein von Gips ist bereits ein Zeichen, daß eine Zersetzung eingetreten ist, die zur baldigen Zerstörung führt.

Die Prüfung des Dachschiefers erfolgt entsprechend seiner Natur als natürliches Gestein nach den für dieses angegebenen Methoden und außerdem als Dachbedeckungsmaterial in derselben Weise wie Dachziegel. Bei letzterer Prüfung ist nur zu berücksichtigen, daß Schieferdächer in der Praxis auf Schalung mit Dachpappenzwischenlage verlegt werden und daher auch beim Brandversuch das Versuchsdach in der üblichen Ausführungsweise hergestellt werden muß. Als Schalung dienen trockene, ungespundete Fichtenbretter von 20 mm Dicke.

Künstlichen Dachschiefer (Eternit, Asbestzementschiefer) prüft man wie natürlichen Dachschiefer und deckt für den Brandversuch zur Ver-

<sup>1)</sup> S. Herrmann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie, Berlin 1899; Knoch, Der Dachschiefer in der Baupraxis II. Berlin 1895.

gleichung die eine Dachhälfte mit natürlichem Schiefer und die andere mit dem zu untersuchenden künstlichen. Aus dem Verhalten des letzteren gegenüber dem ersteren bildet man sich dann ein Urteil darüber, inwieweit der künstliche Schiefer dem natürlichen gleichkommt.

### § 300. Prüfung der Dachpappen (Ersatzstoffe für Dachdeckungen).

#### a) Allgemeines und Umfang der Prüfung.

Dachpappen werden durch Imprägnieren von Rohpappen mit heißem, destilliertem oder präpariertem Steinkohlenteer hergestellt. Zu manchen Sorten werden auch andere Imprägnierungsstoffe, z. B. Schmieröl- und Petroleumrückstände oder dergl., verwendet. Die besten Pappen dürften jedoch diejenigen sein, zu deren Herstellung destillierter Steinkohlenteer mit einem Zusatz von natürlichem Asphalt<sup>1)</sup> verwendet wird. Letztere Dachpappe heißt auch Asphalt Dachpappe.

In der Regel gelangt die Dachpappe als Rollenpappe in den Handel, seltener als Tafelpappe. Die zu der ersteren verwendete Rohpappe wird mit Nummer 70, 80, 90, 100 usw. bezeichnet, wobei die Nummern folgende Bedeutung haben.

Von No. 70, welche	1,500	mm	dick	ist,	wiegen	70	qm	50	kg.
„ „ 80, „	1,315	„	„	„	„	80	„	50	„
„ „ 90, „	1,167	„	„	„	„	90	„	50	„
„ „ 100, „	1,050	„	„	„	„	100	„	50	„
„ „ 120, „	0,850	„	„	„	„	120	„	50	„
„ „ 150, „	0,620	„	„	„	„	150	„	50	„

usw. (s. Anm. 2).

Eine Rolle enthält etwa 50—60 qm Rohpappe von gewöhnlich 1 m Breite.

Die Dachpappen werden ebenfalls mit Nummern bezeichnet. Die Bezeichnung ist aber eine willkürliche, ohne Innehaltung allgemeiner Regeln.<sup>2)</sup> Gewöhnlich wird die dickste Dachpappe von ihrem Hersteller mit No. 0 bezeichnet und die folgenden dünneren mit No. I, II, III usw. Zur Verhütung des Zusammenklebens beim Aufrollen werden manche Dachpappen nach der Imprägnierung besandet, d. h. sie werden mit ton- und lehmfreiem, fein gesiebttem Sand bestreut.

Die Prüfung der Dachpappen erstreckt sich auf:

1. Feststellung der Dicke (ohne Besandung gemessen) und des Gewichtes von 1 qm Dachpappe;
2. Feststellung des Verhaltens beim Biegen und Zusammenschlagen;
3. Feststellung der Farbe und des Imprägnierungsgrades;

<sup>1)</sup> Gewöhnlich wird aber nur Teerasphalt verwendet.

<sup>2)</sup> Nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Dachpappenfabrikanten sollen mit No. 0 die aus Rohpappe No. 80 hergestellten Dachpappen und mit No. 1, 2, 3, 4, 5, 6 die aus Rohpappe No. 100, 125, 150, 200, 250 und 300 bezeichnet werden.

4. Feststellung der Wasseraufnahmefähigkeit;
5. Feststellung der Wasserdurchlässigkeit;
6. Feststellung der Reißlänge und Dehnung in Längs- und Querrichtung zur Pappenbahn.

Die Prüfung der Rohpappen erfolgt auf dieselben unter 1, 2 und 6 angegebenen Eigenschaften, sowie auf die Ermittlung ihrer Zusammensetzung (s. S. 452).

#### b) Dicke und Gewicht.

Die Feststellung der Pappendicke geschieht mit einer Mikrometerschraube (s. S. 259) oder einem anderen Dickenmesser nach Abreiben der Besandung. Die Messung ist an mindestens 20 verschiedenen Stellen einer Pappenrolle vorzunehmen; als Ergebnis ist der Mittelwert sämtlicher Messungsergebnisse zu benutzen.

Zur Gewichtsermittlung ist eine Rolle Pappe im Anlieferungszustand zu wägen und nach Ausmessen der Länge und Breite das Gewicht eines Quadratmeters zu berechnen.

#### c) Verhalten beim Biegen und Zusammenschlagen.

Beim Biegen und Zusammenschlagen muß sich gute Pappe zähe und so geschmeidig erweisen, daß sie trotz mehrmaligen Zusammenbiegens bis zum Aufeinanderliegen der Pappflächen nicht bricht.

Zur zahlenmäßigen Vergleichung mehrerer Dachpappen untereinander biegt man je 5 Pappstreifen von 6 cm Breite<sup>1)</sup> und 20 cm Länge um Dorne von verschiedenem Durchmesser, wobei darauf geachtet werden muß, daß die Pappen keine Zugbeanspruchung, sondern reine Biegebbeanspruchung erleiden. Es gelangen Dorne von 20, 15, 10, 5, 2 mm Durchmesser zur Verwendung. Schließlich werden die Streifen noch ohne Verwendung eines Dornes so weit zusammengeslagen, daß die beiden Hälften sich unmittelbar berühren.

#### d) Farbe und Imprägnierungsgrad.

Die Farbe der Dachpappe soll an der Oberfläche und an den Reißstellen gleichmäßig braunschwarz bis schwarz sein und an keiner Stelle dürfen sich teerfreie Schichten zeigen. Zur Feststellung des Imprägnierungsgrades ermittelt man den Gehalt an Bitumen in Prozenten des Gewichtes der sand- und kiesfreien Pappe. Ein Stück Dachpappe (ca. 100 g) wird durch Abreiben von dem anhaftenden Sand befreit, im trockenen Luftstrom 1 Stunde lang bei ca. 30° getrocknet und dann mit der Schere zerkleinert. Die Schnittbröckelchen füllt man nach dem Abwägen in einen mit Kühlrohr versehenen Erlenmeyerkolben, schüttet Chloroform darüber und löst durch Auskochen unter öfterem Umschütteln die Imprägnierungsmasse auf. Hiernach läßt man die Lösung in dem schräg gestellten Kolben erkalten und ca. 12 Stunden lang abklären. Alsdann filtriert man die

<sup>1)</sup> Anderenorts werden auch Streifen von 5 cm Breite benutzt.

Lösung durch ein trockenes, gewogenes Filter und wäscht den Filterinhalt so lange mit Chloroform aus, als dieses noch Bestandteile auszuwaschen vermag. Nach dem Abdestillieren des Lösungsmittels trocknet man den Destillationsrückstand bei  $100^{\circ}$  bis zu gleichbleibendem Gewicht im Trockenschrank und ermittelt nach dem Trocknen und Wägen des Filterinhaltes das Gewicht der zurückgebliebenen Rohpappe mit den darin enthaltenen Verunreinigungen. Den Bitumengehalt (Destillationsrückstand) gibt man alsdann in Prozenten des ursprünglichen Pappengewichtes an.

e) Wasseraufnahmefähigkeit.

Nach 24 stündigem Liegen unter Wasser soll Dachpappe keine oder wenigstens nur eine unwesentliche Gewichtszunahme aufweisen.<sup>1)</sup> Für die Prüfung benutzt man quadratische Dachpappenstücke von 40 cm Seitenlänge, die man nach Feststellung ihres Gewichtes 24 Stunden lang in reinem Wasser von ca.  $15\text{--}20^{\circ}$  lagert.

f) Wasserdurchlässigkeit.

Entsprechend ihrem Verwendungszweck als Isolierung von Bauwerken gegen Eindringen von Feuchtigkeit muß Dachpappe wasserdicht sein. Zur Ermittlung der Wasserdichtigkeit bzw. der Wasserdurchlässigkeit kittet man auf quadratische Dachpappenstücke von 10 cm Seitenlänge, deren Ränder mit Asphalt verstrichen sind, runde Glaszylinder von 10 cm lichtigem Querschnitt, füllt sie mit 250 ccm destilliertem Wasser und stellt die Zeit fest, nach der tauartige Durchfeuchtung oder Tropfenbildung auf der Unterseite des Pappenstückes eintritt. Fast alle Dachpappen besseren Ursprunges erweisen sich während einmonatiger Beobachtungsdauer als wasserdicht.

g) Reißlänge und Dehnung.

Zur Ermittlung der Reißlänge (s. S. 7) und Dehnung werden je 10 Probestreifen von 36 cm freier Einspannlänge und 6 cm Breite<sup>2)</sup> längs und quer zur Rollenbahn mit dem Pappenmesser herausgeschnitten, bei  $18^{\circ}$  Temperatur und ca.  $55\text{--}65\%$  relativer Luftfeuchtigkeit (s. § 192) der Prüfung auf Zerreißfestigkeit unterzogen. Die Probestreifen werden mit Klemmbacken in die Materialprüfungsmaschine (s. § 144) eingespannt und unter allmählich wachsender Belastung<sup>3)</sup> zerrissen. Aus der er-

---

<sup>1)</sup> Diese Forderung ist etwas streng und wird von keiner im Handel befindlichen Dachpappe erfüllt. Die Gewichtszunahme beträgt bei den meisten Pappen etwa  $5\text{--}15\%$ .

<sup>2)</sup> Anderenorts werden auch Streifen von 150 mm Einspannlänge und 50 mm Breite benutzt.

<sup>3)</sup> Die Versuchsdauer ist von wesentlichem Einfluß auf das Ergebnis; es können nur Festigkeitsergebnisse miteinander verglichen werden, die mit gleicher Belastungsgeschwindigkeit erhalten wurden.

mittelten Zerreißbelastung und dem Gewichte<sup>1)</sup> des Probestreifens wird die Reißlänge berechnet. Die Angabe der Dehnung erfolgt in Prozenten der freien Einspannlänge.

Ein wichtiger Punkt bei der Festigkeitsprüfung der Rohpappe ist die jeweilige Luftfeuchtigkeit. Sie beeinflußt infolge der starken Hygroskopizität der Pappfasern die Zerreißfestigkeit und das Gewicht der Pappe.<sup>2)</sup> Da aber beide zur Berechnung der Reißlänge benutzt werden und durch höheren Feuchtigkeitsgehalt die Zerreißfestigkeit geringer, das Gewicht aber größer wird, muß die Versuchsausführung unter gleichartigen vorgeschriebenen Verhältnissen erfolgen. Nach den Vorschriften für amtliche Papierprfungen muß deshalb die Zerreißbelastung, die Dehnung usw. bei 65 ° relativer Luftfeuchtigkeit ermittelt werden und die Berechnung der Reißlänge unter Zugrundelegung des Gewichtes des bei 100 ° getrockneten Probestreifens geschehen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Pappe beträgt bei 65 % relativer Luftfeuchtigkeit etwa 7,5 %.

#### h) Zusammensetzung der Rohpappe.

Als beste Rohpappe zur Erzeugung von Dachpappe gilt allgemein die reine Lumpenpappe, welche in der Hauptsache aus Wolle besteht. Dieser Bestandteil besitzt in hohem Grade die Fähigkeit, Teer aufzusaugen, von dessen Menge die Gtte der Pappe abhängt. Wie aber neuere Versuche im Königl. Materialprüfungsamt Grlichterfelde<sup>3)</sup> nachgewiesen haben, enthalten die gegenwärtig zur Dachpappenfabrikation benutzten Rohpappen nur wenig Wolle. Die Untersuchung von 13 Rohpappen<sup>4)</sup> ergab einen Gehalt an Wolle von 45—10 %, an Baumwolle von 60—10 % und an Jute von 35—5 %.

Die Zusammensetzung betrug dabei:

30 %	Wolle,
40 „	Baumwolle,
20 „	Jute,
10 „	verschiedenes

(Leinen, Zellstoffe, Holzschliff u. a.).

Außerdem enthalten die Rohpappen noch viele erdige Stoffe, welche die Festigkeit der verfilzten Fasern vermindern und von denen namentlich die kohlen saure Kalkerde die Verwitterung des Steinkohlenteers sehr

<sup>1)</sup> Die Reilngen verschiedener Dachpappen besitzen nur dann Vergleichswert, wenn sie auf das Gewicht der unbesandeten Pappe bezogen werden.

<sup>2)</sup> S. E. Mller, *ber die Abhängigkeit des Wassergehaltes der Faserstoffe von der Luftfeuchtigkeit*; Civilingenieur 1882.

<sup>3)</sup> Herzberg, *Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamte Grlichterfelde 1907*, S. 41.

<sup>4)</sup> Die in dem Aufsatz erwähnte Pappe No. 14 darf wegen ihres hohen Strohstoffgehaltes von 45 % nicht als Rohpappe für Dachpappenfabrikation betrachtet werden.

begünstigt.<sup>1)</sup> Im allgemeinen genügt es, den Gehalt an Wollfaser neben dem Feuchtigkeits- und Aschengehalte der Rohpappe zu ermitteln.

#### *α) Feuchtigkeitsgehalt.*

Man trocknet eine gewogene Menge (2 g) der Rohpappe im Trockenschrank bei 110° bis zu gleichbleibendem Gewicht, läßt sie im Exsikkator erkalten und stellt den Gewichtsverlust der Probe fest.

#### *β) Aschengehalt.*

Die zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes benutzte völlig trockene Probe wird in einem Platintiegel verbrannt und so lange geglüht,<sup>2)</sup> bis sämtlicher Kohlenstoff verbrannt ist. Nach dem Erkalten wird die helle Farbe besitzende Asche im Tiegel mit Ammoniumkarbonatlösung angefeuchtet und der Tiegel nochmals bis zur Rotglut erhitzt. Hiernach wird der Tiegel im Exsikkator abgekühlt, die Asche gewogen und der Aschengehalt in Prozenten des Gewichtes der trockenen Probe angegeben. Da bei der Veraschung nicht nur die organischen Stoffe zu Kohlensäure und Wasserdampf verbrennen, sondern auch chemische Veränderungen eintreten und manche Bestandteile ausgeschieden werden, ist zur genauen Bestimmung der in der Rohpappe enthaltenen Füllstoffe die chemisch analytische Untersuchung notwendig.

#### *γ) Gehalt an Wollfaser.*

Man kocht eine getrocknete Probe (3 g) der zerkleinerten Rohpappe 15 Minuten lang in einem Porzellanschälchen in Kalilauge von 12° Bé., wobei man beständig die Masse mit einem Glasstabe hin und her bewegt. Dadurch löst sich die Wollfaser bald auf, während die vegetabilische Faser unverändert bleibt. Den Pappbrei bringt man auf ein wasserfreies, gewogenes Filter und wäscht nach Abtropfen der Kalilauge den aus vegetabilischer Faser und den erdigen Aschenbestandteilen bestehenden Rückstand mit destilliertem Wasser aus. Der Rückstand wird mit dem Filter getrocknet, dann gewogen und aus dem Gewichtsverlust des Pappbreies der Gehalt an Wollfaser dem Gewicht nach berechnet.

Wenn auch diese Bestimmungsmethode nicht völlig einwandfrei ist, so bietet sie doch einen annähernden Einblick in die Zusammensetzung der Rohpappe. Die genaue Bestimmung geschieht durch Schätzung der Mengenverhältnisse der einzelnen Faserarten nach Aufkochen der Pappprobe in Alkohol und Färben mit einer Chlorzinkjodlösung unter dem Mikroskop.<sup>3)</sup>

---

<sup>1)</sup> Luhmann, Die Fabrikation der Dachpappe usw., Wien 1902.

<sup>2)</sup> Am besten im elektrischen Ofen (s. Fig. 337 S. 353).

<sup>3)</sup> Näheres s. Herzberg, Papierprüfung, 3. Aufl., Berlin; oder auch Müller, Die Herstellung und Prüfung des Papiers, 4. Aufl., Berlin.

### § 301. Prüfung der aus Dachpappen hergestellten Dachdeckungen.

Die Prüfung umfaßt die Ermittlung des Gewichtes von 1 qm fertiger Dachdeckung ohne Unterkonstruktion und der Widerstandsfähigkeit derselben gegen Feuerbeanspruchung von außen oder von innen.

#### a) Gewichtsermittlung.

Zur Gewichtsermittlung wird an dem unter b) zu besprechenden Versuchsdache der Pappen-, Nägel- und Anstrichmassenspruch für das Quadrat-

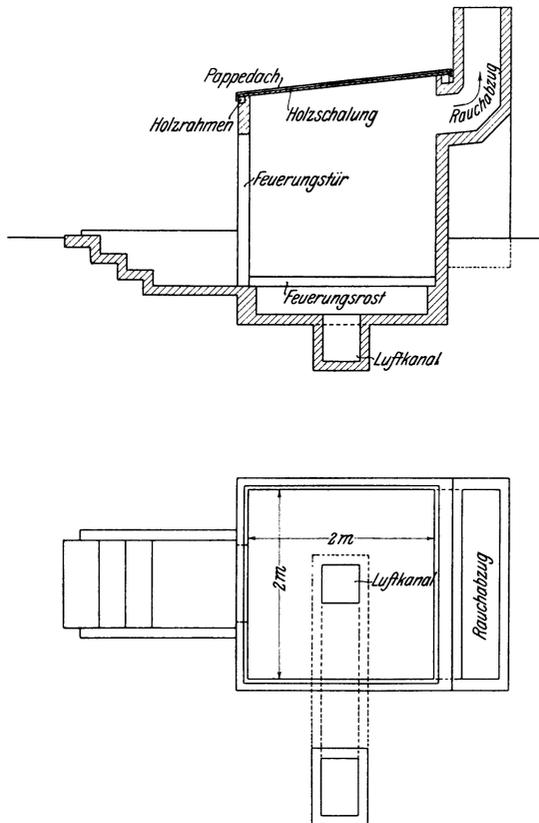


Fig. 408.

meter Dachdeckung festgestellt und ihr Gewicht berechnet. Den Gewichtsangaben sind Einzelheiten, die Überdeckung der Papplagen betreffend, anzufügen.

#### b) Beanspruchung durch Innenfeuer.

Ein Versuchshaus von 4 qm innerer Grundfläche, dessen Konstruktion und Abmessungen Fig. 408 zeigt, wird mit der zu prüfenden Dachdeckung eingedeckt. Die Wände des Hauses bestehen aus Mauerziegeln oder Eisenbeton, der an der Innenseite mit feuersicherer Masse (Gips-Schlackenbeton)

bekleidet ist. Die Feuerungstür ist aus Eisen hergestellt und bleibt während des Brandes geschlossen. Dadurch wird der Einfluß der Windrichtung ausgeschlossen. Als Schalung werden 2 cm dicke, trockene, ungespundete Bretter aus Fichtenholz benutzt.<sup>1)</sup> Die Dachneigung ist 1 : 10, und zwar steigt das Dach von der Türseite nach der Schornsteinseite an. Im Innern des Hauses befindet sich ein Rost, auf welchem ca. 420 kg bestes, luft-trockenes, kiefernes Scheitholz aufgestapelt ist, das kurz vor dem Versuche zur schnelleren Entflammung und Anwärmung mit 25 l Petroleum begossen wird. Zur Temperaturfeststellung werden hinter den mit Glimmer verschlossenen Beobachtungsfenstern Schmelzpyrometer, z. B. Segerkegel in Haubenlerchen, Legierungen oder dergl., oder auch Thermoelemente angeordnet<sup>2)</sup> (s. a. § 326).

Die Führung des Feuers erfolgt durch Regulierung eines Schiebers, welcher durch den Luftkanal mehr oder weniger Verbrennungsluft unter den Feuerungsrost treten läßt.

Während des Brandes beobachtet man den Zeitpunkt des Entweichens von Destillationsprodukten aus der Pappe oder der Anstrichmasse und die Brenndauer bis zum Durchbruch der Flamme. Wenn diese die Dachpappe in der Umgebung der entstandenen Öffnung entzündet hat, wird das Feuer im Innern des Hauses abgelöscht und festgestellt, wie lange Zeit die Dachdeckung weiter brennt, bevor sie selbständig verlöscht. Die Temperatur an der inneren Dachfläche soll etwa 1000° betragen. Eine widerstandsfähige Dachdeckung muß sofort nach Ablöschen des Feuers verlöschen, keinesfalls aber darf sich das Feuer von der Durchbruchstelle aus über die Dachfläche ausbreiten. Die Imprägnierungsmasse der Pappe darf ebenso wie die Anstrichmasse von der Dachfläche nicht ablaufen und auch nicht spratzen. Nur die Brandränder der Pappe dürfen schiefrige Struktur annehmen, die übrigen Teile dagegen müssen weich und geschmeidig bleiben.

#### c) Beanspruchung durch Außenfeuer.

Für die Prüfung auf Widerstandsfähigkeit gegen Außenfeuer, welches etwaigem Flugfeuer bei einem Brande entsprechen soll, werden Dachdeckungen von 1 qm Fläche bei Steigung 1 : 10 auf ungespundeter Fichtenschalung von 20 mm Dicke benutzt. Es wird auf ihnen aus kleingespaltenem Holze und Stroh (ohne Petroleum oder dergl.) ein Feuer an-

---

<sup>1)</sup> Manchmal finden auch Bretter von 25 oder 30 mm Verwendung. Die dabei gewonnenen Versuchsergebnisse können aber ebensowenig wie solche, die mit gespundeter Schalung gewonnen wurden, untereinander verglichen werden. Gespundete Schalungen leisten dem Feuer infolge ihrer Luftdichtigkeit länger Widerstand als ungespundete. Bei einem Vergleichsversuch brannte ein Holzzementdach mit halbgespundeter Schalung in 28 Minuten und ein zweites mit ungespundeter in 18 Minuten durch.

<sup>2)</sup> S. Anm. auf S. 447.

gefacht und durch Nachlegen 3 Minuten<sup>1)</sup> lang brennend erhalten.<sup>2)</sup> Nach Verlauf dieser Zeit wird das Feuermaterial durch Neigen der Dachfläche entfernt und nach Verlöschen der Flammen die Beschädigung festgestellt.

Bei widerstandsfähigen Pappdeckungen darf sich das Feuer vom Brandherde aus nicht über die Dachfläche ausbreiten. Es muß auch nach Entfernen des Feuermaterials die Flamme von selbst verlöschen. Die Pappe darf wohl verkohlen, nicht aber ihren Zusammenhang verlieren. Die Imprägnierungs- oder Anstrichmasse soll nicht ablaufen.

### § 302. Prüfung von Holzzementbedachungen.

Der Holzzement besteht aus einem Gemisch von 60 Gewichtsteilen entwässertem Steinkohlenteer, 15 Teilen Asphalt und 25 Teilen Schwefel.<sup>3)</sup> Zur Dachdeckung wird er in der Weise benutzt, daß nach Aufnageln einer Lage dünner Dachpappe auf die Schalung und Auflegen einer Lage Rollenpapier mit einer Bürste, erwärmter dünnflüssiger Holzzement aufgestrichen wird. Auf den Anstrich wird eine zweite Lage Papier geklebt und gleichfalls angestrichen, und dies wird so lange fortgesetzt, bis 3 bis 5 Papierlagen je nach Vorschrift aufgebracht sind. Die oberste Lage enthält einen besonders kräftigen Anstrich von Holzzement oder einer besonders präparierten Anstrichmasse. Hierauf wird auf der Dachfläche eine 10—15 mm hohe Schicht feiner Sand ausgebreitet und dieser wiederum mit einer 6—10 cm hohen Schicht Kies, dem man Lehm, Ton oder Chausseeschlamm beimischt, überdeckt.

Die Prüfung der Holzzementbedachung erfolgt in ähnlicher Weise wie die der Dachpappen; Gewicht und Zerreißfestigkeit des Papiers und der Dachpappenunterlage, die Widerstandsfähigkeit der Dachdeckung gegen Innenfeuer und Außenfeuer, sowie das Gewicht von 1 qm fertiger Dachdeckung werden ermittelt.

Einem Innenfeuer leistet ein Holzzementdach verhältnismäßig weniger lange Widerstand als ein Pappdach, weil das erstere wegen seines verhältnismäßig hohen Gewichtes (ca. 40—70 kg pro qm ohne Unterkonstruktion) früher ein Durchbrechen der Schalung hervorruft als das letztere, welches nur 8—9 kg pro qm wiegt. Gegen Außenfeuer ist es dagegen völlig widerstandsfähig. Bei sehr langer Dauer des Feuers (ca. 1 Stunde) wird nur der Holzzement erweicht, so daß er Blasenbildung und Rutschen des Papiers hervorrufen kann.

<sup>1)</sup> Bei doppelartigem Klebedach 6 Minuten, bei dreilagigem 9 Minuten und bei Holzzementdach 15 Minuten.

<sup>2)</sup> Das Feuer ist in der Weise anzuordnen, daß der Wind die Flamme über die Dachfläche bläst.

<sup>3)</sup> Diese Zusammensetzung entspricht dem Originalprodukt des Erfinders; neuerdings wechselt die Zusammensetzung. Der Holzzement besteht jetzt aus hochsiedenden Teerfraktionen z. T. mit Beimengungen von Kieselguhr oder dergl.

Zur Vergleichbarkeit von Holzzement verschiedenen Ursprungs müssen chemische Zusammensetzung, Flamm- und Brennpunkt, sowie das spezifische Gewicht ermittelt werden.

### § 303. Prüfung der Anstrich-, Klebe- und Imprägnierungsmassen für Dachpappen und für Holzzementbedachungen.

Im allgemeinen genügt es, die Anstrich-, Klebe- und Imprägnierungsmassen hinsichtlich ihrer Flamm- und Brennpunkte zu untersuchen und nur in besonderen Fällen die chemische Analyse sowie die fraktionierte Destillation hinzutreten zu lassen.

Die Ermittlung des Flamm- und Brennpunktes geschieht mit Hilfe des in Fig. 409 dargestellten Apparates oder mit dem Pensky-Martens-schen Flamm-punktsprüfer.<sup>1)</sup>

Die Masse wird in den zylindrischen, glasierten Porzellantiegel 1 von 4 cm Höhe und 4 cm Durchmesser bis zu einer 1 cm unter dem Tiegelrande angebrachten Ringmarke gefüllt und auf das Sandbad 2 gesetzt, welches aus einer halbkugelförmigen Blechschale von 18 cm Durchmesser besteht, die 1,5 cm hoch mit feinem Sande angefüllt ist. (Der

Tiegel darf nicht in den Sand eingebettet werden, sondern soll frei darauf stehen.) Hierauf senkt man das Thermometer 3 in den Tiegel und erhitzt durch den Bunsenbrenner 4 das Sandbad derartig, daß die Temperatur der Masse in der Minute 3—4<sup>o</sup> ansteigt. Führt man alsdann die auf 1 cm Länge eingestellte Gasflamme 5 in horizontaler Richtung über das Gefäß, indem man das Rohr 6 auf dem Rande der Sandbadschale 2 gleiten läßt, so macht sich der Flamm-punkt durch Aufflammen der aus der Masse sich entwickelnden Gase bemerkbar. Die Gasflamme 5 darf die Masse nicht unmittelbar berühren, auch darf sie sich jedesmal nur 4 Sekunden über dem Tiegel befinden. Im Gegensatz zu dem bei der Prüfung von Ölen üblichen Verfahren, wo das Thermometer ruhig im Öl steht, wird es bei

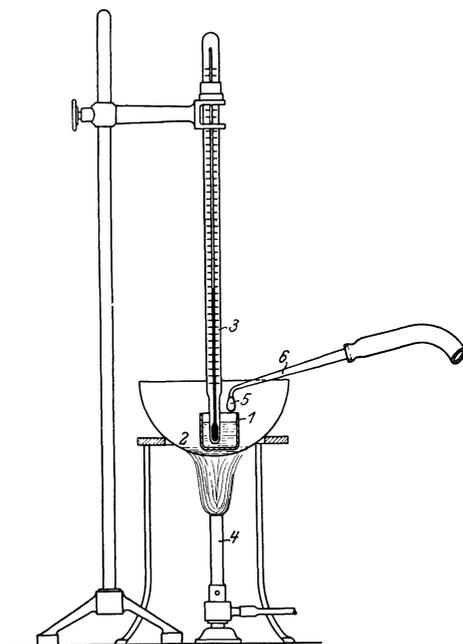


Fig. 409.

<sup>1)</sup> Holde, Untersuchung der Mineralöle und Fette, 2. Aufl., Berlin 1905.

den vorliegenden Untersuchungen zum Rühren benutzt und nur beim Ablesen einen Augenblick festgestellt.

Wie bereits vorausgeschickt, macht sich der Flammpunkt durch Aufblammen der aus der Masse entwickelten brennbaren Gase bemerkbar. Steigert man die Temperatur über den Flammpunkt hinaus weiter, so gelangt man schließlich zum Brennpunkt. Es ist dies die Temperatur, bei welcher die entzündeten Gase ein selbständiges Weiterbrennen der Masse verursachen.

Flammpunkt und Brennpunkt liegen in der Regel bei verschiedenen hohen Temperaturen, bei manchen Flüssigkeiten näher beieinander, bei anderen wieder weiter voneinander entfernt. Je höher der Flammpunkt liegt, desto weniger feuergefährlich ist die Masse. Am vorteilhaftesten ist es, wenn Flammpunkt und Brennpunkt nahe beieinander und zwar bei hoher Temperatur liegen.

## Fünfter Teil.

# Prüfung von Bauteilen aus natürlichen und künstlichen Steinen, sowie aus Beton und Eisenbeton.

### § 304. Allgemeines.

Wie an den entsprechenden Stellen der vorhergehenden Abschnitte mehrfach erwähnt wurde, lassen sich die bei Festigkeitsversuchen gewonnenen Güteprüfungsergebnisse nicht ohne weiteres als Unterlagen zur Berechnung von Bauwerksteilen benutzen. Die Beanspruchungen beim Festigkeitsversuche entsprechen wohl soweit als möglich den im Bauwerk auftretenden, aber es übt die Probekörperform einen wesentlichen Einfluß aus. Wie auf S. 51 und 52 näher dargelegt wurde, ergibt sich die Festigkeit von gebrannten Tonziegeln wesentlich geringer, wenn man Mauerwerkkörper prüft, als wenn man die Druckfestigkeit einzelner Ziegel bestimmt. Der Verband und der zum Aufmauern der Probekörper benutzte Mörtel spielen hier eine wesentliche Rolle, indem Ausweichen des Mörtels Biegebbeanspruchungen in den einzelnen Ziegeln hervorrufen, die wiederum eine Zerstörung unterhalb der Druckfestigkeit der Ziegel veranlassen. Bei Betonbauten lassen sich die durch Güteprüfungen des Betons (s. § 279) gewonnenen Ergebnisse auch nicht ohne weiteres auf die Beanspruchungen im Bauwerk übertragen. Auch versagen oft wegen der Eigenart des Betonmaterials die üblichen Berechnungsverfahren, und alle diese Umstände drängen dazu, die Materialfestigkeit durch Prüfung von Bauwerksteilen zu ermitteln und dadurch eine Feststellung der Zuverlässigkeit der angewandten Berechnungsmethoden herbeizuführen.

Bei diesen Prüfungen hat man zu unterscheiden solche, die Aufschluß über die höchste Tragfähigkeit, also über die Bruchlast des Bauteils geben, und solche, welche die Feststellung der Formveränderungen des Bauteils unter der Nutzlast oder bei Laststufen bis zur Bruchlast zum Zwecke haben. Im zweiten Falle findet somit neben Feststellung der Last auch eine Messung der durch die Last hervorgerufenen Formänderungen statt, die elastische und auch bleibende sein können.

## I. Prüfung von Ton-, Steinzeug- und Zementröhren.

### § 305. Allgemeines.

Außerlich zeigen Ton- und Steinzeugrohre fast keine Unterscheidungsmerkmale. Nur am Scherben vermag man den Unterschied festzustellen. Allerdings ist es auch dort schwierig, weil eine strenge Grenze zwischen Ton und Steinzeug nicht gezogen werden kann. Tonröhren besitzen wenig oder nicht gesinterten, buntfarbigen, ziegelartigen, porösen Scherben, der etwa 5—10 % Wasser aufzusaugen vermag. Auf der Bruchfläche zeigt der Scherben mattes, erdiges Aussehen und klebt wegen seiner Wasseraufnahmefähigkeit an der Zunge. Steinzeugrohre haben gesinterten, nicht porösen Scherben, der höchstens 5 % Wasser aufsaugt. Seine Bruchfläche ist gelb bis braun oder blaugrau oder auch andersfarbig; er besitzt große Härte und ist an der Oberfläche dicht und glänzend. Er klebt nicht an der Zunge.

Tonrohre müssen zur Erhöhung ihrer Wasserdichtigkeit mit Glasur überzogen sein. Steinzeugrohre haben dies nicht nötig; sie werden aber wegen besseren Aussehens und zur Erzeugung größerer Glätte der Innenflächen ebenfalls glasiert.

Zementrohre werden fabrikmäßig aus Beton (s. § 268) hergestellt. Gegenüber den Ton- und Steinzeugröhren besitzen sie den Vorzug, daß sie in allen Profilformen und Größen und zwar in genauester Form angefertigt werden können. Sie finden in erster Linie als Kanalrohre zur Abwasserabführung Benutzung. Zum Schutze gegen den Angriff schwerer Sinkstoffe und Geschiebe, sowie auch gegen den Angriff konzentrierter Säuren werden sie im unteren Teil ihrer Innenfläche mit gesinterten Tonschalen, Klinkern oder auch Asphalt ausgekleidet.

Nach den Vorschlägen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik sollen Ton-, Steinzeug- und Zementröhren folgenden Prüfungen unterzogen werden:

1. Prüfung auf Druck von außen,
2. Prüfung auf Druck von innen,
3. Prüfung des Gefüges,
4. Prüfung der Innenflächen.

Außerdem sind auch die Abmessungen und das Gewicht der Rohre sowie ihre äußere Beschaffenheit festzustellen.

### § 306. Abmessungen und äußere Beschaffenheit.

Ton- und Steinzeugrohre sind in der Regel zylindrische Muffenrohre von 50—400 mm lichter Weite und kreisförmigem Querschnitt. Zementrohre besitzen dagegen die aus Fig. 410—412 ersichtlichen Querschnittsformen. Fig. 410 stellt sogen. kreisrunde und Fig. 411 u. 412 eiförmige Röhren dar. Erstere werden bis 100 cm Durchmesser und letztere von 20/30 bis 100/150 cm Lichtweite bzw. Höhe angefertigt. Die Wandstärken sind

im Scheitel und in der Sohle gegenüber den Kämpfern etwas erhöht. Die Baulänge der Röhren ist 1 m, bei den eiförmigen Röhren von 60/90 cm aufwärts auch 1,25 m. Die größeren eiförmigen Profile werden auch zwei- und vierteilig hergestellt. Die Teilfugen sind in Fig. 412 angegeben. Die Untersuchung der äußeren Beschaffenheit hat den Zweck, Beschädigungen, Glasurfehler oder Haarrisse festzustellen.

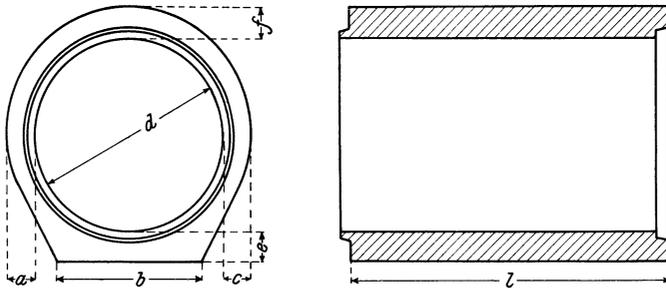


Fig. 410.

Zum Sichtbarmachen der Haarrisse in Glasuren reibt man die Oberfläche der Röhren mit färbenden Substanzen ein. Für helle Glasuren ist Graphit und für dunkle Talgpulver empfehlenswert.

Bei Zementrohren sind nach den Leitsätzen für Ausführung von Zementrohrleitungen, aufgestellt vom Deutschen Betonverein, kleine Be-

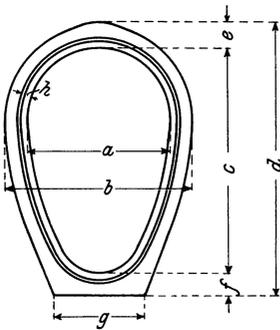


Fig. 411.

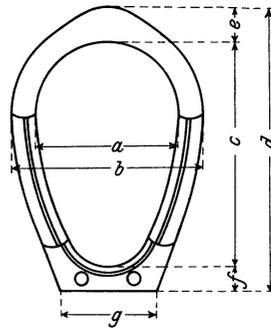


Fig. 412.

schädigungen nicht nachteilig und Haarrisse, da unvermeidlich, nicht als Fehler zu bezeichnen. Unter Haarrissen sind dabei die unregelmäßig verlaufenden, durch Witterungseinflüsse entstehenden feinen Risse zu verstehen, welche sich nach Art eines Spinnengewebes nur auf der geglätteten Oberfläche zeigen.

### § 307. Prüfung auf Druck von außen.

#### a) Stoßfreier Scheiteldruck.

Die Prüfung auf äußeren Druck ist wegen der Beanspruchung der Rohre durch den Erddruck und darüberfahrende Fuhrwerke erforderlich.

Die Kraft soll bei der Prüfung unter Ausschluß aller Nebeneinwirkungen senkrecht zur Rohrachse und gleichmäßig über die Rohrlänge verteilt wirken. Ganze oder teilweise Einbettung der Röhren in Sand ist unrichtig, weil eine Beobachtung des Äußeren der Röhren unmöglich ist und sie trotz eingetretenen Bruches wegen der versteifenden Wirkung des Sandes noch zusammenhalten.

Ihre Tragfähigkeit ist abhängig von der Dichtigkeit der Umschüttung und um so größer, je fester die Umschüttung ist. Dyckerhoff in Biebrich stellte fest, daß die Tragfähigkeit solcher Röhre vom  $2\frac{1}{2}$ —4fachen derjenigen wechselt, welche bei der ordnungsmäßigen oben angegebenen Art des Kraftangriffes vorhanden ist.

Die Prüfung erfolgt entweder mit hydraulischen Pressen oder mit Hebelapparaten. Bei beiden Versuchseinrichtungen ist das Widerlager, auf welchem das Rohr ruht, eine ebene Fläche und das Übertragungsglied

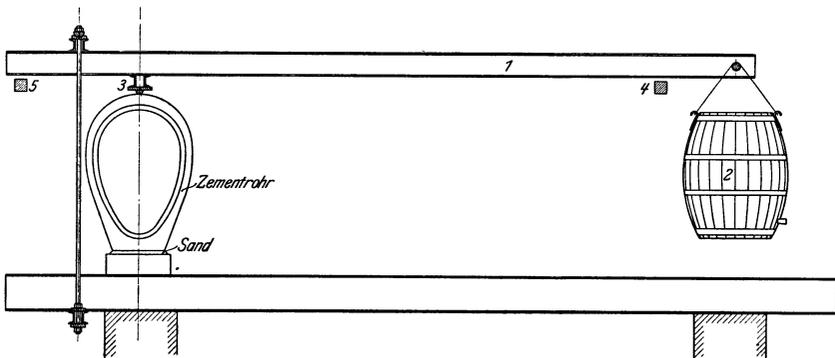


Fig. 413.

für den Kraftangriff am Scheitel des Rohres eine abgerundete, als Träger gleicher Festigkeit konstruierte Schneide. Zur Schaffung ebener Berührungsf lächen werden die Röhren mit schmalen Mörtelleisten versehen. Zementrohre mit ebener Grundfläche erhalten nur am Scheitel eine Mörtelleiste und die Unebenheiten der Grundfläche werden durch eine über das Widerlager gebreite Sandschicht ausgeglichen.

Ein einfacher Apparat zur Rohrprüfung ist in Fig. 413 abgebildet. In das am Ende des Hebels 1 hängende Gefäß 2 läßt man Wasser einlaufen, dessen Gewicht auf das bei 3 angeordnete Rohr wirkt. Beim Bruch des Rohres stützt sich der Hebel auf die Böcke 4 und 5.

Fig. 414 zeigt die Röhrenpresse für 10 t Kraftäußerung nach Koenen von Grether & Co. in Freiburg i. Br. Sie besteht aus einem kräftigen Eisengestell, welches unten eine ebene Plattform zur Aufnahme des Rohres und oben eine in der Höhenlage verstellbare Traverse besitzt, an welcher eine hydraulische Presse befestigt ist. Der Druckkolben der Presse wirkt auf einen mit Gelenk versehenen, zur Kraftübertragung auf

das Rohr dienenden, eisernen Balken. Der Betrieb der Presse erfolgt durch das seitlich an der Maschine angebrachte Pumpwerk, welches Druckwasser durch bewegliche Rohre nach der hydraulischen Presse fördert. Die Kraftmessung geschieht durch Manometer.

Zur Orientierung bei der Beurteilung der Ergebnisse von Druckversuchen mit Zementrohren diene folgende Tabelle, in der die Mindest-, Höchst- und Durchschnitts-Festigkeiten einer größeren Zahl geprüfter Zementrohre aufgeführt sind.

(Siehe die Tabelle S. 464.)

Der Bruch der Rohre ohne Eiseneinlage erfolgt plötzlich, und gewöhnlich entsteht der erste Riß längs des Scheitels an der Innenseite des Rohres, wo die größte Zuganstrengung im Material

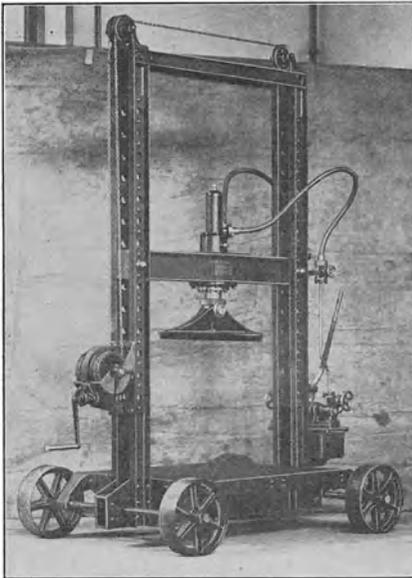


Fig. 414.

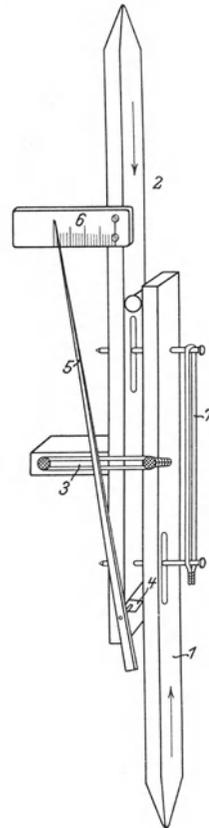


Fig. 415.

auftritt. Zum Messen der Zusammendrückung der Rohre bedient man sich mit Vorteil der von Martens angegebenen Vorrichtung (Fig. 415). Sie besteht aus zwei Holzschienen 1 und 2, die durch das Gummibändchen 3 verbunden sind und zwischen sich ein Schneidenprisma 4 mit Zeiger 5 aufnehmen, der bei Verschiebung der Holzschienen an der Skala 6 vorbeispielt. Gummiband 7 dient dazu, die Enden der beiden Holzschienen gegen die Rohrwandungen zu drücken, und Rolle 8 zur Sicherung des Abstandes der beiden Holzschienen 1 und 2. Das Übersetzungsverhältnis ist abhängig

von dem Schneidenabstand des Prismas 4 und der Zeigerlänge. Bei dem Apparat der Dresdner Versuchsanstalt beträgt es 1 : 100.

Im allgemeinen werden zwei solche Apparate angewendet: einer zur Messung der Zusammendrückung in vertikaler Richtung und einer zur Feststellung der zugehörigen Erweiterung in horizontaler Richtung.

### Zusammenstellung<sup>1)</sup> der Mindest-, Höchst- und Durchschnittsfestigkeiten von Zementröhren.

Profilform	Mittlerer innerer Durchmesser der Röhre cm	Mittlere Dicke der Rohrwandung cm	Scheiteldruck:			
			Anzahl der Einzelversuche	Bruchbelastung in kg		
				Mindestwert	Höchstwert	Durchschnitt
s. Fig. 410	20	3,5	3	1880	2380	2070
	25	4,0	1	—	—	(1870)
	30	4,8	10	1380	7650	4320
	40	5,4	22	1200	6120	3690
	45	5,6	6	3340	4160	3660
	50	6,1	21	1280	6190	3070
	60	7,0	9	2140	6150	3620
	70	8,0	2	3300	5900	4600
s. Fig. 411	80	8,5	7	2400	3650	3260
	25/37,5	4,5	4	2940	4830	3980
	30/45	5,0	3	2250	3500	2760
	35/52	6,5	3	3650	5960	4860
	50/75	7,5	11	4550	7660	5750
	60/90	9,3	3	5000	5310	5160
	70/105	10,0	13	1910	9890	5590
	80/120	10,0	8	1980	5900	3550
100/150	13,0	5	2160	5620	3330	

#### b) Schlagversuche.

Um die Empfindlichkeit von Röhren gegen Stöße festzustellen, unterzieht man sie einer Schlagbeanspruchung (s. § 56) und ermittelt diejenige Schlagarbeit, welche erforderlich ist, das unversehrte Rohr mit einem Schläge zu zertrümmern. Der Fallbär soll Kugelform besitzen.

<sup>1)</sup> Ein Teil der Tabellenwerte wurde der Broschüre von Gary, „Zementröhren, ihre Verwendung, Prüfung und Bewertung in der Praxis“, Berlin 1907, Verlag der Tonindustriezeitung, entnommen, während die übrigen Werte Ergebnissen von Versuchen entsprechen, die in der Königl. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt Dresden ausgeführt wurden.

Wenn kein Fallwerk zur Verfügung steht, kann man die Prüfung derartig ausführen, daß das Rohr auf einer Plattform mit Sandzwischenlage aufgestellt und durch eine freifallende eiserne Kugel beansprucht wird. Die Kugel kann unter Benutzung einer über dem Rohr angebrachten Rolle an einem Faden hochgezogen werden, und durch Loslassen desselben oder besser durch Zerschneiden oder Durchbrennen in unmittelbarer Nähe der Kugel kann man das Niederfallen der Kugel bewirken. Die Fallhöhe wird zur Berechnung der Schlagarbeit gemessen.

### § 308. Prüfung auf Druck von innen.

Wenn auch Ton-, Steinzeug- und Zementröhren im allgemeinen nicht für Druckwasserleitungen benutzt werden, bietet die Prüfung auf Innendruck doch gewisse Anhaltspunkte zur Beurteilung der Güte der Röhren, deshalb schreiben verschiedene Behörden als Abnahmeprüfung die Wasserdruckprobe vor. Der dabei benutzte Flüssigkeitsdruck beträgt etwa 4 bis 15 m Wassersäule.

Hinsichtlich der Prüfungsvorrichtungen ist hervorzuheben, daß sie gestatten müssen, das Rohr ohne zusätzliche Kraftwirkungen durch reine, radial zur Rohrachse wirkende Kräfte zu beanspruchen. Es sind deshalb alle Vorrichtungen als unzweckmäßig zu verwerfen, bei denen das Rohr zur Abdichtung zwischen zwei ebene Platten eingespannt wird. Diese Art der Einspannung bewirkt, daß das Rohr Materialspannungen erleidet, welche senkrecht zu den durch den Flüssigkeitsdruck erzeugten wirken.

Einwandfrei in dieser Beziehung ist die von Rudeloff<sup>1)</sup> herrührende Einrichtung, welche in abgeänderter Form (s. Fig. 416) auch in der Dresdner Versuchsanstalt verwendet wird. In die Rohrenden werden Eisendeckel 1 und 2, von denen mehrere Sätze vorhanden sind und die mit Ledermanschetten 3, 4 abgedichtet werden, eingesetzt.

In den unteren Deckel 1 ist die Zugstange 5 eingeschraubt, welche am oberen Ende mit einem langen Gewinde 6 zur Aufnahme einer Gewindebüchse versehen ist, an der der Deckel 2 hängt. Die Zugstange 5 besitzt eine Bohrung, in welche bei 7 das von der Hochdruckleitung kommende Rohr 8 zur Flüssigkeitszufuhr in das Innere des zu prüfenden

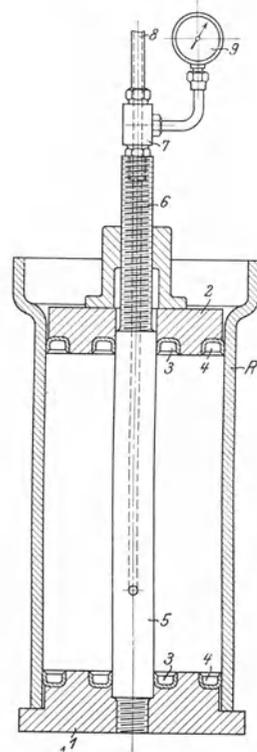


Fig. 416.

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus den technischen Versuchsanstalten, Berlin 1892.

Rohres mündet. An derselben Stelle ist das Manometer 9 zur Messung des Druckes angeschlossen. Bei der Vorrichtung ist darauf zu achten, daß die Manschetten geschmeidig sind und bereits beim Zusammenbauen der Vorrichtung fest an der Rohrwand anliegen. Bei der Prüfung unrunder Rohre preßt man die Manschetten etwas auseinander, füllt sie mit Gelatine und erreicht dadurch, daß ihre Ränder von vornherein an die Rohrwand angeedrückt werden.

Aus dem Flüssigkeitsdruck  $p$ , dem lichten Rohrdurchmesser  $D$  und der Wandstärke  $e$  läßt sich die Materialspannung berechnen nach der Beziehung:

$$\sigma = \frac{p \cdot D}{2 \cdot e}.$$

Da die Rohre nicht an allen Stellen gleiche Wandstärke besitzen, messe man sie an mehreren Punkten und führe bei der Berechnung den Mittelwert sämtlicher Messungsergebnisse ein. Zur Ermittlung der Erweiterung der Röhren durch den inneren Druck verwendet man die von

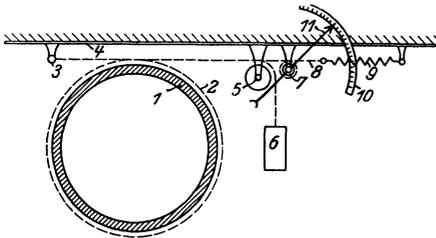


Fig. 417.

Martens angegebene Vorrichtung (s. Fig. 417), welche die Vergrößerung des Rohrumfanges mit Hilfe eines um das Rohr 1 geschlungenen Stahlbandes 2 zu messen gestattet. Das eine Ende 3 des Stahlbandes 2 ist an einer Holzlatte 4 befestigt, während das andere Ende über eine ebenfalls an der Latte

angebrachte Rolle 5 geführt und mit einem Gewicht 6 versehen ist, welches das Band 2 in Spannung erhält. Bei einer Umfangsänderung des Rohres 1 wird das Gewicht 6 gehoben, und da an dem Stahlband gleichzeitig der um die Rolle 7 geschlungene Faden 8 angebracht ist, der durch die Feder 9 gespannt wird, kann man an der Skala 10 mit Hilfe des an der Rolle 7 befindlichen Zeigers 11 die Bewegung des Stahlbandes und somit die Umfangsänderung des Rohres messen.

### § 309. Prüfung des Gefüges.

#### a) Bruchflächenbeschaffenheit.

Die Bruchfläche eines guten Ton- oder Steinzeugrohres muß dichtes, rißfreies Gefüge aufweisen und es ist daher der Scherben mit der Lupe eingehend zu untersuchen. Man unterscheidet muscheligen Bruch, ebenen und unebenen Bruch. Muscheliger Bruch besitzt glatte, ebener raue und unebener höckrige Flächen. Das Material muß sich mit Meißel und Hammer bearbeiten lassen, und das Rohr muß beim Anschlagen mit dem Hammer metallisch klingen. Es empfiehlt sich, für diese Probe das Rohr

aufrecht auf hohle Unterlage zu stellen. Die Bruchflächen von Zementröhren sollen gleichfalls dicht, rißfrei und gleichförmig sein. Die Kieselsteine sollen so fest im Zementmörtel sitzen, daß sie sich mit einem Hammer spalten lassen, ohne aus der Zementumhüllung herauszuspringen.

b) Härte.

Die Härte der Oberfläche und der Bruchfläche der Röhren wird mit der Moßschen Reihe festgestellt (s. S. 147).

c) Dichtigkeitsgrad.

Die Ermittlung des Dichtigkeitsgrades geschieht, wie auf S. 295 angegeben oder durch Wassersättigung von Scherben. Letztere Methode bietet insofern einige Schwierigkeiten, als der Scherben gesinterter Rohre nur sehr schwer Wasser aufsaugt. Zweckmäßig geschieht daher die Wassersättigung mit Benutzung der Luftpumpe oder auch durch 24 stündiges Kochen der Scherben in siedendem Wasser. Zu beachten ist, daß vor dem Versuch der Scherben vollständig von der Glasur befreit wird. Da ein einzelner Versuch wegen der Ungleichartigkeit des Rohrmaterials kein einwandfreies Ergebnis zu liefern vermag, ist die Bestimmung an 10 Stücken auszuführen.

d) Wasserdurchlässigkeit.

Die Wasserdurchlässigkeit von Röhren ist in erster Linie abhängig vom Dichtigkeitsgrad des Scherbens und in zweiter Linie von der Dichtigkeit der Oberfläche bezw. der Glasur.

Man bestimmt die Wasserdurchlässigkeit in der auf S. 444 angegebenen Weise unter Benutzung von Scherben, gegebenenfalls mit Glasur, die erst getrocknet, dann an den Rändern mit Wachs gedichtet und schließlich mit graduierten Glasröhren von 45 mm lichtem Durchmesser versehen werden. Man beobachtet, wieviel Wasser innerhalb bestimmter Zeit in das Material eindringt oder ob Wasser das Rohrstück zu durchdringen vermag. Da Rohre, die in Grundwasser verlegt werden, auch Dichtigkeit gegen Wassereintritt von außen besitzen müssen, ist die Wasserdurchlässigkeit sowohl der Innenseite als auch der Außenseite der Rohre festzustellen.

### § 310. Prüfung der Innenflächen.

Die Prüfung der Innenflächen erstreckt sich bei Ton- und Steinzeugröhren auf Ermittlung der Säurebeständigkeit und bei Zementröhren auf Abnutzbarkeit.

Bei der Säurebeständigkeits-Prüfung hat die des Scherbens getrennt von derjenigen der Oberfläche zu erfolgen. Die erstere geschieht nach einem Verfahren von Seger und Cramer. Der Scherben wird ohne Glasur zerkleinert und das Material auf Sieben von 64 bezw. 121 Maschen auf das Quadratcentimeter abgeseibt. Der zwischen den Sieben verbleibende

Rückstand ist das Versuchsmaterial. Die Körner werden zur Entfernung des Staubes mit Wasser gewaschen, bis zu gleichbleibendem Gewicht getrocknet und mit der zehnfachen Menge Salz- oder Salpetersäure 24 Stunden lang unter öfterem Umschütteln behandelt. Nach Wiederholung des Waschens und Trocknens wird der durch die Säurebehandlung entstandene Gewichtsverlust, der als Maß für die Säurebeständigkeit zu betrachten ist, festgestellt.

Die zweite Prüfung, d. i. die Ermittlung der Säurebeständigkeit der Oberfläche oder der Glasur, erfolgt nach dem Verfahren von Kämmerer, indem Probestücke während 48 Stunden bei Zimmertemperatur der Einwirkung 1 %iger Lösung von Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure und Ammoniak ausgesetzt werden. Auch eine Behandlung der Glasur mit den Dämpfen der rauchenden Salpetersäure gibt Aufschluß über die Säurebeständigkeit.

Zur Beurteilung der Säurebeständigkeit wird alsdann die Änderung des spezifischen Gewichtes und der physikalischen Beschaffenheit des Probestückes benutzt. Es dürfen durch diese Behandlung weder die Glasur noch Stücke vom Probekörper abgelöst werden.

Da Zement gegen Säuren wenig widerstandsfähig ist, erübrigt sich die Untersuchung der Zementröhren auf Säurebeständigkeit und man prüft sie deshalb nur auf Abnutzbarkeit. Es geschieht mit dem Sandstrahlgebläse, weil man Rohrstücke wegen der Krümmung ihrer Flächen auf der Schleifmaschine dem Abnutzungsversuch nicht unterziehen kann. Die Ausführung des Versuches geschieht, wie in § 204 b dargelegt wurde.<sup>1)</sup>

### § 311. Prüfung von Rohrverbindungen.

Wenn Rohre nicht auf völlig unbeweglichem Untergrunde verlegt werden oder bereits zu Rohrsträngen vereinigt zur Verlegung gelangen, können die Rohrverbindungen Beanspruchungen erleiden, die auf eine Trennung zweier benachbarter Rohre hinwirken. Um daher die zulässigen Beanspruchungen kennen zu lernen, welche man den Rohrverbindungen gegebenenfalls zumuten darf, unterzieht man sie einer Prüfung. Zwei Rohre werden in ordnungsmäßiger Weise, wie es beim Verlegen geschehen soll, miteinander verbunden und dann durch eine über die Scheitel gleichmäßig verteilte Last beansprucht. Die Stützung der beiden Rohre erfolgt an den Enden und die Belastung mit Hilfe einer Lastverteilungsvorrichtung, deren Wesen in § 317 näher erläutert ist. Die Belastung wird allmählich gesteigert und diejenige Kraft festgestellt, welche eine Trennung der Rohrverbindung hervorruft.

Eine gleichzeitige Prüfung mehrerer Rohrverbindungsarten<sup>2)</sup> oder von mehr als zwei Rohrstücken ist nicht zu empfehlen, weil sich die

<sup>1)</sup> S. a. Gary, Baumaterialienkunde, Jahrg. 1898, S. 35.

<sup>2)</sup> Beton und Eisen 1906, S. 300. Neue Verbindung von Betonrohren.

Beanspruchungen rechnerisch nicht verfolgen lassen und beim Bruch der einen Verbindung infolge des Stoßes die übrigen Verbindungen beschädigt werden.

## II. Prüfung von Mauerwerk.

### § 312. Allgemeines.

Im § 26 (S. 49) wurde nachgewiesen, daß die Druckfestigkeit von Mauerwerk geringer ist als die des Materials, welches zu seiner Herstellung Verwendung fand, und auf S. 459 ist auf die Umstände hingewiesen, durch welche diese geringere Festigkeit begründet ist. Es wurde erwähnt, daß in erster Linie der Mörtel Schuld an der geringeren Festigkeit des Mauerwerkes trägt. Der Mörtel wirkt als weiche Zwischenlage, deren Einfluß auf S. 52 dargelegt wurde. Sehr lehrreich sind in dieser Beziehung die Versuchsergebnisse, welche Burchartz<sup>1)</sup> mitteilt. Nach diesen ist vergleichsweise die Druckfestigkeit von zwei aufeinandergebauten Ziegelhälften gleich:

100,	wenn die Mauerfuge aus reinem Zementmörtel,
100,	„ „ „ „ Zementmörtel 1 : 3,
78,	„ „ „ „ Kalkmörtel,
83,	„ „ „ „ losem Zementpulver,
73,	„ „ „ „ feinem, trockenem Sande,
77,	„ „ „ „ „ feuchtem Sande,
87,	„ „ „ „ feuchtem Sägemehl bestand und
100,	„ „ Steinhälften mit geschliffenen Flächen

aufeinandergelegt wurden.

Aus den Einzelwerten der Versuchsergebnisse geht hervor, daß die Druckfestigkeit um so größer ist, je dünner die Mörtelfuge zwischen den Steinen war. Je dicker die Fuge ist, desto leichter wird der Mörtel aus der Fuge herausgedrückt und zermalmt.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Prüfung größerer Mauerwerkskörper, wie die zahlreichen, in der Dresdner Versuchsanstalt ausgeführten Prüfungen großer Mauerwerkskörper<sup>2)</sup> nachgewiesen haben. Sie werden ungünstiger dadurch, daß bei wachsender Größe des Probekörpers auch die Erhärtung ungleichmäßiger stattfindet. An den Außenseiten des Probekörpers schreitet die Erhärtung des Kalkmörtels infolge der leichteren Kohlensäurebindung schneller fort als in seinen inneren Teilen, wo die Kohlensäure langsamer Zutritt findet und die Erhärtung des Mörtels verzögert wird (s. S. 402).. Dadurch besitzt die Mörtelfuge keine gleichgroße Festigkeit, was eine ungleichmäßige Zusammendrückung der Probe-

<sup>1)</sup> Burchartz, Luftkalke und Luftmörtel, Berlin 1908.

<sup>2)</sup> Die Mauerwerkskörper besaßen  $75 \times 75 \times 75$  cm Größe, ihre Prüfung fand in der Materialprüfungsmaschine für 1000 Tonnen Kraftäußerung statt (s. § 141).

körper und infolgedessen Biegebungsbeanspruchungen der einzelnen Ziegel bedingt, welche wiederum eine vorzeitige Zerstörung der Ziegel veranlassen. Es wird diese Anschauung dadurch gestützt, daß bei Probekörpern, die in Zementmörtel gemauert waren, die Ribbildung zeitlich mit dem Eintritt des Bruches zusammenfiel. Die Erhärtung der Zementmörtelfugen erfolgte infolge der selbständigen Erhärtung des Zementes gleichmäßiger, so daß keine Biegebungsanstrengungen auf die Ziegel einwirkten. Bei Probekörpern dagegen, die unter Verwendung von Kalkmörtel hergestellt waren, begann die Ribbildung bereits bei Belastungen, die etwa 40—50 % unter der Bruchbelastung lagen. In der Regel verlaufen die ersten Längsrisse an Probekörpern mit Kalkmörtel durch die Mitte der Ziegel, seltener in den Fugen. Bei solchen aus Zementmörtel dagegen treten sie plötzlich, erst im Augenblicke des Bruches und dann meistens in den Fugen auf. Naturgemäß ist die Festigkeit von Probekörpern mit Zementmörtel größer als die mit Kalkmörtel; der Unterschied beträgt etwa 50 %. Im allgemeinen kann behauptet werden, daß die Druckfestigkeit von Mauerwerk um so höher ist, je größere Festigkeit und Selbsterhärtungsfähigkeit der Mörtel besitzt. Auch die Bruchform ist von der Festigkeit des Mörtels abhängig. In Zementmörtel hergestellte Mauerkörper liefern eine Bruchform, die sich der eines einheitlichen Steinkörpers nähert, indem in vielen Fällen Druckpyramiden (s. S. 55) entstehen. Mauerkörper dagegen, zu deren Anfertigung Kalkmörtel oder verlängerter Zementmörtel geringerer Festigkeit benutzt wird, zerfallen in einzelne Stücke, da der Mörtel vor Zertrümmerung der einzelnen Ziegel zermalmt wird.<sup>1)</sup>

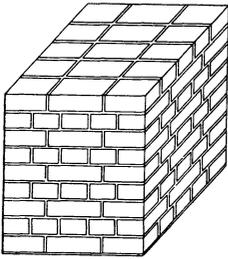


Fig. 418.

zerfallen in einzelne Stücke, da der Mörtel vor Zertrümmerung der einzelnen Ziegel zermalmt wird.<sup>1)</sup>

### § 313. Form der Probekörper.

Die Abmessungen der Probekörper müssen so gewählt werden, daß zu ihrer Herstellung möglichst ganze Ziegel, zum mindesten keine Riemenstücke oder Viertelsteine verwendet werden. Bei der Prüfung von Mauerwerk aus gelochten Steinen verbietet sich eine Teilung der Steine von selbst. Man läßt dann, wie es durch den regelrechten Verband bedingt ist, die betreffenden Steinteile über die Seitenflächen des Probekörpers hervorragen und berücksichtigt bei der Prüfung die unregelmäßige Querschnittsform dadurch, daß man die abgleichende Zementmörtelschicht gleich der geringsten Querschnittsfläche macht und diese in der Berechnung einführt. Der dadurch entstehende Fehler ist so geringfügig, daß er vernachlässigt werden kann. Bei gelochten Steinen werden die Hohlräume mit Mörtel ausgefüllt und ihre Querschnitte bei Berechnung der Druckfestigkeit vom Körperquerschnitt nicht in Abzug gebracht.

<sup>1)</sup> Für die Prüfung von Bruchsteinmauerwerk gelten die gleichen Gesichtspunkte, nur spielt dabei der Verband der Probekörper eine noch wichtigere Rolle.

Fig. 418 zeigt den Verband von Mauerkörpern aus gebrannten Mauerziegeln und in Fig. 419 ist die Bruchform eines Probekörpers dargestellt, wie er zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauerwerk aus Schornsteinradialziegeln Verwendung findet.



Fig. 419.

#### § 314. Umfang einer vollständigen Mauerwerksprüfung.

Eine vollständige Mauerwerksprüfung hat sich zu erstrecken auf:

1. Untersuchung der einzelnen Bausteine nach IV. Teil, Abschnitt I oder II;
2. Untersuchung des zur Herstellung des Probekörpers benutzten Mörtels nach IV. Teil, Abschnitt IV;
3. Feststellung des Gewichtes von 1 cbm Mauerwerk;
4. Ermittlung der Druckfestigkeit; hierbei werden festgestellt:
  - a) die Beanspruchung beim Entstehen des ersten Risses,
  - b) die Belastung im Augenblicke des Bruches, das ist die höchste Tragfähigkeit.

### III. Prüfung von Gelenksteinen.

#### § 315. Art der Versuchsausführung.

Gelenksteine für Brücken werden auf Druckfestigkeit geprüft, wobei man die Anlageflächen bei verschiedenen Belastungsstufen feststellt. Die Prüfung erfolgt nicht am einzelnen Stein, sondern durch Belastung eines ordnungsmäßig aufeinandergesetzten Gelenksteinpaares. Der eine Stein

wird auf die untere Preßplatte der Prüfungsmaschine gesetzt und der andere an der oberen Platte aufgehängt, damit man bei jeder Belastungsstufe zwecks Besichtigung der Berührungsflächen den einen Stein vom anderen abheben kann. Zur Bestimmung der Größe der Berührungsflächen werden zwischen den Steinen zwei Bogen weißes, dünnes, festgeleimtes Papier angeordnet, auf welche die jeweilige Berührungsfläche

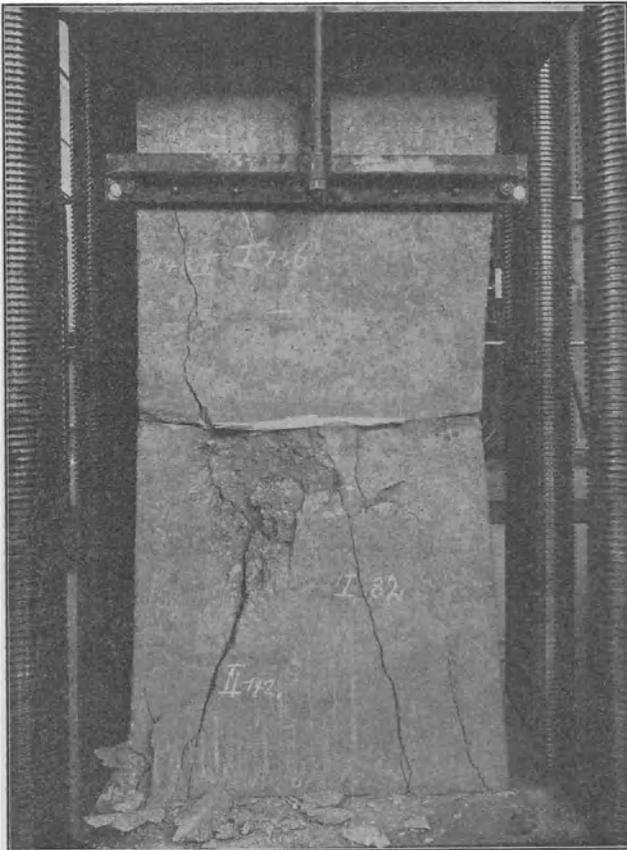


Fig. 420.

durch zwischengelegtes Farbpapier kopiert wird. Die Größe der Berührungsfläche bestimmt man zur Berechnung der spezifischen Pressung zwischen den Steinen durch Ausmessen mit dem Maßstab oder dem Planimeter.

Da gute Anlage der Steine an den Preßplatten unbedingt erforderlich ist, auch beim Belasten die beiden Steine stets in richtiger Lage aufeinandergesetzt werden müssen, gleicht man die Druckflächen mit Zement-

mörtel 1:1 ab und markiert die vorgeschriebene gegenseitige Lage der Gelenksteine durch Farbstriche.

Der Versuch wird in der Weise durchgeführt, daß man zuerst diejenige Belastung auf die Steine bringt, welcher sie im Bauwerke ausgesetzt sind, und sie dann stufenweise bis zum Bruche steigert. Jede Belastung läßt man 5 Minuten bestehen, hebt hiernach den Stein ab, entfernt das zwischengelegte Papier, bringt neues an seine Stelle und stellt die nächste Laststufe ein. Während des Versuches, also auch während der Belastungssteigerung, werden die Seitenflächen der Steine beobachtet und mit der Lupe nach Rissen abgesucht. Die Belastung, bei welcher der erste Riß eintritt, wird notiert, und ebenso werden die Belastungen angegeben, bei welchen weitere Risse eintreten oder sich Teile von den Steinen ablösen. Das endgültige Aussehen der Steine ist nach dem Versuche zeichnerisch festzulegen.

### § 316. Beispiel eines Druckversuches.

Fig. 420 zeigt das Aussehen eines Gelenksteinpaares nach der Prüfung und Fig. 421 läßt die Art der Aufzeichnung der Risse erkennen.

Die Figuren entsprechen einem Gelenksteinpaare einer Brücke bei Berlin, das in der Dresdner Versuchsanstalt geprüft wurde. Die Nutzlast, welche die Gelenksteine im Bauwerke tragen sollten, betrug 97600 kg und der Bruch erfolgte bei 976000 kg. Der Prüfungsvorgang ist aus folgender Tabelle ersichtlich.

No. der Belastungsstufe	Be- lastung kg	Größe der Be- rührungs- fläche qcm	Spez. Pressung zwischen den Anlage- flächen	Beobachtungen:
1	97 600	1260	77	—
2	197 200	1380	143	—
3	297 000	1560	190	—
4	398 000	2160	(184)	Nach $2\frac{1}{2}$ Minuten Belastungsdauer ein Riß in der Mitte des konvexen Steines.
5	498 000	2640	(188)	2 seitliche Risse in demselben Stein.
6	598 000	2820	(212)	—
7	699 000	3000	(232)	Riß in der Mitte des konvexen Steines von Grundfläche beginnend.
8	799 000	3420	(233)	Querriß im konvexen Stein.
9	899 000	3660	(245)	Querriß im konkaven Stein.
10	976 000	—	—	Bruch.

Die eingeklammerten Werte sind nicht einwandfrei, weil durch den Eintritt der Rißbildung die Anschmiegung der Gelenksteine sich änderte.

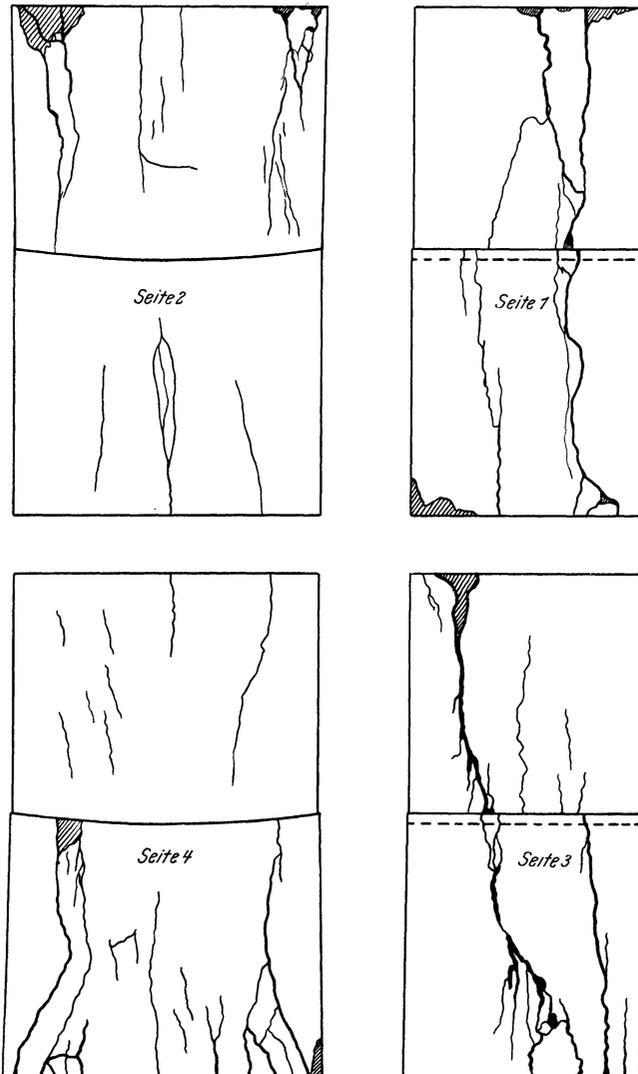


Fig. 421.

## IV. Prüfung von ebenen Platten und Gewölben.

### § 317. Prüfungsgeräte und Versuchsausführung.

Die Berechnungsmethoden ebener Platten und von Gewölben aus Bausteinen, Beton oder Eisenbeton fußen in der Hauptsache auf Versuchsergebnissen, die bei Prüfung von Probeobjekten oder von Bauausführungen gewonnen wurden. Der Kraftangriff bei solchen Bauteilen, die in der Regel auf Biegung und Schub beansprucht werden, erfolgt entweder als

Einzellast an einer oder mehreren Stellen der Platte oder als gleichmäßig über die ganze Plattenoberfläche verteilte Last. Da beim Versuch die Beanspruchung der wirklichen im Bauwerk auftretenden nahekommen muß, erfolgt die Prüfung bei solcher Lastverteilung, wie sie für die Berechnung maßgebend ist.

Beanspruchungen durch Einzellasten und auch durch zwei Lasten bieten keine Schwierigkeiten. Sind die Abmessungen der Platten nicht groß und steht eine Materialprüfungsmaschine zur Verfügung, so kann die Prüfung der Platten unter den in Teil I, Abschnitt III erläuterten Gesichtspunkten ausgeführt werden. Besitzen dagegen die Probeobjekte größere Abmessungen oder steht keine Maschine zur Verfügung, so kann man sich auch mit Belastungsgewichten behelfen. Nachteilig in solchem Falle ist jedoch die lange Dauer der Prüfung, die durch Bewegen der oft erheblich großen Gewichte bedingt ist, und der Umstand, daß man die Gewichte weder ohne Stoß, wie es erforderlich ist, aufsetzen, noch eine mehrfach wiederholte Entlastung zur Messung der elastischen Formänderungen vornehmen kann, wie es bei Benutzung einer Prüfungsmaschine möglich ist. Der wichtigste Punkt bei Anwendung von Gewichtbelastung ist der, die Belastung in der Weise aufzubringen, daß nur diejenige Beanspruchung in dem Bauteil entsteht, welche beabsichtigt ist, und daß vor allem keine unkontrollierbaren Nebenspannungen auftreten.

Wenn für die Prüfung besondere Probeobjekte errichtet werden, muß ihre Ausführung derjenigen im Bauwerke entsprechen. Insbesondere ist die Auflagerung und Stützung in übereinstimmender Weise zu wählen. Massivdecken, die im Bauwerk zwischen Trägern hergestellt werden und bei Belastung einen Horizontalschub äußern, der von den fest verlegten Trägern aufgenommen wird, müssen auch für die Prüfung zwischen unverschiebbaren Trägern gebaut werden. Im allgemeinen benutzt man bei Deckenprüfungen Deckenstreifen von 1 m Breite, die in eiserne Rahmen eingespannt werden, wenn sie Horizontalschub ausüben, oder man legt sie auf Träger oder Fundamentmauern, wenn sie keinen Horizontalschub äußern. Horizontalschub ergeben alle mit Stich hergestellten Decken und Gewölbe, und ihre Tragfähigkeit ist in hohem Maße von der Sicherheit ihrer Stützung abhängig. Während des Belastungsversuches ist deshalb das Verhalten der Widerlager zu beobachten, und etwaige Lagenänderungen sind zu messen.

Eine Vorrichtung zur Beanspruchung einer Platte auf Biegung durch eine über die Plattenbreite verteilte Einzellast ist in Fig 422 abgebildet.

Die zu prüfende Platte 3 ist auf den Fundamentpfeilern 1 und 2 gestützt. Auf die Mitte der Platte ist unter Zwischenschaltung eines schmalen Holzbrettes 4, das auf eine Sandschicht 5 zum Ausgleichen der Unebenheiten gebracht wird, eine Rolle 6 zur Übertragung der Kraft gelegt. Die Belastung erfolgt durch Auflegen von Gewichten  $G$  auf die Brücke 7, welche einerseits auf der Stütze 8, die auf einer Dezimalwage

steht, und andererseits auf Rolle 6 ruht. Beim Aufbringen der Gewichte ist darauf zu achten, daß die einzelnen Stücke möglichst symmetrisch zur Rolle 6 verteilt werden, damit die Resultierende aller Einzelgewichte möglichst in die Mitte der Probeplatte fällt. 9 und 10 sind Stützen zum Auffangen der Brücke 7 beim Bruch der Platte. Die Größe der Belastung der Platte ergibt sich durch Subtraktion der Lastanzeige der Dezimalwage von der Summe der auf der Brücke 7 befindlichen Gewichte, einschließlich Eigengewicht der Brücke.

Die Vorrichtung gestattet auch eine Entlastung der Platte durch Anheben der Brücke 7 mit zwei untergebauten Lastwinden oder mittels Flasenzügen, die an einem Gerüst über der Vorrichtung angebracht sind.

Bei Verwendung von zwei Angriffspunkten der Last wird unter die Rolle 4 ein Träger gelegt, der die Druckkraft auf zwei Rollen überträgt, welche unter Zwischenschaltung von Sand und von Holzbrettern auf der Probeplatte angeordnet sind.

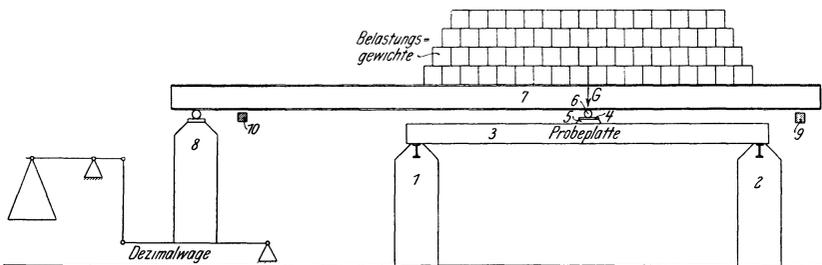


Fig. 422.

Die Erzielung einer gleichmäßig über die ganze Plattenfläche verteilten Last ist schwierig, wenn die freie Formänderungsfähigkeit der Platte gewahrt bleiben soll. Da die Probeplatten aber in der Regel an den Enden über die ganze Breite gestützt sind und die gleichmäßig über ihre Fläche verteilten Kräfte nur eine Durchbiegung der Platte in ihrer Längsrichtung verursachen, braucht eine Lastverteilungsvorrichtung auch nur derartig zu wirken, daß sie freie Beweglichkeit der Plattenteilechen unter der Last in dieser Richtung gewährleistet.

Fig. 423 zeigt eine Vorrichtung zur Kraftverteilung für gleichmäßig verteilte Belastung.

Die Probendecke ist zur Ausgleichung von Unebenheiten 2 cm hoch mit Sand beschüttet, und auf die Sandschicht sind Bretter gelegt, auf welche die Last durch einen Trägeraufbau übertragen wird. Zur Sicherung der Beweglichkeit des Trägeraufbaues entsprechend der Durchbiegung der Platte sind zwischen die einzelnen Träger Rollen geschaltet. Die Wirkungsweise einer solchen Anordnung bei Durchbiegung der Platte ist gleich der aus Fig. 428 S. 480 ersichtlichen. Die Belastung erfolgt durch Gewichte, welche auf die Brücke gebracht werden, oder mit der Vorrichtung nach

Fig. 422 oder mit der auf S. 479 bzw. 480 beschriebenen Maschine Fig. 426 oder 427.

Das Auflegen von Gewichten unmittelbar auf die Probeplatte oder unter Zwischenschaltung einer Sandschicht oder einer gußeisernen Platte<sup>1)</sup> ist falsch, da bei solcher Anordnung die Formänderungsfähigkeit der Platte

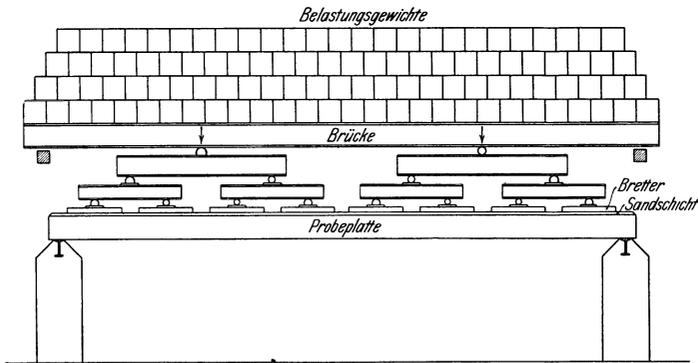


Fig. 423.

gehindert wird und oft die Last überhaupt nicht auf der ganzen Plattenfläche, sondern nur auf den äußersten Enden derselben ruht. Eine beliebte Ausführungsart der Prüfung von ebenen Platten (Massivdecken in Bauwerken) ist die nach Fig. 424.

Es wird auf die Platte ein Stapel Ziegelsteine aufgebracht, der dadurch, daß die Ziegel im Verbands liegen, als ein einheitlicher starrer Körper betrachtet werden kann. Bedenkt man nun, daß die Platte das Bestreben hat, sich in der Mitte durchzubiegen, so ist ersichtlich, daß der Ziegelstapel nicht imstande sein wird, sich der Plattenform anzupassen und die Platte auch nach eingetretener Durchbiegung zu belasten. Der Ziegelstapel ruht alsdann nur auf den äußersten Teilen der Platte, welche, als Kragsteine dienend, die Last auf die Widerlager der Platte übertragen.

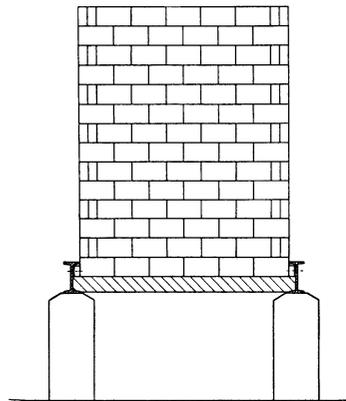


Fig. 424.

Gelegentlich einer Demonstration wurden in der Dresdner Versuchsanstalt zwei gleichartige, aus Deckenhohlziegeln hergestellte ebene Platten Versuchen mit Lastverteilungsvorrichtung und ohne Anwendung dieser Vorrichtung unterzogen.

<sup>1)</sup> S. Centralblatt der Bauverwaltung 1895, S. 339.

Mit Lastverteilungsvorrichtung trug die Platte von 1,25 m Stützweite und 1 m Länge 1300 kg, und bei Benutzung eines Ziegelstapels

trat bei 6500 kg Belastung erst ein Riß in der Mitte der Platte auf, der auch bei weiterer Steigerung der Last bis auf 13600 kg unverändert blieb. Bei dieser Belastung machten sich erhebliche Durchbiegungen der Stützträger bemerkbar, so daß von einer weiteren Erhöhung der Last abgesehen werden mußte.

Mit ganz ähnlichen Anordnungsfehlern behaftet sind diejenigen Versuche, bei deren Ausführung auf die Platte Sandsäcke in hoher Schicht aufgelegt werden. Eine oder auch zwei Schichten liefern eine gleichmäßig verteilte Last. Werden aber mehrere Schichten übereinanderge-

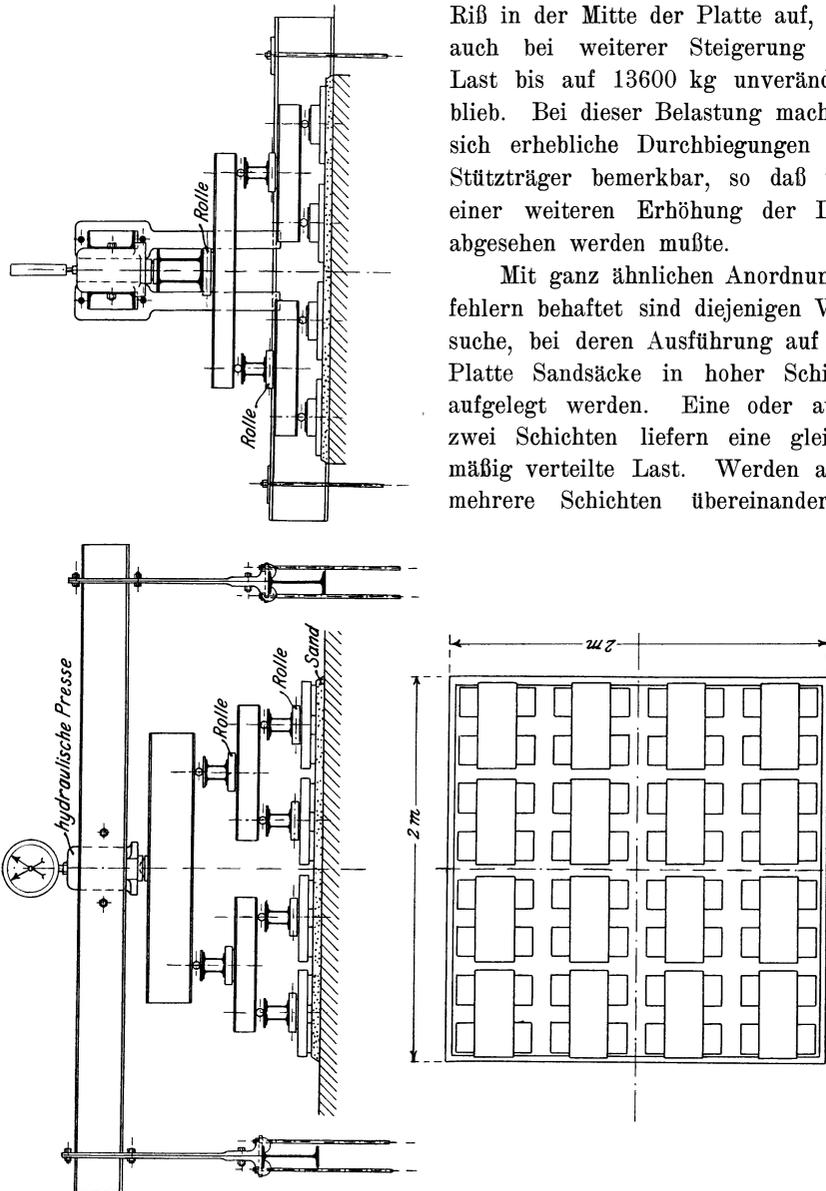


Fig. 425.

getürmt, so tritt ebenfalls eine Versteifung der Sandsäcke unter sich ein und die gleichmäßige Verteilung der Last hört auf. Wenn auch diese Anordnung nicht derart fehlerhaft ist, wie die vorher beschriebenen, so

muß doch vor ihrer Benutzung gewarnt werden. Die Anordnung leidet noch an dem weiteren Übelstande, daß durch das allmähliche Auflegen der Sandsäcke, wenn es z. B. an einem Ende der Platte beginnend erfolgt, eine ungleichartige Belastung stattfindet, die das Versuchsergebnis trüben kann. Jedenfalls muß, wenn man gezwungen ist, diese Art Belastung zu wählen, mit dem Auflegen der Sandsäcke in der Mitte der Platte begonnen und die weiteren Säcke symmetrisch zum ersten angeordnet werden. Zu erwähnen ist noch, daß das Absetzen der Sandsäcke stoßfrei erfolgen muß.

Auch diejenigen Versuche sind mit Fehlern behaftet, bei denen Eisenbahnschienen oder Roheisenbarren als Belastungsgewichte dienen, wenn nicht eine Zwischenkonstruktion zur Lastverteilung nach Fig. 423 S. 477 Verwendung findet.

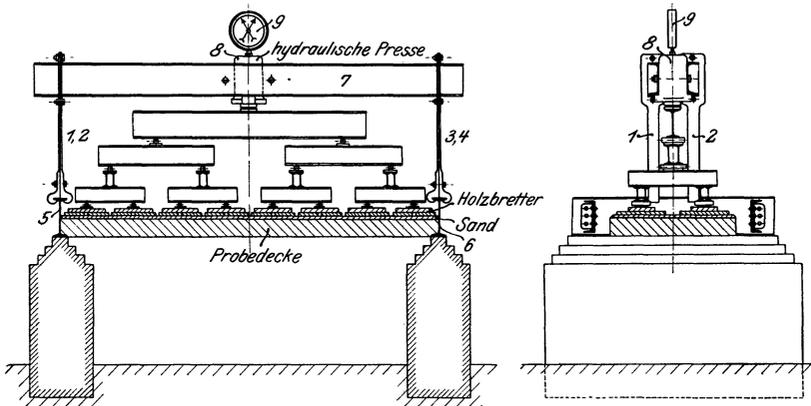


Fig. 426.

Ist die zu prüfende Platte an allen vier Rändern gestützt, so genügt die Lastverteilungsvorrichtung nach Fig. 423 nicht, weil sie nur den Formänderungen in einer Richtung folgen kann. Soll sie auch Beweglichkeit nach der zweiten Richtung besitzen, also einer Ausbauchung der Platte folgen können, so muß sie nach Fig. 425 angeordnet werden.

Hauptbedingung bei allen Zwischenkonstruktionen ist, daß durch sie auf gleichgroße Flächenstücke der Platte auch gleichgroße Kräfte übertragen werden.

Wie aus vorstehenden Erläuterungen ersichtlich geworden ist, bietet die Belastung von Bauteilen mit Gewichten mancherlei Schwierigkeiten; daher war das Bestreben der Versuchsanstalten von jeher darauf gerichtet, diese Schwierigkeiten zu umgehen. Soweit dem Verfasser bekannt geworden ist, war die Dresdner Versuchsanstalt die erste, welche bereits im Jahre 1899 die Belastung mit Gewichten aufgab und für die Prüfung von Bauteilen auf Tragfähigkeit transportable hydraulische Pressen einführte und dieses Verfahren bei den verschiedensten Bauteilen in Anwendung brachte.

Die erste Ausführungsform einer transportablen hydraulischen Belastungsmaschine für 30 Tonnen Kraftäußerung ist in Fig. 426 dargestellt.

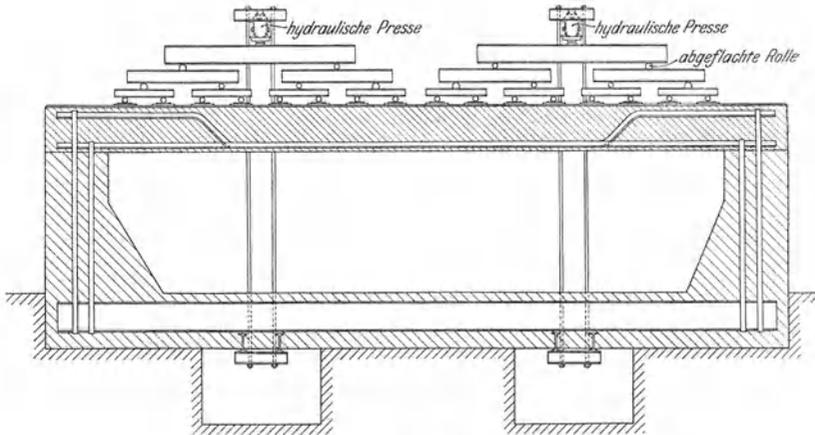


Fig. 427.

Die Maschine hat bei den zahlreichen innerhalb der Anstalt und auf Bauten ausgeführten Prüfungen von Decken und sonstigen Bauteilen wertvolle Dienste geleistet.

Sie besteht aus den vier in ihrer Länge und Klauenweite verstellbaren Zangen 1, 2, 3, 4, die z. B. an den Widerlagerträgern 5, 6 ebener

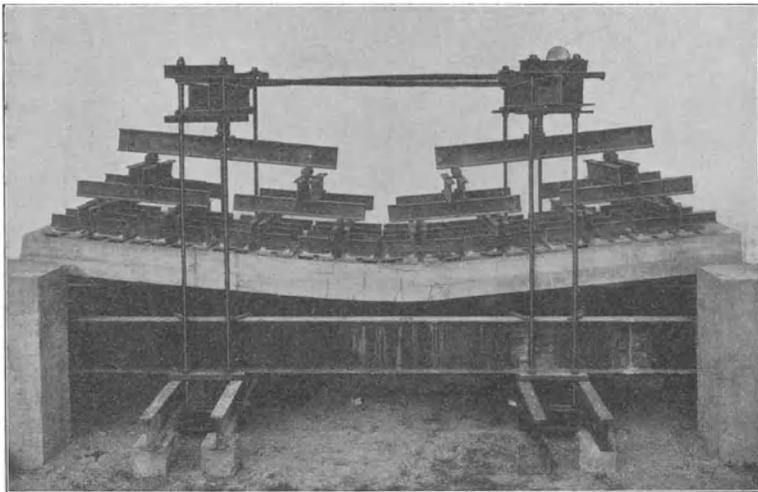


Fig. 428.

Massivdecken befestigt werden, und der von ihnen gehaltenen Traverse 7 mit hydraulischer Presse 8. Die Presse ist mit einem Kontrollmanometer 9

versehen und erhält ihren Antrieb durch ein Pumpwerk, welches mit ihr durch ein dünnes Kupferrohr verbunden ist. Obgleich die Presse mit Ledermanschette am Kolben versehen ist, zeigt sie nur geringfügige Änderungen in ihrer Anzeige, wie die regelmäßigen Eichungen nachgewiesen haben (s. S. 182).

Fig. 427 u. 428 zeigen die Anordnung einer ähnlichen Belastungsvorrichtung für 100 Tonnen Kraftäußerung unter Benutzung von zwei hydraulischen Pressen. Beide Pressen sind miteinander durch ein Kupferrohr verbunden, dessen lichte Weite zur Vermeidung von Flüssigkeitsreibungen groß (13 mm) gewählt wurde. Als Widerlager für die Pressen dienen Traversen, die mit Zugstangen versehen sind. Diese greifen unterhalb der Platte an Trägern an, welche ihre Stützung an den Widerlagern der Platten finden. Die Wirkungsweise dieser Belastungsvorrichtung ist aus Fig. 428 ersichtlich.

Ist die Spannweite der Platte groß, so daß sehr starke Widerlagerträger erforderlich wären,<sup>1)</sup> wie es z. B. bei Prüfung einer Brücke mit 14 m

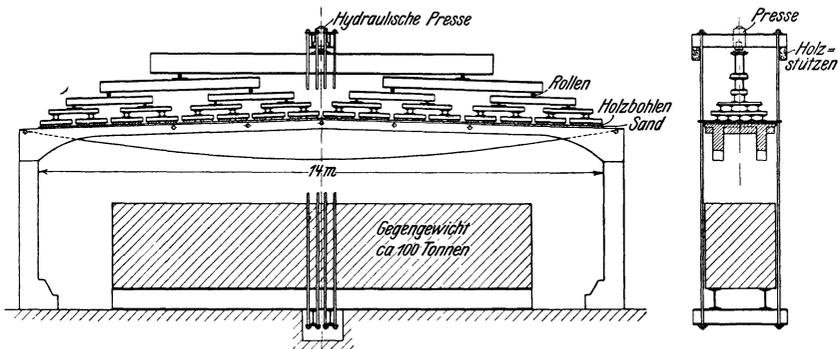


Fig. 429.

Spannweite der Fall war, so benutzt man an Stelle der Träger ein Gegengewicht (s. Fig. 429), indem man unterhalb der Brücke die Zugstangen der Presse mit einer Plattform verankert und auf diese entsprechende Mengen Erde oder Steine aufschichtet. Natürlich erfordert diese Belastungsmethode entsprechend starke Fundamente, da die gesamte Last auf dieselben zur Wirkung gelangt.

Der große Vorteil der Benutzung hydraulischer, mit den Widerlagern des Bauteiles verankerter Pressen gegenüber der Gewichtsbelastung ist ohne weiteres einleuchtend. In erster Linie wird durch die Verankerung der Presse an den Widerlagern das Fundament des Bauteiles in nur unerheblicher Weise beansprucht, weil die Kräfte der hydraulischen Presse unmittelbar auf die Platte übertragen und dadurch ausgeglichen werden.

<sup>1)</sup> Die Aufstellung der großen, aus Fig. 5 der Abhandlung: Belastungsversuche mit Visentinisträgern, Beton und Eisen 1906, S. 200, ersichtlichen eisernen Widerlagerträgern muß sehr kostspielig gewesen sein.

Ferner ist die Möglichkeit vorhanden, den Belastungsversuch mit jeder beliebigen Geschwindigkeit auszuführen, die Belastung zu entfernen und wieder aufzubringen; außerdem werden die Hilfskräfte zum Bewegen der Belastungsgewichte überflüssig; ein Mann ist imstande, die Belastung mit der Handpumpe zu regeln. Die Versuchsausführung ist völlig gefahrlos, weil nach Aufhören der Widerstandsfähigkeit der Probeplatte auch die Belastung aufhört und keine Gewichte vorhanden sind, die durch ihr Niederfallen die in der Umgebung des geprüften Bauteiles befindlichen Bauwerksteile gefährden.

Nach Eintritt des Bruches der Bauteile sind die entstandenen Risse, die Lage der Bruchstelle und die Art des Bruches festzustellen. Insbesondere ist anzugeben, ob die Risse, welche den Bruch herbeigeführt haben, durch die einzelnen Bausteine oder in ihren Fugen verlaufen. Die vorhandenen Risse sind zeichnerisch festzulegen; beim Niederreißen des Bauteils müssen die Bruchflächen auf Vorhandensein von alten Anbrüchen, Hohlräumen oder sonstigen Umständen untersucht werden, die vorzeitigen Eintritt des Bruches veranlaßt haben könnten. Bei Eisenbetonkonstruktionen ist nachträglich die Lage der Eiseneinlagen genau zu ermitteln, da von dieser die Tragfähigkeit des Konstruktions- oder Bauteiles wesentlich abhängt. Eiseneinlagen dienen in der Hauptsache zur Aufnahme von Zugspannungen, denen gegenüber der Beton nur wenig widerstandsfähig ist. Sie müssen deshalb bei Decken oder dergl. in möglichst großer Entfernung von der neutralen Schicht angeordnet werden. Sie dürfen aber auch nicht der Oberfläche der Decke oder des Balkens zu nahe liegen, da sie ihre Wirkung nur zu äußern vermögen, wenn sie vollständig mit einer entsprechend dicken Betonschicht bedeckt sind.

Es ist ferner festzustellen, ob Gleiten der Eiseneinlagen innerhalb der Betonumhüllung stattgefunden hat und ob die Eiseneinlagen genügend fest mit dem Beton verbunden waren. Gleiten der Einlagen macht sich an der Oberfläche des freigelegten Eisens durch Längsrisse in der Zementumhüllung und überhaupt durch glatte Oberfläche des Eisens bemerkbar. Besitzen dagegen die Eiseneinlagen nach ihrer Entfernung aus dem Bauteile noch fest anhaftende Mörtelreste, so kann angenommen werden, daß der Beton fest mit dem Eisen verbunden war und auch kein Gleiten der Eiseneinlagen stattgefunden hatte.

### § 318. Messung der Formänderungen.

Außer der Tragfähigkeit der Bauteile werden auch die Formänderungen festgestellt. Dies erfolgt unter Verwendung der in Teil III Abschnitt I beschriebenen Apparate. Die Durchbiegungen werden z. B. bei Decken mit Zeigerapparaten (s. § 175) gemessen, die in der Mitte der Decken und an den beiden Enden angeordnet werden. Als Festpunkt, gegen welchen die Messung erfolgt, dient der Fußboden des Prüfraumes. Die Anbringung von Meßapparaten an den Enden der Decken geschieht,

weil die Widerlager häufig nachgeben und ein falsches Messungsergebnis erzielt werden würde, wenn man ihre Lagenänderungen außer acht ließe. Die Angriffspunkte der Meßapparate an den Decken müssen vor Ansetzen der Apparate von Sand und leicht ablösbaren Teilchen gereinigt werden, damit nicht die dadurch entstehenden Verschiebungen als Formänderungen der Decke gemessen werden. Um ein genaues übersichtliches Bild des Belastungsvorganges zu erhalten, sind die wahren Durchbiegungen der Decke als Funktion der zugehörigen Belastungen aufzuzeichnen. Die einzelnen Belastungsstufen werden schätzungsweise gewählt, indem man die höchste Tragfähigkeit der Decke vorausbestimmt, diese in mindestens 10 Stufen zerlegt und dann den abgerundeten Wert als Belastungsintervall annimmt.

Die Aufzeichnung des Belastungs-Durchbiegungsdiagramms ist bei solchen Prüfungen von besonderem Werte, da man aus ihm die Belastung entnehmen kann, bei welcher der erste Riß in der Decke entstand. Dieser Vorgang macht sich im Diagramm als Knick der Kurve bemerkbar, während er durch Beobachtung der Decke beim Versuche oftmals nicht festgestellt werden kann.

Die Belastung, bei welcher der erste Riß eingetreten ist, und Art und Lage desselben sind von besonderer Wichtigkeit, weil Rißbildung nicht

den Bruch des Bauteils zur Folge haben darf. Bei Bauteilen, welche mit Eiseneinlagen bewehrt sind (Eisenbeton), liegen die Belastungen, durch welche der erste Riß entsteht und der Bruch herbeigeführt wird, ziemlich weit auseinander. Bei Eisenbetondecken entstehen Risse immer zuerst auf der auf Zug beanspruchten Seite, da Beton größere Dehnungen nicht zu ertragen vermag. Die Tragfähigkeit der Decke hört aber trotzdem noch nicht auf, weil das mit dem Beton fest verbundene Eisen die Zugspannungen aufnimmt. Durch die Trennung der Betonteilchen wird aber die neutrale Schicht (s. S. 62) nach der Druckzone zu verschoben; dies veranlaßt ein Anwachsen der Druckbeanspruchung in der äußersten Druckzone. Diese Beanspruchung wird schließlich so groß, daß der Bruch der Decke durch Zerstörung des Betons in der Druckzone herbeigeführt wird, ohne daß das Eisen eine hohe Beanspruchung erlitten hätte. Zerreißen der Eiseneinlagen findet daher nur in seltenen Fällen statt.

Um die Beanspruchungen der Eiseneinlagen im Eisenbeton beurteilen zu können, wurden in der Dresdener Versuchsanstalt mehrfach Versuche in der Weise angestellt, daß bei Anfertigung der Probeobjekte (Plattenbalken, Säulen) unmittelbar neben den Eiseneinlagen, wie Fig. 430 zeigt,

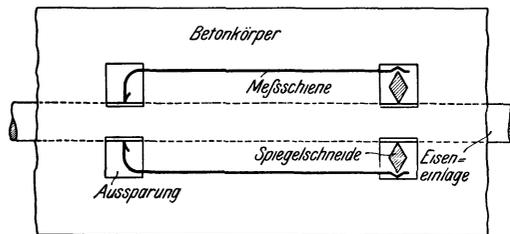


Fig. 430.

Aussparungen zur Aufnahme von Spiegelapparaten nach Fig. 431 angebracht oder durch Ausbohren erzeugt wurden. Mit diesen Apparaten

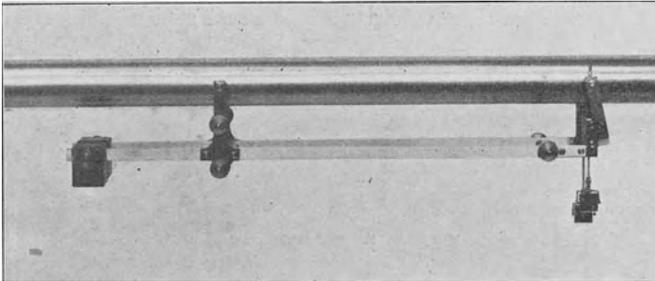


Fig. 431.

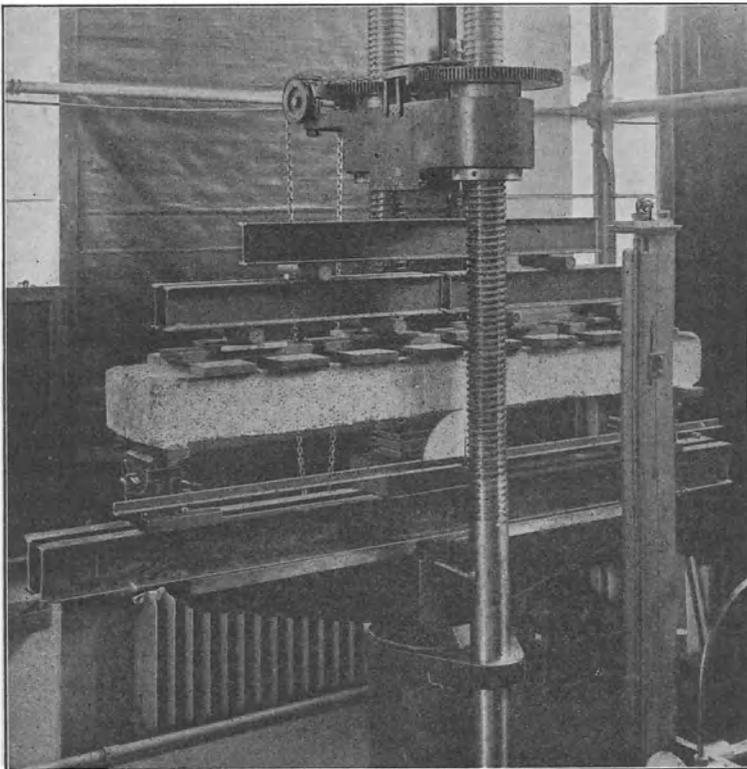


Fig. 432.

stellte man die Eisendehnungen bei bestimmten Belastungen der Platten fest und unmittelbar hierauf die zu den abgelesenen Dehnungen gehörigen

Materialspannungen durch einen Zugversuch mit demselben Eisen, nachdem es mit einer Betonumhüllung versehen worden war.

### § 319. Prüfung von Treppenstufen, Zementdielen und dergl.

Einzelne Treppenstufen, Zementdielen und sonstige im Bauwerke Belastungen ausgesetzte Bauteile, deren Beanspruchungen rechnerisch verfolgt werden können, prüft man für sich in einer Materialprüfungsmaschine auf Biegung bei gleichmäßig über die ganze Fläche verteilte Belastung (s. Fig. 432). Die Lastverteilung erfolgt dabei analog dem in Fig. 423, S. 477 angegebenen Schema. Zur Erzielung geeigneter Auflagerflächen werden die Probekörper an den betreffenden Stellen mit Zementleisten von 4 cm Breite versehen. Treppenstufen mit abgeschrägter Unterseite (Trägerstufen) erhalten an den Enden Ansätze (Backen) aus Beton. Die Ansätze

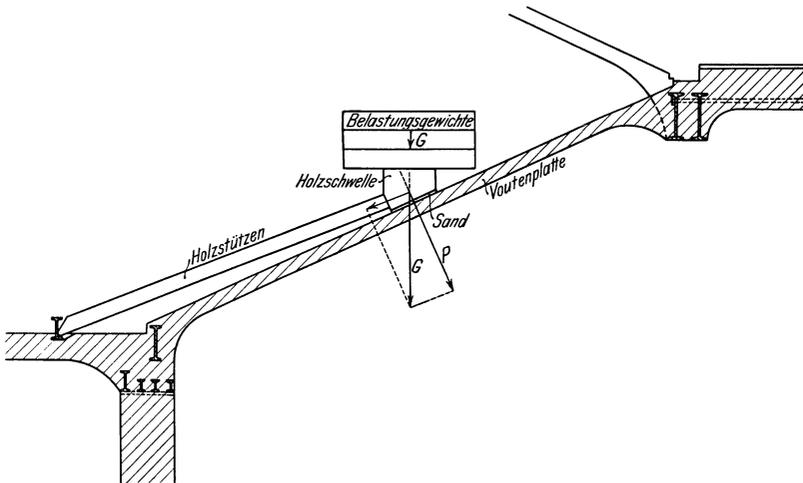


Fig. 433.

werden in der Weise hergestellt, daß man die entsprechenden Stellen der Stufen aufräut und nach Anbringung einer Schalung den Beton aufstampft. Da die Beanspruchung der Backen nicht hoch ist, können so vorbereitete Stufen bereits nach dreitägiger Erhärtung des Betons der Prüfung unterzogen werden. Die Bruchbelastung wird in Kilogramm für das Quadratmeter angegeben, wobei als belastete Fläche das Produkt aus freier Stützweite und größter Breite der Stufe oder Diele gilt. Maßgebend für die Beurteilung ist die Belastung, bei welcher der erste Riß eingetreten ist, und die zugehörige Durchbiegung. Die Bruchbelastung dagegen liefert nur Anhaltspunkte über die Eignung der Konstruktion. Im übrigen gilt auch hier das bereits auf S. 482 Erwähnte. Es müssen nach dem Versuche Lage, Abmessungen und Anordnung der Eiseneinlagen festgestellt werden.

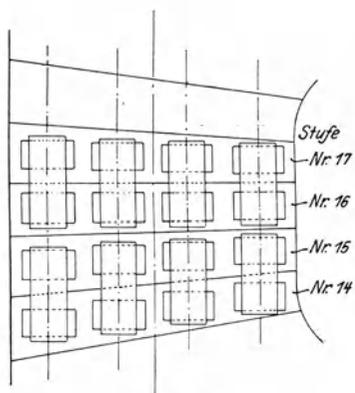
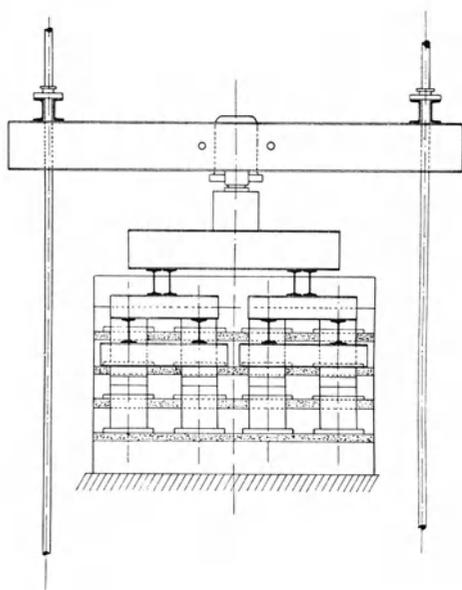
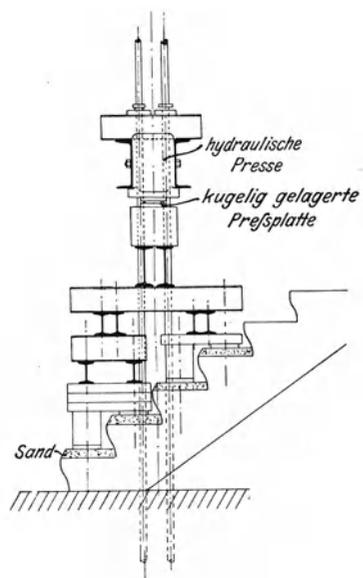


Fig. 434.

form wurde das Belastungsmaterial aufgebaut, welches aus Bleibarren bestand. Zur Feststellung der Formänderung der Decke wurden die Lagenveränderungen der Widerlager und die Durchbiegung der Platte in der Mitte gemessen. Die Größe der senkrecht auf die Platte wirkenden Kraft wurde durch Kraftzerlegung berechnet.

Fig. 434 zeigt die Versuchsanordnung bei Prüfung einer gewundenen, freitragenden Eisenbetontreppe. Die Lastverteilung erfolgte, wie aus der Figur ersichtlich, durch einen Aufbau aus Brettern und Trägern, und die

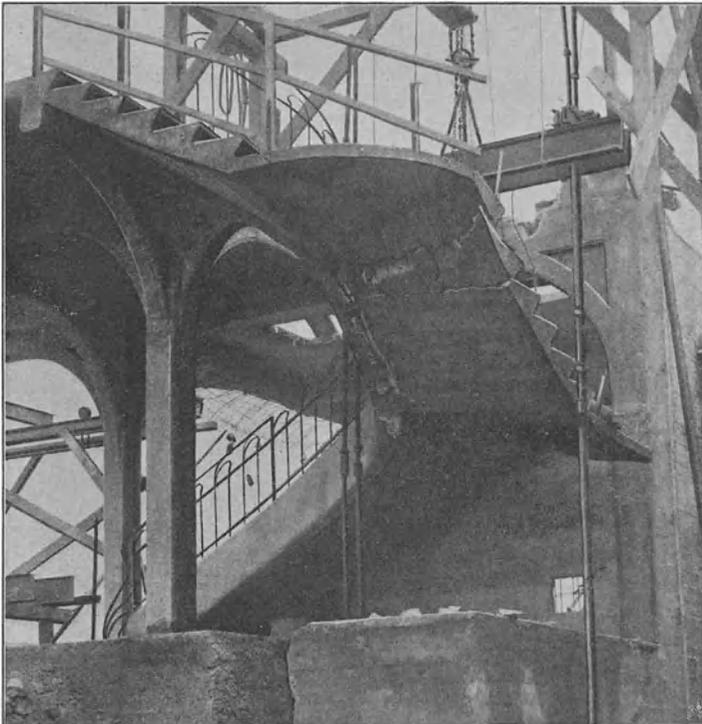


Fig. 435.

Belastung durch eine am Fundament des Bauwerkes verankerte hydraulische Presse. Die Formänderungsmessung geschah mit Zeigerapparaten, wobei der Erdboden als Festpunkt für die Messungen galt. Aus Fig. 435 sind die Formänderungen und die Bruchstellen nach dem Belastungsversuch ersichtlich.

### § 321. Prüfung von Wänden.

Zum Abteilen von Räumen im Inneren von Gebäuden, an Stellen, wo keine Träger oder sonstige Tragkonstruktionen vorhanden sind, werden Leichtwände benutzt, die aus einzelnen Teilen zusammengesetzt oder aus

den Rohmaterialien an Ort und Stelle angefertigt werden. Solche Wände dürfen den Fußboden, auf welchen sie gestellt werden, in keiner Weise belasten und müssen deshalb nicht nur leicht sein, sondern auch die Eigenschaft des Freitragens besitzen.

Die Prüfung der Wände umfaßt die Untersuchung der zum Bau benutzten Einzelbauteile nach den für künstliche Steine angegebenen Verfahren und die Ermittlung der Eigenschaft des Freitragens. Es wird eine Wand nach Fig. 436 errichtet, welche an den beiden Auflagern 1 und 2 gestützt, sonst aber nur gegen Umfallen durch Einbau in einen Holzrahmen gesichert ist. (Die Wand darf in dem Rahmen nicht eingespannt sein.)

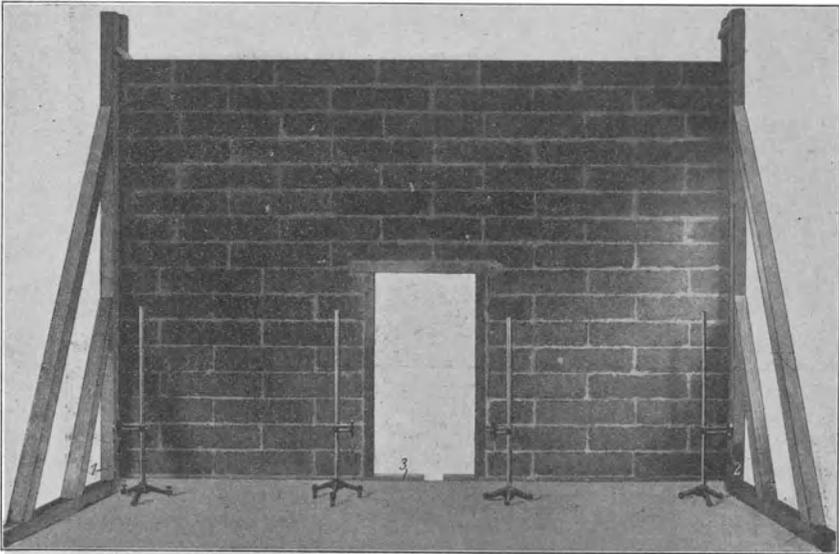


Fig. 436.

Zur Stützung während des Baues dient eine hölzerne Schwelle und zum Verspannen des Türgerüsts die Holzlatte 3. Nach genügender Erhärtung des Bindemittels der Einzelbauteile oder der zum Bau verwendeten Masse wird die Stützwelle entfernt und dabei beobachtet, ob die Wand Risse erhält und um welches Maß sie sich durchbiegt. Zeigt sie sich unbeschädigt, so wird die Holzlatte 3 des Türgerüsts zersägt und wiederum das Verhalten der Wand festgestellt. Erleidet auch sie hiernach keine Veränderungen, dann wird sie, wenn notwendig, belastet und ihre Tragfähigkeit bis zum Bruche ermittelt. Manche Wände werden auch auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung geprüft, indem man eine an einem Faden aufgehängte Kugel von 50 kg Gewicht und 25 cm Durchmesser gegen die Wand treffen läßt und die Arbeit ermittelt, die Zer-

trümmerung der Wand hervorbringt. Zum Schutze des Materials läßt man die Kugel nicht unmittelbar gegen die Wand treffen, sondern schaltet eine Eisenplatte von ca. 20 mm Dicke dazwischen, die mit Nägeln an der Wand befestigt wird.

## V. Prüfung von Bauteilen auf Feuerbeständigkeit.

### § 322. Allgemeines.

Im allgemeinen sollen Bauteile feuerbeständig sein, damit sie bei Innenbränden die Weiterverbreitung des Feuers verhindern. Da die entsprechenden Prüfungen sehr mannigfacher Art sind und mehr als andere der Eigenart des zu prüfenden Materials und seinem Verwendungszwecke angepaßt werden müssen, können allgemein gültige Angaben für die Versuchsausführungen nicht gemacht werden, und es sollen daher nur Angaben über die Prüfung feuersicherer Türen erfolgen und zur Orientierung zwei besonders bemerkenswerte Versuche beschrieben werden, die mit Bautafeln, feuersicherer Masse und mit feuersicheren Verglasungen in der Dresdner Versuchsanstalt ausgeführt wurden.

### § 323. Prüfung von feuersicheren Türen.

Zum gegenseitigen feuersicheren Abschluß von Räumen werden sogen. feuersichere Türen benutzt, die bei Bränden der Weiterverbreitung des Feuers Einhalt bieten und außerdem durch dichten Abschluß das Verqualmen des vom Feuer noch nicht ergriffenen Raumes verhindern sollen. Dementsprechend müssen die Türen neben genügender Widerstandsfähigkeit gegen Feuereinwirkung auch rauchsicher sein. Diese Bedingung erfüllen sie, wenn ihre einseitige Erwärmung kein Verwerfen der Tür zur Folge hat.

Eine in vielfachen Ausführungen im Gebrauch befindliche Tür, die auch von den meisten Baupolizeibehörden als feuersicher anerkannt wird, ist eine ca. 30 mm dicke Buchenholz- oder Eichenholztür, die allseitig mit 1—2 mm dickem Eisenblech beschlagen ist. Da somit eine solche Tür den gewünschten Zweck einigermaßen erreicht, werden Prüfungen anderer feuersicherer Türen entweder als Vergleichsversuche in der Weise durchgeführt, daß gleichzeitig die zu prüfende Tür und eine eisenbeschlagene Holztür der Feuerbeanspruchung ausgesetzt werden oder es wird eine einzelne Tür geprüft und ihr Verhalten auf Grund von Erfahrungen beurteilt.

Man baut die Türen in gleicher Weise, wie es im Bauwerk geschieht, in ein Versuchshaus ein, und beobachtet ihr Verhalten während des Brandes. Von größter Wichtigkeit bei solchen Versuchen ist die Feuerführung. Die Flamme muß die ganze Fläche der Türen bestreichen können, und es darf durch ungeeignete Anordnung der Luftzuführungsöffnungen nicht eine

Kühlung der Tür bewirkt werden. Bei den Versuchshäusern der Dresdner Versuchsanstalt (s. Fig. 437) schlagen die Türen in Falze, die in 12 cm Entfernung von der Innenseite der Wand angeordnet sind. Außerdem liegen ihre Unterkanten 50 cm über dem Feuerroste und die in ihrer Weite regulierbaren Abzugsöffnungen sind über jeder Tür angeordnet, so daß letztere von der vollen Flamme bestrichen werden können. Im Inneren des Hauses, dessen Rauminhalt 25 cbm beträgt, werden auf einem Roste 2600 kg, d. s. 7,5 Raummeter bestes, lufttrockenes, kiefernes Scheitholz, das zur Entflammung und Anwärmung mit 50 l Petroleum begossen wird, eingebaut. Außerdem werden unmittelbar an den Türflächen mehrere

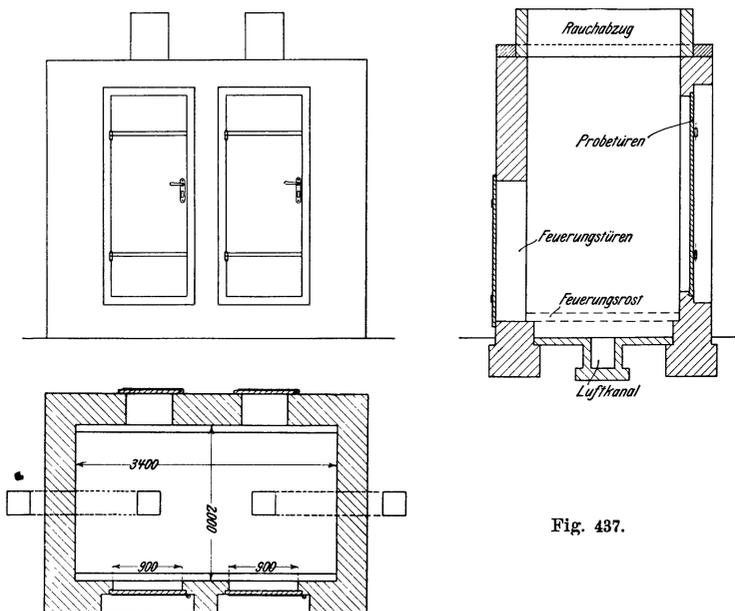


Fig. 437.

Seigerkegel und Thermolemente zur Temperaturfeststellung angeordnet. An der Außenseite der Türen werden Thermometer aufgehängt und außerdem zur Sichtbarmachung der Temperatur der Türen Paraffin- (Smp. ca. 70°), Asphalt- (Smp. ca. 95°), Zinn- (Smp. 233°) Tropfen und auch Papierstreifen angebracht.

Während des Brandversuches werden die Temperaturmeßinstrumente und das Verhalten der Türen beobachtet. Die Türen werden mehrmals geöffnet und geschlossen, um festzustellen, ob sie klemmen und außerdem werden sie einige Male zur Feststellung ihrer Neigung zum Verwerfen von außen mit Wasser abgekühlt. Die einzelnen Zeitpunkte, zu denen Rauch oder Flammen aus den Türspalten austreten, werden neben den zugehörigen Temperaturen angegeben.

Nach dem Versuch werden die Türen der Abkühlung überlassen und alsdann zerlegt, um die Veränderungen ihrer Einzelteile festzustellen. Außerdem wird ihr Gewichtsverlust durch die Feuerbeanspruchung ermittelt.<sup>1)</sup>

§ 324. Prüfung von Bautafeln und sogen. feuersicherer Masse.

Aus den Bautafeln und der Masse wurde ein Versuchshaus nach Fig. 438 errichtet. Es bestand aus einem Brandraum und einem

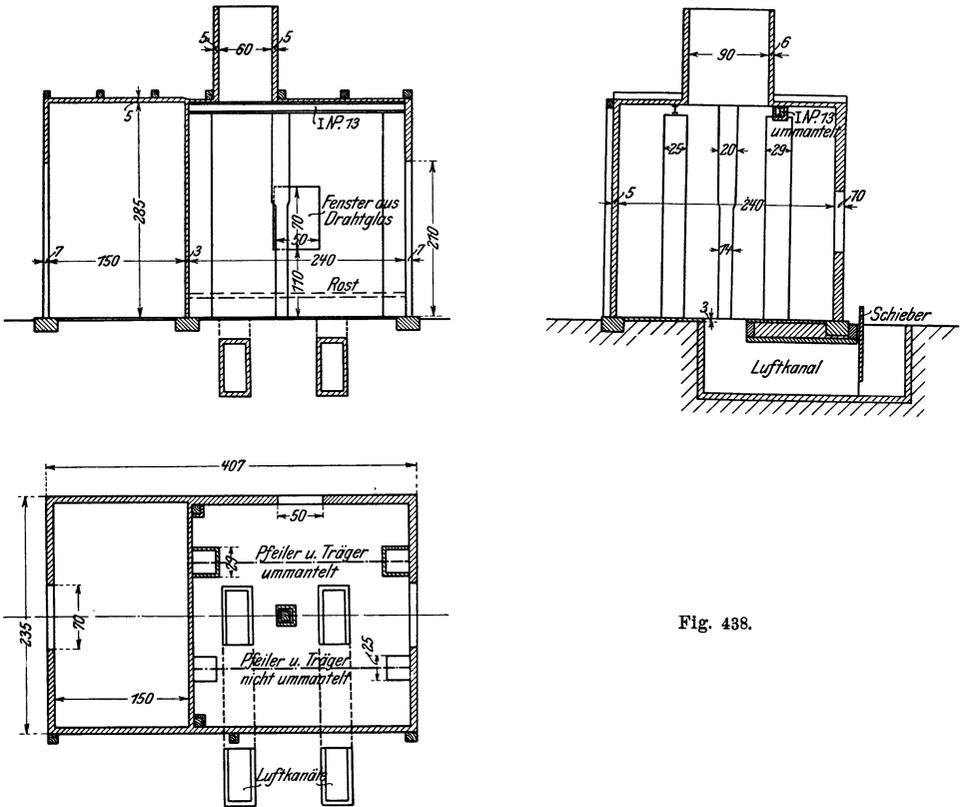


Fig. 438.

Beobachtungsraume. Der Brandraum besaß eine verschließbare Türe und ein mit Drahtglas versehenes Fenster. Der Rost diente zur Aufnahme des Feuermaterials (1300 kg lufttrockenes, kiefernes Scheitholz und 40 l Petroleum) und der Luftkanal mit Schieber zur Zuführung der Verbrennungsluft. Durch den Schornstein wurden die Rauchgase ab-

<sup>1)</sup> Über die Ansprüche, welche an feuersichere Türen zu stellen sind, s. Hoch, Die Feuerschutztüren, Wien und Leipzig 1908.

geführt. Im Brandraume befand sich eine mit feuersicherer Masse umkleidete hölzerne Säule (in der Mitte), zwei Paar aus gebrannten Tonziegeln hergestellte Pfeiler, ein ummantelter Träger (N. P. No. 12) und ein nicht ummantelter. Letztere beiden Träger lagen auf den erwähnten Pfeilern und waren mit je 100 kg belastet. An den Wänden und der Decke des Brandraumes wurden Segerkegel (s. S. 304), sowie Metallegierungen und unter den Ummantelungen Metallegierungen sowie Thermolemente (s. S. 297) angeordnet. Zur Temperaturbestimmung an der Außenseite des Gebäudes und an der Scheidewand wurden Thermometer, Farbstriche, Papierstreifen, Paraffin- und Asphalttropfen angebracht. Außerdem wurden in die Scheidewand Maximumthermometer eingefügt, welche bis auf halbe Wandstärke reichten.

Nach voller Entfaltung des Feuers wurde es durch Verstellung des Luftschiebers so geregelt, daß möglichst vollkommene Verbrennung erzielt wurde. Es machte sich dies dadurch bemerkbar, daß die vorher berußte Drahtglasscheibe rußfrei wurde und die Flamme zum Schornstein ausschlug. Durch die starke Erwärmung entstanden in den Fugen der aus Bautafeln hergestellten Wände Schwindrisse, die sich im Laufe des Versuches erweiterten oder auch wieder schlossen. Nach 21 Minuten Brenndauer hatte sich der nicht ummantelte Träger so stark durchgebogen, daß er von seinem Widerlager abglitt. Der ummantelte Träger dagegen wies keine Veränderung auf. Die Temperaturmeßinstrumente zeigten an der Decke und den Wänden des Brandraumes 1100—1200°; in der Zwischenwand 135—180° und an ihrer dem Feuer abgekehrten Seite 30—50°. Nach einer Stunde Brenndauer wurde das Feuer abgelöscht und nach Abkühlung der Bauteile zur Untersuchung derselben geschritten. Im Brandraume war der Wand- und Deckenputz teilweise abgefallen und die Plattenmasse bis auf etwa 1 mm Tiefe mürbe geworden. Die mit feuersicherer Masse umkleideten Teile waren unbeschädigt geblieben, der ummantelte eiserne Träger hatte sich nicht verbogen, und die hölzerne Säule war nicht gebräunt; die ummantelten Pfeiler zeigten sich unverändert, während von den unbekleideten Pfeilern derbe Schalen abgesprungen waren. Der Brandversuch hat somit den Nachweis geliefert, daß sowohl die Bautafeln als auch die an Ort und Stelle aufgetragene Feuerschutzmasse gegen Feuer genügende Widerstandsfähigkeit besitzen, um zur Herstellung von feuersicheren Scheidewänden und zur Isolierung von Bauteilen gegen die Einwirkung von Feuer verwendet zu werden.

### § 325. Prüfung von Verglasungen auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer.

Das in Fig. 439 dargestellte Versuchshaus, welches aus dem Brandraum *A* und dem Beobachtungsraum *B* bestand, und zwei verschließbare Türen 1 und 2, den Schornstein 3 und den Luftzuführungskanal 8 besaß, wurde mit den Verglasungen (Drahtglas) versehen. Das Dach wurde mit

Glastafeln gedeckt, die in eisernen Falzen aus Winkeleisen gelagert wurden. Zur Erzielung genügender Widerstandsfähigkeit gegen das Feuer, wurden die Winkeleisen mit Feuerschutzmasse (s. S. 491) umhüllt. Die Fensteröffnungen 4, 5, 6, 7 erhielten Verglasungen und die Scheidewand wurde mit Verglasungen versehen, von denen besonders große Widerstandsfähigkeit gegen Feuer erwartet wurde. Auf dem Roste des Versuchsraumes wurden 3400 kg lufttrockenes, bestes kiefernes Scheitholz auf-

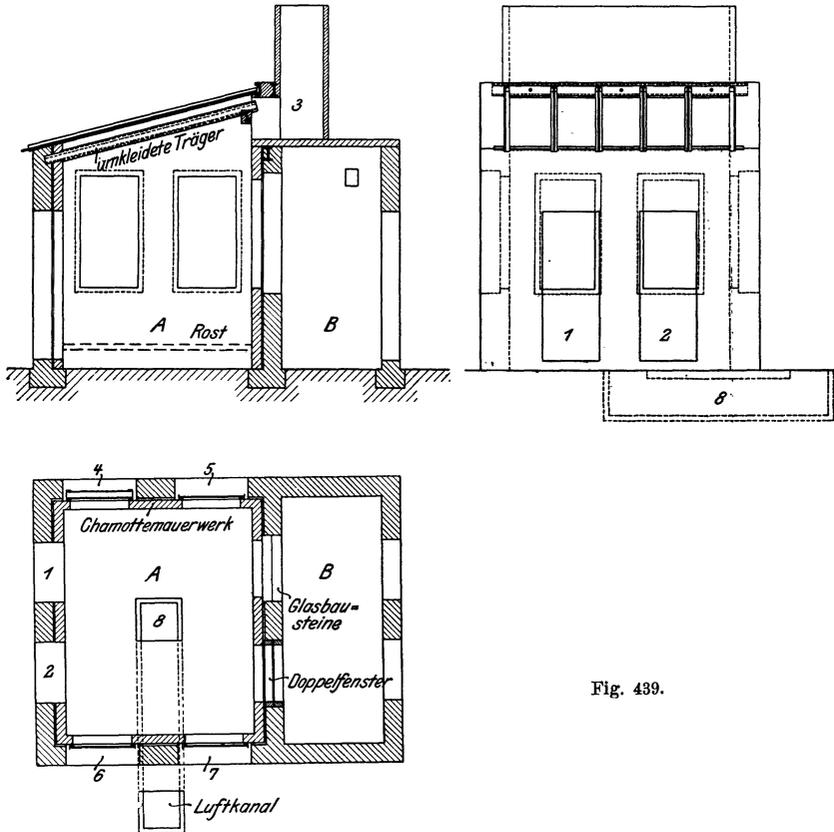


Fig. 439.

gestapelt und nach Übergießen mit 100 l Petroleum entzündet. Die Türen 1 und 2 wurden zur Vermeidung von Abkühlungen geschlossen und durch Regulierung des Luftschiebers das Feuer so geführt, daß die Verglasungen ruffrei blieben und die Flamme zum Schornstein hinauslug. Die Temperaturmessung erfolgte mit Segerkegeln und Thermoelementen. Nach 5 Minuten Brenndauer bogen sich die Dachverglasungen durch und nach 14 Minuten schmolzen sie nieder. Die Fensterverglasungen schmolzen ebenfalls im Laufe des Versuches und nach 45 Minuten Brenndauer schmolz auch die eine Verglasung der Scheidewand, die andere blieb dagegen un-

beschädigt, auch als sie durch Wasser abgekühlt wurde. Fig. 440 zeigt das Aussehen der zuletzt erwähnten Verglasungen der Scheidewand nach der Prüfung.

### § 326. Hauptgesichtspunkte bei Brandversuchen.

#### a) Konstruktion des Versuchshauses.

Die Umfassungswände müssen dem hohen Druck der Feuergase Widerstand zu leisten vermögen. Schwere Bauteile dürfen nie auf un-



Fig. 440.

geschützte, eiserne Träger gesetzt werden. Eiserne Träger und Anker sind so einzubauen, daß sie infolge ihrer Ausdehnung bei der Erwärmung das Haus nicht zersprengen. Die Abmessungen des Hauses sind derart zu wählen, daß die zu prüfenden Gegenstände entsprechend der in der Praxis üblichen Weise eingebaut werden können und genügend Raum für das während des ganzen Brandversuches notwendige Feuermaterial vorhanden ist.

## b) Art des Brennmaterials.

Als Brennmaterial verwende man lufttrockenes, bestes kiefernes Scheitholz, und zwar verteile man schwächer gespaltene Scheite zwischen grob gespaltene. Kistenholz, Holzabfälle und dergl. sind für Brandversuche ungeeignet, da sie geringeren Heizwert besitzen und nie in gleichartiger Qualität zu erhalten sind. Auch ist eine sorgfältige Schichtung solchen Materials, wie es der Versuch erfordert, nicht möglich. Petroleum benutze man nur in solcher Menge, als zum Entzünden und Anwärmen des Holzes erforderlich ist. Petroleum rußt sehr stark und überzieht die Prüfungsgegenstände infolgedessen mit einer Rußschicht, die unter Umständen einen wirksamen Schutz gegen Feuereinwirkung bildet. (Besonders auffällig ist diese Erscheinung bei Verglasungen.)

## c) Bemessung des Feuermaterials.

Das Feuermaterial muß in ausreichender Menge vor dem Versuch eingebaut werden, und zwar soviel, als der ganze Brandversuch erfordert. Nachlegen von Feuermaterial wird stets eine Abkühlung des herrschenden Feuers hervorrufen, außerdem ist auch wegen der großen Hitze in der Nähe des Brandherdes eine sorgfältige Verteilung des Feuermaterials unmöglich. Nachschütten von Petroleum in das Feuer ist gefährlich und außerdem nicht zweckmäßig, weil es eine momentane Wärmeentwicklung erzeugt, die nur vorübergehend in unkontrollierbarer Weise das Probeobjekt beanspruchen und falsche Anzeigen der Pyrometer veranlassen kann. Fig. 441 zeigt die zweckmäßigste Anordnung des Feuermaterials in einem Versuchshause.

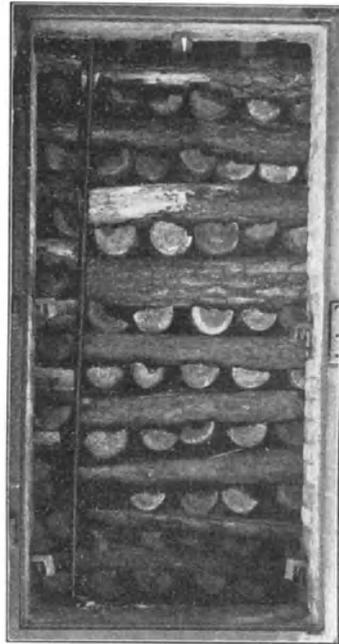


Fig. 441.

## d) Führung des Feuers.

Zu jeder Verbrennung ist eine bestimmte Luftmenge erforderlich, die von der Art und Menge des Brennmaterials abhängig ist. Man muß daher bei Brandversuchen dafür Sorge tragen, daß dem Feuer genügend Verbrennungsluft zugeführt und an geeigneter Stelle den Abgasen Gelegenheit zum Entweichen gegeben wird. Da bei Brandversuchen in allen Teilen des Feuers möglichst gleiche Temperatur herrschen soll, muß auch

allen Teilen Luft zugeführt werden. Dies ist aber nur möglich, wenn sich das Feuermaterial auf einem Rost befindet, der den Zutritt der Luft an allen Stellen gestattet. Man baut daher, wie in §§ 323, 324 und 325 angegeben, in die Versuchshäuser Roste ein und führt durch Kanäle entsprechenden Querschnitts unter dieselben die erforderliche Verbrennungsluft. Da aber zu viel Luft ebenso schädlich ist, wie zu wenig, regele man die Luftmenge durch einen Schieber derart, daß das Feuer mit heller Flamme brennt und sich nur wenig Rauch entwickelt.

#### e) Messung der Temperatur.

Das Kriterium der Eignung eines durch Feuer geprüften Bauteiles ist die Temperatur, welcher er ausgesetzt wurde; daher muß bei Brandversuchen die Temperatur so bemessen werden, daß sie derjenigen entspricht, welche das Probestück im Bauwerk unter Umständen erleiden kann. Schornsteinmauerwerk prüft man daher bei 400—600 °, gewöhnliches Ziegelmauerwerk bei 400 °, Dachbedeckungsmaterialien bei 900—1000 °, feuersichere Türen oder Bauteile dagegen bei solchen Temperaturen, wie sie bei starken Bränden vorkommen (ca. 1100—1200 °). Zur Messung genügen Segerkegel (s. S. 304), da bei den in Frage kommenden Temperaturen ihre Genauigkeit völlig ausreicht, oder auch Metallegierungen mit bekannten Schmelzpunkten<sup>1)</sup>. Will man an bestimmten Stellen des Versuchsgegenstandes die jeweilig herrschende Temperatur feststellen, so verwendet man Thermoelemente (s. S. 297).

#### f) Das Ablöschen des Feuers.

Beim Ablöschen des Feuers richte man den Wasserstrahl nur gegen das Feuermaterial und vermeide Bauteile zu bespritzen, die nachträglich einer Untersuchung unterzogen werden sollen. Das Wasser bewirkt oft durchgreifende Veränderungen des Materials, die Fehlschlüsse bei der Beurteilung der Feuerwirkung veranlassen.

#### g) Die Dauer des Versuches.

Man dehne den Versuch so lange aus, bis der Versuchsgegenstand zerstört ist oder die Umstände erkennen lassen, daß eine weitere Dauer des Versuches zwecklos ist. Jedenfalls breche man den Versuch nicht eher ab, als bis die vorgeschriebene Temperatur erreicht und die beabsichtigte Wirkung eingetreten ist.

---

<sup>1)</sup> Metallegierungen mit bestimmten Schmelzpunkten liefert die Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt in Frankfurt a. M.

## Sechster Teil.

# Grundzüge der Metallographie.

### § 327. Einleitung.

In dem § 24 war erläutert worden, in welchem Umfange die mechanischen Eigenschaften der Materialien und insbesondere der Metalle von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängen, und in welcher Weise sie durch thermische Behandlung und mechanische Bearbeitung beeinflusst werden. Nicht eingegangen wurde auf die Vorgänge, welche sich dabei im Innern des Materials abspielen, und auf welche die Veränderungen der mechanischen Eigenschaften zurückzuführen sind.

Ermittelt man die chemische Zusammensetzung eines Materiales durch die chemische Analyse, so lernt man wohl die einzelnen Bestandteile des Materials kennen, aber ihre Verteilung im Probestücke entzieht sich der Kenntnis. Läßt man aber zur chemischen Analyse noch die Prüfung mit dem Mikroskope unter Benutzung der Lehren der Metallographie treten, dann kann man auch die Verteilung der Bestandteile oder das diesen Bestandteilen eigentümliche Gefüge des Materials erforschen. Man kann ferner ermitteln, ob die Gefügebildung des Materials beim Übergang aus dem flüssigen in den starren Zustand gestört worden ist, oder ob die Gefügekörner durch mechanische Beanspruchungen in ihrer Gestalt Änderungen erfahren haben. Die mikroskopische Beobachtung erlaubt auch die Feststellung des einer bestimmten Temperatur entsprechenden Materialgefüges, und infolgedessen bei widersprechenden Ergebnissen von Festigkeitsversuchen eine Nachprüfung der über die thermische Vorbehandlung des Materials bekannten Angaben. Auch die Ursache von Materialzerstörungen, die man früher nicht festzustellen vermochte, läßt sich in den meisten Fällen durch mikroskopische Beobachtungen aufklären.

Man erkennt aus diesen Ausführungen, daß die Metallographie bereits ein sehr wichtiges, unentbehrliches Hilfsmittel bei der Materialprüfung geworden ist.

Die erste Arbeit auf metallographischem Gebiete lieferte der englische Forscher Henry Clifton Sorby, welcher bereits im Jahre 1864 einen Aufsatz: „On a New Method of Illustrating the Structure of Various Kinds of Steel by Nature Printing“ (Sheffield Literary and Philosophical Society)

veröffentlichte. Da aber die Arbeiten Sorbys mehr wissenschaftlicher Natur waren, verschafften sie sich im Kreise der Industriellen keinen Eingang. Erst als von anderer Seite ähnliche Arbeiten aufgenommen wurden, die mehr darauf gerichtet waren, die neue Wissenschaft für die Praxis zu verwerten, wurde man auf die Arbeiten Sorbys aufmerksam. Jetzt erst erkannte man den Wert der Sorbyschen Forschungen und schnell entstanden in den verschiedenen wissenschaftlich tätigen Ländern neue Kräfte, welche sich mit Eifer der neuen Wissenschaft widmeten.

In Deutschland war es Martens, welcher unabhängig von den Arbeiten Sorbys bereits um das Jahr 1878 die mikroskopische Untersuchung der Metalle begann und darüber in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure in einem Aufsatz: „Über die mikroskopische Untersuchung des Eisens“ berichtete. Dieser Arbeit folgten bald weitere, und es darf behauptet werden, daß sie wesentlich dazu beitrugen, der Metallographie Eingang zu den Pflegestätten der Wissenschaften in den einzelnen Ländern zu verschaffen. In Frankreich nahm Osmond, welcher auch der jungen Wissenschaft den Namen „Metallographie“ (aus dem Griechischen „Metallbeschreibung“) gab, die Arbeiten von Sorby und Martens auf.

Seine Veröffentlichungen auf dem Gebiete der Metallographie sind zahlreich, und seine Arbeit: „Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbon“ (Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Mai 1895),<sup>1)</sup> worin er die bis dahin von den verschiedenen Forschern geleisteten Arbeiten zu einem einheitlichen Ganzen vereinigte, darf als Grundlage der Weiterentwicklung der Metallographie bezeichnet werden.

Weitere Forscher, deren Namen unlösbar mit dem der Wissenschaft „Metallographie“ verknüpft sind, sind Roberts-Austen, Le Chatelier, Stead, Wedding, Behrens, Howe, Charpy, Stansfield, Heyn.

Besonders letzterem Forscher ist es zu danken, daß die Metallographie in Deutschland Eingang in die praktischen Betriebe gefunden hat. Er hat Prüfungsmethoden geschaffen, welche auch dem in der Metallographie nur unvollkommen ausgebildeten Praktiker gestatten, durch Beobachtung einer Schlißfläche nach geeigneter Vorbehandlung Materialfehler und ihre Ursache festzustellen.

## I. Vorgänge bei der Abkühlung flüssiger und fester Lösungen.

### § 328. Allgemeines.

Alle in der Technik verwendeten Metalle sind mehr oder weniger Legierungen, d. h. innige Gemische mehrerer Stoffe, wobei die Innigkeit der Mischung von der Löslichkeit des einen Stoffes in dem anderen abhängt.

<sup>1)</sup> Deutsche Übersetzung von L. Heurich, Halle a. S., 1906.

Ebenso wie Kochsalz in Wasser zur Lösung gebracht wird, vermögen sich zwei Metalle ineinander aufzulösen. Ist das eine Metall in großem Überschusse zugegen, dann wird es häufig fälschlicher Weise als Lösungsmittel des anderen bezeichnet. Während man früher annahm, daß die Metallegierungen homogene Körper seien, die an allen Stellen gleiche chemische und physikalische Beschaffenheit besäßen, hat Guthrie den Nachweis geliefert, daß dies nicht der Fall ist und daß sich im allgemeinen alle für wässrige Lösungen giltigen Gesetze auch unverändert auf geschmolzene Metalllösungen anwenden lassen.

Da die Anwendung dieser Gesetze aber nicht Jedermann bekannt und geläufig ist, müssen vor Eintritt in die Beschreibung der Benutzungsweise der Metallographie die Vorgänge erläutert werden, die sich beim Erstarren und Abkühlen von Lösungen abspielen.

§ 329. Vorgänge bei der Erstarrung wäßriger Lösungen.

Überläßt man reinen Wasserdampf von 125° der allmählichen Abkühlung und stellt in einem Diagramm den Verlauf der Temperaturabnahme als Funktion der Zeit dar, dann ergibt sich ein Kurvenverlauf, wie er aus Fig. 442 ersichtlich ist. Die Abkühlung verläuft zunächst bis 100° stetig, hier findet die Kondensation des Dampfes statt, wobei infolge der freiwerdenden latenten

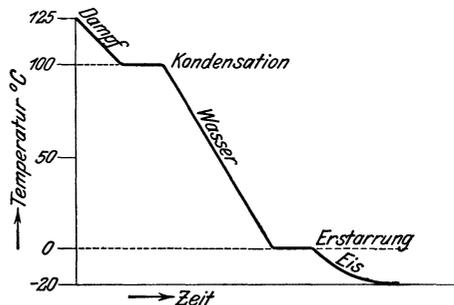


Fig. 442.

Verdampfungswärme eine Unterbrechung in der Temperaturabnahme erfolgt. Die Temperatur bleibt konstant, bis sämtlicher Dampf von 100° sich in Wasser von 100° verwandelt hat. Ist dies geschehen, dann beginnt die Abkühlung des Wassers und setzt sich stetig fort, bis bei 0° infolge der freiwerdenden Schmelzwärme wiederum ein Stillstand der Temperatur erfolgt, der so lange andauert, bis die ganze Masse zu Eis erstarrt ist. Hiernach kühlt sich das Eis weiter ab, ohne daß nochmals ein Temperaturstillstand eintritt.

Die Punkte 100° und 0° heißen die Umwandlungspunkte, weil in ihnen eine Änderung des Aggregatzustandes stattfindet. Bei 100° geht der Wasserdampf in den flüssigen Zustand und bei 0° aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand über.

Löst man in dem Wasser eine gewisse Menge eines Salzes, z. B. 10% Kochsalz, dann geht die Abkühlung des Gemisches nicht mehr in derselben Weise vor sich, wie die des reinen Wassers. Durch den Salzzusatz wird der Gefrierpunkt des Wassers erniedrigt und in der Ab-

kühlungskurve (Fig. 443) machen sich zwei Haltepunkte bemerkbar. Bei  $-8^{\circ}$  tritt eine Verzögerung der Temperaturabnahme ein. Sie hört nach und nach auf und die Temperatur fällt weiter, bis bei  $-22^{\circ}$  der flüssige Rest unter Wärmeabgabe erstarrt.

Ein Zusatz von 15 0/0 Kochsalz erniedrigt die Lage des ersten Haltepunktes noch weiter, während der zweite bei derselben Temperatur wie vorher, d. i.  $-22^{\circ}$ , auftritt. Dieselbe Erscheinung macht sich bei einem Zusatz von 20 0/0 Kochsalz bemerkbar. Enthält aber die Lösung 23 0/0 Kochsalz, dann erscheint nur ein einziger Haltepunkt und zwar bei  $-22^{\circ}$ ; es fällt bei dieser Konzentration der Lösung der erste Haltepunkt mit dem zweiten zusammen. Bei weiterer Erhöhung des Kochsalzgehaltes ergeben sich im Abkühlungsdiagramm wiederum zwei Haltepunkte, von denen der erste um so höher liegt, je größer der Kochsalzgehalt gewählt wurde. Gemeinsam ist aber allen Lösungen die Lage des zweiten Haltepunktes. Während

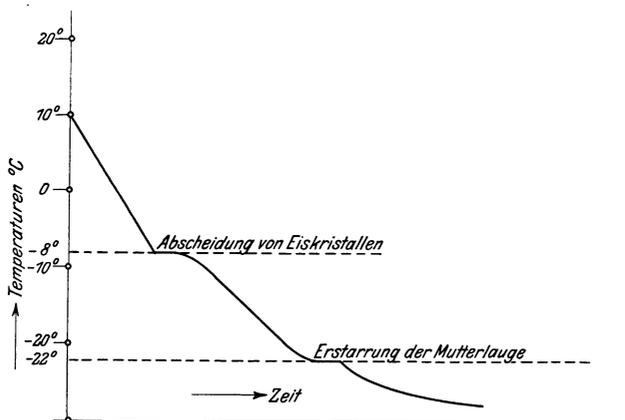


Fig. 443.

der erste Haltepunkt abhängig ist von der Konzentration der Lösung, zeigt der zweite eine solche Abhängigkeit nicht, weil er stets bei der gleichen Temperatur auftritt.

Verfolgt man die bei den Haltepunkten sich in der 10 0/0igen Lösung abspielenden Vorgänge (s. Fig. 443), so ergibt sich, daß bei Erreichung des ersten Haltepunktes eine Ausscheidung von Eiskristallen beginnt. Sie setzt sich bei weiterer Abkühlung fort, der flüssig bleibende Rest wird immer kochsalzreicher, und beim zweiten Haltepunkt erstarrt die Mutterlauge, deren Zusammensetzung die chemische Analyse zu 23,5 0/0 Kochsalz und 76,5 0/0 Wasser ergibt, gleichgültig, welchen Gehalt an Kochsalz die Lösung vorher besessen hatte. Bei den Lösungen mit mehr als 23,5 0/0 Kochsalzgehalt findet beim ersten Haltepunkt eine Ausscheidung von Kochsalzkristallen statt, welche den verbleibenden flüssigen Rest immer kochsalzärmer macht. Ist die Temperatur auf  $-22^{\circ}$  gesunken,

dann besitzt der flüssige Rest die Konzentration von 23,5 0/0, und die Erstarrung findet plötzlich statt.

Die 23,5 0/0 Wasser-Kochsalzmischung nimmt somit in der Reihe sämtlicher Mischungen eine besondere Stellung ein, indem sie am längsten flüssig und homogen bleibt und nur einen einzigen Erstarrungspunkt besitzt, der immer bei derselben Temperatur liegt. Man nennt diese Mischung „eutektische Mischung“ (gutflüssige Mischung) oder „Eutektikum“ und die Temperatur, bei welcher das Eutektikum erstarrt, die „eutektische Temperatur“.

Diese Eigenschaften des Eutektikum, konstante Zusammensetzung und konstanten Erstarrungspunkt zu besitzen, hatten früher dazu geführt, dasselbe als chemische Verbindung anzusehen. Genaue Untersuchungen ergaben aber, daß diese Annahme ungerechtfertigt war und daß das Eutektikum aus zahllosen Lamellen von Eis und Salz besteht, die mechanisch nebeneinander gelagert sind.

Faßt man die Haltepunkte sämtlicher Wasser - Kochsalzlösungen in einem Diagramm (Fig. 444) zusammen, in welchem die Abszissen Procente Kochsalz und die Ordinaten Temperaturen bedeuten, so stellt die Kurve *AB* den geometrischen Ort aller ersten Haltepunkte dar, an welchem die Abscheidung von Eiskristallen und die Kurve *BC* denjenigen, an dem die Ausscheidung von Salzkristallen beginnt.

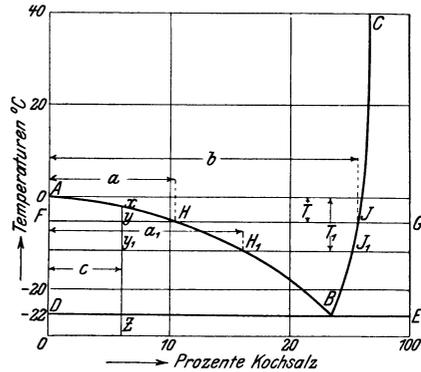


Fig. 444.

Die Gerade *DBE* aber ist der geometrische Ort aller zweiten Haltepunkte. Nach dem Vorgange Heyns<sup>1)</sup> nennt man ein solches Diagramm „Erstarrungsbild“. Man kann aus ihm für jede beliebige Wasser-Kochsalzmischung, deren Zusammensetzung bekannt ist, den Zustand herauslesen, in welchem sie sich bei einer bestimmten Temperatur befindet. Das Diagramm gibt aber auch Aufschluß über den Sättigungszustand der Lösungen. Die Punkte der Kurve *AB* entsprechen Lösungen, die bezüglich Eis, die Punkte der Kurve *BC* Lösungen, die bezüglich Kochsalz gesättigt sind. Punkt *B* gibt an, daß ein System mit 23,5 0/0 Kochsalz bei einer Temperatur von  $-22^{\circ}$  sowohl in bezug auf Eis, als auch in bezug auf Kochsalz gesättigt ist.

Man erkennt weiter aus dem Diagramm, welche Mutterlauge bei einer bestimmten Temperatur *T* mit Eis- oder Kochsalzkristallen im Gleichgewicht ist. Man braucht nur die Parallele *FG* zur Abszisse im Abstände *T*

<sup>1)</sup> Heyn, Die Metallographie im Dienste der Hüttenkunde, Freiburg 1903.

von dieser zu ziehen. Die Punkte  $FHIG$  besagen, daß bei der Temperatur  $T$  Eis (Punkt  $F$ ) neben einer Mutterlauge mit  $a\%$  Kochsalz, oder daß Kochsalz (Punkt  $G$ ) bei dieser Temperatur neben einer Mutterlauge mit  $b\%$  Kochsalz im Gleichgewicht bestehen kann. Greift man ein beliebiges, durch die Gerade  $XZ$  bestimmtes System Wasser-Kochsalz mit  $c\%$  Kochsalzgehalt heraus, so gibt der Punkt  $Y$  den Zustand des Systems bei der Temperatur  $T$  an. Da das System bei dieser Temperatur in bezug auf Eis übersättigt ist, kann es nicht flüssig homogen bestehen bleiben, es scheiden sich so lange Eiskristalle aus, bis die darüber stehende Mutterlauge den dem Punkt  $H$  entsprechenden Kochsalzgehalt angenommen hat. Das System zerfällt somit in zwei Teile, den festen Teil  $F$  und den flüssigen

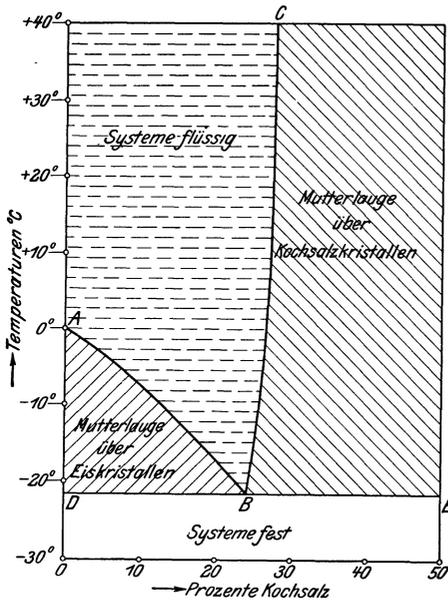


Fig. 445.

Bei weiterer Temperaturabnahme geht die Eisausscheidung und die Abnahme der Menge der Mutterlauge weiter vor sich, bis bei  $-22^{\circ}$  das System in die den Punkten  $D$  und  $B$  entsprechenden Teile zerfällt. Jetzt muß bei gleichbleibender Temperatur eine gleichzeitige Ausscheidung von Eis- und Kochsalzkristallen stattfinden, bis alles erstarrt ist, weil die Mutterlauge sowohl in bezug auf Eis als auch in bezug auf Kochsalz gesättigt ist.

Die Gerade  $DBE$  (s. Fig. 445) bildet somit die Grenze, unterhalb der sich sämtliche Systeme, gleichgültig, welches ihr Kochsalzgehalt sei, im festen Aggregatzustande befinden. Während oberhalb der Kurve  $ABC$  alle Systeme homogen und in flüssigem Zustande sind, bezeichnen die Flächenteile  $ABD$  und  $CBE$  diejenigen Bereiche, innerhalb deren die Systeme aus einem festen und einem flüssigen Teile bestehen.

Teil  $H$ . Der feste Teil  $F$  besteht aus Eis und der flüssige Teil  $H$  aus einer  $a\%$  Lösung von Wasser und Kochsalz. Läßt man die Temperatur des Systems  $XZ$  von  $T$  auf  $T_1$  sinken, so muß auch der Gleichgewichtszustand eine Änderung erfahren, weil bei der Temperatur  $T_1$  Eiskristalle nur mit einer Mutterlauge mit  $a_1\%$  Kochsalz (Punkt  $H_1$ ) im Gleichgewicht sein können. Es findet deshalb eine Eisausscheidung statt, und die Menge der Mutterlauge nimmt dementsprechend ab. Ihr Kochsalzgehalt nimmt aber dafür zu, er wächst von  $a\%$  auf  $a_1\%$ .

Genau die gleichen Vorgänge, nur in umgekehrter Reihenfolge, spielen sich ab, wenn die Systeme anstatt aus dem flüssigen in den festen, umgekehrt aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeführt werden.

**§ 330. Vorgänge bei der Erstarrung geschmolzener binärer Metallösungen.**

a) Die Komponenten bilden keine chemische Verbindung miteinander.

Ganz analoge Erscheinungen, wie die im vorigen Paragraphen besprochenen, treten bei der Erstarrung von Metallösungen auf.

In Fig. 446 ist das Erstarrungsbild der Silber-Kupferlegierungen dargestellt, wie es von Heycock und Neville<sup>1)</sup> ermittelt wurde. Die Abszissen bedeuten darin den Gehalt der Legierungen an Kupfer und die Ordinaten die Temperatur der Haltepunkte. Das Erstarrungsbild besteht wieder aus zwei Kurvenzweigen *AB*, *BC*, welche der geometrische Ort aller oberen Haltepunkte sind. In jedem Punkte dieser Kurven befinden sich die zugehörigen Systeme im Gleichgewichte, und bei der weiteren Abkühlung wird eine der beiden Legierungskomponenten ausgeschieden. Nur bei dem System, welches dem Punkt *B* entspricht, findet keine Ausscheidung

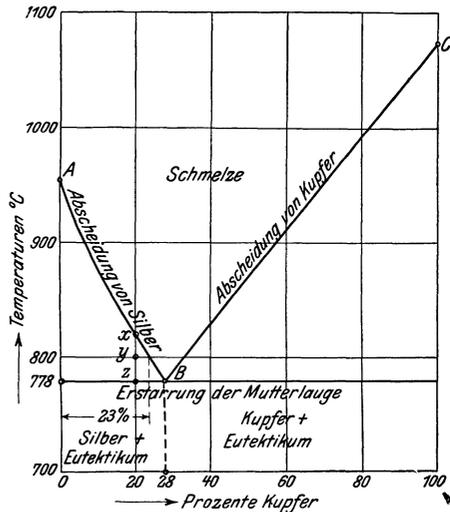


Fig. 446.

einer Komponente statt, sondern die Legierung erstarrt als einheitliches Ganzes. Der Punkt *B* entspricht dabei dem Eutektikum mit einer Zusammensetzung von 28 % Kupfer und 72 % Silber. Die eutektische Temperatur beträgt 778°. Verfolgt man den Abkühlungsvorgang eines Systems mit 20 % Kupfer und 80 % Silber, also einer hypoeutektischen Mischung, dann findet man den oberen Haltepunkt *X* bei etwa 815°. Bis hierher befand sich das System im flüssigen Zustande, es war homogen, und die Komponenten waren im Gleichgewichte. Kühlt es weiter ab, dann kann es nicht flüssig homogen bestehen bleiben, weil es in bezug auf Silber übersättigt ist, es werden infolgedessen Silberkristalliten ausgeschieden. Bis zum Punkte *Y* (bei 800°) müssen z. B. so viele aus-

<sup>1)</sup> Heyn, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 139.

geschieden sein, daß die über ihnen stehende Mutterlauge die Zusammensetzung 23 % Kupfer und 77 % Silber besitzt. Im Punkt Z beginnt die gleichzeitige Ausscheidung von Silber- und Kupferkristalliten und dauert bei gleichbleibender Temperatur so lange an, bis die Mutterlauge völlig erstarrt ist und das gesamte System sich im festen Zustande befindet. In derselben Weise geht die Abkühlung einer hypereutektischen Legierung, d. i. mit mehr als 28 % Kupfergehalt vor sich. Aber anstatt daß wie vorher beim oberen Haltepunkt die Ausscheidung von Silberkristallen beginnt, findet hier die Ausscheidung von Kupferkristallen statt. Die verbleibende Mutterlauge wird mit sinkender Temperatur immer silberreicher, bis endlich bei  $778^{\circ}$  so viel Kupfer ausgeschieden ist, daß sie nur noch 28 % Kupfer enthält und als einheitlicher Körper zu einem innigen Gemenge von Silber und Kupfer erstarren kann.

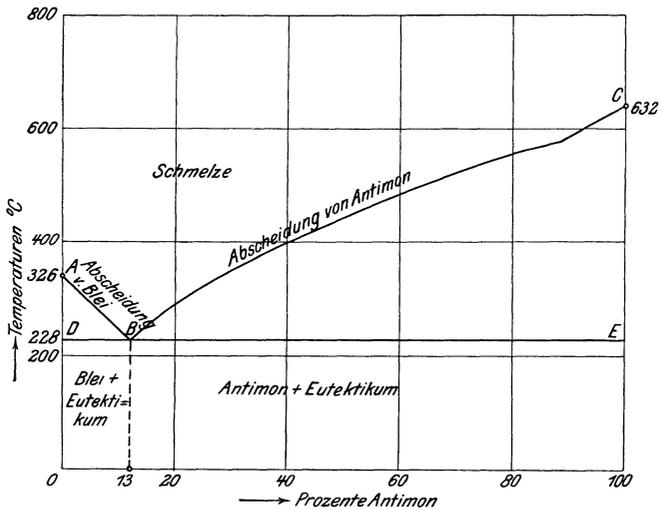


Fig. 447.

Ebenso wie die eutektische Mischung demnach den niedrigsten Erstarrungspunkt aller Systeme Silber-Kupfer besitzt, hat sie auch den niedrigsten Schmelzpunkt. Bei allen anderen Mischungen schmilzt zuerst das Eutektikum, und erst später lösen sich die Ausscheidungen, bis beim oberen Haltepunkte alles gelöst ist und das System sich bei höheren Temperaturen im flüssigen Zustande befindet.

In Fig. 447 ist das Erstarrungsbild der Blei-Antimonlegierungen, wie es von Roland-Gosselin<sup>1)</sup> ermittelt wurde, dargestellt. Es ist demjenigen der Silber-Kupferlegierungen völlig ähnlich. Die eutektische Mischung enthält 13 % Antimon und 87 % Blei. Die eutektische Tem-

<sup>1)</sup> Gautier, Recherches sur la fusibilité des alliages métalliques. Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale 1896.

peratur ist  $228^{\circ}$ . Der Kurvenzweig  $AB$  beginnt bei  $326^{\circ}$ , dem Schmelzpunkt des Bleis und der Zweig  $CB$  bei  $632^{\circ}$ , dem Schmelzpunkt des Antimons. Bei Temperaturen oberhalb der beiden Kurvenzweige befindet sich die Legierung im flüssigen Zustande. Bei Temperaturen, die nach oben durch die Kurvenzweige  $ABC$  und nach unten durch die Gerade  $DE$  begrenzt sind, findet die Ausscheidung einer der beiden Legierungskomponenten statt, und unterhalb der Geraden  $DE$  befinden sich die Systeme im festen Aggregatzustande. Bei den hypoeutektischen, also mit weniger als  $13\%$  Antimongehalt, herrscht Gleichgewicht zwischen Eutektikum und Bleikristallen und bei den hypereutektischen (mit mehr als  $13\%$  Antimon) ist das Eutektikum mit Antimonkristallen im Gleichgewichte.

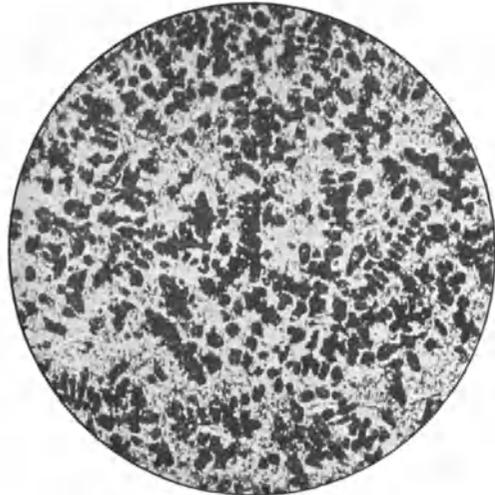


Fig. 448. Vergr. = 50.

Fig. 448 zeigt in 50facher Vergrößerung das Gefüge einer hypoeutektischen Blei-Antimonlegierung mit  $8\%$  Antimongehalt, bei der nach dem Erstarrungsbilde Bleiausscheidungen vorhanden sein müssen. Dies ist der Fall, da die schwarzen Bestandteile Bleikristalliten sind. Sie sind eingebettet in eine graue Grundmasse, die das Eutektikum Blei-Antimon mit  $13\%$  Antimon darstellt. Fig. 449 zeigt denselben Schliff, aber bei 500facher Vergrößerung. Die dunklen Teile des Bildes stellen die Bleiausscheidungen dar und die übrigen das Eutektikum. Die Legierung, deren Gefüge in Fig. 450

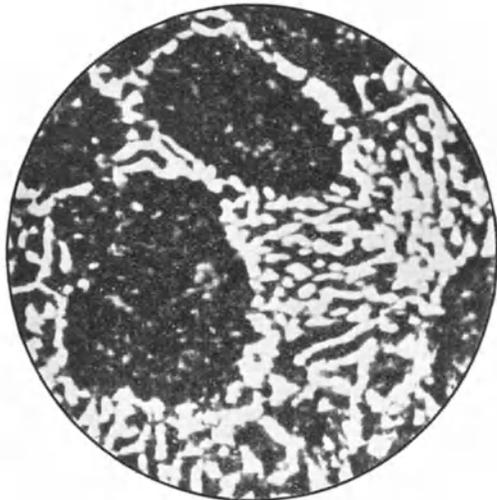


Fig. 449. Vergr. = 500.

bei 50facher Vergrößerung dargestellt ist, ist hypereutektisch; sie enthält 16% Antimon und 84% Blei. Nach dem Erstarrungsbilde (S. 504) muß die Legierung bei ca. 250° Antimonkristalle auszuschcheiden beginnen. Im Gefüge findet man demnach freie Antimonkristalliten im Eutektikum, die weißen Flecken stellen die Antimonkristalliten dar und die dazwischenliegende Grundmasse das Eutektikum.

Trotzdem es an und für sich selbstverständlich ist, soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß alle vorausgeschickten Ausführungen sich nur auf solche Legierungen beziehen, die bereits gehörig gemischt, d. h. bereits geschmolzen waren. Nur mechanisch gemischte, noch nicht geschmolzene Gemenge verschiedener Metalle erfüllen die erwähnten Gesetze nicht. Dasselbe gilt von zusammengeschmolzenen Legierungen, die infolge

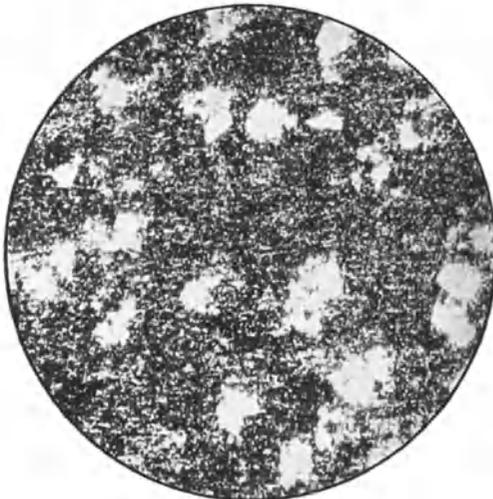


Fig. 450. Vergr. = 50.

Seigerung an ihren einzelnen Stellen abweichende Zusammensetzung besitzen. Schmilzt man z. B. eine Legierung von 80% Blei und 20% Antimon, und überläßt alsdann die flüssige Lösung der langsamen Abkühlung, so werden, weil die eutektische Mischung nur 13% Antimon gelöst zu halten vermag, Antimonkristalle ausgeschieden. Diese Kristalle steigen infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes im Tiegel nach oben, es tritt eine Entmischung,

d. i. Seigerung, ein, so daß der untere Teil des Blockes nur aus eutektischer Mischung besteht und der obere Teil reichliche Mengen von Antimonkristallen enthält.

Ein erneutes Schmelzen dieses Blockes würde ebenfalls nicht nach dem für das System Blei-Antimon gültigen Erstarrungsbilde stattfinden; infolge des niedrigen Schmelzpunktes des Eutektikums wäre der untere Teil des Blockes bereits völlig flüssig, während im oberen Teile noch feste Antimonkristalle vorhanden wären.

#### b) Die Komponenten gehen chemische Verbindungen ein.

Die bis hierher betrachteten Legierungen waren solche, deren Bestandteile beim Erstarren sich wieder trennen und deren Erstarrungspunkte sämtlich niedriger liegen als die der reinen Bestandteile. Le-

gierungen dagegen, bei denen keine vollständige Trennung der Bestandteile mehr stattfindet, bei denen vielmehr die beiden Bestandteile eine chemische Verbindung eingehen, zeigen wesentlich abweichende Erstarrungsbilder. In Fig. 451 ist das Erstarrungsbild der Legierungen von Kupfer und Antimon nach Le Chatelier<sup>1)</sup> abgebildet. Die Abszisse gibt den Gehalt an Kupfer, die Ordinate die Haltepunktstemperaturen an. Während bei den früher besprochenen Legierungen die Haltepunktsskurve nur zwei Zweige enthielt, die bei der eutektischen Temperatur ihren Schnittpunkt besaßen, zeigt die vorliegende Kurve vier Zweige *AB C D E* und zwei eutektische Temperaturen *B* und *D*. Bei *C* besitzt die Kurve einen Scheitel, der andeutet, daß die Legierung, deren Zusammensetzung 56% Kupfer und 44% Antimon ist, aus der chemischen Verbindung Antimonkupfer  $S_5Cu_2$  besteht. Alle Legierungen, deren obere Haltepunkte auf den Kurvenzweigen *B C D* liegen, scheiden demnach bei beginnender Erstarrung Antimonkupfer aus, das in einem Eutektikum Antimon-Antimonkupfer bzw. Kupfer-Antimonkupfer eingelagert ist. Die Legierungen mit 25% Kupfer und 68% Kupfer sind eutektisch; sie unterscheiden sich dadurch, daß jene ein inniges Gemenge von Antimon und Antimonkupfer, und diese ein solches von Kupfer und Antimonkupfer ist.

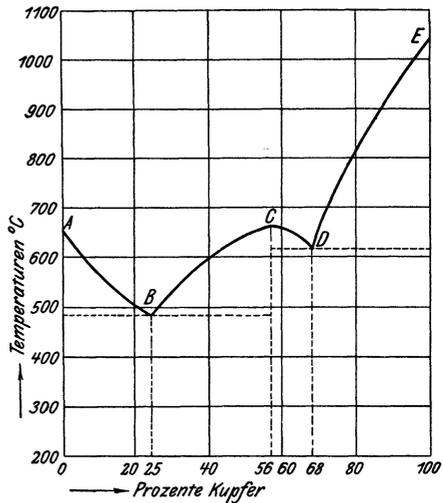


Fig. 451.

§ 331. Legierungen mit mehr als zwei Komponenten.

Diese Legierungen enthalten drei und mehr Bestandteile, welche entweder nebeneinander bestehen oder teilweise chemische Verbindungen eingehen. Noch verhältnismäßig einfach aufgebaut sind die ternären Legierungen. Kompliziert sind jedoch bereits die quaternären und in noch höherem Grade diejenigen mit mehr als vier Bestandteilen. Vertreter der ternären Legierungen sind die Lagermetalle, die im allgemeinen aus folgenden Komponenten bestehen:

- Antimon-Kupfer-Blei,
- Antimon-Kupfer-Zinn,
- Antimon-Blei-Zinn,
- Antimon-Zink-Zinn.

<sup>1)</sup> Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale 1895.

Auf die Erstarrungsverhältnisse dieser Legierungen kann, da es den Rahmen des Buches überschreiten würde, ebensowenig eingegangen werden, wie auf die Einflüsse, welche Gase, z. B. Sauerstoff, auf die geschmolzenen Metallösungen ausüben. Näheres ist zu finden in: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1300. Übersetzung einer Abhandlung von Charpy, betreffend Untersuchungen über die zur Verminderung der Reibung dienenden Metallegierungen. Ferner: Goerens, Einführung in die Metallographie, Halle 1906; Ruer, Metallographie, Voß 1907.

### § 332. Verfahren und Hilfsmittel zur Feststellung der Abkühlungskurven.

Wie bereits in § 329 erwähnt, treten bei dem Übergange der Legierungen aus einem Aggregatzustande in den anderen Wärmeerscheinungen auf, die in der Abkühlungskurve eine Verzögerung der Temperaturabnahme verursachen. Aber nicht allein bei Aggregatzustandsänderungen sind solche Wärmeerscheinungen zu beobachten, sondern sie treten auch innerhalb eines Aggregatzustandes auf. Es geschieht dies, wenn der Körper Modifikationsänderungen erleidet, d. h. wenn er aus einer allotropen Modifikation in eine andere übergeht. Die dabei in Erscheinung tretenden Wärmevorgänge sind aber nicht so ausgeprägt, wie bei den Aggregatzustandsänderungen, doch ist nach Lothar Meyer die Umwandlung einer allotropen Form dem Übergange von einem Aggregatzustand in den anderen so ähnlich, daß, genau genommen, die drei Aggregatzustände irgend einer Substanz als drei allotrope Modifikationen derselben beschrieben werden müßten.

Während die bei Aggregatzustandsänderungen gebundene oder freiwerdende Wärme „latente Schmelzwärme“, „latente Verdampfungswärme“ heißt, bezeichnet man sie bei Modifikationsänderungen mit „Umwandlungswärme“.

Da diese Wärmevorgänge immer bei bestimmten Körpertemperaturen auftreten, ist der Beginn einer der erwähnten Zustandsänderungen leicht zu ermitteln. Man braucht nur den Verlauf der Abkühlung oder Erhitzung eines Körpers durch Temperaturmessung zu bestimmen, um diejenigen Temperaturen zu finden, bei denen die Zustandsänderungen erfolgen. Zu beachten ist aber, daß keine „Unterkühlung“ des Körpers eintreten darf.

Die Feststellung der Abkühlungskurven richtet sich nach der Eigenart des zu untersuchenden Körpers. Leichtschmelzende Legierungen, d. s. solche, deren Schmelzpunkt unter  $450^{\circ}$  liegt, kann man in einem nach Fig. 452 armierten Porzellanrohr 1 von ca. 25 mm Weite über

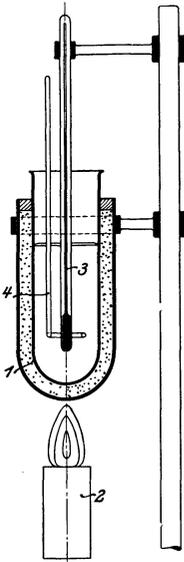


Fig. 452.

einem Bunsenbrenner 2 niederschmelzen. Wenn die ganze Schmelze gut flüssig geworden ist, taucht man ein vorher angewärmtes Thermometer 3 sowie einen als Rührer dienenden am Ende zu einem Kreisring gebogenen Stab 4 aus Hartglas hinein, wartet bis Thermometer und Rührer die Temperatur der Schmelze angenommen haben, und läßt alsdann die Schmelze erkalten. Während der Abkühlung liest man in bestimmten Zeiträumen, etwa alle halben Minuten, unter ständigem Auf- und Abbewegen des Rührers zur Verhinderung von Seigerungen die Temperaturen ab und zeichnet sie als Funktion der Zeit auf. Sobald sich beim Rühren ein Widerstand bemerkbar macht, also die Schmelze zu erstarren beginnt, hört man mit Rühren auf, ohne aber die Temperaturablesungen zu unterbrechen. Weiteres Rühren würde eine Absonderung der ausgeschiedenen Kristalle und infolgedessen eine Änderung der Zusammensetzung der Legierung bewirken. Die festgestellten Temperaturen müssen infolge der abweichenden Temperatur des herausragenden Quecksilberfadens korrigiert werden (s. S. 297). Ist man infolge sehr schneller Abkühlung nicht imstande, gewisse Zeitintervalle bei der Ablesung der Temperaturen innezuhalten, so lese man ständig die Temperaturen ab und lege den Zeitpunkt durch Betätigung eines Chronographen fest.

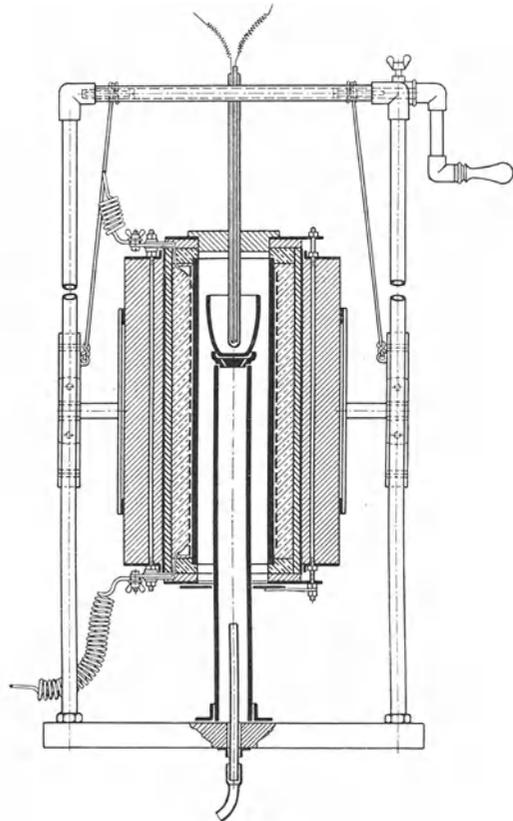


Fig. 453.

Bequemer gestaltet sich die Messung bei Verwendung von Thermo-  
elementen (s. § 185). Man kann sich dabei die direkten Temperatur-  
ablesungen sparen, indem man die Spannung der Thermostrome durch  
ein registrierendes Galvanometer (s. § 187) aufzeichnen läßt. Bei Tempe-  
raturen über  $450^{\circ}$  ist man zur Benutzung von Thermo-  
elementen gezwungen, weil dann Thermometer nicht mehr ausreichen. Legierungen mit höheren

Schmelzpunkten muß man in besonderen Öfen niederschmelzen. Am bequemsten sind dazu elektrisch heizbare Öfen, und zwar solche mit Platinwicklung oder mit Kryptofüllung. Ein kleiner elektrischer Tiegelofen von Heraeus für Temperaturen bis  $1000^{\circ}$  und 30 ccm Tiegelinhalt ist in Fig. 337 S. 353 abgebildet. Der Heizwiderstand besteht aus einem in die Innenwand des Heizraumes eingebetteten Platindrahte. Zur Regelung der Temperatur dient ein Vorschaltwiderstand.

Fig. 453 zeigt einen elektrischen Röhrenofen von Heraeus für  $1350^{\circ}$ . Er ist als Senkofen ausgebildet, so daß er nach dem Anheizen über den auf einem Rohre stehenden Tiegel geschoben werden kann. Außerdem ist er um eine horizontale Achse drehbar, was seine Verwendung mit Einlegerohr nach Fig. 454 gestattet. Der Ofen enthält als Heizkörper ein Rohr von 65 mm lichter Weite aus Marquardtscher Masse, um welches eine Platinfolie in spiralförmigen Windungen gewickelt ist. Zum

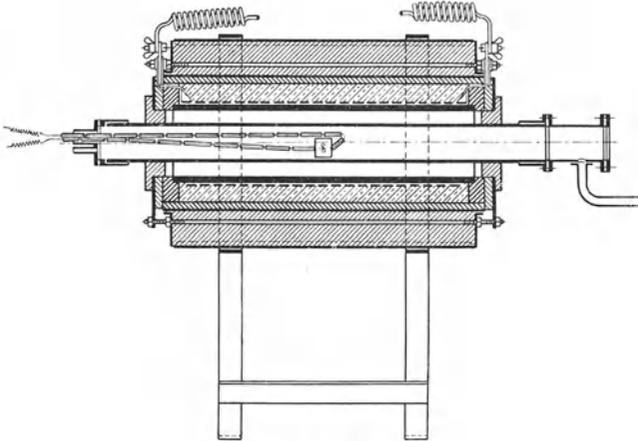


Fig. 454.

Anheizen muß zur Vermeidung zu schneller Erhitzung des Heizrohres ein Vorschaltwiderstand benutzt werden. Bei 220 Volt Spannung erfordert der Ofen eine Stromstärke von 19 Amp. Heraeus baut noch einen ganz gleichartig konstruierten Ofen, zu dem an Stelle des Rohres aus Marquardtscher Masse ein Iridiumrohr benutzt wird. Dieser Ofen ist für Temperaturen bis  $2100^{\circ}$  brauchbar.

In Fig. 455 ist der Friedrichsche Kryptotiegelofen<sup>1)</sup> der Dresdner Versuchsanstalt dargestellt, der von der Königl. Porzellanmanufaktur Meißen geliefert wird. Das Gehäuse 1 ist aus hochfeuerfester Masse hergestellt und besitzt eine Aussparung, in deren Mitte ein Porzellanrohr 2 nach Tammann oder ein ähnliches Rohr aus gebrannter Magnesia der Königl. Porzellanmanufaktur Berlin, welches als Schmelztiegel dient, angeordnet wird. Die

<sup>1)</sup> S. Metallurgie 1907, S. 781.

Stromzuführung erfolgt durch Kohlestifte mit Anschlußklemmen 3 und 4. Im übrigen ist die Aussparung mit Kryptol gefüllt. Der Ofen hat sich bei einer großen Reihe von Schmelzversuchen gut bewährt, und es ist möglich, mit ihm innerhalb einiger Minuten im Tiegel eine Temperatur von über  $1500^{\circ}$  zu erreichen. Bedingung für guten Erfolg ist jedoch sorgfältige Verteilung des Kryptols, langsame Steigerung der Stromstärke und andauerndes Drehen des Tiegelrohres während des Anheizens. Ist nämlich das Kryptol nicht gleichmäßig dicht in der Aussparung verteilt, so entstehen im Kryptol Lichtbogen, die örtliche Zerstörung des Tiegels oder des Ofenmaterials bewirken. In der Dresdner Versuchsanstalt wird der Ofen

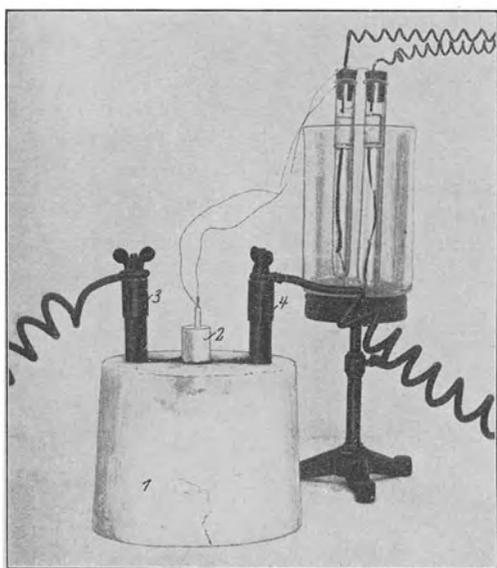


Fig. 455.

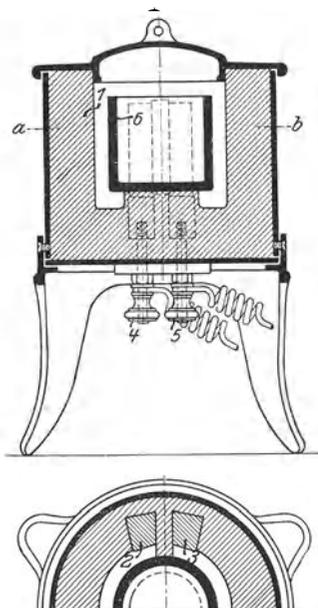


Fig. 456.

mit Gleichstrom betrieben und erfordert zur Erzielung von  $1500^{\circ}$  ca. 20 Amp. bei 60 Volt.

Eine weitere Ofenkonstruktion der Kryptolgesellschaft in Bremen ist aus Fig. 456 ersichtlich. Er besteht aus einem mit Eisenmantel versehenen Schamottegehäuse 1, in welches zwei Kohlepole 2 und 3 eingesetzt sind, die mit Anschlußklemmen 4 und 5 für die Stromzuführung verbunden sind. Der Tiegel 6 wird in den Heizraum eingesetzt und der Zwischenraum mit Kryptol gefüllt. Auch mit diesem Ofen läßt sich leicht eine Temperatur von über  $1500^{\circ}$  erzeugen.

Die Ausführung eines Abkühlungsversuches mit thermoelektrischer Messung geschieht in folgender Weise:

Nachdem die Schmelze gehörig flüssig geworden ist, wird das vorher in einer Gasgebläseflamme oder im Tiegelofen (Fig. 337 S. 353) angewärmte

Thermoelementrohr durch die Öffnung einer als Deckel dienenden Glimmerplatte in den Tiegel eingeführt, wobei darauf zu achten ist, daß die Lötstelle etwa in die Mitte der Schmelze zu liegen kommt. Hiernach wartet man einige Minuten, bis das Thermoelementschutzrohr die Temperatur der Schmelze angenommen hat, und stellt alsdann den Heizstrom ab. Überläßt man jetzt den Ofen der langsamen Abkühlung, so wird sich bei Beginn des Erstarrens der Masse eine Verzögerung in der Temperaturabnahme bemerkbar machen. Wenn dieselbe eingetreten ist und die Temperatur zu fallen beginnt, erhitzt man den Ofen wieder und beobachtet, ob bei Beginn des Schmelzens dieselbe Temperatur herrscht, wie die, welche vorher beim Erstarren festgestellt wurde. Wenn Abkühlung und Erhitzung langsam vor sich gehen, fallen beide Haltepunkte zusammen. Fallen sie nicht zusammen, dann hat Unterkühlung stattgefunden, und der Versuch muß wiederholt werden. In diesem Falle empfiehlt es sich, die Flüssigkeit während der Abkühlung zu rühren, oder durch Einwerfen von festen Splittern (Impfen) die Unterkühlung zu verhindern.

Bei sehr genauen Ermittlungen muß man das Schutzrohr weglassen und die Lötstelle des Thermoelementes unmittelbar in die Schmelze eintauchen lassen. In manchen Fällen wird das Thermoelement allerdings dadurch verdorben und die Enden müssen abgeschnitten und neu zusammengeschmolzen werden (s. S. 299).

Da die Le Chatelierschen Normalelemente aus 0,6 mm dickem Draht ziemlich teuer sind, verwendet man zweckmäßig Elemente aus Drähten von 0,2 mm Dicke und 75 cm Länge, die wesentlich billiger als die Normalelemente sind. Sie werden allerdings ohne Eichschein geliefert, können aber in einfachster Weise durch Vergleichung mit einem Normalelement geeicht werden. Als Schutz- bzw. Isolationsrohre dienen Quarzglasrohre oder Porzellanrohre von der Berliner Porzellanmanufaktur von 12 cm Länge, 4 mm äußerem und 2 mm innerem, bzw. 1 mm äußerem und 0,4 mm innerem Durchmesser. Diese dünnen Schutzrohre besitzen gegenüber den erheblich dickeren der Normalelemente den Vorzug, daß Wärmeschwankungen schneller auf das Thermoelement übertragen werden. Ein Nachteil der dünnen Drähte ist jedoch, daß die Elemente nach jedem Versuch kontrolliert werden müssen.

Die bisher beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Schmelz- bzw. Umwandlungspunkte liefern nur dann brauchbare Ergebnisse, wenn die Verzögerungen in der Temperaturabnahme verhältnismäßig lange andauern und sich deutlich als eine Änderung des stetigen Verlaufes der Abkühlungskurve bemerkbar machen. Sie entgehen aber der Beobachtung, wenn die Reaktion schnell verläuft, wie es z. B. bei den Umwandlungen der Eisen-Kohlenstofflegierungen geschieht.

Für solche Fälle hat bereits Roberts-Austen ein Verfahren angegeben. Er schaltete nämlich bei der thermoelektrischen Messung dem Strom des Thermoelementes, welches die Körpertemperatur anzeigte, einen

der Temperatur der Umgebung des Körpers proportionalen Thermostrom entgegen, so daß sich, bei gleichem Abfall der Körpertemperatur und der seiner Umgebung die beiden Ströme kompensierten und nur bei Verzögerung der Temperaturabnahme des einen Körpers vom Galvanometer ein Strom angezeigt wurde. Die Spannung dieses Differenzstromes entspricht der Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung.

Das Schema seiner Kompensationsschaltung ist aus Fig. 457 ersichtlich. 1 ist der zu prüfende Körper, 2 ein Stück Platin, beide Körper befinden sich in unmittelbarer Nähe, ohne sich aber zu berühren, so daß der eine Körper seine Temperatur zu ändern vermag, ohne den anderen zu beeinflussen. Platin besitzt innerhalb des in Betracht kommenden Temperaturbereiches keine kritischen Punkte und kühlt sich daher in gleicher Weise ab wie seine Umgebung. Seine Temperatur wird mit Thermoelement 6, zu dem das Galvanometer 3 gehört, gemessen. Neben der Lötstelle dieses Thermoelementes befindet sich die eine 7 des Differenzelementes. Die zweite Lötstelle 5 dieses Elementes ist in den Probekörper 1 eingebettet und Spiegelgalvanometer 4 dient zur Messung der Differenz der elektromotorischen Kräfte der Lötstellen 5 und 7.

Da man auf diese Weise die Temperaturen feststellt, bei denen Wärmeentwickelungen des Probekörpers auftreten, kann man Kurven konstruieren, welche die Größe der Temperaturdifferenzen der beiden abkühlenden Körper zu gleichen Zeiten als Funktion der Temperatur der sich stetig abkühlenden Umgebung des Körpers darstellen.

Heyn ersetzte das Platin bei dieser Versuchsmethode durch einen Vergleichskörper aus Hartporzellan und gab diesem sowie dem Probekörper eine Form (s. Fig. 458), welche mit größerer Sicherheit gleiche Temperatur beider Körper außerhalb der kritischen Punkte während der Abkühlung gewährleistet. 1 ist der Probekörper und 2 der Vergleichskörper aus Hartporzellan. Jeder Körper besteht aus zwei Hälften, die nach Einbettung der Thermoelemente zusammengebunden werden. Die Bestimmungen geschehen in der gleichen Weise wie bei der Anordnung von Roberts-Austen.

Die Verwendung von Vergleichskörpern birgt mancherlei Fehlerquellen in sich; darum ist die Anordnung von Dejean zur Ermittlung

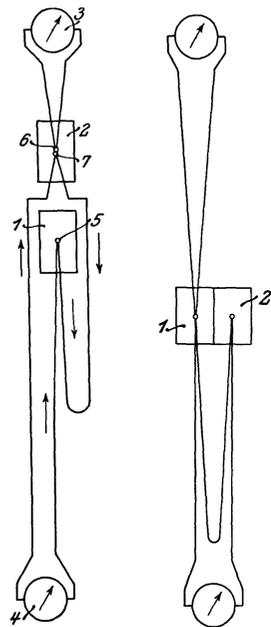


Fig. 457.

Fig. 458.

der Haltepunkte, bei der kein Vergleichskörper benutzt wird, besonders vorteilhaft.

Die Anordnung ist aus Fig. 459 ersichtlich. 1 ist der Körper, dessen kritische Punkte ermittelt werden sollen; er kann sich im flüssigen

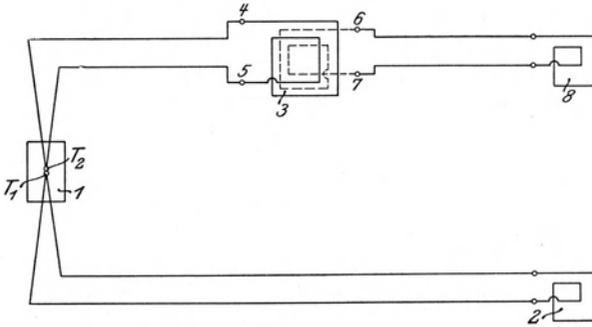


Fig. 459.

oder festen Zustande befinden. In das Innere des Körpers sind die Lötstellen zweier Thermoelemente  $T_1$  und  $T_2$  eingebettet, von denen das eine mit dem Zeiger oder Spiegelgalvanometer 2 und das andere mit dem Galvanometer 3 verbunden ist. Das Galvanometer 3 (s. Fig. 460)<sup>1)</sup> besitzt eine besondere Konstruktion, indem sein bewegliches System mit zwei voneinander isolierten Wicklungen versehen ist, die zu den 4 Polklemmen 4, 5, 6, 7 führen. Mit der einen Wicklung (Klemme 4, 5) steht das Thermoelement  $T_2$  in Verbindung und mit der zweiten Wicklung (Klemme 6, 7) das sehr empfindliche Spiegelgalvanometer 8. Thermoelement  $T_1$  mit Galvanometer 2 dient zur Temperaturmessung des Körpers und das Galvanometer 8 zur Messung der elektromotorischen Kraft des in der zweiten Wicklung des Galvanometers 3 durch die Bewegung der Spule im Magnetfelde des Galvanometers 3 induzierten Stromes.

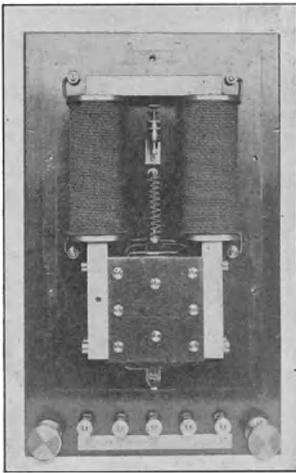


Fig. 460.

Da die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes proportional der Geschwindigkeit der Spulenbewegung und diese proportional der Erwärmungs- bzw. Abkühlungsgeschwindigkeit der zu untersuchenden

<sup>1)</sup> Instrument der Königl. Mech. Technischen Versuchsanstalt Dresden von Carpentier, Paris.

Legierung ist, müssen Veränderungen der Geschwindigkeit durch das sehr empfindliche Galvanometer 8 angezeigt werden. Es muß sich nämlich letzteres Galvanometer auf Null einstellen, wenn die Spule des Galvanometers 3 infolge Verzögerung der Temperaturab- oder -zunahme des Probekörpers stehen bleibt und infolgedessen kein Strom induziert wird. Setzt die Abkühlung oder Erhitzung des Probekörpers wieder ein, dann erfolgt Bewegung der Spule des Galvanometers 3 und der dadurch in der zweiten

Wicklung induzierte Strom veranlaßt einen Ausschlag des Galvanometers 8. Die Vereini-

gung der Ablesungen beider Galvanometer ergibt

ein Diagramm, aus welchem die Abkühlungs- oder Erhitzungsgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur ersichtlich ist.

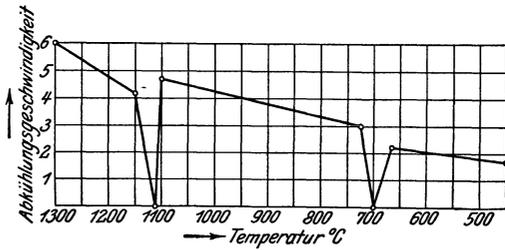


Fig. 461.

Nach den obigen Ausführungen bedeuten somit in der Kurve (Fig. 461) die Ordinaten die Zahl der Grade, um welche sich der Probekörper bei der zugehörigen Temperatur in der Zeiteinheit abkühlt. Während eines Haltepunktes wird die Abkühlungs- oder Erhitzungsgeschwindigkeit gleich Null, die Kurve muß alsdann die Abszissenachse berühren.

Zur selbsttätigen Aufzeichnung des Diagrammes kann der von Saladin und Le Chatelier angegebene Apparat benutzt werden.

Sein Prinzip ist aus Fig. 462 ersichtlich.

1 ist der Galvanometerspiegel, welcher durch den Strom des zur Temperaturmessung dienenden Thermoelementes abgelenkt wird. Im Brennpunkt der achromatischen Linse 2 befindet sich ein Diaphragma von

ca. 0,2 mm Durchmesser, unmittelbar davor die Lichtquelle 3, z. B. eine Nernstlampe. Das von der Öffnung im Diaphragma ausgehende Lichtbündel wird durch die Linse 2 in ein solches paralleler Strahlen verwandelt, welche auf den oben erwähnten Galvanometerspiegel 1 fallen. Dieser reflektiert sie in das schrägstehende Prisma 4. Durch das Ausschlagen des Spiegels 1 werden die Strahlen 5 in einer horizontalen Ebene abgelenkt und durch das Prisma 4 in eine Vertikalebene gedreht. Hier

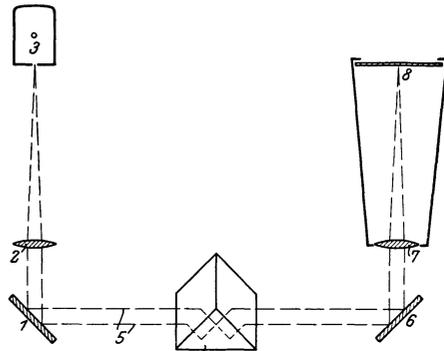


Fig. 462.

treffen sie auf den Galvanometerspiegel 6, der durch den induzierten Strom des Galvanometers 3 (s. Fig. 459) in einer Horizontalebene abgelenkt wird. Die von ihm reflektierten Strahlen werden durch die Linse 7 im Brennpunkt 8 zu einem Punkte vereinigt; daselbst wird die Bewegung des Punktes auf lichtempfindlichem Papier festgehalten. Da sich die Strahlen der Lichtquelle in dem Galvanometerspiegel 6 in vertikaler Richtung bewegen und der Spiegel selbst eine Drehung erfährt, welche die Strahlen in einer horizontalen Ebene ablenkt, muß die Vereinigung beider Bewegungen auf dem lichtempfindlichen Papier eine Kurve ergeben, deren eine Koordinate Temperaturen darstellt, während die andere die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes, also die Abkühlungs- oder Erhitzungsgeschwindigkeit des Probekörpers, angibt.

Fig. 463 zeigt die Ausführungsform des Doppel-Galvanometers nach Saladin, gebaut von Siemens & Halske, mit der photographischen

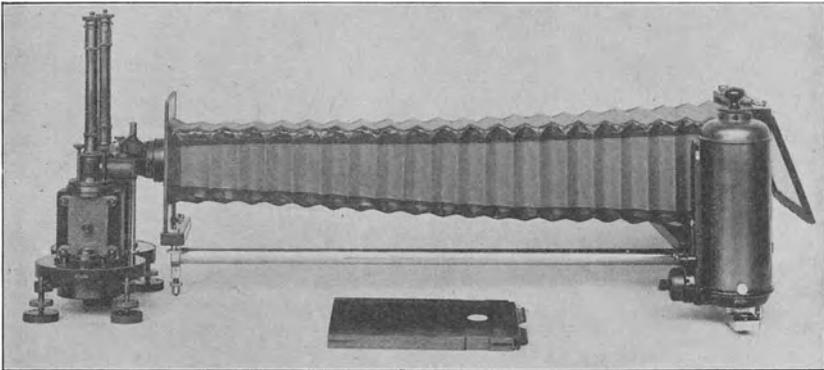


Fig. 463.

Camera und der neben der Mattscheibe befindlichen Nernstlampe. Durch diese Vereinigung des Galvanometers mit der Camera und der Beleuchtungsvorrichtung ist eine äußerst bequeme und sichere Einstellung des Instrumentes gewährleistet.

## II. Hilfsmittel und Verfahren zum Sichtbarmachen des mikroskopischen Gefüges.

### § 333. Allgemeines.

Unter mikroskopischem Gefüge eines Materials versteht man die dem Auge durch das Mikroskop sichtbare Anordnung der Gefügebildner. Ist letztere scharf ausgeprägt und sind zur Sichtbarmachung nicht starke Vergrößerungen notwendig, so kann man die Form der Gefügebildner feststellen, indem man eine Bruchfläche des Materials beobachtet. Die Art

der Gefügebildner kann man dagegen nur bei starker Vergrößerung an einer ebenen Schnittfläche des Materials ermitteln. Es muß eine solche Beobachtungsfläche erzeugt und dann in geeigneter Weise behandelt werden, damit die in ihrer Ebene liegenden Bestandteile erscheinen.

Je nach der Art des Materials bietet die Erzeugung der Beobachtungsflächen gewisse Schwierigkeiten. Am leichtesten vorzubereiten sind harte Materialien, wie Stahl, Roheisen usw.; weiche Metalle dagegen, wie Kupfer, Bronze, Lagermetall u. dergl., erfordern Manipulationen, die man sich nur durch große Übung aneignen kann. Deshalb dürfen die in den folgenden Paragraphen beschriebenen Verfahren nicht als die einzig richtigen betrachtet werden, sondern sie sollen nur Anhaltspunkte für denjenigen geben, welcher der Sache als Neuling gegenübersteht.

### § 334. Entnahme der Probestücke.

Für die Entnahme der Probestücke gilt alles bereits auf S. 3 Erwähnte. Das Probestück muß eine zuverlässige Mittelprobe des zu untersuchenden Materials darstellen, insbesondere soll es, wenn seine Abkühlungsverhältnisse festgestellt wurden, an einer Stelle des Probestückes entnommen werden, die sich in unmittelbarer Nähe des Temperaturmeßinstrumentes befand.

Auch zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung ist das Probestück selbst, oder wenn dies nicht angängig ist, Material aus seiner unmittelbaren Nähe zu benutzen. Insbesondere ist darauf zu achten, daß das Probestück sich in dem Zustand befindet, welcher für die Untersuchung in Betracht kommt. In dieser Beziehung werden oft Fehler gemacht, indem Probestücke benutzt werden, die Versuchskörpern entstammen, welche bereits Festigkeitsversuchen unterzogen wurden. Solche Probestücke besitzen naturgemäß nicht mehr ihr ursprüngliches Gefüge; die Gefügebestandteile haben Formänderungen erlitten, die Fehlschlüsse bei der Beurteilung verursachen.

### § 335. Vorbereitung der Probestücke.

Von dem zu untersuchenden Material wird mit der Säge ein Stück abgetrennt, aus dem ein Probekörper mit den Abmessungen von etwa  $1 \times 1 \times \frac{1}{2}$  cm hergestellt werden kann. Abschneiden mit der Schere oder Abschlagen mit dem Meißel ist unrichtig, weil das Probestück dadurch Formänderungen erleidet. Harte Materialien zerteilt man am besten durch Schleifen unter Wasser mit schmalen Karborundumscheiben. Das gewöhnlich unregelmäßig gestaltete Probestück wird zunächst mit Säge oder Schleifmaschine in möglichst regelmäßige Form gebracht, wobei darauf zu achten ist, daß keine Erhitzung eintritt, welche Gefügeänderungen zur Folge hätte. Die Erhitzung wird vermieden, wenn man die Bearbeitung, wie bereits oben erwähnt, unter Wasser ausführt.

Hiernach wird an dem Probestück durch Schleifen unter Wasser mit Schmirgelscheiben verschiedener Körnung eine ebene Fläche hergestellt.

### § 336. Das Feinschleifen.

Nach dem Vorschleifen wird das Probestück sorgfältig zur Entfernung aller anhaftenden Fett- und Schmirgelteilchen mit Benzol gewaschen und mit Alkohol gespült. Das nun beginnende Feinschleifen geschieht entweder von Hand, indem man das Probestück auf einem keramischen Abziehstein hin- und herreibt, oder maschinell durch Andrücken des Probestückes an eine unter Öl laufende Schleifscheibe. Das Probestück wird bei letzterem Verfahren in der Hand gehalten und von Zeit zu Zeit um  $180^{\circ}$  gedreht, damit die Schleifrisse immer parallel verlaufen. Schleifen in zwei Richtungen erzeugt ein Netzwerk von Schleifrisen, das nur schwer wieder zu entfernen ist.

Nach gehörigem Reinigen des Probestückes in Wasser schleift man auf Schmirgelpapier weiter, das in Blättern von etwa  $200 \times 300$  mm Größe auf Glasplatten gespannt zur Verwendung gelangt. Als Richtschnur gilt dabei, das Probestück mit einer Serie Schmirgelpapier von immer feinerer Körnung zu bearbeiten, und zwar in der Weise, daß man mit dem größten Schmirgelpapier beginnend, das Probestück auf jedem Papiere so lange reibt, bis die Spuren des vorhergegangenen Reibens verschwunden sind. Ratsam ist dabei, die Schlißfläche auf ein und demselben Papier stets in der gleichen Richtung zu reiben und sie beim Übergange zu einem Papier anderer Körnung um  $90^{\circ}$  zu drehen, so daß die neu entstehenden Schleifrisse senkrecht zu denjenigen stehen, die beim vorangegangenen Schleifen entstanden sind. Es ist dies ein Hilfsmittel zum Erkennen des Standes des Schleiffortschrittes. Man kann nämlich das Schleifen abbrechen, wenn die Risse des vorangegangenen Schleifens verschwunden sind. Bevor man zur Benutzung eines feineren Schmirgelpapiers übergeht, muß die bearbeitete Fläche sorgfältig abgewaschen werden, damit kein Körnchen an ihr zurückbleibt. Die Beschaffenheit des Schmirgelpapiers ist zur Erlangung guter Resultate von wesentlicher Bedeutung. Das Papier selbst darf nicht zu rauh und der Schmirgel muß gleichmäßig sowie von genügender Feinheit sein.

Verfasser benutzt das Schmirgelpapier von Dujardin, Düsseldorf, welches speziell für metallographische Zwecke hergestellt wird. Das Papier größter Körnung ist No. 1 F. Es folgen alsdann die No. 0, 00, 000, 0000, 00000. Bei der No. 1 F kann man die Schärfe durch einige Tropfen Öl vermindern. Auf den Papieren der übrigen Nummern wird dagegen nur trocken geschliffen.

Weiche Metalle schleift man erst auf dem keramischen Abziehstein und dann unter Zuhilfenahme einiger Tropfen Öl gleich auf dem Schmirgelpapier No. 0000, und zwar so lange, bis die Risse, die der keramische Stein zurückgelassen hat, verschwunden sind. Nach gehöriger Reinigung

des Körpers schleift man auf Papier derselben Körnung, aber unter Anwendung von Vaseline an Stelle des Öles, weiter, bis die Fläche ein gleichmäßiges, mattes Aussehen besitzt.

Steht eine Schleifmaschine zur Verfügung, so kann man das Schmirgelpapier auch auf Holzscheiben heften und das Probestück durch leichtes Andrücken an die rotierende Scheibe bearbeiten. Die Holzscheiben müssen aus mehrfach gesperrtem Holze angefertigt und zur Befestigung auf der Spindel der Schleifmaschine mit gußeisernen Naben versehen werden. Verfasser benutzt an Stelle der hölzernen Scheiben eben gedrehte gußeiserne, auf welche das Schmirgelpapier mit Stärkekleister geklebt wird.

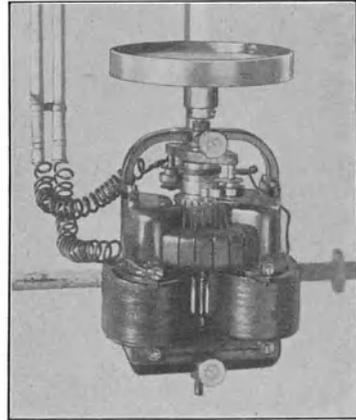


Fig. 464.

Gußeiserne Scheiben besitzen gegenüber hölzernen den Vorzug, daß sie sich leichter reinigen lassen und sich nicht werfen.

In Fig. 464 und 465 sind zwei Schleifmaschinen der Dresdner Versuchsanstalt dargestellt. Die erstere dient zum Schleifen der Probestücke

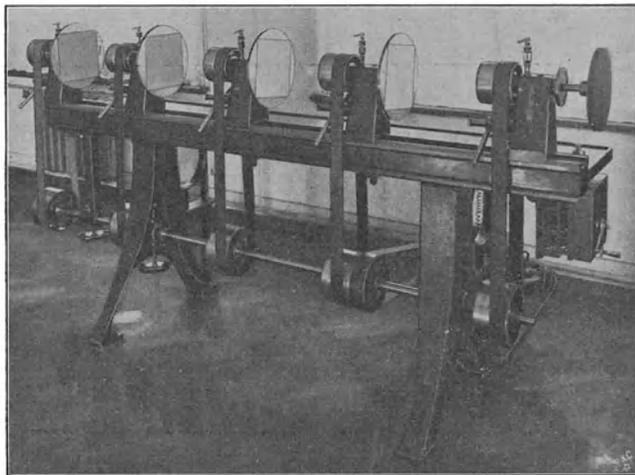


Fig. 465.

unter Öl (s. S. 518). Die Schleifscheibe ist zu diesem Zweck horizontal angeordnet und unmittelbar auf der Achse eines Elektromotors mit verti-

kaler Achse befestigt. Die Schleifscheibe selbst besitzt einen erhöhten Rand, der das Abfließen des Öles verhindert.

Die zweite Schleifmaschine ist mit 5 Schleif- oder Polierscheiben versehen, die einzeln ausrückbar sind und ihren Antrieb von einer gemeinsamen Welle erhalten, welche durch einen regulierbaren Elektromotor in Umdrehung versetzt wird. Die Tourenzahl der Scheiben ist regelbar und beträgt 500—1500 pro Minute.

### § 337. Das Polieren.

Das Polieren der Schlitze geschieht auf rotierenden Tuchscheiben mit Tonerde verschiedener Körnung. Die Scheiben (von Dujardin) sind aus mehrfach gesperrtem Holze hergestellt und mit Gußnabe versehen, zur Schaffung einer völlig ebenen Fläche besitzen sie eine Auflage aus Hartgummi, über welche das durch längeres Waschen und Abbürsten präparierte Tuch gespannt ist.

Die von Dujardin bezogene Tonerde ist besonders für Polierzwecke präpariert, sie braucht nur mit Wasser gemischt und mit einem Zerstäuber auf die Scheibe aufgetragen zu werden. Man drückt das Probestück leicht gegen die befeuchtete Scheibe, wobei man es beständig dreht, um die Schleifrichtung zu ändern. Das Polieren ist so lange fortzusetzen, bis unter dem Mikroskop Schleifrisse oder sonstige Unebenheiten nicht mehr zu erkennen sind.

Die Polierscheiben müssen sorgfältig vor Verstauben geschützt und bei starkem Gebrauch öfters unter fließendem Wasser mit Bürste abgewaschen werden. Jedenfalls darf man die Tonerde auf ihnen nicht introcknen lassen. Es empfiehlt sich, die Scheiben gesondert voneinander in Schutzkästen aus Blech unterzubringen. Beim Polieren weicher Metalle ist es ratsam, das Tuch der Polierscheibe vor dem Aufbringen der Tonerde mit Seife einzureiben.

### § 338. Die Entwicklung des Gefüges der Schlifflähe.

Nach dem Polieren erscheint die Schlifflähe unter dem Mikroskop im allgemeinen als spiegelnde Fläche, in der höchstens einzelne Pünktchen und dergl. sichtbar sind. Das Gefüge dagegen muß erst durch geeignete Behandlung entwickelt werden.

Es geschieht durch:

- Anlassen,
- Reliefpolieren,
- Ätzpolieren,
- Ätzen.

Jede Methode ist nicht für alle Materialien geeignet; es ist von Fall zu Fall zu erwägen, welche anzuwenden ist.

## a) Das Anlassen.

Beim Erhitzen vieler Metalle an der Luft entstehen auf ihren Schlißflächen dünne Oxydhäutchen, deren Interferenzfarben infolge der Eigenschaft einzelner Gefügebestandteile, sich rascher zu oxydieren, eine Abgrenzung dieser Bestandteile gegen die anderen bewirken. Zur Unterscheidung mancher Bestandteile, z. B. der Karbide und Phosphide, sofern sie gleichzeitig vorkommen, ist es die einzige Methode,<sup>1)</sup> welche brauchbare Resultate ergibt.

Zum Anlassen wird der Schliß gehörig mit Benzol, Alkohol und Äther gereinigt bzw. getrocknet und dann auf einer eisernen Platte erhitzt, bis die gewünschte Anlaßfarbe erscheint. Hiernach wird das Probestück schnell in Quecksilber abgeschreckt. Ist der Versuch mißglückt, so kann man das Oxydhäutchen leicht durch Wiederholen des Polierens entfernen und die Schlißfläche aufs neue anlassen.

Obleich die Gefügeentwicklung durch Anlassen bereits in den ersten Untersuchungen über das Spiegeleisen von Martens mit Erfolg angewendet wurde, ist dieses Verfahren später weniger benutzt worden, bis es neuerdings durch die Einführung der Lumière'schen Farbenphotographie in die Metallographie<sup>2)</sup> wieder aufgenommen wurde. Namentlich die Eisenkohlenstofflegierungen sind zum Anlassen gut geeignet, weil die Schlißflächen dabei die ganze Farbenskala von hellgelb bis blau durchlaufen.

## b) Das Reliefpolieren.

Diese Methode ist bei Untersuchung von Eisenkohlenstofflegierungen mehrfach angewendet worden und hat gute Ergebnisse geliefert. Sie beruht darauf, aus der Schlißfläche die leichter abnutzbaren Gefügebestandteile durch Schleifen mit einem feinen Poliermittel (Tonerde) auf weicher Unterlage herauszuarbeiten, so daß die härteren als Relief bestehen bleiben. Als Unterlage benutzt man am besten eine Gummiplatte oder Pergament, auf der die Schlißfläche ohne Anwendung von Druck hin- und hergerieben wird.<sup>3)</sup> Von dem Fortschreiten der Arbeit überzeugt man sich durch Besichtigung des Schlißes unter dem Mikroskope. Das Schleifen ist als beendet anzusehen, wenn die Einzelheiten des Gefüges deutlich im Relief zu erkennen sind. Oft bietet die Unterscheidung, welcher von den sichtbaren Gefügebestandteilen erhaben oder vertieft ist, einige Schwierigkeiten. In solchen Fällen hilft man sich mit folgendem Kunstgriff.<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> S. Goerens, Einführung in die Metallographie, S. 116.

<sup>2)</sup> S. Metallurgie, Jahrg. 1908, S. 19.

<sup>3)</sup> Besser dürfte die Anwendung einer Methode sein, bei der die Schlißfläche mit einem feinen Poliermittel in gleicher Weise behandelt wird, wie es bei den Abnutzungsversuchen mit Steinen geschieht (s. § 204, Die Abnutzbarkeit, Versuche mit dem Sandstrahlgebläse).

<sup>4)</sup> Osmond, Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone, deutsch von Heurich, Halle 1906.

Bei stark abgeblendeter Eintrittsöffnung der Lichtstrahlen stellt man das Objektiv etwas unterhalb des betrachteten Punktes ein und hebt es langsam. Die Reliefs, die anfänglich relativ glänzend und gelblich auf dem dunkleren Grunde erschienen, werden fortschreitend dunkel auf hellem Grunde. Die Vertiefungen zeigen umgekehrte Erscheinungen, sie sind erst dunkel und werden immer heller.

#### c) Das Ätzpolieren.

Beim Ätzpolieren unterstützt man die Wirkung des Reliefpolierens durch chemische Einwirkungen, indem man dem Poliermittel ein schwaches Ätzmittel zusetzt. Man kann dazu nach Osmond auf kaltem Wege gewonnenen Süßholzextrakt oder Ammoniumnitrat (2 g Ammoniumnitrat mit 100 ccm Wasser) verwenden.

Der Süßholzextrakt wird auf folgende Weise hergestellt:

Man mazeriert während 4 Stunden 10 g zerkleinerte Wurzel in 100 g Wasser und filtriert. Die Lösung verdirbt ziemlich schnell, wird aber um so wirksamer, je älter sie ist. Da die Süßholzwurzel nicht immer in gleicher Güte beschafft werden kann, ist das zweite Ätzmittel vorzuziehen.

#### d) Das Ätzen.

Beim Ätzen der Metallschliffe wird das Gefüge dadurch sichtbar gemacht, daß die einzelnen Gefügebestandteile durch das Ätzmittel verschieden stark angegriffen oder gefärbt werden. Beim ersteren Vorgange entsteht ein schwaches Relief, was zur Folge hat, daß die darauffallenden Lichtstrahlen verschieden stark reflektiert werden und dadurch eine Unterscheidung der Bestandteile ermöglichen. Die Feststellung der Bestandteile auf Grund der verschiedenen Färbung, welche ihnen das Ätzmittel verleiht, ist aber nicht ein für allemal einwandfrei, weil sich oft verschiedene Bestandteile gleichartig färben. Es ist dann eine der anderen Entwicklungsmethoden zum Sichtbarmachen des Gefüges zu benutzen.

Damit das Ätzmittel gleichmäßig angreifen kann, muß die Schlißfläche von Fett befreit werden. Man erreicht dies durch Abwaschen des Probestückes mit Benzol oder Alkohol und Abreiben mit einem fettfreien Tuche. Beim Ätzen taucht man das Probestück (die Schlißfläche nach oben) in das Ätzmittel oder man bringt mit einem Glasstabe das Ätzmittel auf die Schlißfläche. Nach einer einige Sekunden oder bei manchen Materialien länger währenden Einwirkung spült man das Probestück ab, trocknet es und betrachtet den Schliß unter dem Mikroskop. Beobachtet man keine oder nur eine schwache Wirkung, so wiederholt man die Ätzung an derselben oder an einer anderen Stelle des Schliffes. War die Wirkung zu stark, so verdünnt man das Ätzmittel oder beschränkt, wenn möglich, die Dauer der Einwirkung. Ist die Ätzung befriedigend, so reinige man das Probestück vor der weiteren Beobachtung nochmals mit Alkohol und trockne mit Äther. Zum Abwischen der Schliffe benutze man nur reine

Wattebäusche, die man nachher wegwirft; bei der Verwendung weicher Lappen kommt es vor, daß darin haftende Körnchen den Schliff verderben. Trocknen des Probestückes im trockenen Luftstrom ist das zuverlässigste Verfahren.

**§ 339. Auswahl, Anwendungsweise, Wirkungsweise und Zusammensetzung der Ätzmittel.**

1. Ätzen mit Salpetersäure.

Mischung I:

Konzentrierte Salpetersäure (spez. Gewicht 1,4),  
geeignet zur Untersuchung von Eisenkohlenstofflegierungen und Kupfer.

Der Schliff wird untergetaucht, einige Sekunden hin und her bewegt und dann unter einem kräftigen Wasserstrahl abgespült.

Mischung II:

20 ccm Salpetersäure (spez. Gewicht 1,4),  
100 ccm Wasser,

geeignet für Eisenkohlenstofflegierungen, Blei-Antimonlegierungen usw.

Mischung III:

1 ccm Salpetersäure (spez. Gewicht 1,4),  
50 ccm absoluter Alkohol,  
50 ccm Äther,

geeignet für Eisenkohlenstofflegierungen. Nachspülen mit Alkohol und Äther.

Mischung IV:

1 ccm Salpetersäure (spez. Gewicht 1,4),  
100 ccm Amylalkohol,

geeignet für Eisenkohlenstofflegierungen, Troostit und Sorbit wird dadurch schwarz bis braun, manchmal grünlich gefärbt, Martensit bleibt weiß, Austenit wird braun.

Mischung V nach Kourbatoff:<sup>1)</sup>

α) 1 Teil 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>ige Lösung von Salpetersäure in Isoamylalkohol + 3 Teile gesättigte Nitranilinlösung in Essigsäureanhydrid, oder

β) 1 Teil 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>ige Lösung von Salpetersäure in Essigsäureanhydrid + 1 Teil Methylalkohol + 1 Teil Alkohol + 1 Teil Isoamylalkohol.

Beide sind geeignet für Eisenkohlenstofflegierungen, insbesondere zur Sichtbarmachung von Martensit und Austenit. Das zweite auch zur Entwicklung des Troostit. Nachspülen mit Alkohol.

2. Ätzen mit Salzsäure.

Mischung I:

1 ccm Salzsäure (spez. Gewicht 1,19),  
100 ccm absoluter Alkohol.

---

<sup>1)</sup> Kourbatoff, Contribution à l'étude métallographique des aciers trempés. Révue de métallurgie, Mémoires S. 169. Marche 1905.

Diese Mischung wurde von Martens und Heyn bei der Untersuchung von Eisenkohlenstofflegierungen verwendet.

Mischung II:

10 ccm Salzsäure (spez. Gewicht 1,19),

100 ccm absoluter Alkohol,

geeignet für Kupfer-Zinnlegierungen.

Mischung III:

Lösung von Brom in Salzsäure

ist ein schnell wirkendes Ätz- und Färbemittel für Eisenkohlenstofflegierungen.

Mischung IV:

3 Teile 20 %ige Lösung von Salzsäure (spez. Gewicht 1,19) in Isoamylalkohol + 1 Teil gesättigte Nitranilinlösung in absolutem Alkohol.

Kourbatoff empfiehlt diese Mischung für die Untersuchung von Eisenkohlenstofflegierungen.

### 3. Ätzen mit Kupferammoniumchlorid.

Mischung I:

12 g Kupferammoniumchlorid, kristall.,

100 g dest. Wasser.<sup>1)</sup>

Dieses Ätzmittel ist für Eisenkohlenstofflegierungen, besonders für gewöhnliche Kohlenstoffstähle in ungehärtetem Zustande und für weißes Roheisen, geeignet. Das sich niederschlagende Kupfer wird mit einem Wattebausch vorsichtig abgerieben. Für graphithaltige Roheisensorten ist es aber nicht verwendbar, weil sich infolge der galvanischen Wirkung des Graphits Kupfer fest auf der geschliffenen Fläche absetzt, ausgeschlossen ist auch seine Verwendung zur Ätzung von Spezialstählen.

Mischung II. Ammoniakalische Kupferammoniumchloridlösung:

12 g Kupferammoniumchlorid, kristall.,

100 g dest. Wasser,

hierzu so viel Ammoniak, bis sich der anfangs entstehende Niederschlag wieder auflöst.

Geeignet für Eisenkohlenstofflegierungen, Kupfer, Kupferzinnlegierungen, Eisenbronzen, Kupferzinnlegierungen.

### 4. Ätzen mit Pikrinsäure.

Mischung I:

4 g Pikrinsäure, kristall.,

100 ccm Äthylalkohol.

Geeignet für alle Eisenkohlenstofflegierungen. Der Ferrit wird aufgeraut. Nach dem Ätzen muß das Probestück sorgfältig in Alkohol gespült und dann mit Wattebausch abgewischt werden.

<sup>1)</sup> Die Lösung darf nicht verdünnt werden, da sich das Kupfer sonst auf der Schlifffläche fest ansetzt.

Mischung II:

4 g Pikrinsäure,  
100 ccm Amylalkohol.

Diese Mischung ist wie die obige zu benutzen. Das Ätzmittel wirkt langsamer aber gleichmäßiger.

5. Ätzen mit Jod.

Methode I:

1 Teil Jodtinktur, bestehend aus 10 g Jod und 100 ccm Alkohol  
(96 0/0),  
1 Teil dest. Wasser,

hierzu etwas Salzsäure.

Geeignet zum Sichtbarmachen von Blei in Zinn und von Silber in Blei. Im ersten Falle entsteht Zinnjodid als Nebenprodukt, das sich in der verdünnten Salzsäure löst, im anderen Falle Bleijodid, das sich durch Auskochen mit Wasser entfernen läßt.

Methode II:

Zinnantimonlegierungen ätzt man mit Joddampf, indem man den Schliff in einem Gefäße lagert, worin sich etwas Jod befindet.

6. Ätzen mit Natriumpikrat.<sup>1)</sup>

Mischung:

2 g Pikrinsäure werden in 100 ccm Natronlaugelösung (25 g feste Natronlauge in 75 ccm Wasser) während  $\frac{1}{2}$  Stunde auf dem Wasserbade digeriert. Hierauf schüttet man die überstehende Lösung ab und verwahrt sie in einer luftdicht verschlossenen, dunklen Flasche.

Beim Ätzen eines Schliffes verfährt man in der Art, daß man von der Natriumpikratlösung eine gewisse Menge in ein Reagenzglas gießt, dasselbe in ein mit kochendem Wasser gefülltes Becherglas stellt und, sobald das Ganze die Temperatur des Bades angenommen hat, das Schliffstück einführt. Nach 5—10 Minuten ist meistens die Ätzung genügend stark; man spült den Schliff mit Wasser ab und wiederholt, wenn nötig, die Operation. Das Verfahren erscheint umständlich, doch ist es zum Nachweise des Eisenkarbides das einzig sichere.

7. Ätzen mit Ammoniak.

Ammoniaklösung ist geeignet zum Ätzen von Bronzen. Konzentrierte Ammoniaklösung färbt bei Manganbronzen das Mangan bräunlich.

8. Ätzen mit konzentrierter Kalilauge.<sup>2)</sup>

Diese Methode besteht darin, daß das Probestück mit einer gesättigten heißen Lösung von Kalilauge behandelt wird. Sie gibt bei Zink-Kupferlegierungen mit mehr als 50 0/0 Zink sehr gleichmäßige Resultate.

<sup>1)</sup> Goerens, Einführung in die Metallographie, S. 119.

<sup>2)</sup> Desgl., S. 121.

### 9. Ätzen unter gleichzeitiger Anwendung des elektrischen Stromes.

#### Methode I.

Das Probestück wird als Anode in ein Ätzmittel, bestehend aus  
1 ccm Salzsäure (spez. Gew. = 1,19),  
500 ccm Wasser  
gehängt und ein elektrischer Strom von 0,2 Amp. hineingeschickt. Die Methode ist besonders für abgeschreckte Eisenkohlenstofflegierungen geeignet.

Methode II. nach Charpy; zur Untersuchung von Messing besonders geeignet.

In ein aus verdünnter Schwefelsäure 1 : 10 bestehendes Bad 1 (s. Fig. 466)

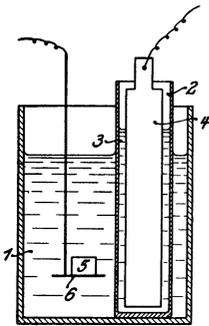


Fig. 466.

wird die poröse Zelle 2 gesenkt, welche eine gesättigte Lösung von Kupfersulfat 3, sowie einen Kupferblechstreifen 4 enthält, daneben wird der Probekörper 5 auf einem Halter aus Platin 6 eingesetzt. Man erhält auf diese Art ein Daniell'sches Element, in welchem das Zink durch den Probekörper ersetzt ist. Durch die Einwirkung des Stromes löst sich das Zink etwas rascher auf als das Kupfer. Die Dauer der Einwirkung beträgt etwa eine Viertelstunde. Das auf der Schlifffläche sich niederschlagende Kupfer muß von Zeit zu Zeit mit einem Pinsel entfernt werden.

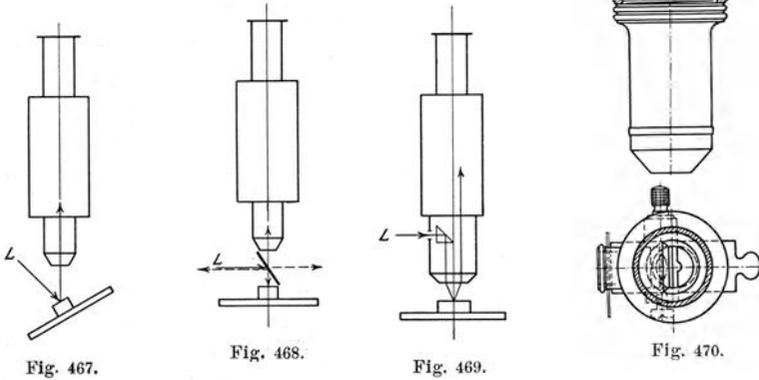
## III. Die Hilfsmittel zur Beobachtung und zum Photographieren des Gefüges.

### § 340. Die mikroskopische Untersuchung.

Infolge ihrer Undurchsichtigkeit ist eine Beobachtung der Metallschliffe im durchfallenden Lichte wie bei Gesteinen nicht angängig; sie müssen daher im auffallenden Lichte untersucht werden. Bei geringen Vergrößerungen bietet dabei die Beleuchtung wegen des großen Objektivabstandes vom Objekt keine Schwierigkeiten; schief auffallendes Licht (nach Fig. 467) oder ein zwischen Objekt und Objektiv (nach Fig. 468) geschaltetes Planparallelglas bewirkt genügende Aufhellung der zu beobachtenden Schlifffläche. Starke Vergrößerungen, bei denen der Abstand der Frontlinse des Objektivs vom Objekt nur Bruchteile eines Millimeters beträgt, erfordern dagegen eine besondere Beleuchtungsvorrichtung. Eine solche Vorrichtung ist der in Fig. 470 dargestellte Vertikalilluminator. Der Strahlengang bei seiner Benutzung ist aus Fig. 469 ersichtlich. Das von der Lichtquelle kommende Lichtbündel  $L$  trifft auf das Reflexionsprisma, wird dort total reflektiert und durch die eine Objektivhälfte auf das Objekt konzentriert. Die hier diffus reflektierten Strahlen werden durch die

andere Objektivhälfte zu einem Bilde des Objektes vereinigt, welches wie gewöhnlich beobachtet wird. Zur Ablendung des einfallenden Lichtbündels ist vor dem Reflexionsprisma eine Irisblende angeordnet.

Der Vertikalilluminator kann in Verbindung mit jedem Mikroskop benutzt werden, nur müssen die Objektive für Benutzung ohne Deckglas korrigiert



und für stärkere Vergrößerungen mit kurzer Fassung versehen sein.

### § 341. Kugelmikroskop nach Martens.

Ein für die Beobachtung der Schiffe in schief auffallendem Lichte sehr geeignetes Mikroskop ist das in Fig. 471 abgebildete Kugelmikroskop nach Martens. Dasselbe gestattet nicht nur Schiefstellen des Objektisches, sondern es ermöglicht auch infolge der allseitigen Beweglichkeit des Tubusträgers die Einstellung des Mikroskopes auf jede Stelle beliebig geformter Gegenstände.

### § 342. Der mikrophotographische Apparat von Zeiß.

Fig. 472 zeigt das zum großen mikrophotographischen Apparat der Dresdner Versuchsanstalt gehörige Mikroskop.<sup>1)</sup> Das Mikroskop ist für

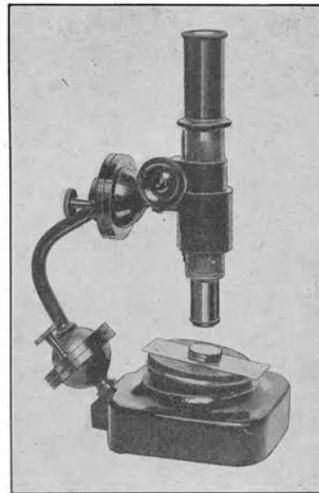


Fig. 471.

<sup>1)</sup> Es wurde von der Firma Zeiß geliefert, welche diese Art Mikroskope nach Angaben von Martens konstruierte.

Untersuchungen bei durchfallendem und bei auffallendem Lichte unter Benutzung eines Beleuchtungsspiegels, Planparallelglases oder Vertikalilluminators eingerichtet.

Die optische Ausrüstung besteht aus:

1. Mikroplanar 70.
2. Mikroplanar 35.

Beide Gläser werden für schwache Vergrößerungen und in der Regel nur bei photographischen Aufnahmen in zerstreutem Tageslicht oder unter Zuhilfenahme eines Beleuchtungsspiegels benutzt.

3. Apochromat 16 mm, Apertur 0,30, Eigenvergrößerung 15,5.
4. Apochromat 4 mm kurze Fassung, Apertur 0,95, Eigenvergrößerung 63.
5. Dasselbe mit Korrekptionsfassung.

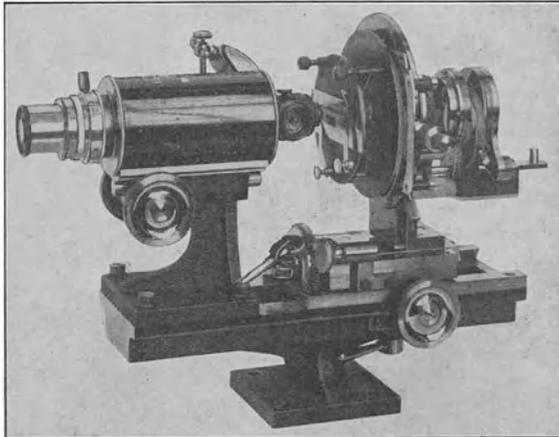


Fig. 472.

6. Apochromat 2 mm, Apertur 1,30, Eigenvergrößerung 125.
7. Apochromat 1,5 mm, Apertur 1,30, Eigenvergrößerung 167.

Die Objektive 3, 4 und 5 sind Trockensysteme, 6 und 7 Systeme homogener Immersion (Zedernholzöl).

8. Die Kompensationsokulare 2, 4, 6, 8, 12, 18.
9. Die Projektionsokulare 2, 4, 4\*.

Die Vergrößerung dieser optischen Systeme ergibt sich durch Multiplikation des Wertes der Eigenvergrößerung des Objektivs mit der Nummer des Kompensationsokulares. Unter Eigenvergrößerung versteht man dabei diejenige Vergrößerung, welche die Objektive, als Lupe gebraucht, auf die Weite des deutlichen Sehens ergeben würden. Dieselbe ist gleich 250 dividiert durch die Brennweite des Objektivs in Millimetern.

Beispiel:

Objektiv 2 mm, Apertur 1,30,

Okular 8 mm,

$$\text{Gesamte Vergrößerung} = \frac{250}{2} \cdot 8 = 1000.$$

Zur Bestimmung der Vergrößerung der Mikroplanare, welche fast ausschließlich zum Photographieren oder zur Projektion benutzt werden, hat man die Entfernung des Bildes auf der Mattscheibe der photographischen Kamera oder des Projektionsschirmes vom Objektiv durch dessen Brennweite zu dividieren und den Quotienten dann um 1 zu vermindern.<sup>1)</sup>

Das Schema des großen mikrophotographischen Apparates zeigt Fig. 473.

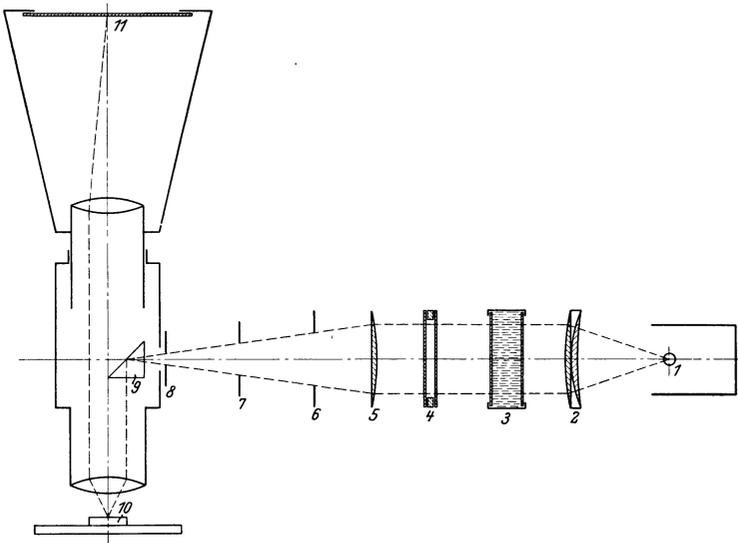


Fig. 473.

1 ist die Lichtquelle, eine Bogenlampe von 20 Amp.

2 ist der Zweilinsenteil, welcher, mit der hohlen Linsenfläche nach der Lichtquelle gerichtet, die Strahlen nahezu parallel macht.

3 ist eine Wasserkammer, die mit reinem ausgekochtem Wasser gefüllt wird.

4 ist eine Kütvette zur Aufnahme einer als Lichtfilter dienenden Flüssigkeit. (Zettnow-Filter besteht aus: 160 g Kupfernitrat, 14 g Chromsäure, 25 g Wasser bei 1 cm dicker Schicht.)

5 ist der Einlinsenteil, welcher die parallelen Strahlen wieder zu einem Brennpunkt sammelt.

<sup>1)</sup> Näheres über die optischen Einrichtungen s. Katalog von Carl Zeiß, Jena.

6 ist eine Irisblende zum Abblenden des Lichtbündels.

7 ist eine zweite Irisblende.

8 ist eine dritte Irisblende, die am Vertikalilluminator angebracht ist.

9 stellt das Beleuchtungsprisma dar.

10 entspricht der Beobachtungsfläche des Objektes und 11 ist die photographische Platte, auf welche das Bild des Objektes projiziert wird.

### § 343. Die Einstellung und photographische Aufnahme eines Gefügebildes.

Bei der Einstellung eines Bildes verfährt man in folgender Weise:

Man stellt das Bild vorläufig mit einem gewöhnlichen Okular ein, entfernt dasselbe alsdann und ersetzt es durch ein Projektionsokular, dessen vordere Linse der Kameralänge entsprechend eingestellt wurde. Hierauf schiebt man die vordere Öffnung der Kamera über das Okularende des Mikroskoptubus und stellt mit Hilfe der Feineinstellung das Bild erst auf der Mattscheibe und dann auf der Einstellscheibe aus Spiegelglas scharf ein. Die Aufnahme des Bildes erfolgt hiernach derartig, daß man mit einem Stück Pappe die Lichtquelle abdeckt, eine photographische Platte an Stelle der Mattscheibe einsetzt und durch Entfernen des Pappstückes belichtet. Orthochromatische Platten verdienen gegenüber gewöhnlichen Trockenplatten den Vorzug, da sie besonders bei gefärbten Objekten die Färbungsunterschiede besser zum Ausdruck bringen. Das Entwickeln und Fixieren geschieht in gleicher Weise wie bei jeder anderen photographischen Aufnahme. Besondere Behandlung erfordern nur die farbenempfindlichen Platten bei Anwendung der Lumière'schen Farbenphotographie.<sup>1)</sup> Sie müssen in völlig dunklem Raume in die Kassetten eingelegt werden, weil sie auch für die roten Strahlen der Dunkelkammerlampen empfindlich sind. Ihre Schichtseite kommt nicht wie bei den gewöhnlichen Platten nach außen gerichtet, sondern umgekehrt in die Kassette zu liegen. Es muß deshalb zur Vermeidung des Zerkratzens der Schichtseite durch die Spannfeder der Kassette ein dunkler Karton unter die Platte gelegt werden. Im übrigen gelten für Aufnahmen mit Lumière'schen Platten für Farbenphotographie die in ihrer Gebrauchsanweisung enthaltenen Angaben.

In allen Fällen, sowohl bei Verwendung gewöhnlicher Platten als auch der für Farbenphotographie, gewöhne man sich daran, nach der Zeit zu belichten und zu entwickeln. Diese Methode gibt, wenn die benutzten Zeiten und übrigen Umstände notiert werden, für spätere Aufnahmen gute Anhaltspunkte und liefern Unterlagen für die Beurteilung von mikrophotographischen Bildern.

<sup>1)</sup> Goerens, Metallurgie 1908, S. 19.

§ 344. Der mikrophotographische Apparat nach Le Chatelier.

Außer dem Martensschen Mikroskopstativ hat das nach Le Chatelier<sup>1)</sup> in neuester Zeit bei metallographischen Arbeiten Verwendung gefunden. Abgesehen von seiner ungewöhnlichen Form, besitzt es gegenüber dem Martensschen den Vorzug, daß das Probestück unregelmäßig gestaltet sein darf und nur eine ebene Fläche, die gleichzeitig Schliiffläche ist, zu haben braucht. Mit dieser Fläche wird es auf den horizontal angeordneten Objektstisch gelegt, so daß die Ebene des Schliffes ohne weiteres mit derjenigen des Tisches übereinstimmt. Da die Tischebene ferner senkrecht zur optischen Achse des Objektivs steht, ist eine weitere Einstellung des Objektes nicht erforderlich. Das Schema des Apparates zeigt Fig. 474.

1 ist das Objekt auf dem Objektstisch 2, der durch Betätigung einer Einstellschraube dem Objektiv 3 genähert oder von ihm entfernt werden kann. Die Beleuchtung der zu beobachtenden Fläche erfolgt durch das Prisma 4, welches den durch den Beleuchtungstubus 5 von der Lichtquelle 9 aus eintretenden Lichtstrahl ablenkt und durch die eine Objektivhälfte auf das Objekt konzentriert. Die hier reflektierten Strahlen treffen auf ein in der optischen Achse des Objektivs angeordnetes Prisma 6 und werden von diesem je nach der Stellung des Prismas 6 entweder nach vorn in ein Beobachtungsookular oder nach links durch das Projektionsokular 7 in die photographische Kamera 8 abgelenkt. Zu diesem Zwecke ist das Prisma 6 um die optische Achse des Objektivs drehbar. Fig. 475 zeigt die Ausführung des Mikroskopes mit Beleuchtungsvorrichtung und photographischer Kamera.

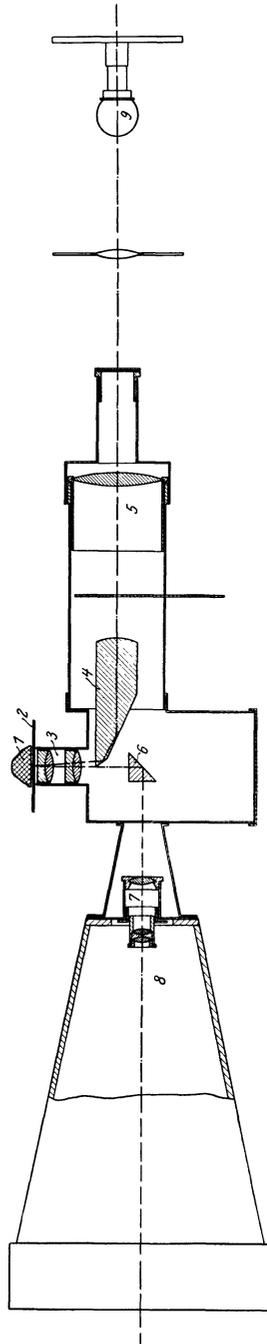


Fig. 474.

<sup>1)</sup> Das Stativ wird mit optischer Ausrüstung von Dujardin & Co., Düsseldorf, geliefert.

### § 345. Das Ausmessen des Gefügebildes.

Soll die Größe einzelner Gefügebestandteile festgestellt werden, so kann dies durch Ausmessen des Bildes auf der Mattscheibe der mikro-

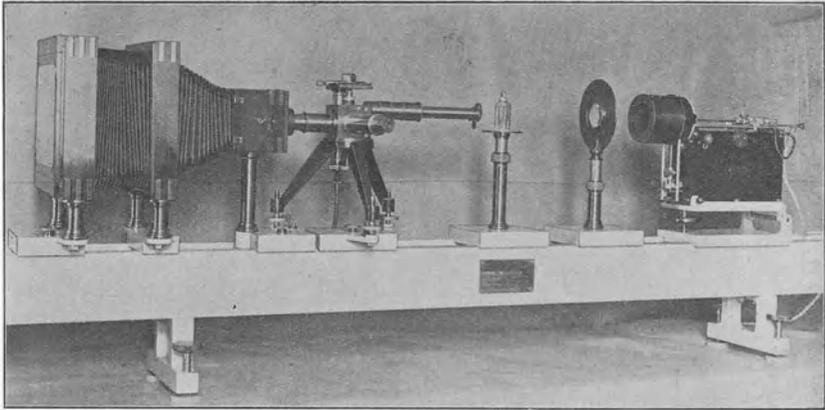


Fig. 475.

photographischen Kamera unter Berücksichtigung der Vergrößerung oder durch unmittelbare Beobachtung mit dem in § 167 beschriebenen Okular-Schraubenmikrometer geschehen. Den Flächeninhalt der Gefügebestandteile

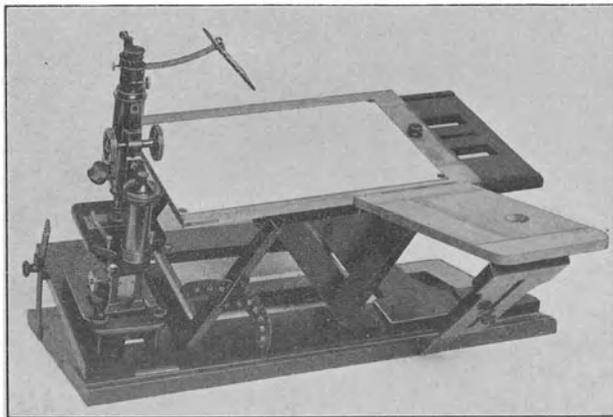


Fig. 476.

ermittelt man dagegen mit einem Planimeter, indem man mit dem Planimeterstift den Gefügebestandteil auf der Mattscheibe bei vertikalstehender Kamera umfährt.

Auch das Abzeichnen einzelner Gefügebestandteile unter Benutzung eines Zeichenapparates ist stets von Vorteil.

Fig. 476 zeigt den Zeichenapparat der Dresdner Versuchsanstalt in Verbindung mit dem Mikroskop und einem Zeichentisch nach Bernhard.

### IV. Besondere Metallographie des Eisens und seiner Legierungen.

#### § 346. Vorgänge bei der Erstarrung und Abkühlung des Eisens.

Die wichtigsten Legierungen des Eisens sind diejenigen mit dem Kohlenstoff. Wie in § 24 erläutert wurde, beeinflusst letzterer die

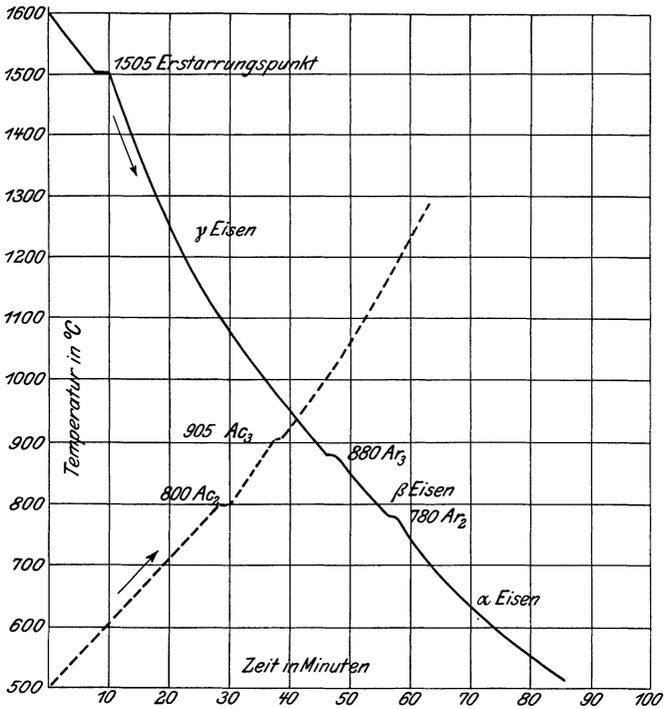


Fig. 477.

mechanischen Eigenschaften in hohem Maße und nur durch Gegenwart anderer Elemente kann der Einfluß aufgehoben, vermindert oder verstärkt werden.

Fig. 477 zeigt die Abkühlungskurve des chemisch reinen Eisens. Sie enthält außer dem durch die Erstarrung bei 1505° bedingten Haltepunkte zwei weitere bei 880° und bei 780°.

Während bei 1505° das Material aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand übergeht, erleidet es bei 880° und 780° allotrope Umwandlungen. Man bezeichnet den Zustand, in welchem sich das Eisen

während der Abkühlung von  $1505^{\circ}$ — $880^{\circ}$  befindet, als „ $\gamma$ -Modifikation“. Diese geht bei  $880^{\circ}$  in die „ $\beta$ -Modifikation“ über, welche sich wiederum bei  $780^{\circ}$  in die dritte „Modifikation“ des Eisens, das  $\alpha$ -Eisen verwandelt.  $\gamma$ -Eisen und  $\beta$ -Eisen sind nicht magnetisch; erst bei  $780^{\circ}$  erwirbt das Eisen die Eigenschaft, vom Magneten angezogen zu werden.

Beim Erhitzen des Eisens machen sich ebenfalls drei Haltepunkte bemerkbar. Während aber derjenige beim Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand bei derselben Temperatur  $1505^{\circ}$ , wie beim Abkühlen auftritt, weicht die Lage der beiden Umwandlungspunkte ab. Sie treten bei Temperaturen auf, die um etwa 20 und  $25^{\circ}$  höher liegen als bei der Abkühlung. Die Umwandlungspunkte werden mit den Buchstaben  $A_2$  und  $A_3$  bezeichnet, wobei den zur Erhitzungskurve gehörigen der Index  $c$  (Caleszenz) und den zur Abkühlungskurve gehörigen der Index  $r$  (Recaleszenz) angefügt wird. Den Temperaturunterschied zwischen  $A_r$  und  $A_c$  nennt man Hysteresis.

Das erste Erstarrungsbild der Eisenkohlenstofflegierungen wurde im Jahre 1899 von Roberts-Austen mitgeteilt und im Jahre 1900 von Backhuis Roozeboom theoretisch ergänzt, so daß es das aus Fig. 478 ersichtliche Aussehen erlangte.<sup>1)</sup> Auf Grund weiterer Forschungen wurde später durch Benedicks und Goerens die Kenntnis der Vorgänge bei der Abkühlung der Eisenkohlenstofflegierungen erweitert und ein besonderes Diagramm für das metastabile<sup>2)</sup> karbidhaltige und das stabile graphithaltige System entworfen. Auf diese Diagramme kann hier jedoch nicht eingegangen werden, sondern es ist auf die einschlägige Literatur<sup>3)</sup> zu verweisen.

Oberhalb der beiden Kurvenzweige  $ABD$  befindet sich das Eisen im flüssigen Zustande, die Lösung ist homogen, und die Komponenten befinden sich im Gleichgewicht.

Verfolgt man zunächst den Abkühlungsvorgang einer Legierung mit 1,6 % Kohlenstoff, so zeigt sich, daß bei  $c$ , d. i. beim Überschreiten der durch den Kurvenzweig  $AB$  festgelegten Gleichgewichtsgrenze, Mischkristalle ausgeschieden werden, deren Kohlenstoffgehalt aber geringer ist als derjenige der übrigen Schmelze. Infolgedessen reichert sich bei sinkender Temperatur die Mutterlauge immer mehr mit Kohlenstoff an. Gleich-

<sup>1)</sup> B. Roozeboom, Eisen und Stahl vom Standpunkte der Phasenlehre. Zeitschr. f. physikalische Chemie 1900 und Goerens, Über die Vorgänge bei der Erstarrung und Umwandlung von Eisen-Kohlenstofflegierungen, Halle 1907, S. 149.

<sup>2)</sup> Heyn, Labile und metastabile Gleichgewichte bei Eisenkohlenstofflegierungen. Zeitschr. f. Elektrochemie 1904, S. 491.

<sup>3)</sup> Benedicks, Über das Gleichgewicht und die Erstarrungsstrukturen des Systems Eisenkohlenstoff, Metallurgie 1906, S. 393; Goerens, Über die Vorgänge bei der Erstarrung und Umwandlung von Eisenkohlenstofflegierungen, Halle 1907.

zeitig werden aber auch die auscheidenden Mischkristalle kohlenstoffreicher, und die bereits ausgeschiedenen nehmen Kohlenstoff durch Diffusion aus der Mutterlauge auf. Bei der Temperatur, welche dem Punkte *d* entspricht, ist die Masse völlig erstarrt; sie besteht aus homogenen Mischkristallen von Eisen und 1,6 % Kohlenstoff. In derselben Weise geht die Erstarrung

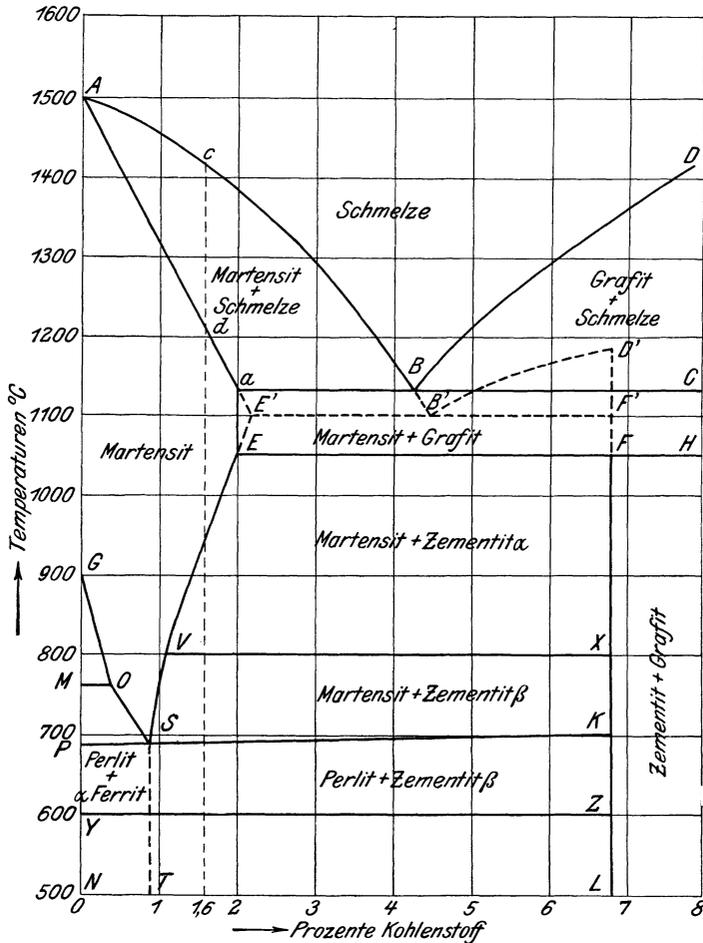


Fig. 478.

und Abkühlung sämtlicher Schmelzen vor sich, die weniger als 2% Kohlenstoff enthalten. Der Kohlenstoff befindet sich darin als Karbid.

Die Schmelzen mit 2—4,2% Kohlenstoff scheiden zunächst Mischkristalle aus, deren Zusammensetzung durch die Kurvenzweige *AB* und *Aa* bestimmt ist. Bei 1130°, d. i. die der Geraden *aC* entsprechende Temperatur, bestehen alle Schmelzen aus Mischkristallen mit 2% Kohlenstoff-

gehalt und aus einer Mutterlauge, deren Kohlenstoffgehalt durch den Punkt *B* der Kurve *AB* bei  $1130^{\circ}$  zu  $4,2\%$  gegeben ist. Diese Mutterlauge ist eutektisch und erstarrt deshalb zu einer Mischung von Graphit und Mischkristallen mit  $2\%$  Kohlenstoffgehalt. Alle festen Lösungen von Kohlenstoff in Eisen, d. s. die bis  $2\%$  Kohlenstoffgehalt, werden mit Martensit bezeichnet, es bestehen somit bei  $1130^{\circ}$  die Legierungen bis  $2\%$  Kohlenstoffgehalt nur aus Martensit und bei  $2-4,2\%$  Kohlenstoffgehalt aus Martensit-Graphit.

Die hypereutektischen Schmelzen, also die mit mehr als  $4,2\%$  Kohlenstoffgehalt, scheiden zuerst Graphit aus, werden somit kohlenstoffärmer, und wenn ihre Zusammensetzung die des Eutektikums erreicht hat, erstarrt der letzte flüssige Rest zu Martensit-Graphit.

Diese Erstarrungsvorgänge treten natürlich nur dann in der beschriebenen Weise auf, wenn keine Unterkühlung der Schmelze erfolgt. Unterkühlung verschiebt völlig das Erstarrungsbild.<sup>1)</sup>

Wie bereits erwähnt, bestehen nach der Erstarrung alle Legierungen mit  $2\%$  Kohlenstoffgehalt aus homogenen Mischkristallen, dem Martensit. Bei weiterer Abkühlung erleidet bei Temperaturen, deren Höhe die Kurvenzweige *GS*, *SE* bestimmen, der Martensit Veränderungen. Eine Legierung mit  $0,85\%$  Kohlenstoffgehalt, die das Erstarrungsbild als „eutektoid“<sup>2)</sup> kennzeichnet, geht z. B. bei  $700^{\circ}$  in einen anderen Zustand über; die feste homogene Lösung zerfällt in Eisenkarbid und Eisen, es entsteht aus dem Martensit der Perlit. Das Eisenkarbid wird Cementit und das Eisen Ferrit genannt, so daß der Perlit eine eutektoide Mischung von Ferrit und Cementit darstellt.

Fig. 479 zeigt vergrößert denjenigen Teil des Diagramms (Fig. 478), der für die Umwandlungen der Eisen-Kohlenstofflegierungen von  $0-0,85$  und  $0,85-1,8\%$  Kohlenstoffgehalt in Frage kommt. Auf dem Kurvenzweig *SE* beginnt die Abscheidung von Cementit, da die feste Lösung bei der eutektoiden Temperatur ( $700^{\circ}$ ) nicht mehr als  $0,85\%$  Kohlenstoff gelöst zu halten vermag.

Aus dem analogen Grunde scheidet die feste Lösung bei Temperaturen, deren Ort die Kurve *GOS* ist, Eisen (Ferrit) ab, wodurch sich die Mischkristalle mit Kohlenstoff anreichern, bis sie bei der eutektoiden Temperatur den Gehalt der eutektoiden Mischung erlangt haben und bei weiter sinkender Temperatur in Perlit zerfallen.

In innigem Zusammenhange mit diesen Veränderungen stehen die Umwandlungen des Eisens selbst. Auf dem Kurvenstück *GO* beginnt die Abscheidung von  $\beta$ -Eisen aus dem Martensit, und die feste Lösung besteht bis zur Geraden *MO* aus  $\beta$ -Eisen und Martensit. Hier erfolgt die Um-

<sup>1)</sup> Backhuis Roozeboom, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. XXXVII, 1900.

<sup>2)</sup> Die Bezeichnung eutektoid wird angewandt für feste Lösungen, während eutektisch sich auf flüssige Lösungen bezieht.

wandlung des  $\beta$ -Eisens in  $\alpha$ -Eisen, und der noch in Lösung vorhandene Martensit scheidet jetzt  $\alpha$ -Eisen ab, bis er sich selbst bei der eutektoiden Temperatur ( $700^\circ$ ) in  $\alpha$ -Eisen und Cementit trennt.

§ 347. Die Gefügebestandteile der Eisen-Kohlenstofflegierungen.

Wie in § 346 gezeigt wurde, erleidet das Eisen nach dem Erstarren während der Abkühlung verschiedene Umwandlungen, welche die Gefügebildung verursachen.

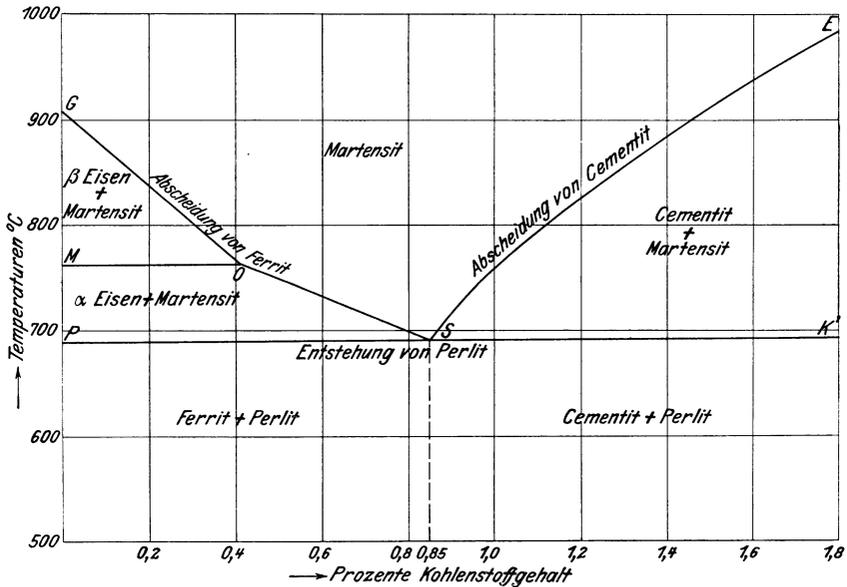


Fig. 479.

Die erwähnten Gefügebestandteile waren:

1. der Ferrit, kohlenstoffreies, reines Eisen;
2. der Cementit, Eisenkarbid  $Fe_3 C$ ;
3. der Perlit, das eutektoide Gemenge von Ferrit und Cementit;
4. der Martensit, die homogene feste Lösung des Kohlenstoffes in Eisen;
5. der Graphit, freier Kohlenstoff.

Hierzu treten noch Sorbit und Troostit, welche als Übergangsformen zu betrachten sind, und Austenit, ferner auch noch Ferronit<sup>1)</sup> und Osmondit.<sup>2)</sup> Als besondere Form des Kohlenstoffes ist außerdem noch Temperkohle zu nennen.

<sup>1)</sup> Benedicks, Recherches physiques etc. A. Felix, Leipzig 1904.

<sup>2)</sup> Heyn und Bauer, Über den inneren Aufbau der gehärteten und angelassenen Werkzeugstähle, Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt 1906, S. 29.

## a) Der Ferrit.

Der Ferrit ist chemisch reines oder doch kohlenstoffreies Eisen (s. S. 533).

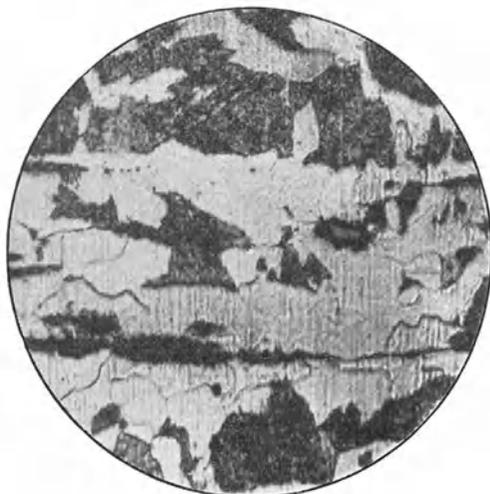


Fig. 480. Vergr. = 250.

Die hellen Teile sind Ferrit, die dunklen Perlit.

Bei mikroskopischer Beobachtung erscheint er aus Körnern bestehend, deren Begrenzungslinien sich scharf abzeichnen, aber keine kristallinische Orientierung besitzen (s. Fig. 480). Er wird sichtbar gemacht durch Relief- oder Ätzpolieren und durch Behandlung mit Säure.

Die innere Struktur der Körner läßt sich am besten mit Kupferammoniumchloridlösung (s. S. 524) und verdünnter Salpetersäure (s. S. 523) entwickeln. Die Körner werden dadurch zum Teil rau und dunkler und bei starken Vergrößerungen werden auf ihnen nach kräftiger Ätzung „Ätzfiguren“, — das wichtigste Kennzeichen des Ferrits — sichtbar (s. Fig. 481).

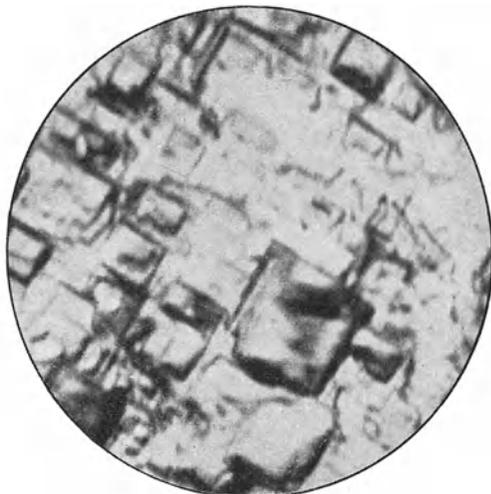


Fig. 481. Vergr. = 2500.

Die würfelförmigen Gebilde sind die Ätzfiguren.

Die Ätzfiguren entsprechen in ihrem Aussehen Eindrücken kleiner Würfel in eine ebene Fläche. In ein und demselben Ferritkorn haben alle diese Vertiefungen gleiche Gestalt und Anordnung. Geht man aber zu einem benachbarten Ferritkorn über, so ist die Gestalt und Anordnung von der im ersten Ferritkorn verschieden.<sup>1)</sup>

Silicium, Phosphor, Mangan, welche der Ferrit in erheblichen Mengen in fester Lösung zu halten

vermag, verändern das Aussehen der Ferritkörner nicht.

<sup>1)</sup> Näheres s. Heyn, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing., 1900, S. 142.

b) Der Cementit.

Cementit ist ein Eisenkarbid von der Formel  $Fe_3C$  und besteht aus 93,33 % Eisen und 6,66 % Kohlenstoff. Er ist der härteste Gefügebestandteil in den Eisen-

Kohlenstofflegierungen und erscheint deshalb bei Relief- oder Ätzpolieren stets erhaben (s. Fig. 482).

Nach der Behandlung mit Säuren bleibt er ungefärbt und spiegelblank, nur durch Behandlung mit Natriumpikrat färbt er sich braun bis braunschwarz (s. S. 525), während die übrigen Struktur-

bestandteile unangegriffen bleiben. Ist er dagegen in sehr feinen Lamellen (weniger als 0,001 mm) gegenwärtig, so wirkt das Natriumpikrat nicht ein.

Ritzen des Schliffes mit einer feinen Stahlnadel hat zur Folge, daß dieselbe über den Cementit hinweggleitet ohne ihn zu verletzen, die daneben liegenden Gefügebestandteile dagegen angreift.

c) Der Perlit.

Der Perlit ist das Eutektikum von Ferrit und Cementit. Er kommt vor als lamellarer (s. Fig. 483) oder körniger Perlit (s. Fig. 484). In der ersten Form erscheint er, wenn das Material ohne Störung zu erkalten vermochte, er wird dagegen körnig, wenn die Abkühlung durch Glühen verzögert oder wenn Material, dessen Gefüge bereits

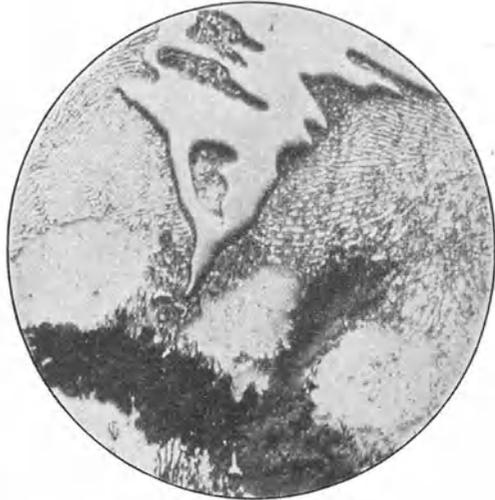


Fig. 482. Vergr. = 500.

Der glatte erhabene weiße Teil ist Cementit, der glatte vertiefte weiße Teil ist Ferrit, der lamellare ist Perlit und der schwarze ist Temperkohle.



Fig. 483. Vergr. = 2000.

Lamellarer Perlit. Der schwarze Streifen stellt den Schnitt durch ein Graphitblatt dar.

lang durch Glühen verzögert oder wenn Material, dessen Gefüge bereits

lamellaren Perlit enthält, längere Zeit bei einer Temperatur unter  $700^{\circ}$  geglüht wird, so daß sich eine Trennung des Ferrits und Cementits vollzieht.

Den Namen Perlit erhielt der Gefügebestandteil durch Sorby wegen des perlmutterartigen Glanzes seiner Flächen.

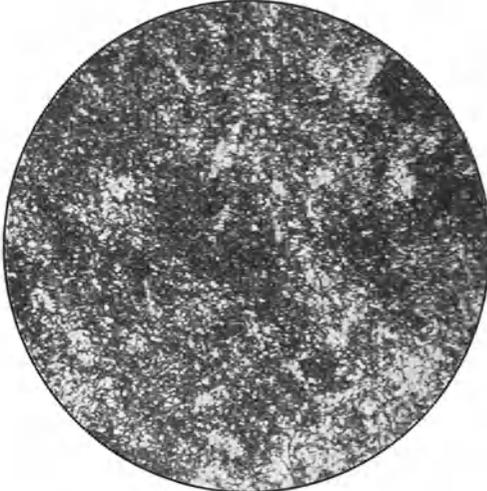


Fig. 484. Vergr. = 500.  
Körniger Perlit.

weicher als Cementit. Er besteht, wenn die geätzten Flächen bei genügend starker Vergrößerung betrachtet werden, aus feinen Nadeln, die sich nach



Fig. 485. Vergr. = 1500.  
Das ganze Gefüge besteht aus grobnadeligem Martensit.

#### d) Der Martensit.

Das Gefüge einer Legierung des Eisens mit dem Kohlenstoff besteht nur aus Martensit (s. S. 537), wenn der Kohlenstoff der Legierung durch Abschrecken in kaltem Wasser, Öl oder Quecksilber im Zustande der festen Lösung erhalten wird. Martensit ist immer härter als Ferrit, aber

weicher als Cementit. Er besteht, wenn die geätzten Flächen bei genügend starker Vergrößerung betrachtet werden, aus feinen Nadeln, die sich nach verschiedenen Richtungen schneiden (s. Fig. 485). Es ist dies das sicherste Unterscheidungsmerkmal des Martensits vom lamellaren Perlit, da sich beim Perlit die einzelnen Lamellen niemals schneiden, sondern immer parallel zueinander verlaufen. Die Temperatur, bei welcher das Abschrecken des Probestückes erfolgen muß, damit das ganze Gefüge aus Martensit besteht, ist durch das Zustandsdiagramm (s. S. 537) gegeben. Nur oberhalb der Kurve *G O S E* befindet sich der Kohlenstoff in fester Lösung mit dem Eisen, und das Abschrecken muß daher bei Temperaturen oberhalb dieser Kurven erfolgen.

findet sich der Kohlenstoff in fester Lösung mit dem Eisen, und das Abschrecken muß daher bei Temperaturen oberhalb dieser Kurven erfolgen.

Ist die Temperatur so weit gesunken, daß bereits der eine Gefügebestandteil abgeschieden wird, so bewirkt das Abschrecken, daß nur die noch vorhandene homogene Lösung des Kohlenstoffes in Eisen martensitisches Gefüge annimmt. Das Gefüge besteht alsdann aus Martensit mit Ferrit oder aus Martensit mit Cementit. Es können aber auch Übergangsformen auftreten. Erfolgt nämlich z. B. das Abschrecken in der Nähe derjenigen Temperatur, bei welcher das Abscheiden von Cementit beginnt, so kann Troostit allein oder neben Martensit entstehen. Der Name Martensit wurde dem Gefügebestandteil von Osmond zu Ehren des um die Metallographie hochverdienten Forschers Martens gegeben.

Beste Ätzmittel zur Sichtbarmachung des Martensits s. § 339, 1.

#### e) Der Troostit.

Nach Ätzen mit Pikrinsäure erscheint Troostit unter dem Mikroskop als unregelmäßige dunkle Flecken, die in Martensit eingebettet sind. Neben Martensit kann im Gefüge noch Austenit (s. unten g) oder Cementit, aber niemals Perlit vorhanden sein. Der Name Troostit wurde dem Gefügebestandteil von Osmond zu Ehren des französischen Forschers Troost gegeben.

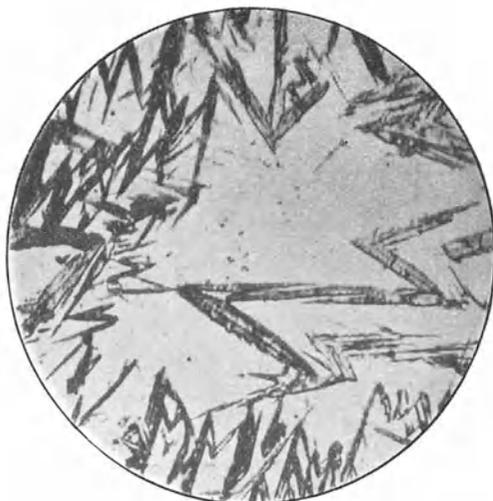


Fig. 486. Vergr. = 500.

Die hellen Bestandteile sind Austenit, die dunklen Martensit.

#### f) Der Sorbit.

Wird kohlenstoffhaltiges Eisen während der Abkühlung oberhalb der eutektoiden Temperatur abgeschreckt, wo also die Perlitbildung noch nicht begonnen hat, so entsteht an Stelle des Perlits oder neben dem Perlit ein Gefügebestandteil, dem Osmond zu Ehren von Sorby den Namen Sorbit gegeben hat. Sorbit wird durch Säuren schwarz bis braun gefärbt, und man kann einen strukturlosen Gefügebestandteil, der neben Perlit auftritt, mit Sicherheit als Sorbit ansprechen. Neben Martensit oder Austenit kann Sorbit nie vorkommen.

#### g) Der Austenit.

Austenit entsteht, wenn man Eisen, welches z. B. 1,5% Kohlenstoff enthält, bei 1100° plötzlich in Eiswasser abschreckt. Beim Ätzen mit wäßriger Salzsäure unter Zuhilfenahme des elektrischen Stromes

(s. S. 526) bleibt der Austenit hellglänzend und der gleichzeitig gegenwärtige Martensit erscheint dunkel gefärbt (s. Fig. 486). Den Martensit erkennt man an seinem Aufbau aus nadelförmigen Gebilden, während der Austenit eine fast strukturlose Masse ist.

#### h) Der Graphit.

Wird Roheisen sehr langsam aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand übergeführt, so scheidet sich ein großer Teil des Kohlenstoffes als Graphit aus, der dem Material ein graues Aussehen (graues Roheisen) verleiht. Der Graphit bildet dünne Blättchen, die, im Schriff

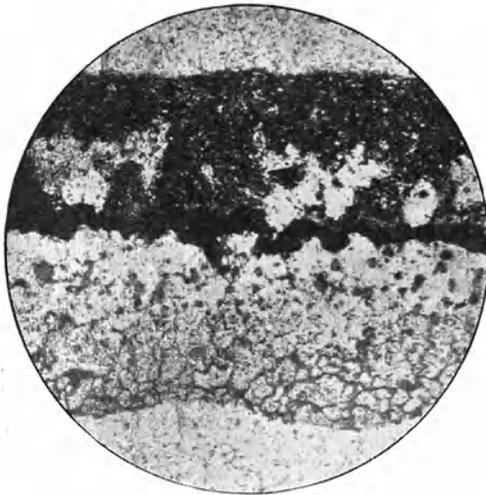


Fig. 487. Vergr. = 300.

Getempertes Gußeisen. Die schwarzen Bestandteile sind Temperkohle. Nach unten zu wird das Gefüge immer kohlenstoffärmer. Im untersten Teil des Bildes sind die Begrenzungsflächen des Ferrit zu erkennen.

geschnitten, als langgestreckte schwarze Adern erscheinen. Fig. 483 S. 539 zeigt den Schnitt durch ein in Perlit eingebettetes Graphitblatt. Wurde der Kohlenstoff nur zum Teil als Graphit abgeschieden, so bezeichnet man das Material als „halbiertes Roheisen“.

Bei schnellem Erstarren des Roheisens entsteht Weißeisen, welches den Kohlenstoff als Karbidkohle enthält. Glüht man solches Eisen nachträglich, bei etwa  $1000^{\circ}$ , so wird das Eisenkarbid (Cementit) unter Bildung von Temperkohle zerlegt.

#### i) Temperkohle.

Wie bereits vorausgeschickt, entsteht die Temperkohle beim anhaltenden Glühen von Weißeisen. Nach dem Reliefpolieren erscheint sie als schwarzer, strukturloser, in Ferrit eingebetteter Gefügebestandteil (s. Fig. 482 S. 539).

Neben ihr und Ferrit enthält das Probestück Perlit und in den meisten Fällen auch noch Cementit.

Wird temperkohlehaltiges Roheisen in Berührung mit sauerstoffabgebenden Körpern, z. B. Eisenoxyden, geglüht, so oxydiert sich die Temperkohle, und es kann fast kohlenstoffreies Eisen zurückbleiben (schmiedbarer Guß) (s. Fig. 487).

**§ 348. Anwendungsbeispiele der Metallographie als Hilfsmittel bei der Prüfung von Metallen.**

Beispiel I. Drei in der Dresdner Versuchsanstalt der Prüfung auf Zugfestigkeit mit Feinmessung der Dehnungen (s. § 15) unterzogene Stahlstäbe lieferten trotz gleicher chemischer Zusammensetzung wesentlich abweichende Ergebnisse. Die Festigkeit des einen Stabes war um 30 % geringer als die der beiden anderen und die Bruchdehnung erheblich größer. Ebenso war die elastische Dehnung dieses Stabes wesentlich von derjenigen der beiden anderen Stäbe verschieden. Da eine Wiederholung des Versuches wegen Fehlen weiteren Versuchsmaterials unmöglich war, mußte die metallographische Untersuchung zur Klarstellung des eigentümlichen Verhaltens herangezogen werden.

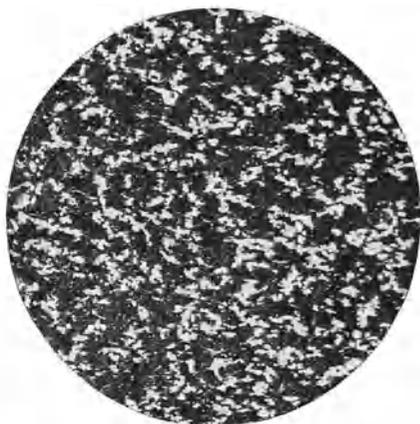


Fig. 488.



Fig. 489.

Während das Material der beiden gleichartigen Stäbe das aus Fig. 488 ersichtliche Gefüge aufwies, wurde bei dem fraglichen Stabe das in Fig. 489 dargestellte festgestellt.

Alle drei Stäbe besaßen demnach hypereutektoides Gefüge, entsprechend dem durch chemische Analyse ermittelten Kohlenstoffgehalte von 1,16 %. Während aber bei den beiden gleichartigen Stäben der Cementit gleichmäßig über den Querschnitt verteilt war, zeigte er sich im dritten Stabe als Netzwerk. Es war somit der Beweis geliefert, daß der Zustand der drei Stäbe ungleichartig war und das Ergebnis der Zerreißprobe zu Bedenken keinen Anlaß bot.

Da das Gefüge (Fig. 489) einem längere Zeit bei niedriger Temperatur geglühten Stahl entspricht, war mit Sicherheit anzunehmen, daß der Stab vor der Einlieferung ausgeglüht worden war.

Beispiel II. Es sollte festgestellt werden, ob ein von einem Museum eingeliefertes, fein ziseliertes, wertvolles Faustrohr (Feuerwaffe)

aus Schmiedeeisen oder aus Gußeisen bestand. Da das Faustrohr nicht beschädigt werden durfte, mußte eine metallographische Untersuchung an möglichst kleinen, unauffälligen Schliffstellen erfolgen. Es ergab sich, daß das Material des Rohres, weil es nur freien Ferrit neben lamellarem Perlit aufwies, nicht aus Gußeisen hergestellt und somit echt war. Das Schloß zeigte Martensitisches Gefüge und bestand demnach aus gehärtetem Stahl.

Beispiel III. An einem von Härterissen durchzogenen Fräser sollte die Ursache der Risse festgestellt werden.

Es zeigte sich, daß das Gefüge der Fräserscheibe fast bis zur Mitte aus grobnadligem Martensit bestand und nur im innersten Kern einige Troostitflecken enthielt. Dieser Befund lieferte den Nachweis, daß eine falsche Wärmebehandlung vorlag; der Fräser war von zu hoher Temperatur abgeschreckt worden.

Diese kleine Auslese einfachster Beispiele möge ausreichen, die Nutzenanwendung der Metallographie als Hilfsmittel bei der Materialprüfung zu zeigen. Im allgemeinen muß von Fall zu Fall entschieden werden, welche Prüfungsmethode anzuwenden ist und wie die Versuchsergebnisse zu deuten sind. Gewarnt muß aber davor werden, in jedem Falle, wenn die mechanische Prüfung keinen Aufschluß über die Ursachen ungentgender Widerstandsfähigkeit eines Konstruktionsteiles, z. B. bei der Erforschung der Ursachen eines Bruches, gibt, sofort die metallographischen Prüfungsmethoden heranzuziehen und eine eingehende mikroskopische Gefügeuntersuchung vorzunehmen, welche schließlich ebenfalls keinen Aufschluß gibt. Es ist ratsamer, bei der Untersuchung von Bruchursachen vor Eintritt in eine Materialprüfung erst die Art der Konstruktion genau zu prüfen und festzustellen, ob der Bruch nicht auf Konstruktionsfehler zurückzuführen ist.

---

## Anhang.

### Die makroskopische Gefügeuntersuchung des schmiedbaren Eisens.

#### § 349. Allgemeines.

Die makroskopische Untersuchung des Gefüges von ebenbearbeiteten und mit Säure geätzten Metallflächen zur Feststellung von lokalen Fehlern wie Lunkern, Schlackeneinschlüssen, verwalzten Blasen, Rissen und dergl.

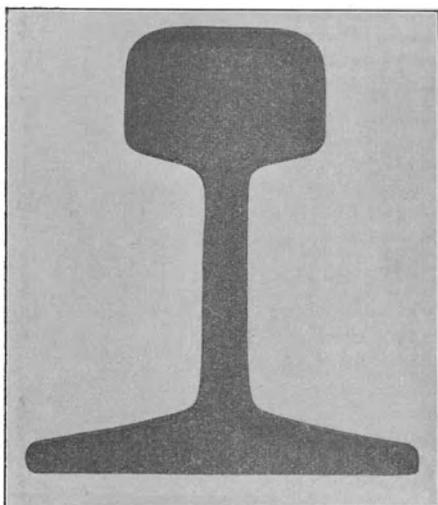


Fig. 490.

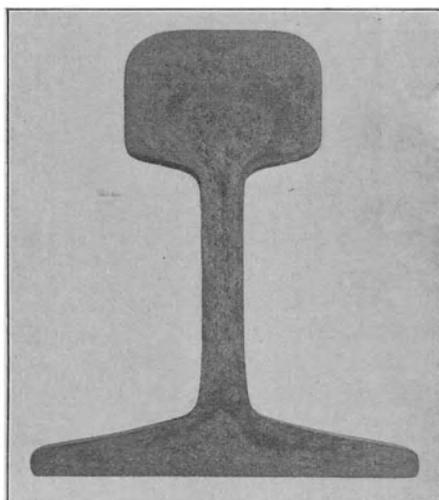


Fig. 491.

ist seit langer Zeit in Anwendung; Vorschriften über die Vornahme solcher Untersuchungen finden sich in den Lieferungsbedingungen verschiedener Behörden, in erster Linie der Staatsbahnen. Nach diesen Vorschriften sollen mit der Feile ebenbearbeitete (nicht geschliffene) Flächen mit verdünnter Salzsäure, bestehend aus 30 Teilen Salzsäure und 70 Teilen Wasser,  $3 \times 24$  Stunden lang geätzt werden. Völlig dichtes, phosphorfrees Material wird durch diese Behandlung nicht wesentlich verändert, die geätzte Fläche erscheint nur rau. Rissiges Material dagegen und

solches mit Phosphorgehalt wird angegriffen. Die Säure löst das phosphorhaltige Eisen und dringt in die Risse ein, erweitert dieselben und greift Stellen an, welche vorher gesund waren. In Fig. 490 und 491 sind zwei der Ätzung mit Salzsäure unterworfenen Schienenstücke abgebildet. Fig. 490 entspricht einer Schiene aus bestem Siemens-Martineisen mit 0,33 % Kohlenstoff, 1,26 % Mangan, 0,42 % Silicium, 0,073 % Phosphor und Fig. 491 einer solchen aus Thomaseisen mit 0,22 % Kohlenstoff, 1,37 % Mangan, 0,22 % Silicium, 0,074 % Phosphor.<sup>1)</sup> Während das Material der ersten Schiene nach der Ätzung noch völlig dicht und nur aufgeraut erscheint, ist das der zweiten von tiefen Furchen durchzogen und mit Löchern durchsetzt. Diese Beschädigungen können davon herühren, daß im Walzblock enthaltene Blasen beim Walzprozeß nicht gehörig verschweißt wurden, so daß Risse entstanden, oder daß das Material in der Kernzone Phosphorseigerungen besitzt.

Eine Unterscheidung, welcher von beiden Eigenschaften der Angriff des Ätzmittels zugeschrieben werden darf, ist nicht möglich, um so mehr als das Ätzmittel nicht nur unganze Stellen selbst freigelegt, sondern infolge Eindringens in die Risse dieselben erweitert hat.

Erst durch die Arbeiten Heyns wurden Mittel und Verfahren bekannt, welche die Benutzung der Ätzung für die makroskopische Gefügeuntersuchung in einwandfreier Weise ermöglichen. Da die Heynschen Verfahren jetzt an fast allen Prüfungsstellen eingeführt sind, werden sie hier den weiteren Ausführungen entsprechend den Mitteilungen Heyns<sup>2)</sup> auf dem Brüsseler Kongreß 1906 des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik zugrunde gelegt werden.

### § 350. Vorbereitung der Probestücke und Sichtbarmachung des Gefüges.

Von dem zu untersuchenden Eisenmaterial werden Abschnitte von etwa 10 mm Dicke mit der Säge abgetrennt, geschliffen und poliert<sup>3)</sup>. Hierauf erfolgt die Ätzung in Kupferammoniumchloridlösung (s. S. 524). Da die Abschnitte gewöhnlich größere Dimensionen besitzen, müssen sie mit besonderer Vorsicht in die Ätzflüssigkeit eingetaucht werden, damit dieselbe sofort die ganze Schlißfläche überzieht und nicht einige Stellen infolge von anhaftenden Luftblasen oder sonstiger Einflüsse unbenetzt bleiben; es entstehen sonst Streifen und Punkte auf der Schlißfläche, welche die Deutung des Gefüges verhindern oder doch erschweren. Die Einwirkungsdauer des Ätzmittels soll etwa 1 Minute betragen. Das sich absetzende schwammige Kupfer wird abgewischt. Nach Abspülen

<sup>1)</sup> Die chemische Zusammensetzung entspricht der des Schienenkopfes.

<sup>2)</sup> Bericht über Ätzverfahren zur makroskopischen Gefügeuntersuchung des schmiedbaren Eisens und über die damit zu erzielenden Ergebnisse.

<sup>3)</sup> Hierzu kann die auf S. 518 beschriebene Methode benutzt werden.

mit Wasser wird das Probestück noch in Alkohol gewaschen und dann mit einem weichen Tuche abgetupft oder besser mit Äther getrocknet. Die Aufbewahrung erfolgt in einem mit Chlorcalcium trocken gehaltenen Behälter.

Während Salzsäure Löcher in die Schlißfläche frißt oder vorhandene erweitert, geschieht dies bei der Ätzung mit Kupferammoniumchloridlösung nicht. Sie greift die einzelnen Gefügebestandteile gleichmäßig an, so daß die Schlißfläche nicht uneben wird und infolgedessen neben der makroskopischen auch eine mikroskopische Beobachtung stattfinden kann. Bemerkte man also Hohlräume oder mikroskopische Vertiefungen im geätzten Schliß, so waren sie bereits darin vorhanden und sind nicht die Folge der Ätzung. Sehr kleine Poren machen sich dadurch kenntlich, daß aus ihnen auch nach mehrmaligem Abwischen Ätzflüssigkeit ausschwitzt.

### § 351. Reaktion auf Kohlenstoffverteilung.

Manchmal ist es von Wichtigkeit, die Verteilung des Kohlenstoffgehaltes innerhalb eines Probestückes kennen zu lernen, z. B. wenn die Wirkung des Temperns oder Einsatzhärtens festgestellt werden soll. Eine chemische Analyse der einzelnen Zonen des Materialstückes wäre zu langwierig und könnte wegen des allmählichen Überganges des kohlenstoffärmeren Teiles nach dem kohlenstoffreicheren nicht mit Genauigkeit erfolgen.

Die Ätzung mit Kupferammoniumchloridlösung bewirkt bei ungehärtetem, schmiedbarem Eisen eine dunklere Färbung der kohlenstoffreicheren Stellen, welche dadurch veranlaßt wird, daß der Perlit gefärbt wird, während Ferrit ungefärbt bleibt. Da kohlenstoffärmere Stellen mehr Ferrit enthalten als kohlenstoffreichere, müssen jene heller erscheinen als diese. Eine anschließende mikroskopische Untersuchung des Gefüges ermöglicht auch schätzungsweise eine Feststellung der Höhe des Kohlenstoffgehaltes, indem man die Menge des freien Ferrits mit der des Eutektikum Perlit vergleicht.

Liegt das Probestück in gehärtetem Zustande vor, so muß es für den Versuch ausgeglüht werden, da Martensitisches Gefüge eine Schätzung des Kohlenstoffgehaltes ausschließt.

### § 352. Reaktion auf phosphorreichere Stellen.

Phosphorhaltiges Eisen ist kaltbrüchig und sein Gefüge grobkristallinisch. Zeigt daher ein Material an der Bruchstelle teilweise grobkristallinisches Gefüge, so liegt die Vermutung nahe, daß daselbst eine Anreicherung von Phosphor vorhanden ist.

Die Ätzung mit Kupferammoniumchloridlösung bewirkt eine Dunkel-färbung der phosphorreicherer Stellen des Schlißes, die sich von der durch Kohlenstoffanreicherung bewirkten dadurch unterscheidet, daß sie bronze-

farben erscheint. Die Färbung ist aber oft nicht deutlich genug, so daß die Unterscheidung schwer fällt. Besser führt daher die Tiefätzung mit Salzsäure 3 : 7 (s. S. 545) zum Ziele, welche aber mikroskopische Beobachtung ausschließt. Salzsäure besitzt für phosphorhaltiges Eisen eine größere Lösungsfähigkeit als für phosphorarmes, so daß phosphorreiche Stellen im Schliffe mehr angegriffen werden als phosphorarme. Die Ätzung darf aber nicht zu lange ausgedehnt werden, weil sonst Anfressen der benachbarten Teile stattfindet und die Beurteilung der Wirkung der Säure verhindert wird.

Die Dunkelfärbung der phosphorreichen Stellen durch Kupferammoniumchloridlösung beruht darauf, daß Ferritkristalle, welche Eisenphosphat in fester Lösung enthalten, vermutlich durch die Bildung von Phosphorkupfer auf dem Schliffe unter der Wirkung des Ätzmittels dunklere Färbung annehmen. Reines Eisenphosphat wird von Kupferammoniumchloridlösung nicht angegriffen, es bleibt hell, ähnlich wie der Cementit. Auch Ferrit, der mehr als 1 % Phosphor enthält, wird nicht gefärbt. Dieser hohe Gehalt kommt aber bei schmiegbaren Eisensorten nie, auch nicht in Seigerungen vor; da aber bereits ein Gehalt von 0,2 % Phosphor schädlich auf die mechanischen Eigenschaften des Eisens einwirkt, ist die Bestimmungsmethode genügend zuverlässig, wenn man das Mikroskop zu Hilfe nimmt.

### § 353. Reaktion auf schwefelreichere Stellen.

Außer Phosphor nimmt auch der Schwefel an der Seigerung teil, und es ist dies von Nachteil, weil schwefelhaltiges Eisen „rotbrüchig“ (s. S. 132) ist. Manganfreies Schweißisen neigt schon bei 0,02 % Schwefelgehalt zum Rotbruch, während ein Mangangehalt die Wirkung aufhebt oder vermindert.

Für die Sichtbarmachung örtlicher Schwefelanreicherungen im Eisen gibt Heyn folgendes Verfahren an: Auf der Schnittfläche, die nicht besonders poliert, sondern nur glattgefeilt zu sein braucht, wird ein Seidenläppchen aufgelegt und mit Pinsel mit einer Quecksilberchloridlösung angefeuchtet. Darauf wird Salzsäure auf das Läppchen aufgetragen. An den Stellen, wo Schwefelmetalleinschlüsse in größeren Anhäufungen liegen, soll der entwickelte Schwefelwasserstoff das Läppchen dunkel färben.

Unter dem Mikroskop erscheinen Schwefelmetalleinschlüsse nach der Ätzung grau gefärbt.

### § 354. Entscheidung, ob ein Material Schweißisen oder Flußeisen ist.

Manchmal bietet die Entscheidung, ob bei Zerreißversuchen Schweißisen oder Flußeisen vorliegt, Schwierigkeiten, da die Beurteilung aus der Beschaffenheit der Bruchflächen allein nicht möglich ist. Unterwirft man dagegen das Probestück der Ätzprobe, so werden bei Schweißisen, welches

bekanntlich oft durch Paketieren verschiedener Eisensorten erzeugt wird, die einzelnen, beim Auswalzen entstandenen Bänder verschieden stark angegriffen und gefärbt. Außerdem werden die Schweißnähte der einzelnen Bänder mit den darin angehäuften Einschlüssen von Schweißschlacke sichtbar, welche ein untrügliches Zeichen für Schweiß Eisen sind.

Im Flußeisen können zwar auch Gefügeverschiedenheiten vorhanden sein, aber nicht in der Art wie bei Schweiß Eisen. Da Flußeisen in dem Zustande verwalzt wird, in welchem es sich nach dem Erstarren befindet, muß das Gefüge an allen Stellen des Quer- oder Längsschnittes gleichartig sein. Das Eisen kann höchstens mikroskopisch kleine Schlackeneinschlüsse oder unter Umständen, wenn blasiges Material ausgewalzt wurde, Risse enthalten. In Fig. 492 ist ein Schnitt durch einen Schweiß Eisenzerreißstab und in Fig. 493 ein solcher durch einen Flußeisenstab abgebildet.

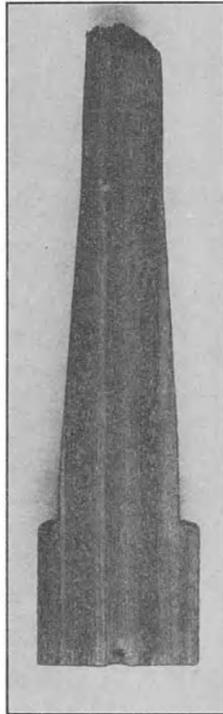


Fig. 492.

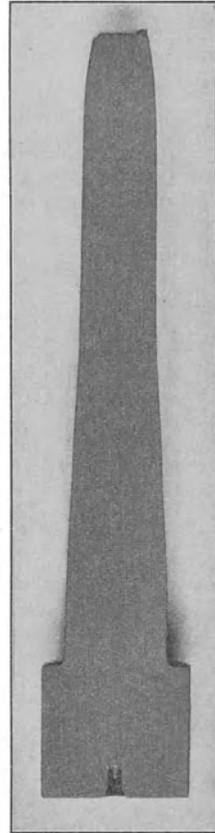


Fig. 493.

**§ 355. Sichtbarmachen von Deformationen, denen das Probestück ausgesetzt wurde.<sup>1)</sup>**

Wird ein Schliff eines Probestückes, das örtliche, bleibende Formveränderungen erlitten hat, mit Kupferammoniumchlorid geätzt, so erscheinen diejenigen Stellen, welche Zugspannungen erlitten haben, dunkler. Fig. 494

<sup>1)</sup> S. a. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 433: Heyn, Die Umwandlung des Kleingefüges von Eisen und Kupfer.

stellt einen Schnitt durch den Probekörper einer Kaltbiegeprobe aus Flußeisen (s. § 79) dar. An der auf Zug beanspruchten Seite haben sich die einzelnen Faserbündel entsprechend ihrem Abstände von der Neutralachse gegeneinander verschoben und die dadurch hervorgerufenen Spannungen haben eine Lockerung des Gefüges an den betreffenden Stellen bewirkt.

Dieselbe Erscheinung wird durch Fig. 495 und Fig. 496 belegt, welche Längsschnitten von Druckprobekörpern nach erfolgter Stauchung

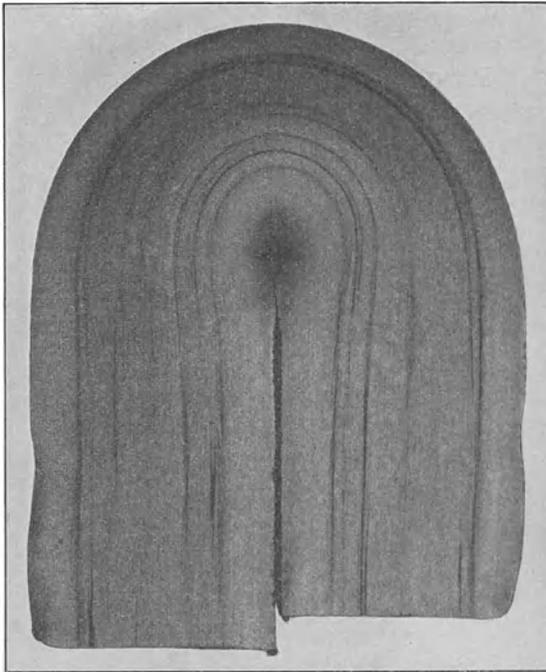


Fig. 494.

entsprechen. Der eine Probekörper ist aus Schweißeisen und der andere aus Flußeisen (s. a. S. 19 und 56).

Auch zur Entscheidung der Herstellungsweise eines Konstruktionsteiles leistet das Ätzverfahren vorzügliche Dienste.

Soll z. B. festgestellt werden, ob eine gekröpfte Kurbelwelle aus dem Vollen gearbeitet oder durch Biegen eines Rundeisenstabes erfolgte, so kann dies durch Untersuchung einer Biegungsstelle erfolgen. Während eine aus dem Vollen gearbeitete Welle (Fig. 497) keine Faserkrümmungen

zeigt, wird eine gebogene Krümmungen, wie aus Fig. 498 ersichtlich, aufweisen.<sup>1)</sup>

Schweißnähte oder Lötstellen lassen sich ebenfalls sichtbar machen; somit gestattet das Ätzverfahren den Nachweis, ob ein Gegenstand, z. B. ein Rohr, gezogen, geschweißt oder gelötet ist.

Fig. 499 zeigt den Längsschnitt durch einen Zerreißstab, der dem Kopfe einer autogen geschweißten Straßenbahnschiene entnommen und zur Ermittlung der Wirksamkeit der Schweißung der Zerreißprobe unterworfen wurde. Die mit Kupferammoniumchlorid geätzte Schlißfläche läßt die Schweißstelle erkennen und zeigt durch die Helligkeit deutlich, daß das innerhalb der Schweißstelle gelegene Material kohlenstoffärmer ist (s. § 351) als das seiner Umgebung und somit ein kohlenstoffarmes Eisen zum Zusammenfügen der Schienen benutzt wurde.



Fig. 495.

### § 356. Hilfsmittel zur Beobachtung der Struktur.

Nicht immer lassen sich Einschlüsse, unganze Stellen u. dergl. im Material mit dem bloßen Auge erkennen oder mit dem gewöhnlichen photographischen Apparate festhalten. In solchen Fällen muß man schwache Vergrößerungen zur Beobachtung oder photographischen Aufnahme verwenden. Solange man es

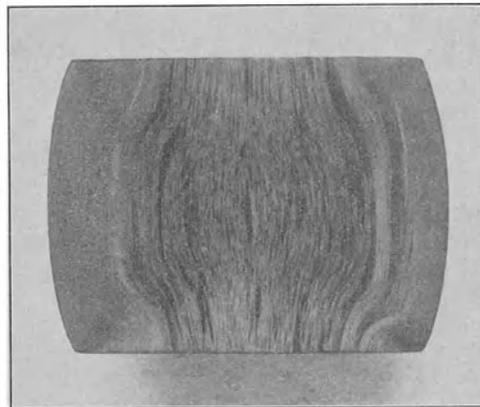


Fig. 496.

<sup>1)</sup> Die Figuren stellen Schnitte durch Automobilkurbelwellen der Poldihütte in Kladno dar, die solche Wellen aus dem Vollen arbeitet oder auch durch Biegen aus Spezialstahl erzeugt.

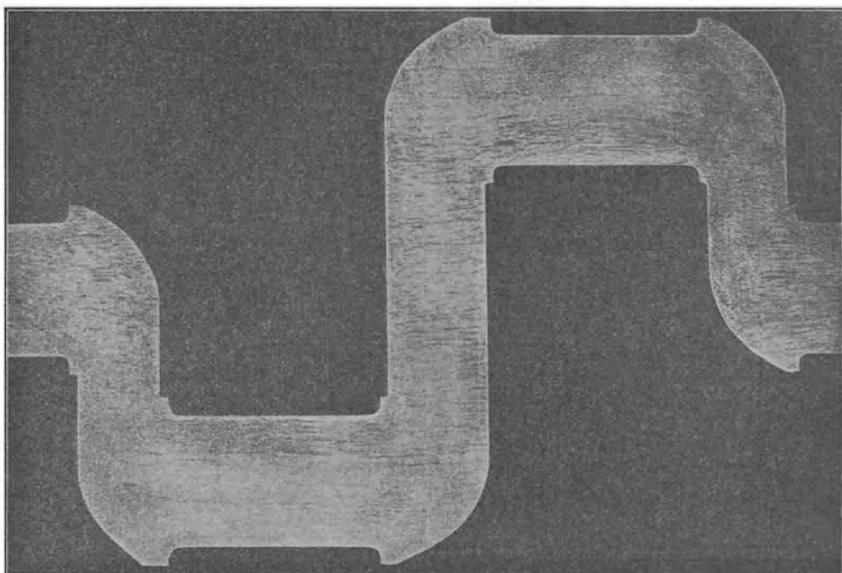


Fig. 497.

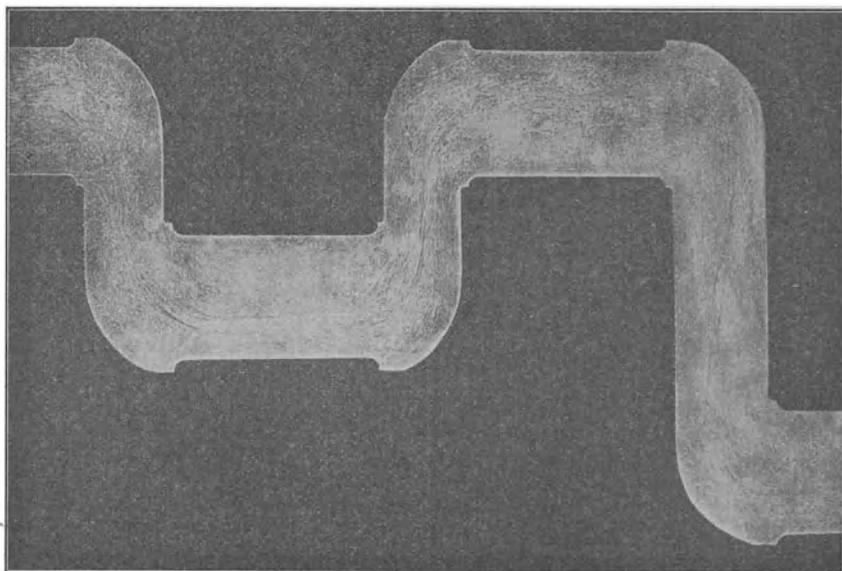


Fig. 498.

mit ebenen Beobachtungsflächen zu tun hat, kann man die in §§ 340—344 angegebenen Hilfsmittel benutzen. Sind die betreffenden Flächen aber uneben, wie es bei Bruchstellen der Fall ist, so versagen diese Hilfs-

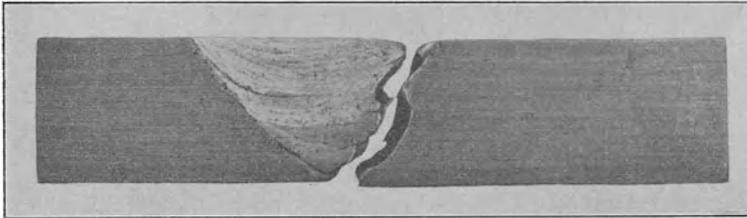


Fig. 499.

mittel, und man muß für die Beobachtungen Mikroskope benutzen, welche die Tiefenunterschiede ausgleichen. Ein solches Mikroskop ist das

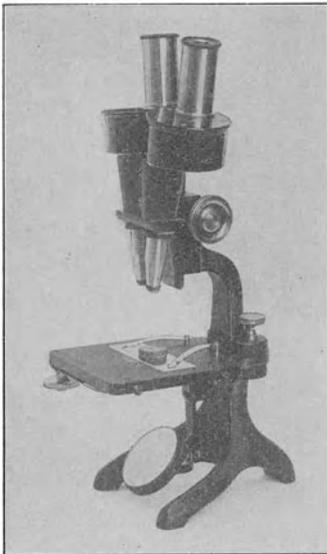


Fig. 500.

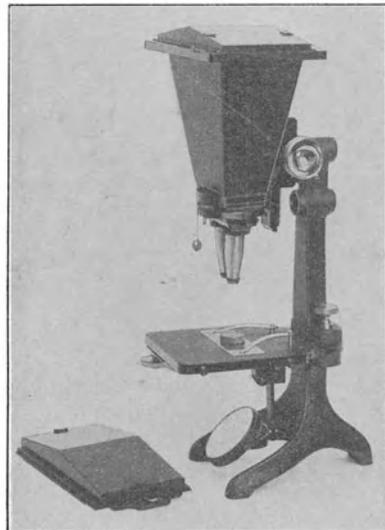


Fig. 501.

binokulare nach Greenough, bei dem durch Kombination zweier vollständiger und zwar bildaufrichtender Mikroskope stereoskopisches Sehen ermöglicht wird. Fig. 500 zeigt das Mikroskop für unmittelbare Beobachtung und Fig. 501 die Kombination desselben mit einer stereoskopischen Kamera.

Einen nach Fertigstellung d. B. erschienenen Bericht, welcher die Nutzenanwendung der makroskopischen Gefügeuntersuchung zeigt, s. Mitteilungen über Forschungsarbeiten usw. Heft 59, Berlin 1908.

**Tafel der Potenzen, Wurzeln, Briggschen Logarithmen,  
reziproken Werte, Kreisumfänge und Kreisflächen.**

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
1	1	1	1,0000	1,0000	0,00000	1000,000	3,142	0,7854	1
2	4	8	1,4142	1,2599	0,30103	500,000	6,283	3,1416	2
3	9	27	1,7321	1,4422	0,47712	333,333	9,425	7,0686	3
4	16	64	2,0000	1,5874	0,60206	250,000	12,566	12,5664	4
5	25	125	2,2361	1,7100	0,69897	200,000	15,708	19,6350	5
6	36	216	2,4495	1,8171	0,77815	166,667	18,850	28,2743	6
7	49	343	2,6458	1,9129	0,84510	142,857	21,991	38,4845	7
8	64	512	2,8284	2,0000	0,90309	125,000	25,133	50,2655	8
9	81	729	3,0000	2,0801	0,95424	111,111	28,274	63,6173	9
<b>10</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3,1623</b>	<b>2,1544</b>	<b>1,00000</b>	<b>100,000</b>	<b>31,416</b>	<b>78,5398</b>	<b>10</b>
11	121	1331	3,3166	2,2240	1,04139	90,9091	34,558	95,0332	11
12	144	1728	3,4641	2,2894	1,07918	83,3333	37,699	113,097	12
13	169	2197	3,6056	2,3513	1,11394	76,9231	40,841	132,732	13
14	196	2744	3,7417	2,4101	1,14613	71,4286	43,982	153,938	14
15	225	3375	3,8730	2,4662	1,17609	66,6667	47,124	176,715	15
16	256	4096	4,0000	2,5198	1,20412	62,5000	50,265	201,062	16
17	289	4913	4,1231	2,5713	1,23045	58,8235	53,407	226,980	17
18	324	5832	4,2426	2,6207	1,25527	55,5556	56,549	254,469	18
19	361	6859	4,3589	2,6684	1,27875	52,6316	59,690	283,529	19
<b>20</b>	<b>400</b>	<b>8000</b>	<b>4,4721</b>	<b>2,7144</b>	<b>1,30103</b>	<b>50,0000</b>	<b>62,832</b>	<b>314,159</b>	<b>20</b>
21	441	9261	4,5826	2,7589	1,32222	47,6190	65,973	346,361	21
22	484	10648	4,6904	2,8020	1,34242	45,4545	69,115	380,133	22
23	529	12167	4,7958	2,8439	1,36173	43,4783	72,257	415,476	23
24	576	13824	4,8990	2,8845	1,38021	41,6667	75,398	452,389	24
25	625	15625	5,0000	2,9240	1,39794	40,0000	78,540	490,874	25
26	676	17576	5,0990	2,9625	1,41497	38,4615	81,681	530,929	26
27	729	19683	5,1962	3,0000	1,43136	37,0370	84,823	572,555	27
28	784	21952	5,2915	3,0366	1,44716	35,7143	87,965	615,752	28
29	841	24389	5,3852	3,0723	1,46240	34,4828	91,106	660,520	29
<b>30</b>	<b>900</b>	<b>27000</b>	<b>5,4772</b>	<b>3,1072</b>	<b>1,47712</b>	<b>33,3333</b>	<b>94,248</b>	<b>706,858</b>	<b>30</b>
31	961	29791	5,5678	3,1414	1,49136	32,2581	97,389	754,768	31
32	1024	32768	5,6569	3,1748	1,50515	31,2500	100,531	804,248	32
33	1089	35937	5,7446	3,2075	1,51851	30,3030	103,673	855,299	33
34	1156	39304	5,8310	3,2396	1,53148	29,4118	106,814	907,920	34
35	1225	42875	5,9161	3,2711	1,54407	28,5714	109,956	962,113	35
36	1296	46656	6,0000	3,3019	1,55630	27,7778	113,097	1017,88	36
37	1369	50653	6,0828	3,3322	1,56820	27,0270	116,239	1075,21	37
38	1444	54872	6,1644	3,3620	1,57978	26,3158	119,381	1134,11	38
39	1521	59319	6,2450	3,3912	1,59106	25,6410	122,522	1194,59	39
<b>40</b>	<b>1600</b>	<b>64000</b>	<b>6,3246</b>	<b>3,4200</b>	<b>1,60206</b>	<b>25,0000</b>	<b>125,66</b>	<b>1256,64</b>	<b>40</b>
41	1681	68921	6,4031	3,4482	1,61278	24,3902	128,81	1320,25	41
42	1764	74088	6,4807	3,4760	1,62325	23,8095	131,95	1385,44	42
43	1849	79507	6,5574	3,5034	1,63347	23,2558	135,09	1452,20	43
44	1936	85184	6,6332	3,5303	1,64345	22,7273	138,23	1520,53	44
45	2025	91125	6,7082	3,5569	1,65321	22,2222	141,37	1590,43	45
46	2116	97336	6,7823	3,5830	1,66276	21,7391	144,51	1661,90	46
47	2209	103823	6,8557	3,6088	1,67210	21,2766	147,65	1734,94	47
48	2304	110592	6,9282	3,6342	1,68124	20,8333	150,80	1809,56	48
49	2401	117649	7,0000	3,6593	1,69020	20,4082	153,94	1885,74	49
<b>50</b>	<b>2500</b>	<b>125000</b>	<b>7,0711</b>	<b>3,6840</b>	<b>1,69897</b>	<b>20,0000</b>	<b>157,08</b>	<b>1963,50</b>	<b>50</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^3}{4}$	$n$
<b>50</b>	2500	125000	7,0711	3,6840	1,69897	20,0000	157,08	1963,50	<b>50</b>
51	2601	132651	7,1414	3,7084	1,70757	19,6078	160,22	2042,82	51
52	2704	140608	7,2111	3,7325	1,71600	19,2308	163,36	2123,72	52
53	2809	148877	7,2801	3,7563	1,72428	18,8679	166,50	2206,18	53
54	2916	157464	7,3485	3,7798	1,73239	18,5185	169,65	2290,22	54
55	3025	166375	7,4162	3,8030	1,74036	18,1818	172,79	2375,83	55
56	3136	175616	7,4833	3,8259	1,74819	17,8571	175,93	2463,01	56
57	3249	185193	7,5498	3,8485	1,75587	17,5439	179,07	2551,76	57
58	3364	195112	7,6158	3,8709	1,76343	17,2414	182,21	2642,08	58
59	3481	205379	7,6811	3,8930	1,77085	16,9492	185,35	2733,97	59
<b>60</b>	3600	216000	7,7460	3,9149	1,77815	16,6667	188,50	2827,43	<b>60</b>
61	3721	226981	7,8102	3,9365	1,78533	16,3934	191,64	2922,47	61
62	3844	238328	7,8740	3,9579	1,79239	16,1290	194,78	3019,07	62
63	3969	250047	7,9373	3,9791	1,79934	15,8730	197,92	3117,25	63
64	4096	262144	8,0000	4,0000	1,80618	15,6250	201,06	3216,99	64
65	4225	274625	8,0623	4,0207	1,81291	15,3846	204,20	3318,31	65
66	4356	287496	8,1240	4,0412	1,81954	15,1515	207,35	3421,19	66
67	4489	300763	8,1854	4,0615	1,82607	14,9254	210,49	3525,65	67
68	4624	314432	8,2462	4,0817	1,83251	14,7059	213,63	3631,68	68
69	4761	328509	8,3066	4,1016	1,83885	14,4928	216,77	3739,28	69
<b>70</b>	4900	343000	8,3666	4,1213	1,84510	14,2857	219,91	3848,45	<b>70</b>
71	5041	357911	8,4261	4,1408	1,85126	14,0845	223,05	3959,19	71
72	5184	373248	8,4853	4,1602	1,85733	13,8889	226,19	4071,50	72
73	5329	389017	8,5440	4,1793	1,86332	13,6986	229,34	4185,39	73
74	5476	405224	8,6023	4,1983	1,86923	13,5135	232,48	4300,84	74
75	5625	421875	8,6603	4,2172	1,87506	13,3333	235,62	4417,86	75
76	5776	438976	8,7178	4,2358	1,88081	13,1579	238,76	4536,46	76
77	5929	456533	8,7750	4,2543	1,88649	12,9870	241,90	4656,63	77
78	6084	474552	8,8318	4,2727	1,89209	12,8205	245,04	4778,36	78
79	6241	493039	8,8882	4,2908	1,89763	12,6582	248,19	4901,67	79
<b>80</b>	6400	512000	8,9443	4,3089	1,90309	12,5000	251,33	5026,55	<b>80</b>
81	6561	531441	9,0000	4,3267	1,90849	12,3457	254,47	5153,00	81
82	6724	551368	9,0554	4,3445	1,91381	12,1951	257,61	5281,02	82
83	6889	571787	9,1104	4,3621	1,91908	12,0482	260,75	5410,61	83
84	7056	592704	9,1652	4,3795	1,92428	11,9048	263,89	5541,77	84
85	7225	614125	9,2195	4,3968	1,92942	11,7647	267,04	5674,50	85
86	7396	636056	9,2736	4,4140	1,93450	11,6279	270,18	5808,80	86
87	7569	658503	9,3274	4,4310	1,93952	11,4943	273,32	5944,68	87
88	7744	681472	9,3808	4,4480	1,94448	11,3636	276,46	6082,12	88
89	7921	704969	9,4340	4,4647	1,94939	11,2360	279,60	6221,14	89
<b>90</b>	8100	729000	9,4868	4,4814	1,95424	11,1111	282,74	6361,73	<b>90</b>
91	8281	753571	9,5394	4,4979	1,95904	10,9890	285,88	6503,88	91
92	8464	778688	9,5917	4,5144	1,96379	10,8696	289,03	6647,61	92
93	8649	804357	9,6437	4,5307	1,96848	10,7527	292,17	6792,91	93
94	8836	830584	9,6954	4,5468	1,97313	10,6383	295,31	6939,78	94
95	9025	857375	9,7468	4,5629	1,97772	10,5263	298,45	7088,22	95
96	9216	884736	9,7980	4,5789	1,98227	10,4167	301,59	7238,23	96
97	9409	912673	9,8489	4,5947	1,98677	10,3093	304,73	7389,81	97
98	9604	941192	9,8995	4,6104	1,99123	10,2041	307,88	7542,96	98
99	9801	970299	9,9499	4,6261	1,99564	10,1010	311,02	7697,69	99
<b>100</b>	10000	1000000	10,0000	4,6416	2,00000	10,0000	314,16	7853,98	<b>100</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^3}{4}$	$n$
<b>100</b>	10000	1000000	10,0000	4,6416	2,00000	10,0000	314,16	7853,98	<b>100</b>
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	2,00432	9,90099	317,30	8011,85	101
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	2,00860	9,80392	320,44	8171,28	102
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	2,01284	9,70874	323,58	8332,29	103
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	2,01703	9,61538	326,73	8494,87	104
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	2,02119	9,52381	329,87	8659,01	105
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	2,02531	9,43396	333,01	8824,73	106
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	2,02938	9,34579	336,15	8992,02	107
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	2,03342	9,25926	339,29	9160,88	108
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	2,03743	9,17431	342,43	9331,32	109
<b>110</b>	12100	1331000	10,4881	4,7914	2,04139	9,09091	345,58	9503,32	<b>110</b>
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	2,04532	9,00901	348,72	9676,89	111
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	2,04922	8,92857	351,86	9852,03	112
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	2,05308	8,84956	355,00	10728,7	113
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	2,05690	8,77193	358,14	10207,0	114
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	2,06070	8,69565	361,28	10386,9	115
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	2,06446	8,62069	364,42	10568,3	116
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	2,06819	8,54701	367,57	10751,3	117
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	2,07188	8,47458	370,71	10935,9	118
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	2,07555	8,40336	373,85	11122,0	119
<b>120</b>	14400	1728000	10,9545	4,9324	2,07918	8,33333	376,99	11309,7	<b>120</b>
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	2,08279	8,26446	380,13	11499,0	121
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	2,08636	8,19672	383,27	11689,9	122
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	2,08991	8,13008	386,42	11882,3	123
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	2,09342	8,06452	389,56	12076,3	124
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	2,09691	8,00000	392,70	12271,8	125
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	2,10037	7,93651	395,84	12469,0	126
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	2,10380	7,87402	398,98	12667,7	127
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	2,10721	7,81250	402,12	12868,0	128
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	2,11059	7,75194	405,27	13069,8	129
<b>130</b>	16900	2197000	11,4018	5,0658	2,11394	7,69231	408,41	13273,2	<b>130</b>
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	2,11727	7,63359	411,55	13478,2	131
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	2,12057	7,57576	414,69	13684,8	132
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	2,12385	7,51580	417,83	13892,9	133
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	2,12710	7,46269	420,97	14102,6	134
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	2,13033	7,40741	424,12	14313,9	135
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	2,13354	7,35294	427,26	14526,7	136
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	2,13672	7,29927	430,40	14741,1	137
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	2,13988	7,24638	433,54	14957,1	138
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	2,14301	7,19424	436,68	15174,7	139
<b>140</b>	19600	2744000	11,8322	5,1925	2,14613	7,14286	439,82	15393,8	<b>140</b>
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	2,14922	7,09220	442,96	15614,5	141
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	2,15229	7,04225	446,11	15836,8	142
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	2,15534	6,99301	449,25	16060,6	143
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	2,15836	6,94444	452,39	16286,0	144
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	2,16137	6,89655	455,53	16513,0	145
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	2,16435	6,84932	458,67	16741,5	146
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	2,16732	6,80272	461,81	16971,7	147
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	2,17026	6,75676	464,96	17203,4	148
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	2,17319	6,71141	468,10	17436,6	149
<b>150</b>	22500	3375000	12,2474	5,3133	2,17609	6,66667	471,24	17671,5	<b>150</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>150</b>	22500	3375000	12,2474	5,3133	2,17609	6,66667	471,24	17671,5	<b>150</b>
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	2,17898	6,62252	474,38	17907,9	151
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	2,18184	6,57895	477,52	18145,8	152
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	2,18469	6,53595	480,66	18385,4	153
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	2,18752	6,49351	483,81	18626,5	154
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	2,19033	6,45161	486,95	18869,2	155
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	2,19312	6,41026	490,09	19113,4	156
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	2,19590	6,36943	493,23	19359,3	157
158	24964	3944412	12,5698	5,4061	2,19866	6,32911	496,37	19606,7	158
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	2,20140	6,28931	499,51	19855,7	159
<b>160</b>	25600	4096000	12,6491	5,4288	2,20412	6,25000	502,65	20106,2	<b>160</b>
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	2,20683	6,21118	505,80	20358,3	161
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	2,20952	6,17284	508,94	20612,0	162
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	2,21219	6,13497	512,08	20867,2	163
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	2,21484	6,09756	515,22	21124,1	164
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	2,21748	6,06061	518,36	21382,5	165
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	2,22011	6,02410	521,50	21642,4	166
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	2,22272	5,98802	524,65	21904,0	167
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	2,22531	5,95238	527,79	22167,1	168
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	2,22789	5,91716	530,93	22431,8	169
<b>170</b>	28900	4913000	13,0384	5,5397	2,23045	5,88235	534,07	22698,0	<b>170</b>
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	2,23300	5,84795	537,21	22965,8	171
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	2,23553	5,81395	540,35	23235,2	172
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	2,23805	5,78035	543,50	23506,2	173
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	2,24055	5,74713	546,64	23778,7	174
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	2,24304	5,71429	549,78	24052,8	175
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	2,24551	5,68182	552,92	24328,5	176
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	2,24797	5,64972	556,06	24605,7	177
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	2,25042	5,61798	559,20	24884,6	178
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	2,25285	5,58659	562,35	25164,9	179
<b>180</b>	32400	5832000	13,4164	5,6462	2,25527	5,55556	565,49	25446,9	<b>180</b>
181	32761	5929741	13,4536	5,6567	2,25768	5,52486	568,63	25730,4	181
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	2,26007	5,49451	571,77	26015,5	182
183	33489	6128487	13,5277	5,6774	2,26245	5,46448	574,91	26302,2	183
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	2,26482	5,43478	578,05	26590,4	184
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	2,26717	5,40541	581,19	26880,3	185
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	2,26951	5,37634	584,34	27171,6	186
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	2,27184	5,34759	587,48	27464,6	187
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	2,27416	5,31915	590,62	27759,1	188
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	2,27646	5,29101	593,76	28055,2	189
<b>190</b>	36100	6859000	13,7840	5,7489	2,27875	5,26316	596,90	28352,9	<b>190</b>
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	2,28103	5,23560	600,04	28652,1	191
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	2,28330	5,20833	603,19	28952,9	192
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	2,28556	5,18135	606,33	29255,3	193
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	2,28780	5,15464	609,47	29559,2	194
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	2,29003	5,12821	612,61	29864,8	195
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	2,29226	5,10204	615,75	30171,9	196
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	2,29447	5,07614	618,89	30480,5	197
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	2,29667	5,05051	622,04	30790,7	198
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	2,29885	5,02513	625,18	31102,6	199
<b>200</b>	40000	8000000	14,1421	5,8480	2,30103	5,00000	628,32	31415,9	<b>200</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>200</b>	40000	8000000	14,1421	5,8480	2,30103	5,00000	628,32	31415,9	<b>200</b>
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	2,30320	4,97512	631,46	31730,9	201
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	2,30535	4,95050	634,60	32047,4	202
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	2,30750	4,92611	637,74	32365,5	203
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	2,30963	4,90196	640,88	32685,1	204
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	2,31175	4,87805	644,03	33006,4	205
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	2,31387	4,85437	647,17	33329,2	206
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	2,31597	4,83092	650,31	33653,5	207
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	2,31806	4,80769	653,45	33979,5	208
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	2,32015	4,78469	656,59	34307,0	209
<b>210</b>	44100	9261000	14,4914	5,9439	2,32222	4,76190	659,73	34636,1	<b>210</b>
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	2,32428	4,73934	662,88	34966,7	211
212	44944	9528128	14,5602	5,9627	2,32634	4,71698	666,02	35298,9	212
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	2,32838	4,69484	669,16	35632,7	213
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	2,33041	4,67290	672,30	35968,1	214
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	2,33244	4,65116	675,44	36305,0	215
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	2,33445	4,62963	678,58	36643,5	216
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	2,33646	4,60829	681,73	36983,6	217
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	2,33846	4,58716	684,87	37325,3	218
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	2,34044	4,56621	688,01	37668,5	219
<b>220</b>	48400	10648000	14,8324	6,0368	2,34242	4,54545	691,15	38013,3	<b>220</b>
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	2,34439	4,52489	694,29	38359,6	221
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	2,34635	4,50450	697,43	38707,6	222
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	2,34830	4,48430	700,58	39057,1	223
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	2,35025	4,46429	703,72	39408,1	224
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	2,35218	4,44444	706,86	39760,8	225
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	2,35411	4,42478	710,00	40115,0	226
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	2,35603	4,40529	713,14	40470,8	227
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	2,35793	4,38596	716,28	40828,1	228
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	2,35984	4,36681	719,42	41187,1	229
<b>230</b>	52900	12167000	15,1658	6,1269	2,36173	4,34783	722,57	41547,6	<b>230</b>
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	2,36361	4,32900	725,71	41909,6	231
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	2,36549	4,31034	728,85	42273,3	232
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	2,36736	4,29185	731,99	42638,5	233
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	2,36922	4,27350	735,13	43005,3	234
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	2,37107	4,25532	738,27	43373,6	235
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	2,37291	4,23729	741,42	43743,5	236
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	2,37475	4,21941	744,56	44115,0	237
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	2,37658	4,20168	747,70	44488,1	238
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	2,37840	4,18410	750,84	44862,7	239
<b>240</b>	57600	13824000	15,4919	6,2145	2,38021	4,16667	753,98	45238,9	<b>240</b>
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	2,38202	4,14938	757,12	45616,7	241
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	2,38382	4,13223	760,27	45996,1	242
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	2,38561	4,11523	763,41	46377,0	243
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	2,38739	4,09836	766,55	46759,5	244
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	2,38917	4,08163	769,69	47143,5	245
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	2,39094	4,06504	772,83	47529,2	246
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	2,39270	4,04858	775,97	47916,4	247
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	2,39445	4,03226	779,11	48305,1	248
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	2,39620	4,01606	782,26	48695,5	249
<b>250</b>	62500	15625000	15,8114	6,2996	2,39794	4,00000	785,40	49087,4	<b>250</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>250</b>	62500	15625000	15,8114	6,2996	2,39794	4,00000	785,40	49087,4	<b>250</b>
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	2,39967	3,98406	788,54	49480,9	251
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	2,40140	3,96825	791,68	49875,9	252
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	2,40312	3,95257	794,82	50272,6	253
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	2,40483	3,93701	797,96	50670,7	254
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	2,40654	3,92157	801,11	51070,5	255
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	2,40824	3,90625	804,25	51471,9	256
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	2,40993	3,89105	807,39	51874,8	257
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	2,41162	3,87597	810,53	52279,2	258
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	2,41330	3,86100	813,67	52685,3	259
<b>260</b>	67600	17576000	16,1245	6,3825	2,41497	3,84615	816,81	53092,9	<b>260</b>
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	2,41664	3,83142	819,96	53502,1	261
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	2,41830	3,81679	823,10	53912,9	262
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	2,41996	3,80228	826,24	54325,2	263
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	2,42160	3,78788	829,38	54739,1	264
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	2,42325	3,77358	832,52	55154,6	265
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	2,42488	3,75940	835,66	55571,6	266
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	2,42651	3,74532	838,81	55990,3	267
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	2,42813	3,73134	841,95	56410,4	268
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	2,42975	3,71747	845,09	56832,2	269
<b>270</b>	72900	19683000	16,4317	6,4633	2,43136	3,70370	848,23	57255,5	<b>270</b>
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	2,43297	3,69004	851,37	57680,4	271
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	2,43457	3,67647	854,51	58106,9	272
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	2,43616	3,66300	857,65	58534,9	273
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	2,43775	3,64964	860,80	58964,6	274
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	2,43933	3,63636	863,94	59395,7	275
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	2,44091	3,62319	867,08	59828,5	276
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	2,44248	3,61011	870,22	60262,8	277
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	2,44404	3,59712	873,36	60698,7	278
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	2,44560	3,58423	876,50	61136,2	279
<b>280</b>	78400	21952000	16,7332	6,5421	2,44716	3,57143	879,65	61575,2	<b>280</b>
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	2,44871	3,55872	882,79	62015,8	281
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	2,45025	3,54610	885,93	62458,0	282
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	2,45179	3,53357	889,07	62901,8	283
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	2,45332	3,52113	892,21	63347,1	284
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	2,45484	3,50877	895,35	63794,0	285
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	2,45637	3,49650	898,50	64242,4	286
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	2,45788	3,48432	901,64	64692,5	287
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	2,45939	3,47222	904,78	65144,1	288
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	2,46090	3,46021	907,92	65597,2	289
<b>290</b>	84100	24389000	17,0294	6,6191	2,46240	3,44828	911,06	66052,0	<b>290</b>
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	2,46389	3,43643	914,20	66508,3	291
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	2,46538	3,42466	917,35	66966,2	292
293	85849	25153577	17,1172	6,6419	2,46687	3,41297	920,49	67425,6	293
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	2,46835	3,40136	923,63	67886,7	294
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	2,46982	3,38983	926,77	68349,3	295
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	2,47129	3,37838	929,91	68813,4	296
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	2,47276	3,36700	933,05	69279,2	297
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	2,47422	3,35570	936,19	69746,5	298
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	2,47567	3,34448	939,34	70215,4	299
<b>300</b>	90000	27000000	17,3205	6,6943	2,47712	3,33333	942,48	70685,8	<b>300</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>300</b>	90000	27000000	17,3205	6,6943	2,47712	3,33333	942,48	70685,8	<b>300</b>
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	2,47857	3,32226	945,62	71157,9	301
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	2,48001	3,31126	948,76	71631,5	302
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	2,48144	3,30033	951,90	72106,6	303
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	2,48287	3,28947	955,04	72583,4	304
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	2,48430	3,27869	958,19	73061,7	305
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	2,48572	3,26797	961,33	73541,5	306
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	2,48714	3,25733	964,47	74023,0	307
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	2,48855	3,24675	967,61	74506,0	308
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	2,48996	3,23625	970,75	74990,6	309
<b>310</b>	96100	29791000	17,6068	6,7679	2,49136	3,22581	973,89	75476,8	<b>310</b>
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	2,49276	3,21543	977,04	75964,5	311
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	2,49415	3,20513	980,18	76453,8	312
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	2,49554	3,19489	983,32	76944,7	313
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	2,49693	3,18471	986,46	77437,1	314
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	2,49831	3,17460	989,60	77931,1	315
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	2,49969	3,16456	992,74	78426,7	316
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	2,50106	3,15457	995,88	78923,9	317
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	2,50243	3,14465	999,03	79422,6	318
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	2,50379	3,13480	1002,2	79922,9	319
<b>320</b>	102400	32768000	17,8885	6,8399	2,50515	3,12500	1005,3	80424,8	<b>320</b>
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	2,50651	3,11526	1008,5	80928,2	321
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	2,50786	3,10559	1011,6	81433,2	322
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	2,50920	3,09598	1014,7	81939,8	323
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	2,51055	3,08642	1017,9	82448,0	324
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	2,51188	3,07692	1021,0	82957,7	325
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	2,51322	3,06748	1024,2	83469,0	326
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	2,51455	3,05810	1027,3	83981,8	327
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	2,51587	3,04878	1030,4	84496,3	328
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	2,51720	3,03951	1033,6	85012,3	329
<b>330</b>	108900	35937000	18,1659	6,9104	2,51851	3,03030	1036,7	85529,9	<b>330</b>
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	2,51983	3,02115	1039,9	86049,0	331
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	2,52114	3,01205	1043,0	86569,7	332
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	2,52244	3,00300	1046,2	87092,0	333
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	2,52375	2,99401	1049,3	87615,9	334
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	2,52504	2,98507	1052,4	88141,3	335
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	2,52634	2,97619	1055,6	88668,3	336
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	2,52763	2,96736	1058,7	89196,9	337
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	2,52892	2,95858	1061,9	89727,0	338
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	2,53020	2,94985	1065,0	90258,7	339
<b>340</b>	115600	39304000	18,4391	6,9795	2,53148	2,94118	1068,1	90792,0	<b>340</b>
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	2,53275	2,93255	1071,3	91326,9	341
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	2,53403	2,92398	1074,4	91863,3	342
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	2,53529	2,91545	1077,6	92401,3	343
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	2,53656	2,90698	1080,7	92940,9	344
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	2,53782	2,89855	1083,8	93482,0	345
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	2,53908	2,89017	1087,0	94024,7	346
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	2,54033	2,88184	1090,1	94569,0	347
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	2,54158	2,87356	1093,3	95114,9	348
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	2,54283	2,86533	1096,4	95662,3	349
<b>350</b>	122500	42875000	18,7083	7,0473	2,54407	2,85714	1099,6	96211,3	<b>350</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^3}{4}$	$n$
<b>350</b>	122500	42875000	18,7083	7,0473	2,54407	2,85714	1099,6	96211,3	<b>350</b>
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	2,54531	2,84900	1102,7	96761,8	351
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	2,54654	2,84091	1105,8	97314,0	352
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	2,54777	2,83286	1109,0	97867,7	353
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	2,54900	2,82486	1112,1	98423,0	354
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	2,55023	2,81690	1115,3	98979,8	355
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	2,55145	2,80899	1118,4	99538,2	356
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	2,55267	2,80112	1121,5	100098	357
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	2,55388	2,79330	1124,7	100660	358
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	2,55509	2,78552	1127,8	101223	359
<b>360</b>	129600	46656000	18,9737	7,1138	2,55630	2,77778	1131,0	101788	<b>360</b>
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	2,55751	2,77008	1134,1	102354	361
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	2,55871	2,76243	1137,3	102922	362
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	2,55991	2,75482	1140,4	103491	363
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	2,56110	2,74725	1143,5	104062	364
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	2,56229	2,73973	1146,7	104635	365
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	2,56348	2,73224	1149,8	105209	366
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	2,56467	2,72480	1153,0	105785	367
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	2,56585	2,71739	1156,1	106362	368
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	2,56703	2,71003	1159,2	106941	369
<b>370</b>	136900	50653000	19,2354	7,1791	2,56820	2,70270	1162,4	107521	<b>370</b>
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	2,56937	2,69542	1165,5	108103	371
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	2,57054	2,68817	1168,7	108687	372
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	2,57171	2,68097	1171,8	109272	373
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	2,57287	2,67380	1175,0	109858	374
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	2,57403	2,66667	1178,1	110447	375
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	2,57519	2,65957	1181,2	111036	376
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	2,57634	2,65252	1184,4	111628	377
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	2,57749	2,64550	1187,5	112221	378
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	2,57864	2,63852	1190,7	112815	379
<b>380</b>	144400	54872000	19,4936	7,2432	2,57978	2,63158	1193,8	113411	<b>380</b>
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	2,58092	2,62467	1196,9	114009	381
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	2,58206	2,61780	1200,1	114608	382
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	2,58320	2,61097	1203,2	115209	383
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	2,58433	2,60417	1206,4	115812	384
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	2,58546	2,59740	1209,5	116416	385
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	2,58659	2,59067	1212,7	117021	386
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	2,58771	2,58398	1215,8	117628	387
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	2,58883	2,57732	1218,9	118237	388
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	2,58995	2,57069	1222,1	118847	389
<b>390</b>	152100	59319000	19,7484	7,3061	2,59106	2,56410	1225,2	119459	<b>390</b>
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	2,59218	2,55754	1228,4	120072	391
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	2,59329	2,55102	1231,5	120687	392
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	2,59439	2,54453	1234,6	121304	393
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	2,59550	2,53807	1237,8	121922	394
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	2,59660	2,53165	1240,9	122542	395
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	2,59770	2,52525	1244,1	123163	396
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	2,59879	2,51889	1247,2	123786	397
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	2,59988	2,51256	1250,4	124410	398
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	2,60097	2,50627	1253,5	125036	399
<b>400</b>	160000	64000000	20,0000	7,3681	2,60206	2,50000	1256,6	125664	<b>400</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>400</b>	160000	64000000	20,0000	7,3681	2,60206	2,50000	1256,6	125664	<b>400</b>
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	2,60314	2,49377	1259,8	126293	401
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	2,60423	2,48756	1262,9	126923	402
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	2,60531	2,48139	1266,1	127556	403
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	2,60638	2,47525	1269,2	128190	404
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	2,60746	2,46914	1272,3	128825	405
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	2,60853	2,46305	1275,5	129462	406
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	2,60959	2,45700	1278,6	130100	407
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	2,61066	2,45098	1281,8	130741	408
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	2,61172	2,44499	1284,9	131382	409
<b>410</b>	168100	68921000	20,2485	7,4290	2,61278	2,43902	1288,1	132025	<b>410</b>
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	2,61384	2,43309	1291,2	132670	411
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	2,61490	2,42718	1294,3	133317	412
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	2,61595	2,42131	1297,5	133965	413
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	2,61700	2,41546	1300,6	134614	414
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	2,61805	2,40964	1303,8	135265	415
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	2,61909	2,40385	1306,9	135918	416
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	2,62014	2,39808	1310,0	136572	417
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	2,62118	2,39234	1313,2	137228	418
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	2,62221	2,38663	1316,3	137885	419
<b>420</b>	176400	74088000	20,4939	7,4889	2,62325	2,38095	1319,5	138544	<b>420</b>
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	2,62428	2,37530	1322,6	139205	421
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	2,62531	2,36967	1325,8	139867	422
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	2,62634	2,36407	1328,9	140531	423
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	2,62737	2,35849	1332,0	141196	424
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	2,62839	2,35294	1335,2	141863	425
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	2,62941	2,34742	1338,3	142531	426
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	2,63043	2,34192	1341,5	143201	427
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	2,63144	2,33645	1344,6	143872	428
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	2,63246	2,33100	1347,7	144545	429
<b>430</b>	184900	79507000	20,7364	7,5478	2,63347	2,32558	1350,9	145220	<b>430</b>
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	2,63448	2,32019	1354,0	145896	431
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	2,63548	2,31481	1357,2	146574	432
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	2,63649	2,30947	1360,3	147254	433
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	2,63749	2,30415	1363,5	147934	434
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	2,63849	2,29885	1366,6	148617	435
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	2,63949	2,29358	1369,7	149301	436
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	2,64048	2,28833	1372,9	149987	437
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	2,64147	2,28311	1376,0	150674	438
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	2,64246	2,27790	1379,2	151363	439
<b>440</b>	193600	85184000	20,9762	7,6059	2,64345	2,27273	1382,3	152053	<b>440</b>
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	2,64444	2,26757	1385,4	152745	441
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	2,64542	2,26244	1388,6	153439	442
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	2,64640	2,25734	1391,7	154134	443
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	2,64738	2,25225	1394,9	154830	444
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	2,64836	2,24719	1398,0	155528	445
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	2,64933	2,24215	1401,2	156228	446
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	2,65031	2,23714	1404,3	156930	447
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	2,65128	2,23214	1407,4	157633	448
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	2,65225	2,22717	1410,6	158337	449
<b>450</b>	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,65321	2,22222	1413,7	159043	<b>450</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>450</b>	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,65321	2,22222	1413,7	159043	<b>450</b>
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	2,65418	2,21729	1416,9	159751	451
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	2,65514	2,21239	1420,0	160460	452
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	2,65610	2,20751	1423,1	161171	453
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	2,65706	2,20264	1426,3	161883	454
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	2,65801	2,19780	1429,4	162597	455
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	2,65896	2,19298	1432,6	163313	456
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	2,65992	2,18818	1435,7	164030	457
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	2,66087	2,18341	1438,8	164748	458
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	2,66181	2,17865	1442,0	165468	459
<b>460</b>	211600	97336000	21,4476	7,7194	2,66276	2,17391	1445,1	166190	<b>460</b>
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	2,66370	2,16920	1448,3	166914	461
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	2,66464	2,16450	1451,4	167639	462
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	2,66558	2,15983	1454,6	168365	463
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	2,66652	2,15517	1457,7	169093	464
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	2,66745	2,15054	1460,8	169823	465
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	2,66839	2,14592	1464,0	170554	466
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	2,66932	2,14133	1467,1	171287	467
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	2,67025	2,13675	1470,3	172021	468
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	2,67117	2,13220	1473,4	172757	469
<b>470</b>	220900	103823000	21,6795	7,7750	2,67210	2,12766	1476,5	173494	<b>470</b>
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	2,67302	2,12314	1479,7	174234	471
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	2,67394	2,11864	1482,8	174974	472
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	2,67486	2,11416	1486,0	175716	473
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	2,67578	2,10970	1489,1	176460	474
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	2,67669	2,10526	1492,3	177205	475
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	2,67761	2,10084	1495,4	177952	476
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	2,67852	2,09644	1498,5	178701	477
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	2,67943	2,09205	1501,7	179451	478
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	2,68034	2,08768	1504,8	180203	479
<b>480</b>	230400	110592000	21,9089	7,8297	2,68124	2,08333	1508,0	180956	<b>480</b>
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	2,68215	2,07900	1511,1	181711	481
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	2,68305	2,07469	1514,2	182467	482
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	2,68395	2,07039	1517,4	183225	483
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	2,68485	2,06612	1520,5	183984	484
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	2,68574	2,06186	1523,7	184745	485
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	2,68664	2,05761	1526,8	185508	486
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	2,68753	2,05339	1530,0	186272	487
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	2,68842	2,04918	1533,1	187038	488
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	2,68931	2,04499	1536,2	187805	489
<b>490</b>	240100	117649000	22,1359	7,8837	2,69020	2,04082	1539,4	188574	<b>490</b>
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	2,69108	2,03666	1542,5	189345	491
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	2,69197	2,03252	1545,7	190117	492
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	2,69285	2,02840	1548,8	190890	493
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	2,69373	2,02429	1551,9	191665	494
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	2,69461	2,02020	1555,1	192442	495
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	2,69548	2,01613	1558,2	193221	496
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	2,69636	2,01207	1561,4	194000	497
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	2,69723	2,00803	1564,5	194782	498
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	2,69810	2,00401	1567,7	195565	499
<b>500</b>	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,69897	2,00000	1570,8	196350	<b>500</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>500</b>	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,69897	2,00000	1570,8	196350	<b>500</b>
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	2,69984	1,99601	1573,9	197136	501
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	2,70070	1,99203	1577,1	197923	502
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	2,70157	1,98807	1580,2	198713	503
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	2,70243	1,98413	1583,4	199504	504
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	2,70329	1,98020	1586,5	200296	505
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	2,70415	1,97628	1589,6	201090	506
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	2,70501	1,97239	1592,8	201886	507
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	2,70586	1,96850	1595,9	202683	508
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	2,70672	1,96464	1599,1	203482	509
<b>510</b>	260100	132651000	22,5832	7,9896	2,70757	1,96078	1602,2	204282	<b>510</b>
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	2,70842	1,95695	1605,4	205084	511
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	2,70927	1,95312	1608,5	205887	512
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	2,71012	1,94932	1611,6	206692	513
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	2,71096	1,94553	1614,8	207499	514
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	2,71181	1,94175	1617,9	208307	515
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	2,71265	1,93798	1621,1	209117	516
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	2,71349	1,93424	1624,2	209928	517
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	2,71433	1,93050	1627,3	210741	518
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	2,71517	1,92678	1630,5	211556	519
<b>520</b>	270400	140608000	22,8035	8,0415	2,71600	1,92308	1633,6	212372	<b>520</b>
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	2,71684	1,91939	1636,8	213189	521
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	2,71767	1,91571	1639,9	214008	522
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	2,71850	1,91205	1643,1	214829	523
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	2,71933	1,90840	1646,2	215651	524
525	275625	144703125	22,9129	8,0671	2,72016	1,90476	1649,3	216475	525
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	2,72099	1,90114	1652,5	217301	526
527	277729	146363183	22,9565	8,0774	2,72181	1,89753	1655,6	218128	527
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	2,72263	1,89394	1658,8	218956	528
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	2,72346	1,89036	1661,9	219787	529
<b>530</b>	280900	148877000	23,0217	8,0927	2,72428	1,88679	1665,0	220618	<b>530</b>
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	2,72509	1,88324	1668,2	221452	531
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	2,72591	1,87970	1671,3	222287	532
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	2,72673	1,87617	1674,5	223123	533
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	2,72754	1,87266	1677,6	223961	534
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	2,72835	1,86916	1680,8	224801	535
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	2,72916	1,86567	1683,9	225642	536
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	2,72997	1,86220	1687,0	226484	537
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	2,73078	1,85874	1690,2	227329	538
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	2,73159	1,85529	1693,3	228175	539
<b>540</b>	291600	157464000	23,2379	8,1433	2,73239	1,85185	1696,5	229022	<b>540</b>
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	2,73320	1,84843	1699,6	229871	541
542	293764	159220088	23,2809	8,1533	2,73400	1,84502	1702,7	230722	542
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	2,73480	1,84162	1705,9	231574	543
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	2,73560	1,83824	1709,0	232428	544
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	2,73640	1,83486	1712,2	233283	545
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	2,73719	1,83150	1715,3	234140	546
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	2,73799	1,82815	1718,5	234998	547
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	2,73878	1,82482	1721,6	235858	548
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	2,73957	1,82149	1724,7	236720	549
<b>550</b>	302500	166375000	23,4521	8,1932	2,74036	1,81818	1727,9	237583	<b>550</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>550</b>	302500	166375000	23,4521	8,1932	2,74036	1,81818	1727,9	237583	<b>550</b>
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	2,74115	1,81488	1731,0	238448	551
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	2,74194	1,81159	1734,2	239314	552
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	2,74273	1,80832	1737,3	240182	553
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	2,74351	1,80505	1740,4	241051	554
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	2,74429	1,80180	1743,6	241922	555
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	2,74507	1,79856	1746,7	242795	556
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	2,74586	1,79533	1749,9	243669	557
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	2,74663	1,79211	1753,0	244545	558
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	2,74741	1,78891	1756,2	245422	559
<b>560</b>	313600	175616000	23,6643	8,2426	2,74819	1,78571	1759,3	246301	<b>560</b>
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	2,74896	1,78253	1762,4	247181	561
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	2,74974	1,77936	1765,6	248063	562
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	2,75051	1,77620	1768,7	248947	563
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	2,75128	1,77305	1771,9	249832	564
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	2,75205	1,76991	1775,0	250719	565
566	320356	181321496	23,7908	8,2719	2,75282	1,76678	1778,1	251607	566
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	2,75358	1,76367	1781,3	252497	567
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	2,75435	1,76056	1784,4	253388	568
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	2,75511	1,75747	1787,6	254281	569
<b>570</b>	324900	185193000	23,8747	8,2913	2,75587	1,75439	1790,7	255176	<b>570</b>
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	2,75664	1,75131	1793,8	256072	571
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	2,75740	1,74825	1797,0	256970	572
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	2,75815	1,74520	1800,1	257869	573
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	2,75891	1,74216	1803,3	258770	574
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	2,75967	1,73913	1806,4	259672	575
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	2,76042	1,73611	1809,6	260576	576
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	2,76118	1,73310	1812,7	261482	577
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	2,76193	1,73010	1815,8	262389	578
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	2,76268	1,72712	1819,0	263298	579
<b>580</b>	336400	195112000	24,0832	8,3396	2,76343	1,72414	1822,1	264208	<b>580</b>
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	2,76418	1,72117	1825,3	265120	581
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	2,76492	1,71821	1828,4	266033	582
583	339889	198155287	24,1454	8,3539	2,76567	1,71527	1831,6	266948	583
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	2,76641	1,71233	1834,7	267865	584
585	342225	200201625	24,1868	8,3634	2,76716	1,70940	1837,8	268783	585
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	2,76790	1,70648	1841,0	269703	586
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	2,76864	1,70358	1844,1	270624	587
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	2,76938	1,70068	1847,3	271547	588
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	2,77012	1,69779	1850,4	272471	589
<b>590</b>	348100	205379000	24,2899	8,3872	2,77085	1,69492	1853,5	273397	<b>590</b>
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	2,77159	1,69205	1856,7	274325	591
592	350464	207474688	24,3311	8,3967	2,77232	1,68919	1859,8	275254	592
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	2,77305	1,68634	1863,0	276184	593
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	2,77379	1,68350	1866,1	277117	594
595	354025	210644875	24,3926	8,4108	2,77452	1,68067	1869,2	278051	595
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	2,77525	1,67785	1872,4	278986	596
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	2,77597	1,67504	1875,5	279923	597
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	2,77670	1,67224	1878,7	280862	598
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	2,77743	1,66945	1881,8	281802	599
<b>600</b>	360000	216000000	24,4949	8,4343	2,77815	1,66667	1885,0	282743	<b>600</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n^2$
<b>600</b>	360000	216000000	24,4949	8,4343	2,77815	1,66667	1885,0	282743	<b>600</b>
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	2,77887	1,66389	1888,1	283687	601
602	362404	218167208	24,5357	8,4437	2,77960	1,66113	1891,2	284631	602
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	2,78032	1,65837	1894,4	285578	603
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	2,78104	1,65563	1897,5	286526	604
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	2,78176	1,65289	1900,7	287475	605
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	2,78247	1,65017	1903,8	288426	606
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	2,78319	1,64745	1906,9	289379	607
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	2,78390	1,64474	1910,1	290333	608
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	2,78462	1,64204	1913,2	291289	609
<b>610</b>	372100	226981000	24,6982	8,4809	2,78533	1,63934	1916,4	292247	<b>610</b>
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	2,78604	1,63666	1919,5	293206	611
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	2,78675	1,63399	1922,7	294166	612
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	2,78746	1,63132	1925,8	295128	613
614	376996	231475544	24,7790	8,4994	2,78817	1,62866	1928,9	296092	614
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	2,78888	1,62602	1932,1	297057	615
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	2,78958	1,62338	1935,2	298024	616
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	2,79029	1,62075	1938,4	298992	617
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	2,79099	1,61812	1941,5	299962	618
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	2,79169	1,61551	1944,6	300934	619
<b>620</b>	384400	238328000	24,8998	8,5270	2,79239	1,61290	1947,8	301907	<b>620</b>
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	2,79309	1,61031	1950,9	302882	621
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	2,79379	1,60772	1954,1	303858	622
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	2,79449	1,60514	1957,2	304836	623
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	2,79518	1,60256	1960,4	305815	624
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	2,79588	1,60000	1963,5	306796	625
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	2,79657	1,59744	1966,6	307779	626
627	393129	246491883	25,0400	8,5590	2,79727	1,59490	1969,8	308763	627
628	394384	247673152	25,0599	8,5635	2,79796	1,59236	1972,9	309748	628
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	2,79865	1,58983	1976,1	310736	629
<b>630</b>	396900	250047000	25,0998	8,5726	2,79934	1,58730	1979,2	311725	<b>630</b>
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	2,80003	1,58479	1982,3	312715	631
632	399424	252436928	25,1396	8,5817	2,80072	1,58228	1985,5	313707	632
633	400689	253639137	25,1595	8,5862	2,80140	1,57978	1988,6	314700	633
634	401956	254846104	25,1794	8,5907	2,80209	1,57729	1991,8	315696	634
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	2,80277	1,57480	1994,9	316692	635
636	404496	257254456	25,2190	8,5997	2,80346	1,57233	1998,1	317690	636
637	405769	258447853	25,2389	8,6043	2,80414	1,56986	2001,2	318690	637
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	2,80482	1,56740	2004,3	319692	638
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	2,80550	1,56495	2007,5	320695	639
<b>640</b>	409600	262144000	25,2982	8,6177	2,80618	1,56250	2010,6	321699	<b>640</b>
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	2,80686	1,56006	2013,8	322705	641
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	2,80754	1,55763	2016,9	323713	642
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	2,80821	1,55521	2020,0	324722	643
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	2,80889	1,55280	2023,2	325733	644
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	2,80956	1,55039	2026,3	326745	645
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	2,81023	1,54799	2029,5	327759	646
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	2,81090	1,54560	2032,6	328775	647
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	2,81158	1,54321	2035,8	329792	648
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	2,81224	1,54083	2038,9	330810	649
<b>650</b>	422500	274625000	25,4951	8,6624	2,81291	1,53846	2042,0	331831	<b>650</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>650</b>	422500	274625000	25,4951	8,6624	2,81291	1,53846	2042,0	331831	<b>650</b>
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	2,81358	1,53610	2045,2	332853	651
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	2,81425	1,53374	2048,3	333876	652
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	2,81491	1,53139	2051,5	334901	653
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	2,81558	1,52905	2054,6	335927	654
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	2,81624	1,52672	2057,7	336955	655
656	430336	282300416	25,6125	8,6890	2,81690	1,52439	2060,9	337985	656
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	2,81757	1,52207	2064,0	339016	657
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	2,81823	1,51976	2067,2	340049	658
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	2,81889	1,51745	2070,3	341084	659
<b>660</b>	435600	287496000	25,6905	8,7066	2,81954	1,51515	2073,5	342119	<b>660</b>
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	2,82020	1,51286	2076,6	343157	661
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	2,82086	1,51057	2079,7	344196	662
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	2,82151	1,50830	2082,9	345237	663
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	2,82217	1,50602	2086,0	346279	664
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	2,82282	1,50376	2089,2	347323	665
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	2,82347	1,50150	2092,3	348368	666
667	444889	296740963	25,8263	8,7373	2,82413	1,49925	2095,4	349415	667
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	2,82478	1,49701	2098,6	350464	668
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	2,82543	1,49477	2101,7	351514	669
<b>670</b>	448900	300763000	25,8844	8,7503	2,82607	1,49254	2104,9	352565	<b>670</b>
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	2,82672	1,49031	2108,0	353618	671
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	2,82737	1,48810	2111,2	354673	672
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	2,82802	1,48588	2114,3	355730	673
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	2,82866	1,48368	2117,4	356788	674
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	2,82930	1,48148	2120,6	357847	675
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	2,82995	1,47929	2123,7	358908	676
677	458329	310288733	26,0192	8,7807	2,83059	1,47710	2126,9	359971	677
678	459684	311665752	26,0384	8,7850	2,83123	1,47493	2130,0	361035	678
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	2,83187	1,47275	2133,1	362101	679
<b>680</b>	462400	314432000	26,0768	8,7937	2,83251	1,47059	2136,3	363168	<b>680</b>
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	2,83315	1,46843	2139,4	364237	681
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	2,83378	1,46628	2142,6	365308	682
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	2,83442	1,46413	2145,7	366380	683
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	2,83506	1,46199	2148,8	367453	684
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	2,83569	1,45985	2152,0	368528	685
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	2,83632	1,45773	2155,1	369605	686
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	2,83696	1,45560	2158,3	370684	687
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	2,83759	1,45349	2161,4	371764	688
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	2,83822	1,45138	2164,6	372845	689
<b>690</b>	476100	328509000	26,2679	8,8366	2,83885	1,44928	2167,7	373928	<b>690</b>
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	2,83948	1,44718	2170,8	375013	691
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	2,84011	1,44509	2174,0	376099	692
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	2,84073	1,44300	2177,1	377187	693
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	2,84136	1,44092	2180,3	378276	694
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	2,84198	1,43885	2183,4	379367	695
696	484416	337153536	26,3818	8,8621	2,84261	1,43678	2186,5	380459	696
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	2,84323	1,43472	2189,7	381553	697
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	2,84386	1,43266	2192,8	382649	698
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	2,84448	1,43062	2196,0	383746	699
<b>700</b>	490000	343000000	26,4575	8,8790	2,84510	1,42857	2199,1	384845	<b>700</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>700</b>	490000	343000000	26,4575	8,8790	2,84510	1,42857	2199,1	384845	<b>700</b>
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	2,84572	1,42653	2202,3	385945	701
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	2,84634	1,42450	2205,4	387047	702
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	2,84696	1,42248	2208,5	388151	703
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	2,84757	1,42045	2211,7	389256	704
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	2,84819	1,41844	2214,8	390363	705
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	2,84880	1,41643	2218,0	391471	706
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	2,84942	1,41443	2221,1	392580	707
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	2,85003	1,41243	2224,2	393692	708
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	2,85065	1,41044	2227,4	394805	709
<b>710</b>	504100	357911000	26,6458	8,9211	2,85126	1,40845	2230,5	395919	<b>710</b>
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	2,85187	1,40647	2233,7	397035	711
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	2,85248	1,40449	2236,8	398153	712
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	2,85309	1,40252	2240,0	399272	713
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	2,85370	1,40056	2243,1	400393	714
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	2,85431	1,39860	2246,2	401515	715
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	2,85491	1,39665	2249,4	402639	716
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	2,85552	1,39470	2252,5	403765	717
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	2,85612	1,39276	2255,7	404892	718
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	2,85673	1,39082	2258,8	406020	719
<b>720</b>	518400	373248000	26,8328	8,9628	2,85733	1,38889	2261,9	407150	<b>720</b>
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	2,85794	1,38696	2265,1	408282	721
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	2,85854	1,38503	2268,2	409415	722
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	2,85914	1,38313	2271,4	410550	723
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	2,85974	1,38122	2274,5	411687	724
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	2,86034	1,37931	2277,7	412825	725
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	2,86094	1,37741	2280,8	413965	726
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	2,86153	1,37552	2283,9	415106	727
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	2,86213	1,37363	2287,1	416248	728
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	2,86273	1,37174	2290,2	417393	729
<b>730</b>	532900	389017000	27,0185	9,0041	2,86332	1,36986	2293,4	418539	<b>730</b>
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	2,86392	1,36799	2296,5	419686	731
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	2,86451	1,36612	2299,6	420835	732
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	2,86510	1,36426	2302,8	421986	733
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	2,86570	1,36240	2305,9	423138	734
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	2,86629	1,36054	2309,1	424293	735
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	2,86688	1,35870	2312,2	425447	736
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	2,86747	1,35685	2315,4	426604	737
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	2,86806	1,35501	2318,5	427762	738
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	2,86864	1,35318	2321,6	428922	739
<b>740</b>	547600	405224000	27,2029	9,0450	2,86923	1,35135	2324,8	430084	<b>740</b>
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	2,86982	1,34953	2327,9	431247	741
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	2,87040	1,34771	2331,1	432412	742
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	2,87099	1,34590	2334,2	433578	743
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	2,87157	1,34409	2337,3	434746	744
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	2,87216	1,34228	2340,5	435916	745
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	2,87274	1,34048	2343,6	437087	746
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	2,87332	1,33866	2346,8	438259	747
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	2,87390	1,33690	2349,9	439433	748
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	2,87448	1,33511	2353,1	440609	749
<b>750</b>	562500	421875000	27,3861	9,0856	2,87506	1,33333	2356,2	441786	<b>750</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>750</b>	562500	421875000	27,3861	9,0856	2,87506	1,33333	2356,2	441786	<b>750</b>
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	2,87564	1,33156	2359,3	442965	751
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	2,87622	1,32979	2362,5	444146	752
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	2,87679	1,32802	2365,6	445328	753
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	2,87737	1,32626	2368,8	446511	754
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	2,87795	1,32450	2371,9	447697	755
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	2,87852	1,32275	2375,0	448883	756
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	2,87910	1,32100	2378,2	450072	757
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	2,87967	1,31926	2381,3	451262	758
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	2,88024	1,31752	2384,5	452453	759
<b>760</b>	577600	438976000	27,5681	9,1258	2,88081	1,31579	2387,6	453646	<b>760</b>
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	2,88138	1,31406	2390,8	454841	761
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	2,88195	1,31234	2393,9	456037	762
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	2,88252	1,31062	2397,0	457234	763
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	2,88309	1,30890	2400,2	458434	764
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	2,88366	1,30719	2403,3	459635	765
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	2,88423	1,30548	2406,5	460837	766
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	2,88480	1,30378	2409,6	462041	767
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	2,88536	1,30208	2412,7	463247	768
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	2,88593	1,30039	2415,9	464454	769
<b>770</b>	592900	456533000	27,7489	9,1657	2,88649	1,29870	2419,0	465663	<b>770</b>
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	2,88705	1,29702	2422,2	466873	771
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	2,88762	1,29534	2425,3	468085	772
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	2,88818	1,29366	2428,5	469298	773
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	2,88874	1,29199	2431,6	470513	774
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	2,88930	1,29032	2434,7	471730	775
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	2,88986	1,28866	2437,9	472948	776
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	2,89042	1,28700	2441,0	474168	777
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	2,89098	1,28535	2444,2	475389	778
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	2,89154	1,28370	2447,3	476612	779
<b>780</b>	608400	474552000	27,9285	9,2052	2,89209	1,28205	2450,4	477836	<b>780</b>
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	2,89265	1,28041	2453,6	479062	781
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	2,89321	1,27877	2456,7	480290	782
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	2,89376	1,27714	2459,9	481519	783
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	2,89432	1,27551	2463,0	482750	784
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	2,89487	1,27389	2466,2	483982	785
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	2,89542	1,27226	2469,3	485216	786
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	2,89597	1,27065	2472,4	486451	787
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	2,89653	1,26904	2475,6	487688	788
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	2,89708	1,26743	2478,7	488927	789
<b>790</b>	624100	493039000	28,1069	9,2443	2,89763	1,26582	2481,9	490167	<b>790</b>
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	2,89818	1,26422	2485,0	491409	791
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	2,89873	1,26263	2488,1	492652	792
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	2,89927	1,26103	2491,3	493897	793
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	2,89982	1,25945	2494,4	495143	794
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	2,90037	1,25786	2497,6	496391	795
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	2,90091	1,25628	2500,7	497641	796
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	2,90146	1,25471	2503,8	498892	797
798	636804	508169592	28,2489	9,2754	2,90200	1,25313	2507,0	500145	798
799	638401	510082399	28,2666	9,2793	2,90255	1,25156	2510,1	501399	799
<b>800</b>	640000	512000000	28,2843	9,2832	2,90309	1,25000	2513,3	502655	<b>800</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>800</b>	640000	512000000	28,2843	9,2832	2,90309	1,25000	2513,3	502655	<b>800</b>
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	2,90363	1,24844	2516,4	503912	801
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	2,90417	1,24688	2519,6	505171	802
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	2,90472	1,24533	2522,7	506432	803
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	2,90526	1,24378	2525,8	507694	804
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	2,90580	1,24224	2529,0	508958	805
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	2,90634	1,24069	2532,1	510223	806
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	2,90687	1,23916	2535,3	511490	807
808	652864	527514112	28,4253	9,3140	2,90741	1,23762	2538,4	512758	808
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	2,90795	1,23609	2541,5	514028	809
<b>810</b>	656100	531441000	28,4605	9,3217	2,90849	1,23457	2544,7	515300	<b>810</b>
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	2,90902	1,23305	2547,8	516573	811
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	2,90956	1,23153	2551,0	517848	812
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	2,91009	1,23001	2554,1	519124	813
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	2,91062	1,22850	2557,3	520402	814
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	2,91116	1,22699	2560,4	521681	815
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	2,91169	1,22549	2563,5	522962	816
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	2,91222	1,22399	2566,7	524245	817
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	2,91275	1,22249	2569,8	525529	818
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	2,91328	1,22100	2573,0	526814	819
<b>820</b>	672400	551368000	28,6356	9,3599	2,91381	1,21951	2576,1	528102	<b>820</b>
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	2,91434	1,21803	2579,2	529391	821
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	2,91487	1,21655	2582,4	530681	822
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	2,91540	1,21507	2585,5	531973	823
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	2,91593	1,21359	2588,7	533267	824
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	2,91645	1,21212	2591,8	534562	825
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	2,91698	1,21065	2595,0	535858	826
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	2,91751	1,20919	2598,1	537157	827
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	2,91803	1,20773	2601,2	538456	828
829	687241	569722789	28,7924	9,3940	2,91855	1,20627	2604,4	539758	829
<b>830</b>	688900	571787000	28,8097	9,3978	2,91908	1,20482	2607,5	541061	<b>830</b>
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	2,91960	1,20337	2610,7	542365	831
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	2,92012	1,20192	2613,8	543671	832
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	2,92065	1,20048	2616,9	544979	833
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	2,92117	1,19904	2620,1	546288	834
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	2,92169	1,19760	2623,2	547599	835
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	2,92221	1,19617	2626,4	548912	836
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	2,92273	1,19474	2629,5	550226	837
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	2,92324	1,19332	2632,7	551541	838
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	2,92376	1,19190	2635,8	552858	839
<b>840</b>	705600	592704000	28,9828	9,4354	2,92428	1,19048	2638,9	554177	<b>840</b>
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	2,92480	1,18906	2642,1	555497	841
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	2,92531	1,18765	2645,2	556819	842
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	2,92583	1,18624	2648,4	558142	843
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	2,92634	1,18483	2651,5	559467	844
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	2,92686	1,18343	2654,6	560794	845
846	715716	605495736	29,0861	9,4578	2,92737	1,18203	2657,8	562122	846
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	2,92788	1,18064	2660,9	563452	847
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	2,92840	1,17925	2664,1	564783	848
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	2,92891	1,17786	2667,2	566116	849
<b>850</b>	722500	614125000	29,1548	9,4727	2,92942	1,17647	2670,4	567450	<b>850</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>850</b>	722500	614125000	29,1548	9,4727	2,92942	1,17647	2670,4	567450	<b>850</b>
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	2,92993	1,17509	2673,5	568786	851
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	2,93044	1,17371	2676,6	570124	852
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	2,93095	1,17233	2679,8	571463	853
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	2,93146	1,17096	2682,9	572803	854
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	2,93197	1,16959	2686,1	574146	855
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	2,93247	1,16822	2689,2	575490	856
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	2,93298	1,16686	2692,3	576835	857
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	2,93349	1,16550	2695,5	578182	858
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	2,93399	1,16414	2698,6	579530	859
<b>860</b>	739600	636056000	29,3258	9,5097	2,93450	1,16279	2701,8	580880	<b>860</b>
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	2,93500	1,16144	2704,9	582232	861
862	743044	640503928	29,3598	9,5171	2,93551	1,16009	2708,1	583585	862
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	2,93601	1,15875	2711,2	584940	863
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	2,93651	1,15741	2714,3	586297	864
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	2,93702	1,15607	2717,5	587655	865
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	2,93752	1,15473	2720,6	589014	866
867	751689	651714363	29,4449	9,5354	2,93802	1,15340	2723,8	590375	867
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	2,93852	1,15207	2726,9	591738	868
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	2,93902	1,15075	2730,0	593102	869
<b>870</b>	756900	658503000	29,4958	9,5464	2,93952	1,14943	2733,2	594468	<b>870</b>
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	2,94002	1,14811	2736,3	595835	871
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	2,94052	1,14679	2739,5	597204	872
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	2,94101	1,14548	2742,6	598575	873
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	2,94151	1,14416	2745,8	599947	874
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	2,94201	1,14286	2748,9	601320	875
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	2,94250	1,14155	2752,0	602696	876
877	769129	674526133	29,6142	9,5719	2,94300	1,14025	2755,2	604073	877
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	2,94349	1,13895	2758,3	605451	878
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	2,94399	1,13766	2761,5	606831	879
<b>880</b>	774400	681472000	29,6648	9,5828	2,94448	1,13636	2764,6	608212	<b>880</b>
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	2,94498	1,13507	2767,7	609595	881
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	2,94547	1,13379	2770,9	610980	882
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	2,94596	1,13250	2774,0	612366	883
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	2,94645	1,13122	2777,2	613754	884
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	2,94694	1,12994	2780,3	615143	885
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	2,94743	1,12867	2783,5	616534	886
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	2,94792	1,12740	2786,6	617927	887
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	2,94841	1,12613	2789,7	619321	888
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	2,94890	1,12486	2792,9	620717	889
<b>890</b>	792100	704969000	29,8329	9,6190	2,94939	1,12360	2796,0	622114	<b>890</b>
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	2,94988	1,12233	2799,2	623513	891
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	2,95036	1,12108	2802,3	624913	892
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	2,95085	1,11982	2805,4	626315	893
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	2,95134	1,11857	2808,6	627718	894
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	2,95182	1,11732	2811,7	629124	895
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	2,95231	1,11607	2814,9	630530	896
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	2,95279	1,11483	2818,0	631938	897
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	2,95328	1,11359	2821,2	633348	898
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	2,95376	1,11235	2824,3	634760	899
<b>900</b>	810000	729000000	30,0000	9,6549	2,95424	1,11111	2827,4	636173	<b>900</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>900</b>	810000	729000000	30,0000	9,6549	2,95424	1,11111	2827,4	636173	<b>900</b>
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	2,95472	1,10988	2830,6	637587	901
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	2,95521	1,10865	2833,7	639003	902
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	2,95569	1,10742	2836,9	640421	903
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	2,95617	1,10619	2840,0	641840	904
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	2,95665	1,10497	2843,1	643261	905
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	2,95713	1,10375	2846,3	644683	906
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	2,95761	1,10254	2849,4	646107	907
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	2,95809	1,10132	2852,6	647533	908
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	2,95856	1,10011	2855,7	648960	909
<b>910</b>	828100	753571000	30,1662	9,6905	2,95904	1,09890	2858,8	650388	<b>910</b>
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	2,95952	1,09766	2862,0	651818	911
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	2,95999	1,09649	2865,1	653250	912
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	2,96047	1,09529	2868,3	654684	913
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	2,96095	1,09409	2871,4	656118	914
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	2,96142	1,09290	2874,6	657555	915
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	2,96190	1,09170	2877,7	658993	916
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	2,96237	1,09051	2880,8	660433	917
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	2,96284	1,08932	2884,0	661874	918
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	2,96332	1,08814	2887,1	663317	919
<b>920</b>	846400	778688000	30,3315	9,7259	2,96379	1,08696	2890,3	664761	<b>920</b>
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	2,96426	1,08578	2893,4	666207	921
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	2,96473	1,08460	2896,5	667654	922
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	2,96520	1,08342	2899,7	669103	923
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	2,96567	1,08225	2902,8	670554	924
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	2,96614	1,08108	2906,0	672006	925
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	2,96661	1,07991	2909,1	673460	926
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	2,96708	1,07875	2912,3	674915	927
928	861184	799178552	30,4631	9,7540	2,96755	1,07759	2915,4	676372	928
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	2,96802	1,07643	2918,5	677831	929
<b>930</b>	864900	804357000	30,4959	9,7610	2,96848	1,07527	2921,7	679291	<b>930</b>
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	2,96895	1,07411	2924,8	680752	931
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	2,96942	1,07296	2928,0	682216	932
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	2,96988	1,07181	2931,1	683680	933
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	2,97035	1,07066	2934,2	685147	934
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	2,97081	1,06952	2937,4	686615	935
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	2,97128	1,06838	2940,5	688084	936
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	2,97174	1,06724	2943,7	689555	937
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	2,97220	1,06610	2946,8	691028	938
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	2,97267	1,06496	2950,0	692502	939
<b>940</b>	883600	830584000	30,6594	9,7959	2,97313	1,06383	2953,1	693978	<b>940</b>
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	2,97359	1,06270	2956,2	695455	941
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	2,97405	1,06157	2959,4	696934	942
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	2,97451	1,06045	2962,5	698415	943
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	2,97497	1,05932	2965,7	699897	944
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	2,97543	1,05820	2968,8	701380	945
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	2,97589	1,05708	2971,9	702865	946
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	2,97635	1,05597	2975,1	704352	947
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	2,97681	1,05485	2978,2	705840	948
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	2,97727	1,05374	2981,4	707330	949
<b>950</b>	902500	857375000	30,8221	9,8305	2,97772	1,05263	2984,5	708822	<b>950</b>

$n$	$n^2$	$n^3$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\log n$	$\frac{1000}{n}$	$\pi n$	$\frac{\pi n^2}{4}$	$n$
<b>950</b>	902500	857375000	30,8221	9,8305	2,97772	1,05263	2984,5	708822	<b>950</b>
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	2,97818	1,05152	2987,7	710315	951
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	2,97864	1,05042	2990,8	711809	952
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	2,97909	1,04932	2993,9	713306	953
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	2,97955	1,04822	2997,1	714803	954
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	2,98000	1,04712	3000,2	716303	955
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	2,98046	1,04603	3003,4	717804	956
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	2,98091	1,04493	3006,5	719306	957
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	2,98137	1,04384	3009,6	720810	958
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	2,98182	1,04275	3012,8	722316	959
<b>960</b>	921600	884736000	30,9839	9,8648	2,98227	1,04167	3015,9	723823	<b>960</b>
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	2,98272	1,04058	3019,1	725332	961
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	2,98318	1,03950	3022,2	726842	962
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	2,98363	1,03842	3025,4	728354	963
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	2,98408	1,03734	3028,5	729867	964
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	2,98453	1,03627	3031,6	731382	965
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	2,98498	1,03520	3034,8	732899	966
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	2,98543	1,03413	3037,9	734417	967
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	2,98588	1,03306	3041,1	735937	968
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	2,98632	1,03199	3044,2	737458	969
<b>970</b>	940900	912673000	31,1448	9,8990	2,98677	1,03093	3047,3	738981	<b>970</b>
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	2,98722	1,02987	3050,5	740506	971
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	2,98767	1,02881	3053,6	742032	972
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	2,98811	1,02775	3056,8	743559	973
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	2,98856	1,02669	3059,9	745088	974
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	2,98900	1,02564	3063,1	746619	975
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	2,98945	1,02459	3066,2	748151	976
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	2,98989	1,02354	3069,3	749685	977
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	2,99034	1,02249	3072,5	751221	978
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	2,99078	1,02145	3075,6	752758	979
<b>980</b>	960400	941192000	31,3050	9,9329	2,99123	1,02041	3078,8	754296	<b>980</b>
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	2,99167	1,01937	3081,9	755837	981
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	2,99211	1,01833	3085,0	757378	982
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	2,99255	1,01729	3088,2	758922	983
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	2,99300	1,01626	3091,3	760466	984
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	2,99344	1,01523	3094,5	762013	985
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	2,99388	1,01420	3097,6	763561	986
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	2,99432	1,01317	3100,8	765111	987
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	2,99476	1,01215	3103,9	766662	988
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	2,99520	1,01112	3107,0	768214	989
<b>990</b>	980100	970299000	31,4643	9,9666	2,99564	1,01010	3110,2	769769	<b>990</b>
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	2,99607	1,00908	3113,3	771325	991
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	2,99651	1,00806	3116,5	772882	992
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	2,99695	1,00705	3119,6	774441	993
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	2,99739	1,00604	3122,7	776002	994
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	2,99782	1,00503	3125,9	777564	995
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	2,99826	1,00402	3129,0	779128	996
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	2,99870	1,00301	3132,2	780693	997
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	2,99913	1,00200	3135,3	782260	998
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	2,99957	1,00100	3138,5	783828	999

## Berichtigungen.

- S. 120 Z. 12 v. u. lies Skala statt Rolle.  
S. 148 Z. 4 v. o. lies das statt daß.  
S. 153 Z. 12 v. o. lies Preßstellen statt Preßplatten.  
S. 220 Z. 3 v. o. lies auf statt anf.  
S. 228 Z. 7 v. o. lies Kolben statt Deckel.  
S. 239 Z. 1 v. o. lies ausgestaltete statt ausgestattete.  
S. 282 Z. 10 v. u. lies dem statt den.  
S. 292 Z. 3 v. u. lies benetzte statt benutzte.  
S. 298 Z. 7 v. u. lies von statt bis.  
S. 314 Z. 11 v. u. lies umlaufenden statt umlaufende.  
S. 336 Z. 17 v. u. lies Temperaturveränderung statt Temperaturveränderungen.  
S. 433 Z. 11 v. u. lies bei einem Raumgewicht des Holzes statt bei einem spezifischen Gewicht, und setze in den folgenden vier Zeilen  $r = . . . .$  an Stelle von  $s = . . . .$

---

Verlag von Julius Springer in Berlin.

---

**Handbuch der Materialkunde für den Maschinenbau.** Von A. Martens, Professor und Direktor der Kgl. Mechan.-techn. Versuchsanstalt zu Berlin-Charlottenburg. Erster Teil. Materialprüfungswesen. Probiermaschinen und Meßinstrumente. Mit 514 Textfiguren und 20 Tafeln.  
In Leinwand gebunden Preis M. 40,—.

---

**Die Kegelprobe.** Ein neues Verfahren zur Härtebestimmung von Materialien. Von Dr.-Ing. Paul Ludwik, Honorar- und Privat-Dozent an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 1 Textabbildung und 8 Seiten Tabellen.  
Preis M. 1,—.

---

**Das Königliche Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule Berlin** auf dem Gelände der Domäne Dahlem beim Bahnhof Groß-Lichterfelde West. Denkschrift zur Eröffnung bearbeitet von dem Direktor A. Martens, Professor und Geh. Regierungsrat und dem Bauleitenden M. Guth, Königlichem Landbauinspektor. Mit zahlreichen Textfiguren und 6 Tafeln.  
Preis M. 10,—.

---

**Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West.** Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission. Jährlich 8—10 Hefte.  
Vom Jahrgang 1909 ab Preis für den Jahrgang M. 16,—.

Die „Mitteilungen“ erscheinen seit 1883; die Jahrgänge 1883—1903 führen den Titel: „Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin.“

Vorläufige Vorschriften für die Benutzung des Königlichen Materialprüfungsamtes der Technischen Hochschule Berlin. Preis M. —,30.

---

**Mitteilungen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik.** Deutsche Ausgabe. Preis jeder Nummer M. —,50. Die Mitteilungen erscheinen in zwangloser Folge.

---

**Elastizität und Festigkeit.** Die für die Technik wichtigsten Sätze und deren erfahrungsmäßige Grundlage. Von Dr.-Ing. C. Bach, Königl. Württ. Baudirektor, Prof. des Maschinen-Ingenieurwesens an der Königl. Techn. Hochschule Stuttgart. Fünfte, vermehrte Auflage. Mit zahlreichen Textfiguren und 20 Lichtdrucktafeln.  
In Leinwand gebunden Preis M. 18,—.

---

**Einführung in die Festigkeitslehre** nebst Aufgaben aus dem Maschinenbau und der Baukonstruktion. Ein Lehrbuch für Maschinenbauschulen und andere technische Lehranstalten sowie zum Selbstunterricht und für die Praxis. Von Ernst Wehnert, Ingenieur und Lehrer an der Städt. Gewerbe- und Maschinenbauschule in Leipzig. Mit 231 Textfiguren.  
In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

---

**Technische Mechanik.** Ein Lehrbuch der Statik und Dynamik für Maschinen- und Bauingenieure. Von Ed. Autenrieth, Oberbaurat und Professor an der Königl. Techn. Hochschule zu Stuttgart. Mit 327 Textfiguren.  
Preis M. 12,—; in Leinwand gebunden Preis M. 13,20.

---

**Anleitung zur statischen Berechnung von Eisenkonstruktionen im Hochbau.** Von H. Schloesser, Ingenieur. Mit 160 Textabbildungen, einer Beilage und einem Bauplan. Dritte, verbesserte Auflage, bearbeitet und herausgegeben von W. Will, Ingenieur.  
In Leinwand gebunden Preis M. 7,—.

---

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

## Verlag von Julius Springer in Berlin.

---

**Armierter Beton.** Monatsschrift für Theorie und Praxis des gesamten Betonbaues. In Verbindung mit Fachleuten herausgegeben von **E. Probst**. Monatlich erscheint ein Heft von 24—32 Seiten. Preis des Jahrgangs M. 10,—.

Den Inhalt dieser Monatsschrift bilden: Rundschauartige Berichte über wichtige Versuche, über neue Ergebnisse der Theorie, über amtliche Vorschriften, Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen, Originalberichte über interessante Ausführungen aus der Praxis des In- und Auslandes. In gedrängter, übersichtlicher Form soll alles, was zum weiteren Ausbau der neuen Bauweise beitragen kann, zur Kenntnis der Fachgenossen gebracht werden.

Probehefte stehen jederzeit unberechnet zur Verfügung.

---

**Einfluß der Armatur und der Risse im Beton auf die Trag-sicherheit.** Ergebnisse aus den Untersuchungen der Abteilung 1 für Metallprüfung mit armierten Betonbalken. Bearbeitet und besprochen von **E. Probst**, Zivil-Ingenieur. Mit 77 Textabbildungen und 9 Tafeln. (Ergänzungsheft I, 1907 der Mitteilungen aus dem Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West. Herausgegeben im Auftrage der Königl. Aufsichts-Kommission.) Preis M. 15,—.

---

**Die Prüfung und die Eigenschaften der Kalksandsteine.** Ergebnisse von Versuchen, ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West. Von **H. Burchartz**, ständiger Mitarbeiter der Abteilung für Baumaterialprüfung am Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West. Mit 13 Textfiguren. Preis M. 5,—.

---

**Luftkalke und Luftkalkmörtel.** Ergebnisse von Versuchen, ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West. Von **H. Burchartz**, ständiger Mitarbeiter der Abteilung für Baumaterialprüfung am Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde West. Mit 80 Textfiguren. Preis M. 9,—.

---

**Schutz von Eisenkonstruktionen gegen Feuer.** Herausgegeben im Auftrage des Verbandes deutscher Architekten- und Ingenieurvereine, des Vereines deutscher Ingenieure und des Vereines deutscher Eisenhüttenleute von **H. Hagn**, Ingenieur in Hamburg. Mit 163 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 2,—.

---

**Technische Messungen**, insbesondere bei Maschinen-Untersuchungen. Zum Gebrauch in Maschinenlaboratorien und für die Praxis. Von **Anton Gramberg**, Dipl.-Ingenieur, Dozent an der Technischen Hochschule Danzig. Mit 181 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

---

**Technische Untersuchungsmethoden zur Betriebskontrolle**, insbesondere zur Kontrolle des Dampfbetriebes. Zugleich ein Leitfaden für die Arbeiten in den Maschinenbaulaboratorien technischer Lehranstalten. Von **Julius Brand**, Ingenieur, Oberlehrer der Königl. vereinigten Maschinenbauschulen zu Elberfeld. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 301 Textfiguren, 2 lithogr. Tafeln und zahlreichen Tabellen.

In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

---

**Elektrotechnische Meßkunde.** Von **A. Linker**, Ingenieur. Mit 385 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

---

**Elektrische und magnetische Messungen und Meßinstrumente.** Von **H. S. Hallo** und **H. W. Land**. Eine freie Bearbeitung und Ergänzung des holländischen Werkes *Magnetische en Elektrische Metingen* von **G. J. van Swaay**, Professor an der technischen Hochschule zu Delft. Mit 343 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.

---

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung.**

**Über Drehbarkeit und Werkzeugstähle.** Autorisierte deutsche Ausgabe der Schrift: „On the art of cutting metals“ von Fred. W. Taylor, Philadelphia. Von A. Wallichs, Professor an der Technischen Hochschule zu Aachen. Mit 119 Textfiguren und Tabellen.

In Leinwand gebunden Preis M. 14,—.

**Die Werkzeugmaschinen.** Von Hermann Fischer, Geh. Regierungsrat und Professor an der Königl. Technischen Hochschule in Hannover.

I. Die Metallbearbeitungsmaschinen. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 1545 Textfiguren und 50 lithogr. Tafeln.

In zwei Leinwandbände gebunden Preis M. 45,—.

II. Die Holzbearbeitungsmaschinen. Mit 421 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.

**Die Werkzeugmaschinen und ihre Konstruktionselemente.**

Ein Lehrbuch zur Einführung in den Werkzeugmaschinenbau. Von Fr. W. Hülle, Ingenieur, Oberlehrer an der Königl. höheren Maschinenbauschule in Stettin. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 590 Textfiguren und 2 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

**Aufgaben und Fortschritte des deutschen Werkzeugmaschinenbaues.** Von Friedrich Ruppert, Oberingenieur. Mit 398 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

**Die Werkzeugmaschinen auf der Weltausstellung in Lüttich**

1905. Von Professor Dr.-Ing. G. Schlesinger. Mit einem Vorbericht von Paul Möller. Mit 228 Textfiguren.

Preis M. 3,—.

**Die Schleifmaschine in der Metallbearbeitung.** Von H. Darbyshire. Autorisierte deutsche Bearbeitung von G. L. S. Kronfeld. Mit 77 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

**Moderne Arbeitsmethoden im Maschinenbau.** Von John T. Usher. Autorisierte deutsche Bearbeitung von A. Elfes, Ingenieur. Dritte, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 315 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

**Der Fabrikbetrieb.** Praktische Anleitung zur Anlage und Verwaltung von Maschinenfabriken und ähnlichen Betrieben sowie zur Kalkulation und Lohnverrechnung. Von Albert Ballewski. Zweite, verbesserte Auflage.

Preis M. 5,—; in Leinwand gebunden M. 6,—.

**Fabrikorganisation, Fabrikbuchführung und Selbstkostenberechnung** der Firma Ludw. Loewe & Co., Aktiengesellschaft, Berlin. Mit Genehmigung der Direktion zusammengestellt und erläutert von J. Lilienthal. Mit einem Vorwort von Dr.-Ing. G. Schlesinger, Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

**Werkstättenbuchführung für moderne Fabrikbetriebe.** Von C. M. Lewin, Dipl.-Ingenieur. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

**Ermittelung der billigsten Betriebskraft für Fabriken** unter Berücksichtigung der Heizungskosten sowie der Abdampfverwertung. Von Karl Urbahn, Ingenieur. Mit 23 Textfiguren und 26 Tabellen. Preis M. 2,40.

**Selbstkostenberechnung für Maschinenfabriken.** Im Auftrage des Vereines Deutscher Maschinenbau-Anstalten bearbeitet von J. Bruinier. Preis M. 1,—.

---

## Verlag von Julius Springer in Berlin.

---

**Hilfsbuch für den Maschinenbau.** Für Maschinentechniker sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten. Von **Fr. Freytag**, Professor, Lehrer an den technischen Staatslehranstalten zu Chemnitz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 1004 Textfiguren und 8 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 10,—; in Ganzleder gebunden M. 12,—.

**Hilfsbuch für die Elektrotechnik**, unter Mitwirkung einer Anzahl Fachgenossen bearbeitet und herausgegeben von Dr. **K. Strecker**, Geh. Post- und Professor. Siebente, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 675 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 14,—.

**Die Technologie des Maschinentechnikers.** Von Ingenieur **Karl Meyer**, Professor, Oberlehrer an den Kgl. Vereinigten Maschinenbauschulen zu Cöln. Mit 377 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

**Das praktische Jahr des Maschinenbau-Volontärs.** Ein Leit- faden für den Beginn der Ausbildung zum Ingenieur. Von **Æpl.-Jug. F. zur Nedden**. Mit 4 Textfiguren.

Preis M. 4,—; in Leinwand gebunden M. 5,—.

**Hilfsbuch für Dampfmaschinen-Techniker.** Herausgegeben von **Joseph Hrabák**, k. und k. Hofrat, emer. Professor an der k. und k. Berg- akademie zu Píbram. Vierte Auflage. In drei Teilen. Mit Textfiguren.

In drei Leinwandbände gebunden Preis M. 20,—.

**Entwerfen und Berechnen der Dampfmaschinen.** Ein Lehr- und Handbuch für Studierende und angehende Konstrukteure. Von **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 427 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M 10,—.

**Die Dampfkessel.** Ein Lehr- und Handbuch für Studierende Technischer Hochschulen, Schüler Höherer Maschinenbauschulen und Technikern sowie für Ingenieure und Techniker. Bearbeitet von **F. Tetzner**, Professor, Ober- lehrer an den Königlichen vereinigten Maschinenbauschulen zu Dortmund. Dritte, verbesserte Auflage.

In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

**Kondensation.** Ein Lehr- und Handbuch über Kondensation und alle damit zusammenhängenden Fragen, einschließlich der Wasserrückkühlung. Für Studierende des Maschinenbaues, Ingenieure, Leiter größerer Dampfbetriebe, Chemiker und Zuckertechniker. Von **F. J. Weiß**, Zivilingenieur in Basel. Mit 96 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

**Die Hebezeuge.** Theorie und Kritik ausgeführter Konstruktionen mit be- sonderer Berücksichtigung der elektrischen Anlagen. Ein Handbuch für Ingenieure, Techniker und Studierende. Von **Ad. Ernst**, Professor des Maschinen-Ingenieurwesens an der Königl. Technischen Hochschule in Stutt- gart. Vierte, neubearbeitete Auflage. Drei Bände. Mit 1486 Textfiguren und 97 lithogr. Tafeln.

In drei Leinwandbände gebunden Preis M. 60,—.

**Die Abfassung der Patentunterlagen und ihr Einfluß auf den Schutzzumfang.** Ein Handbuch für Nachsucher und Inhaber deutscher Reichspatente. Von Dr. **Heinrich Teudt**, ständigem Mitarbeiter im Kaiser- lichen Patentamt. Mit zahlreichen Beispielen und Auszügen aus den ein- schlägigen Entscheidungen. Preis M 3,60; in Leinwand gebunden M. 4,40.

**Verdampfen, Kondensieren und Kühlen.** Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch. Von **E. Hausbrand**, Königl. Baurat. Vierte, durchgesehene Auflage unter der Presse.

---

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung.**

---

## Verlag von Julius Springer in Berlin.

---

**Das Trocknen mit Luft und Dampf.** Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch. Von **E. Hausbrand**, Königl. Baurat. Dritte, vermehrte Auflage. Mit Textfiguren und 3 lithogr. Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

**Hilfsbuch für den Apparatebau.** Von **E. Hausbrand**, Kgl. Baurat. Mit 40 Tabellen und 159 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 3,—.

**Die chemische Untersuchung des Eisens.** Eine vollständige Zusammenstellung der bekanntesten Untersuchungsmethoden für Eisen, Stahl, Roheisen, Eisenerz, Kalkstein, Schlacke, Ton, Kohle, Koks, Verbrennungs- und Generatorgase. Von **Andrew Alexander Blair**. Vervollständigte deutsche Bearbeitung von **L. Rürup**, Hütten-Ingenieur. Mit 102 Textabbildungen.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

**Untersuchung der Mineralöle und Fette** sowie der ihnen verwandten Stoffe mit besonderer Berücksichtigung der Schmiermittel. Von **Dr. D. Holde**, Professor, Abteilungsvorsteher am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde W., Dozent an der Technischen Hochschule Berlin. Zweite Auflage der Untersuchung der Schmiermittel und verwandter Produkte der Fett- und Naphthaindustrie. Mit 99 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

**Benedikt-Ulzer, Analyse der Fette und Wachsarten.** Fünfte, umgearbeitete Auflage unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgenossen bearbeitet von **Prof. Ferdinand Ulzer**, Dipl.-Chem. **P. Pastrovich** und **Dr. A. Eisenstein**. Mit 113 Textfiguren.

Preis M. 26,—; in Halbleder gebunden M. 28,60.

**Technologie der Fette und Öle.** Handbuch der Gewinnung und Verarbeitung der Fette, Öle und Wachsarten des Pflanzen- und Tierreichs. Unter Mitwirkung von Fachmännern herausgegeben von **Gustav Hefter**, Direktor der Aktiengesellschaft zur Fabrikation vegetabilischer Öle in Triest. In vier Bänden.

Erster Band: Gewinnung der Fette und Öle. Allgemeiner Teil. Mit 346 Textfiguren und 10 Tafeln. Preis M. 20,—; in Halbleder gebunden M. 22,50.

Zweiter Band: Gewinnung der Fette und Öle. Spezieller Teil. Mit 155 Textfiguren und 19 Tafeln. Preis M. 28,—; in Halbleder gebunden M. 31,—.

Der dritte und vierte Band erscheinen im Jahre 1909.

**Färbereichemische Untersuchungen.** Anleitung zur Untersuchung und Bewertung der wichtigsten Färberei-, Bleicherei-, Druckerei- und Appretur-Materialien. Von **Dr. Paul Heermann**. Zweite, erweiterte und umgearbeitete Auflage. Mit 5 Textfiguren und 3 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.

**Koloristische und textil-chemische Untersuchungen.** Von **Dr. Paul Heermann**. Mit 9 Textfiguren und 3 Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

**Taschenbuch für die Färberei und Farbenfabrikation.** Unter Mitwirkung von **H. Surbeck**, dipl. Chemiker, herausgegeben von **Dr. R. Gnehm**, Professor der technischen Chemie am Eidgen. Polytechnikum in Zürich. Mit Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

**Chemiker-Kalender.** Ein Hilfsbuch für Chemiker, Physiker, Mineralogen, Industrielle, Pharmazeuten, Hüttenmänner usw. Von **Dr. Rudolf Biedermann**. Erscheint alljährlich in zwei Teilen.

I. Teil in Leinwandband; II. Teil (Beilage) geheftet. Preis zusammen M. 4,—.

I. Teil in Lederband; II. Teil (Beilage) geheftet. Preis zusammen M. 4,50.

Die beiden Teile werden nicht einzeln abgegeben.

---

**Zu beziehen durch jede Buchhandlung.**

**Chemisch-technische Untersuchungsmethoden.** Mit Benutzung der früheren von Dr. Friedrich Böckmann bearbeiteten Auflagen, und unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgenossen herausgegeben von Dr. Georg Lunge, Professor der technischen Chemie am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich. Fünfte, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage.

In drei Bänden.

Erster Band: 953 Seiten Text, 49 Seiten Tabellen-Anhang. Mit 180 Textfiguren. Preis M. 20,—; in Halbleder gebunden M. 22,—.

Zweiter Band: 842 Seiten Text, 8 Seiten Tabellen-Anhang. Mit 153 Textfiguren. Preis M. 16,—; in Halbleder gebunden M. 18,—.

Dritter Band: 1247 Seiten Text, 57 Seiten Namen- und Sachregister, 44 Seiten Tabellen-Anhang. Mit 119 Textfiguren und 3 Tafeln. Preis M. 26,—; in Halbleder gebunden M. 28,50.

Jeder Band ist einzeln käuflich.

---

**Anleitung zur chemisch-technischen Analyse.** Für den Gebrauch an Unterrichts-Laboratorien bearbeitet von Prof. F. Ulzer und Dr. A. Fraenkel. Mit Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

---

**Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen.** Dritte, umgearbeitete und vermehrte Auflage Unter Mitwirkung zahlreicher Physiker und Chemiker und mit Unterstützung der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften herausgegeben von Dr. Richard Börnstein, Professor der Physik an der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin, und Dr. Wilhelm Meyerhoffer, Professor, Privatdozent an der Universität zu Berlin. In Moleskin gebunden Preis M. 36,—.

---

**Naturkonstanten in alphabetischer Anordnung.** Hilfsbuch für chemische und physikalische Rechnungen. Mit Unterstützung des Internationalen Atomgewichtsausschusses herausgegeben von Prof. Dr. H. Erdmann, Vorsteher, und Privatdozent Dr. P. Köthner, erstem Assistenten des Anorganisch-Chemischen Laboratoriums der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin. In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

---

**Grundzüge der Elektrochemie auf experimenteller Basis.** Von Dr. Robert Lüpke. Fünfte, neu bearbeitete Auflage von Professor Dr. Emil Bose, Dozent für physikalische Chemie und Elektrochemie an der Technischen Hochschule zu Danzig. Mit 80 Textfiguren und 24 Tabellen. In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

---

**Quantitative Analyse durch Elektrolyse.** Von Alexander Classen. Fünfte Aufl. in durchaus neuer Bearbeitung. Unter Mitwirkung von H. Cloeren. Mit 54 Textabbildungen und 2 Tafeln. In Leinw. geb. Preis M. 10,—.

---

**Spektroskopie.** Von E. C. C. Baly. Autorisierte deutsche Ausgabe von Professor Dr. Richard Wachsmuth, Dozent für Physik bei dem Physikalischen Verein in Frankfurt a. M. Mit 158 Textfiguren. Preis M. 12,—; in Halbfranz gebunden M. 14,50.

---

**Das Mikroskop und seine Anwendung.** Handbuch der praktischen Mikroskopie und Anleitung zu mikroskopischen Untersuchungen von Dr. Hermann Hager. Nach dessen Tode vollständig umgearbeitet und in Gemeinschaft mit Regierungsrat Dr. O. Appel, Privatdozent Dr. G. Brandes und Professor Dr. Th. Lochte neu herausgegeben von Dr. Carl Mez, Professor der Botanik an der Universität Halle. Zehnte, stark vermehrte Auflage. Mit 463 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

---

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

# Freytags Hilfsbuch für den Maschinenbau

Vierte, neubearbeitete Auflage.

1252 Seiten mit 1390 Textfiguren und 10 Tafeln

In Leinwand gebunden M. 10.—, in Leder gebunden M. 12.—

Die Vorzüge des Freytagschen Hilfsbuches sind bekannt: die Wiedergabe guter, für die Ausführung unmittelbar brauchbarer Konstruktions-Zeichnungen, die Ableitung der für die Beurteilung und Berechnung von Maschinen usw. wichtigsten Formeln, nach Möglichkeit mit den Hilfsmitteln der niederen Mathematik, die Einfügung der für das Verständnis der Wirkungsweise und der Berechnung der Kraft- und Arbeitsmaschinen nötigen theoretischen Unterlagen.

Für den in der Praxis stehenden Maschinenbautechniker ist darum Freytags Hilfsbuch ein stets zuverlässiges Nachschlagewerk beim Entwerfen und Berechnen.

Für seine Brauchbarkeit als Unterrichtsmittel spricht die ständig wachsende Benutzung an Maschinenbauschulen, Gewerbeschulen und Techniken.

**Beachten Sie umstehende Inhaltsübersicht und lassen Sie sich die vierte Auflage vorlegen!**

---

---

Von dem Freytagschen Hilfsbuch liegt nach sieben Jahren bereits die vierte, verbesserte Auflage vor, — der beste Beweis für die gute Aufnahme, die ihm in den maßgebenden Kreisen zuteil wurde. Tatsächlich entspricht das Freytagsche Werk in jeder Weise dem Bedürfnisse nach einem Hand- und Lehrbuch, das auf wissenschaftlicher Grundlage die den verschiedenen Zweigen des allgemeinen Maschinenbaues angehörigen Maschinen und deren Einzelteile behandelt, und nicht minder dem Bedürfnisse nach einem Hilfsbuch beim Entwerfen und Berechnen für den in der Praxis stehenden Ingenieur.

Die Grundsätze, denen der Verfasser bei seiner schwierigen Aufgabe gefolgt ist, haben allgemeine Anerkennung gefunden. Nicht nur hat sich die Fachpresse in günstigen Besprechungen über das Buch geäußert, sondern auch Hochschullehrer, Dozenten des Maschinenbaues, Direktoren von Maschinenbauschulen und Techniken haben ihren Beifall ausgesprochen und das Werk im Unterricht eingeführt.

Bei der vorliegenden, vierten Auflage wurden in den Abschnitten Mathematik, Mechanik und Elastizität neue Formeln, Tabellen und Versuchszahlen aufgenommen, bei den Maschinenteilen sind die Kapitel Fliehkraftregler und Zylinder sowie Rollenzüge, Sperr- und Bremswerke erweitert. Unter Grundlehren der technischen Wärmemechanik wurden neue Diagramme, unter Steuerungen und Kondensation der Dampfmaschinen neue Bauarten eingeschaltet, während die Dampfturbinen nahezu vollständig umgearbeitet sind. Auch die Dampfkessel und Verbrennungsmotoren sind dem neuzeitlichen Stand dieser Kraftmaschinen entsprechend erweitert bzw. geändert.

Neu aufgenommen ist das Kapitel Aufzüge, während besonders die Kolbenpumpen und Kolbenkompressoren durch neue Ausführungen vermehrt sind. Auch der Abschnitt Elektrotechnik ist umgearbeitet und teilweise erheblich gekürzt worden, dafür wurden ihm Angaben über ausgeführte Elektromotoren und Anlasser angefügt.

Im „Anhang“ sind, gegenüber der 3. Auflage des Hilfsbuches, Tabellen über Z- und über Belag-Eisen sowie über Laufkranschienen, ferner die Gebührenordnung der Architekten und Ingenieure, der beratenden Ingenieure für Elektrotechnik und die für Zeugen und Sachverständige neu aufgenommen worden.

Außer der russischen ist auch die französische Ausgabe des Hilfsbuches inzwischen erschienen. Vom k. k. Österreichischen Ministerium für öffentliche Arbeiten ist das Buch beim Unterrichte an höheren Gewerbeschulen und höheren Fachschulen mechanisch-technischer und elektrotechnischer Richtung mit deutscher Unterrichtssprache zugelassen.

### Aus den Urteilen der Fachpresse:

**Gesundheits-Ingenieur.** 1912, Nr. 2: Daß von dem Werke nun schon die vierte Auflage vorliegt, spricht wohl am besten für seine Nützlichkeit. Es ist ein Hand- und Lehrbuch, das auf wissenschaftlicher Grundlage die den verschiedenen Zweigen des allgemeinen Maschinenbaues angehörigen Maschinen und deren Einzelteile behandelt, so daß es ebensowohl den Bedürfnissen an technischen Unterrichtsanstalten dient, wie auch dem in der Praxis stehenden Ingenieur als Hilfsbuch beim Entwerfen und bei der

Berechnung von Maschinenteilen usw. großen Nutzen gewährt. — Das Werk ist in dieser vierten Auflage in allen Teilen eingehend überarbeitet, ergänzt und durch neue Unterabschnitte gegenüber den vorhergehenden Auflagen wesentlich erweitert worden. Außer den zahlreichen, für die Ausführung unmittelbar brauchbaren Abbildungen sind für den Praktiker besonders die vielen in dem Buche enthaltenen Formeln für die Beurteilung und für die Berechnung von Maschinen von großem Wert.

# Freytags Hilfsbuch für den Maschinenbau. 4. Auflage.

(Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses)

## Fünfter Abschnitt. Kraftmaschinen.

Grundlehren der technischen Wärme-  
mechanik.

Die Mechanik der Gase.

Die Mechanik des Wasserdampfes.

Dampfmaschinen.

Das Verhalten des Dampfes in der  
Dampfmaschine.

Berechnung der Dampfmaschinen.

Der Dampfverbrauch.

Steuerungen. — Kondensation.

Anordnungen der Dampfmaschinen.

Abwärmepumpen.

Der Indikator und seine Anwendung.

Dampfturbinen.

Dampfkessel.

Allgemeine Angaben.

Die wichtigsten Bauarten der ortsfesten  
Dampfkessel.

Material der Dampfkessel.

Berechnung der Blechstärken.

Die Ausrüstung der Dampfkessel.

Berechnung eines Zweiflammrohrkessels.

Allgemeine polizeiliche Bestimmungen  
über die Anlegung von Landdampf-  
kesseln.

Normen für Leistungsversuche an  
Dampfkesseln und Dampfmaschinen.

Verbrennungsmotoren.

Allgemeines. Kraftstoffe. Der Kreisprozeß.

Ermittlung der Hauptmaße.

Ausgeführte Verbrennungsmotoren.

Einzelteile und Zubehör.

Regeln für Leistungsversuche an Gas-  
maschinen und Gaserzeugern.

Wassermotoren.

Mechanik flüssiger Körper.

Wasserkraftanlagen.

Unterschied zwischen Wasserrädern und  
Turbinen.

Wasserräder. Turbinen.

## Sechster Abschnitt. Arbeitsmaschinen.

Lasthebemaschinen.

Allgemeines. Rollzüge. Räderwinden.

Krane. Aufzüge.

Hebewerke für flüssige Körper.

Kolbenpumpen.

Rotationspumpen (Kapselpumpen).

Kreiselpumpen (Zentrifugalpumpen).

Dampfdruckpumpen (Pulsometer).

Dampfstrahlpumpen (Injektoren).

Gebläse und Kompressoren.

Ventilatoren. Kolbengebläse und -kom-  
pressoren. Kapselgebläse.

## Siebenter Abschnitt. Elektrotechnik.

Physikalische Grundlagen.

Das absolute Maßsystem.

Der Magnetismus.

Der elektrische Strom.

Erzeugung und Umformung der elek-  
trischen Ströme.

Galvanische und thermoelektrische Ele-  
mente.

Die Gleichstromdynamo.

Die Wechselstromdynamo.

Der Wechselstromtransformator.

Die Elektromotoren.

Die elektrische Beleuchtung.

Grundbegriffe und Einheiten.

Das elektrische Bogenlicht.

Die Quecksilberdampf Lampe.

Das elektrische Glühlicht.

Verteilung der Lampen.

Verteilung elektrischer Energie.

Die Leitungen.

Die Stromerzeugungsanlagen oder Zen-  
tralen.

Angaben über ausgeführte Elektro-  
motoren und Anlasser.

## Achter Abschnitt. Die wichtigsten Hochbaukonstruktionen.

Tabellen. Mauerwerk.

Mauerdurchbrechungen.

Holzverbindungen.

Balkenlagen mit Zwischendecken.

Stein- und Eisendecken, Betondecken usw.

Raumabwölbung.

Ober- und Unterzüge, Säulen.

Hölzerne Dachstühle auf unterstützter Bal-  
kenlage.

Dachformen, Rinnen, Abfallrohre.

Dacheindeckungen.

Dachbelastung.

Freitragende Dachkonstruktionen in Holz.

Hallen- und Schuppenbauten.

Dächer aus Holz und Eisen.

Eiserne Dächer.

Zeichnerische Kräfteermittlung bei Dächern.

Shedbau. Treppen.

Baugrund und Grundbau.

Schornsteine.

Allgemeine Schlußbemerkungen

## Anhang.

Wärmeeigenschaften verschiedener Körper.

Deutsche Normalprofile für Walzeisen.

Breitflanschtige Spezial-(Grey-)Träger.

Laufkranschielen.

Maße und Gewichte.

Gebührenordnungen.

Sachverzeichnis.

**Zeitschrift für gewerblichen Unterricht**, 27. Jahrg., Nr. 1: Der „Freitag“ ist seit geraumer Zeit ein treuer Helfer im technischen Unterricht. Beim Erscheinen der 4. Auflage wird es daher wohl genügen, die Änderungen und Neuerungen hervorzuheben, welche das bewährte Buch gegenüber der im Jahre 1908 ausgegebenen 3. Auflage aufweist. . . . Die erwähnten — und die vielen nicht erwähnten — Verbesserungen legen Zeugnis dafür ab, daß der Verfasser unermüdet bestrebt ist, den Inhalt seines Werkes den Fortschritten der Technik anzupassen.

**Dinglers polytechn. Journal**, 1912, Heft 26: Das Freitag'sche Buch hat seit seinem ersten Erscheinen 1904 eine sehr rasche Verbreitung gefunden. Anfänglich konnte es als ein Wagnis erscheinen, neben der seit Jahren eingebürgerten Hütte ein ähnliches Werk erscheinen zu lassen. Der Verfasser hat es vorzüglich verstanden, durch sorgfältige Wahl und Anordnung des Stoffes dem Buch einen sicheren Platz in der deutschen Literatur zu verschaffen. Die vierte Auflage ist wiederum der Neuzeit entsprechend erweitert worden.

**Glückauf**, 10. Febr. 1912: Die vorliegende vierte Auflage dieses wichtigen Werkes bringt wiederum fast in jedem Abschnitt eine große Anzahl von Verbesserungen und Erweiterungen. Der Verfasser ist mit Erfolg bemüht gewesen, die ihm aus dem Leserkreise zugegangenen Anregungen zur Verbesserung des Werkes zu benutzen, das keiner besonderen Empfehlung mehr bedarf.

**Zeitschrift des Österr. Ingenieur- u. Architekten-Vereins**, 1912, Nr. 27: Das Hilfsbuch von Freitag in dieser „Zeitschrift“ ausführlich besprochen, hieß seine Bedeutung verkennen, die es heute in den Kreisen der Ingenieure und im besonderen der Maschinen-Ingenieure bereits besitzt; ist es doch eines der beliebtesten Hilfs- und Handbücher, das sich bald nach seinem Erscheinen einen treuen Kreis von Freunden zu verschaffen wußte und sich ihm dank seiner Verlässlichkeit auch erhalten hat. — Ein Werk, das wie dieses alle Eigenschaften eines Hilfsbuches in so vortrefflicher Weise in sich vereinigt, empfiehlt sich wohl am besten schon durch sich selbst und bedarf nicht erst einer besonderen Anpreisung.

## Inhaltsverzeichnis.

### Erster Abschnitt. **Mathematik.**

Tafeln.

Arithmetik. — Trigonometrie.

Geometrie.

Konstruktionen von Kurven.

### Zweiter Abschnitt. **Mechanik.**

Bewegungslehre.

Grundlehren der Mechanik starrer Körper.

Statik starrer Körper.

Dynamik starrer Körper.

### Dritter Abschnitt. **Elastizität**

Elastizitäts- und Festigkeitszahlen.

Zulässige Spannungen.

Verschiedene Arten der Festigkeit gerader Stäbe.

**und Festigkeit der Materialien.**

Festigkeit der Federn.

Festigkeit zylindrischer und kugelförmiger Gefäße.

Festigkeit plattenförmiger Körper.

### Vierter Abschnitt. **Maschinenteile.**

Hilfsmittel zur Verbindung von Maschinenteilen.

Lösbare Verbindungen. Keile. Schrauben.

Nicht lösbare Verbindungen. Niete.

Maschinenteile der drehenden Bewegung.

Zahnräder.

Riibräder.

Riemen- und Seilbetrieb.

Zapfen.

Achsen und Wellen.

Kupplungen.

Lager.

Maschinenteile der geradlinigen Bewegung.

Kolben.

Kolbenstangen.

Stopfbüchsen.

Maschinenteile zur Umänderung der geradlinigen in eine drehende Bewegung und umgekehrt.

Kurbelbetrieb. Kurbeln. Kurbelwellen,

Exzenter und deren Stangen.

Schubstangen. — Geradföhrungsteile.

Regelnde Maschinenteile.

Schwungräder für Kraftmaschinen.

Flehkraftregler.

Maschinenteile zur Aufnahme und zur Fortleitung von Flüssigkeiten.

Zylinder. — Rohre. — Ventile.

Maschinenteile zum Lastheben.

Seile, deren Rollen und Trommeln.

Ketten, deren Rollen und Trommeln.

Haken.

Sperr- und Bremswerke.

Sperrwerke. — Bremswerke.

(Fortsetzung umstehend.)