

# Plastische Massen

Herstellung, Verarbeitung und Prüfung  
nichtmetallischer Werkstoffe  
für spanlose Formung

Von

**Dr.-Ing. Arthur Sommerfeld**  
Freiburg im Breisgau

Mit 165 Abbildungen



**Berlin**  
Verlag von Julius Springer  
1934

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

ISBN-13: 978-3-642-98213-2

e-ISBN-13: 978-3-642-99024-3

DOI: 10.1007/978-3-642-99024-3

Copyright 1934 by Julius Springer in Berlin.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1934

## Vorwort.

Auf Grund der Erfahrungen, die ich im Laufe von 25 Jahren bei der Herstellung verschiedener plastischer Massen erworben habe, und mit Hilfe der umfangreichen Literatur über die verschiedenen Teilgebiete beabsichtige ich eine Übersicht über das Gesamtgebiet der plastischen Massen zu geben.

Dieses Buch ist neben meiner Berufsarbeit entstanden. Deshalb mußte ich die Arbeit häufig unterbrechen und in kleinsten Abschnitten wie ein Mosaik zusammenfügen, so daß sich der Abschluß lange verzögerte. Ich hoffe, daß die dadurch entstandenen Ungleichheiten nicht allzu störend sind.

Freiburg i. B., Dezember 1933.

Dr.-Ing. A. Sommerfeld.

# Inhaltsverzeichnis.

|                                                                      | Seite    |
|----------------------------------------------------------------------|----------|
| Erster Teil.                                                         |          |
| <b>Allgemeines über plastische Massen . . . . .</b>                  | <b>1</b> |
| I. Einleitung . . . . .                                              | 1        |
| Die wichtigsten Eigenschaften der plastischen Massen S. 1. —         |          |
| Ihre Anwendung S. 1. — Namen S. 3. — Zweck des Buches S. 3.          |          |
| II. Aufbau der plastischen Massen . . . . .                          | 4        |
| 1. Bindemittel, Faser, Füllmittel, Farbe . . . . .                   | 4        |
| 2. Der plastische Zustand . . . . .                                  | 6        |
| Definition S. 6. — Messung der Plastizität S. 7.                     |          |
| 3. Die Ursachen der Plastizität . . . . .                            | 8        |
| Kolloide S. 8. — Teilchenform S. 9. — Adsorption S. 9.               |          |
| 4. Herbeiführung des plastischen Zustandes . . . . .                 | 10       |
| Quellung S. 10. — Wärmezufuhr S. 11.                                 |          |
| 5. Die Verfestigung . . . . .                                        | 11       |
| Entquellen und Verleimen S. 11. — Erstarren S. 12. — Die hoch-       |          |
| molekularen Stoffe S. 13. — Verdichtung durch Pressen S. 14. —       |          |
| Vorgänge mit Richtwirkung S. 16.                                     |          |
| III. Herstellung und Verarbeitung plastischer Massen . . . . .       | 16       |
| 1. Das Mischen und Aufbereiten . . . . .                             | 16       |
| Zerkleinern S. 18. — Arten der Zerkleinerung S. 18. — Oberflächen-   |          |
| zunahme beim Zerkleinern S. 19. — Bedingungen der Kornform S. 20.    |          |
| 2. Zerkleinerungsmaschinen . . . . .                                 | 23       |
| Backenbrecher S. 23. — Walzenbrecher S. 23. — Mahlwerke S. 24.       |          |
| Trommel- oder Kugelmühlen S. 24. — Kollergänge S. 24. — Walz-        |          |
| mühlen S. 25. — Schlag- und Schleudermühlen S. 25. — Schlagkreuz-    |          |
| mühle S. 25. — Hammermühle S. 25. — Desintegrator S. 26. —           |          |
| Perplexmühle S. 26. — Aufschließen von Fasern S. 27. — Öffner S. 27. |          |
| Reißwolf S. 27. — Holländer S. 27.                                   |          |
| 3. Quellen und Lösen, Waschen . . . . .                              | 28       |
| 4. Mischmaschinen . . . . .                                          | 28       |
| Knetwerke S. 29. — Schraubenknetter S. 29. — Mischwalzen S. 30.      |          |
| Trommelmischer S. 31. — Sieb- und Schlauchpressen S. 31. —           |          |
| Schneckenpressen S. 31.                                              |          |
| 5. Klassieren . . . . .                                              | 32       |
| Schüttelsiebe S. 32. — Trommelsiebe S. 32.                           |          |
| 6. Trocknen . . . . .                                                | 32       |
| Trockenvorrichtungen S. 33.                                          |          |
| 7. Das Pressen . . . . .                                             | 34       |
| Abteilen und Vorformen S. 34. — Vorgang des Pressens S. 35. —        |          |
| Strangpressen S. 38. — Spritzen S. 39.                               |          |
| 8. Die Pressen . . . . .                                             | 40       |
| Handpressen mit und ohne Vorgelege Spindelpressen S. 40. —           |          |
| Mechanische Pressen verschiedener Bauart S. 41. — Hydraulische       |          |
| Pressen S. 41. — Auswerfer S. 44. — Hydraulische Ausstoßer mit       |          |
| Rückzug S. 45.                                                       |          |



|                                                                                                                                                                                                         | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 9. Akkumulatoren . . . . .                                                                                                                                                                              | 45    |
| Preßwasserdruck S. 46.                                                                                                                                                                                  |       |
| 10. Verschiedene Pressenkonstruktionen . . . . .                                                                                                                                                        | 46    |
| Einzelantrieb S. 46. — Hahn & Kolb-Presse S. 47. — Werner & Pfeiderer-Presse S. 48. — Drehtischpresse S. 49. — Winkelpresse S. 50. — Wendekopfpresse S. 50. — Automatische Pressen S. 51.               |       |
| 11. Pumpen . . . . .                                                                                                                                                                                    | 53    |
| Sammelbehälter S. 53. — Manschetten und Packungen S. 53.                                                                                                                                                |       |
| 12. Preßwerkzeuge . . . . .                                                                                                                                                                             | 54    |
| Quetschformen, geschlossene Formen S. 54. — Mehrfachwerkzeuge S. 57. — Durchpreßformen S. 57. — Spritzwerkzeuge S. 58. — Preßgrat S. 58. — Material der Werkzeuge S. 59. — Berechnungsgrundlagen S. 60. |       |
| 13. Härten und Bearbeiten der Preßstücke . . . . .                                                                                                                                                      | 61    |
| Bearbeitung S. 62. — Widiametallwerkzeuge S. 62. — Oberflächenbehandlung S. 64.                                                                                                                         |       |

Zweiter Teil.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Die einzelnen plastischen Massen und ihre Rohstoffe . . . . .</b>                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>65</b> |
| I. Zellulose . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 65        |
| 1. Vorkommen, Aufbau, Anwendungsformen . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 65        |
| a) Vorkommen . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 65        |
| Baumwolle S. 65. — Linters S. 65. — Holz S. 66.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
| b) Aufbau der Zellulose und ihre Eigenschaften . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                          | 66        |
| Reißfestigkeit S. 68. — Quellbarkeit und Löslichkeit S. 68. Zelluloselösungen, Verbindungen S. 69.                                                                                                                                                                                                                                |           |
| c) Anwendungsformen. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 69        |
| Sperrholz S. 69. — Holzmehl S. 70. — Holzschliff S. 71. — Zellstoff S. 72. — Natron- und Sulfatverfahren S. 73. — Bleiche S. 74.                                                                                                                                                                                                  |           |
| 2. Kunststoffe aus Zellulose . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 74        |
| a) Papier und Pappe, Papiermaché. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 74        |
| Faserbrei S. 75. — Leimung S. 75. — Färben S. 76. — Füllung S. 76. — Blattbildung S. 76. — Eigenschaften der Papiere S. 78. — Reißfestigkeit und Dehnung S. 78. — Berstwiderstand S. 78. — Falzwiderstand S. 79. — Raumgewicht S. 79. — Bauplatten S. 79. — Preßspan S. 80. — Lackpappe und Holzstoff S. 80. — Papiermaché S. 81. |           |
| b) Pergament und Vulkanfiber . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 81        |
| Leatheroid S. 82. — Eigenschaften der Vulkanfiber S. 83.                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |
| 3. Kunststoffe aus Zelluloselösungen . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 84        |
| a) Übersicht . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 84        |
| Das Fadenspinnen S. 85.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |
| b) Zellulosenitrate . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 85        |
| Filme S. 86. — Schießbaumwolle S. 86. — Trolit F S. 87.                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |
| c) Zelluloid . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 87        |
| Parkesine S. 87. — Kampfer S. 88. — Herstellung des Zelluloid S. 89. — Eigenschaften und Anwendung S. 90.                                                                                                                                                                                                                         |           |
| d) Zelluloseacetate . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 90        |
| Übersicht S. 90. — Herstellung S. 92. — Kunstseide S. 92. Cellon S. 92. — Eigenschaften S. 94. — Lonarit-Trolit-Preßmasse S. 95. — Eigenschaften S. 96.                                                                                                                                                                           |           |
| e) Viskose . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 96        |
| Kunstseide S. 97. — Filme S. 97. — Zellophan S. 98.                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |

|                                                                           | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| f) Kupferoxyd-Ammoniakverfahren . . . . .                                 | 98    |
| Kunstseide S. 98.                                                         |       |
| II. Naturharze . . . . .                                                  | 98    |
| 1. Einteilung und Kennzahlen . . . . .                                    | 98    |
| Verhalten beim Schmelzen S. 100. — Löslichkeit S. 101.                    |       |
| 2. Terpentine . . . . .                                                   | 101   |
| Kolophonium S. 102.                                                       |       |
| 3. Kaurikopal. . . . .                                                    | 103   |
| Manilakopal S. 103. — Akaroidharz S. 103.                                 |       |
| 4. Kongokopale . . . . .                                                  | 104   |
| 5. Stocklack und Schellack . . . . .                                      | 105   |
| 6. Bernstein . . . . .                                                    | 109   |
| 7. Isolierstoffe aus Naturharzen . . . . .                                | 110   |
| Preßstoff Type 7 S. 110.                                                  |       |
| 8. Schallplatten . . . . .                                                | 111   |
| 9. Schellackpreise . . . . .                                              | 112   |
| III. Trocknende Öle . . . . .                                             | 112   |
| 1. Leinöl und Holzöl . . . . .                                            | 112   |
| Festwerden der Öle S. 113.                                                |       |
| 2. Isolierpreßstoffe ähnlich Type 4 . . . . .                             | 114   |
| 3. Linoleum . . . . .                                                     | 115   |
| Korkmehl S. 116. — Jute S. 116. — Herstellung S. 116. —                   |       |
| Linkrusta S. 118. — Wachstuch S. 119.                                     |       |
| IV. Kautschuk . . . . .                                                   | 119   |
| 1. Geschichtliches . . . . .                                              | 119   |
| 2. Wildkautschuk . . . . .                                                | 120   |
| 3. Plantagenkautschuk . . . . .                                           | 121   |
| 4. Latex . . . . .                                                        | 122   |
| Räuchern S. 123. — Gerinnung S. 123. — Sheets und Crepes S. 124.          |       |
| Sprühkautschuk S. 124.                                                    |       |
| 5. Konstitution des Kautschuks . . . . .                                  | 125   |
| Synthetischer Kautschuk S. 125. — Verhalten in der Kälte S. 126.          |       |
| 6. Vorbereitung des Kautschuks für die Weiterverarbeitung . . . . .       | 127   |
| Waschen S. 127. — Mischen S. 128. — Regenerat S. 128. —                   |       |
| Plattenwalzen S. 129.                                                     |       |
| 7. Vulkanisation . . . . .                                                | 130   |
| Beschleuniger S. 131.                                                     |       |
| 8. Wirkung der Füllmittel . . . . .                                       | 132   |
| Versuche von Wiegand und von Hartner S. 132.                              |       |
| 9. Einteilung der Gummiwaren . . . . .                                    | 136   |
| Weichgummi S. 136. — Hartgummi S. 136.                                    |       |
| 10. Herstellung von Weichgummiwaren . . . . .                             | 136   |
| Schläuche, Autoreifen S. 138. — Hohlkörper S. 139. — Patent-              |       |
| gummi S. 140. — Tauchwaren S. 141. — Streichwaren S. 141.                 |       |
| 11. Herstellung von Hartgummiwaren . . . . .                              | 141   |
| Stark gefüllte Hartgummisorten wie Stabilit, Aeternit, Vulkan-            |       |
| asbest S. 143. — It-Platten S. 143.                                       |       |
| 12. Direkte Latexverarbeitung durch Elektrophorese . . . . .              | 143   |
| Durch Tauchen S. 144.                                                     |       |
| 13. Hartgummi als mikroporöse Zwischenlage in Bleiakkumulatoren . . . . . | 144   |
| 14. Chlorkautschuk-Tornesit . . . . .                                     | 144   |
| 15. Die Eigenschaften des Kautschuk und ihre Prüfung . . . . .            | 145   |
| Elastizität, Dehnung, Dehnungsrest S. 145.                                |       |

|                                                                  | Seite |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| 16. Wirtschaftsgeschichte des Kautschuk . . . . .                | 147   |
| V. Eiweiß . . . . .                                              | 150   |
| 1. Einfache und zusammengesetzte Eiweißkörper . . . . .          | 150   |
| 2. Plastische Massen aus Hefe, Ernlolith . . . . .               | 150   |
| 3. Plastische Massen aus Kasein, Galalith . . . . .              | 151   |
| Labkasein S. 152. — Herstellung S. 152. — Eigenschaften S. 153.  |       |
| Bearbeitung S. 154.                                              |       |
| 4. Massen aus Bluteiweiß . . . . .                               | 154   |
| Zerstäubungstrocknung S. 155. — Knopfherstellung S. 155. —       |       |
| Schwarzalbumin S. 156.                                           |       |
| VI. Kieselsäure, Kalk, Tonerde . . . . .                         | 156   |
| 1. Glas, Keramik und Zemente . . . . .                           | 156   |
| 2. Kieselsäure . . . . .                                         | 157   |
| Vorkommen S. 158. — Sande S. 158.                                |       |
| 3. Kalk . . . . .                                                | 159   |
| Marmor, Gips, Flußspat S. 159.                                   |       |
| 4. Tonerde . . . . .                                             | 160   |
| Feldspat, Kaolin S. 160. — Ton S. 161.                           |       |
| A. Glas . . . . .                                                | 161   |
| 1. Glas als unterkühlte Flüssigkeit . . . . .                    | 161   |
| Quarzglas S. 162. — Entglasung S. 162. — Réaumur'sches           |       |
| Porzellan S. 163.                                                |       |
| 2. Hauptbestandteile . . . . .                                   | 163   |
| Bedingungen für Glas als Gebrauchsgegenstand S. 163. —           |       |
| Kieselsäure S. 163. — Korngröße der Glassande S. 164. — Bor-     |       |
| säure S. 164. — Natron S. 165. — Kali S. 165. — Magnesium-       |       |
| oxyd S. 165. — Eruptivgesteine Granit, Syenit, Phonolith S. 166. |       |
| Tonerde S. 166.                                                  |       |
| 3. Vorgänge beim Schmelzen . . . . .                             | 166   |
| 4. Wasserglas . . . . .                                          | 167   |
| 5. Quellung . . . . .                                            | 167   |
| 6. Arbeitsverfahren und Maschinen . . . . .                      | 168   |
| Automatische Verfahren und ihre Bedingungen S. 168. —            |       |
| Geschichtliches S. 169. — Pressen, Walzen, Gießen S. 169. —      |       |
| Blasen S. 169. — Owensmaschine S. 170. — Westlakemaschine        |       |
| S. 171. — Maschinen von Severin und Sievert S. 173. — Ziehen     |       |
| von Glasröhren S. 174.                                           |       |
| 7. Sicherheitsglas . . . . .                                     | 174   |
| 8. Mycalex . . . . .                                             | 175   |
| B. Keramik . . . . .                                             | 176   |
| 1. Übersicht . . . . .                                           | 176   |
| Eigenschaften S. 178.                                            |       |
| 2. Bildsamkeit des Tones . . . . .                               | 177   |
| Vorgänge beim Trocknen und Brennen S. 177.                       |       |
| 3. Herstellung des Porzellans . . . . .                          | 179   |
| Pressen, Drehen, Gießen S. 181. — Vortrocknen S. 181. —          |       |
| Nachbrennen S. 182.                                              |       |
| 4. Untersuchungs- und Prüfmethode der Deutschen Keramischen      |       |
| Gesellschaft . . . . .                                           | 182   |
| 5. Steatit . . . . .                                             | 183   |
| Eigenschaften S. 184.                                            |       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 6. Melalith . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 184   |
| 7. Sinterkorund . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 185   |
| C. Zement . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 186   |
| 1. Übersicht, Normenzemente . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 186   |
| Geschichtliches S. 186.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |
| 2. Rohstoffe und Herstellung . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 187   |
| 3. Das Abbinden . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 188   |
| 4. Prüfverfahren der deutschen Zementnormen . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 190   |
| 5. Anwendung im Beton . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 191   |
| 6. Zementasbest . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 191   |
| Geschichtliches S. 191. — Herstellung S. 192. — Eigenschaften S. 193. — Isolierstoff Type X S. 194. — Festigkeitsuntersuchungen S. 194. — Wellplatten S. 197. — Rohre S. 197. — Anlage der Deutschen Asbestzementwerke A.-G. S. 197. — Gepreßte Formstücke aus Type X S. 198. — Dichtung durch Fluats S. 199. — Glanzasbestplatten S. 199. |       |
| 7. Steinholz, Xylolith . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 200   |
| D. Asbest . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 200   |
| 1. Geschichtliches . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 200   |
| 2. Faserstruktur . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 201   |
| 3. Vorkommen. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 201   |
| Übersicht S. 202.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |
| 4. Aufbereitung . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 202   |
| Klassieren S. 203. — Normen der Kanadischen Regierung S. 204. — Lieferbedingungen RAL 545 A S. 205.                                                                                                                                                                                                                                        |       |
| 5. Untersuchung der Säurebeständigkeit verschiedener Asbestarten                                                                                                                                                                                                                                                                           | 205   |
| 6. Anwendungen . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 209   |
| VII. Asphalte und Peche . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 210   |
| 1. Einteilung . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 210   |
| 2. Asphalte . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 210   |
| Trinidadasphalt S. 210. — Bermudezasphalt S. 211. — Asphaltite S. 211. — Asphaltgesteine S. 212. — Reinheitsgrad, Zusammensetzung S. 212. — Spezifisches Gewicht S. 213. — Verhalten in der Wärme S. 213.                                                                                                                                  |       |
| 3. Teere und Peche . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 213   |
| Erdölrückstände S. 214. — Steinkohlenteer und Steinkohlenteerpech S. 214.                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |
| 4. Übersicht über Bitumina und Peche . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 216   |
| 5. Isolierpreßstoff Type 8 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 217   |
| 6. Isolierpreßstoff Type 4, Gummon . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 219   |
| 7. Gehwegplatten . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 220   |
| Stampfasphalt S. 221.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |
| 8. Adsorption zwischen Asphalten und Steinmehlen. Untersuchungen der Versuchsanstalt für Straßenbau an der Technischen Hochschule Stuttgart . . . . .                                                                                                                                                                                      | 221   |
| VIII. Kunstharze . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 226   |
| A. Die verschiedenen Kunstharze . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 226   |
| 1. Der Name Bakelite . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 226   |
| 2. Geschichtliches . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 227   |
| Baekeland S. 227. — Aylsworth und Redman S. 228.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |
| 3. Kondensation und Polymerisation . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 228   |
| 4. Übersicht über die verschiedenen Kunstharzarten . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                               | 229   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 5. Phenol-Formaldehydharze . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 229   |
| Phenol S. 229. — Kresol S. 229. — Formaldehyd S. 230. —<br>Herstellung S. 231. — Schmelzbare und härtbare Harze S. 231. —<br>Änderungen der Baekelandschen Verfahren S. 232. — Bakelite<br>A, B, C S. 233. — Vorgang der Harzbildung S. 233.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |
| 6. Preßharze . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 235   |
| Feste A-Harze S. 235. — Flüssige A-Harze S. 236. — Löslich-<br>keit und Ergiebigkeit S. 236.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |
| 7. Harnstoffharze . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 237   |
| 8. Furfurol . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 237   |
| 9. Glyptal . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 238   |
| 10. Akroleinharz, Orca. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 239   |
| 11. Polystyrol, Trolitul . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 239   |
| B. Die aus Kunstharzen hergestellten Kunststoffe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 240   |
| 1. Gußstoffe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 240   |
| Herstellung S. 240. — Eigenschaften S. 241. — Anwendung<br>S. 242. — Bearbeitung S. 242.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |
| 2. Preßstoffe. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 243   |
| Herstellung der Mischungen S. 243. — Die verschiedenen<br>Typen S. 244. — Eigenschaften S. 244. — Warm- und Kaltpreß-<br>stoffe S. 245. — Preßtemperatur S. 246. — Heizung S. 246. —<br>Empfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen S. 247. —<br>Preßdruck S. 247. — Preßzeit S. 248. — Fließfähigkeit S. 249. —<br>Vorrichtung von Krahel S. 249. — Versuche des Verfassers<br>S. 250. — Andere Prüfvorrichtungen S. 252. — Schwindung<br>S. 252. — Füllen und Abteilen S. 253. — Nachhärten S. 253. —<br>Oberflächenbehandlung S. 254. — Eigenschaften S. 254. — Licht-<br>echte Farben S. 257. — Anwendungsgebiete S. 257. |       |
| 3. Schichtstoffe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 258   |
| Herstellung von Hartpapierplatten S. 259. — Rohre und<br>Stangen S. 260. — Eigenschaften und Anwendungen S. 261. —<br>Mindestwerte des VDE S. 261. — Hartstoffe S. 262.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |
| IX. Plastische Massen als Isolierstoffe der Elektrotechnik . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 264   |
| 1. Die gummifreien Isolierstoffe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 264   |
| Die Typen S. 265. — Überwachung S. 269. — Statistik der Über-<br>wachung S. 270.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |
| 2. Übersicht . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 271   |
| Gummihaltige Isolierstoffe S. 272. — Isolierpapiere S. 276. —<br>Quarzglas, Glas, Porzellan S. 277.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |
| 3. Versuche über Dauerbeanspruchung gummifreier Isolierstoffe durch<br>Feuchtigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 277   |
| 4. VDE und Isolierstoffe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 280   |

## Dritter Teil.

|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Die Verfahren für die Prüfung plastischer Massen . . . . .                                                                                                                              | 283 |
| I. Prüfung der Rohstoffe . . . . .                                                                                                                                                      | 283 |
| A. Bindemittel . . . . .                                                                                                                                                                | 283 |
| 1. Wärmoständigkeit der Bindemittel . . . . .                                                                                                                                           | 283 |
| Schmelzpunkt nach Krämer-Sarnow, Änderung von Barta<br>S. 283. — Tropfpunkt nach Ubbelohde S. 284. — Löslichkeits-<br>versuch S. 284. — Trockenverlust S. 285. — Zähflüssigkeit S. 285. |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                    | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| B. Abmessungen und Form der kleinsten Mischungsbestandteile . . . .                                                                                                                                                                                                | 285   |
| 1. Optische Prüfung, Mikroskop, Stereoskopische Werkstattlupe . .                                                                                                                                                                                                  | 285   |
| 2. Prüfsiebe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                             | 285   |
| 3. Indirekte Verfahren . . . . .                                                                                                                                                                                                                                   | 286   |
| Verteilungs- und Kennlinien feiner Haufwerke S. 286. — Schlamm-<br>analyse S. 286. — Formel von Stokes S. 287. — Windsichtverfahren<br>von Gonell S. 288. — Messung des Klopfvolumens S. 290.                                                                      |       |
| II. Prüfung der plastischen Massen an Probekörpern . . . . .                                                                                                                                                                                                       | 290   |
| A. Entwicklung der Prüfverfahren . . . . .                                                                                                                                                                                                                         | 290   |
| B. Einfluß der Probenform . . . . .                                                                                                                                                                                                                                | 293   |
| Änderung der Eigenschaften mit den Abmessungen S. 293. —<br>Prüfungen am Probekörper und am fertigen Stück S. 294. — Optische<br>Untersuchung ebener Spannungszustände S. 295. — Zugprobekörper<br>nach den deutschen, englischen und französischen Normen S. 296. |       |
| C. Vergleichende Übersicht über Prüfverfahren der auf S. 291 genannten<br>Verbände in Deutschland, England, Frankreich und den Vereinigten<br>Staaten von Amerika . . . . .                                                                                        | 297   |
| 1. Die Prüfung der mechanischen Festigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                               | 297   |
| a) Biegefestigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                       | 298   |
| VDE S. 298. — ASTM S. 298. — BERA S. 298. — USE S. 299.                                                                                                                                                                                                            |       |
| b) Zugfestigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                         | 299   |
| DVM T S. 299. — ASTM S. 300. — USE S. 301.                                                                                                                                                                                                                         |       |
| c) Druckfestigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                       | 301   |
| ASTM S. 301. — USE S. 301. — BERA S. 301.                                                                                                                                                                                                                          |       |
| d) Prüfvorrichtungen für a—c. . . . .                                                                                                                                                                                                                              | 301   |
| e) Härte . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                 | 302   |
| Kugeldruckhärte VDE S. 302. — USE S. 303.                                                                                                                                                                                                                          |       |
| f) Schlagbiegefestigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                 | 303   |
| VDE S. 303. — ASTM S. 305. — BERA S. 306. — USE S. 307.                                                                                                                                                                                                            |       |
| g) Stoßfestigkeit MPA . . . . .                                                                                                                                                                                                                                    | 307   |
| h) Elastizität . . . . .                                                                                                                                                                                                                                           | 308   |
| DVM T S. 308. — Pendelhammer von Schob S. 309. — BERA<br>(Rigidity) S. 309.                                                                                                                                                                                        |       |
| i) Bearbeitbarkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                       | 309   |
| Vorversuche des VDE S. 309. — BERA S. 310. — Abnutzung<br>der Werkzeugschneide S. 310. — Ausbröckeln S. 310.                                                                                                                                                       |       |
| k) Zermürbung und Abnutzung . . . . .                                                                                                                                                                                                                              | 311   |
| MPA Widerstand gegen den Sandstrahl S. 311. — Ab-<br>nutzung durch losen Schmirgel S. 311.                                                                                                                                                                         |       |
| 2. Die Prüfung der Wärmebeständigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 312   |
| a) VDE Martensprobe, Warmbiegeprobe . . . . .                                                                                                                                                                                                                      | 312   |
| Vicatprobe, Warmdruckprobe S. 314. — ASTM Durchbiegung<br>unter Wärme S. 314. — BERA Nachgiebigkeit bei Erwärmung<br>S. 315. — USE wie ASTM S. 316.                                                                                                                |       |
| b) Kochprobe . . . . .                                                                                                                                                                                                                                             | 316   |
| c) VDE Feuersicherheit . . . . .                                                                                                                                                                                                                                   | 316   |
| Glutsicherheit S. 317. — USE Entflammbarkeit S. 318. —<br>Glühkonus der Schweiz und Hollands S. 318. — VDE Licht-<br>bogensicherheit S. 319.                                                                                                                       |       |
| 3. Die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit . . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 320   |
| ASTM S. 320. — BERA Wärmeleitwiderstand S. 320.                                                                                                                                                                                                                    |       |
| 4. Die Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit und<br>Chemikalien . . . . .                                                                                                                                                                            | 321   |

|                                                                    | Seite   |
|--------------------------------------------------------------------|---------|
| a) Wasseraufnahme . . . . .                                        | 321     |
| ASTM S. 321. — BERA S. 322. — USE S. 322.                          |         |
| b) Einfluß von Mineralölen . . . . .                               | 322     |
| BERA S. 322. — USE S. 323.                                         |         |
| 5. Die Prüfung der elektrisch isolierenden Eigenschaften . . . . . | 323     |
| a) Vorbehandlung VDE . . . . .                                     | 324     |
| b) Oberflächenwiderstand, Durchgangswiderstand, Innenwiderstand    | 324     |
| VDE S. 324. — ASTM S. 328. — BERA S. 328. — USE S. 330.            |         |
| c) Durchschlagsfestigkeit . . . . .                                | 330     |
| VDE S. 330. — ASTM S. 332. — USE S. 332. — BERA S. 333.            |         |
| Spannungs-Erwärmungsprobe VDE S. 333.                              |         |
| d) Dielektrische Verluste bei Wechselspannung . . . . .            | 334     |
| Verlustwinkel, Leistungsfaktor und Dielektrizitätskonstante        |         |
| S. 334. — VDE S. 334. — PTR-Schering S. 335. — ASTM S. 337.        |         |
| USE S. 337.                                                        |         |
| 6. Die Prüfung der äußeren Eigenschaften . . . . .                 | 337     |
| a) Oberflächenbeschaffenheit und Farbe . . . . .                   | 337     |
| b) Maßhaltigkeit und Formbeständigkeit . . . . .                   | 338     |
| 7. Abnahmeprüfungen. . . . .                                       | 338     |
| <br>Namenverzeichnis . . . . .                                     | <br>339 |
| Sachverzeichnis . . . . .                                          | 342     |

## Erster Teil.

# Allgemeines über plastische Massen.

## I. Einleitung.

Die Kenntnisse von Stahl, Eisen und anderen Metallen, aus denen unsere Maschinen und Werkzeuge, unsere Kraftleitungen und Schienenstränge bestehen, sind seit langem weit verbreitet. Auch über Gesteine und Hölzer unserer Bauten und deren Einrichtung und über die Faserstoffe unserer Kleidung und Gewebe sind viele unterrichtet. Dagegen ist bisher über eine große Gruppe von Stoffen, die als plastische Massen bezeichnet werden, außerhalb des Kreises der Hersteller wenig bekannt. Plastische Massen sind Werkstoffe, die nicht zu den Metallen gehören und die sich dadurch, daß sie sich verhältnismäßig leicht in den bildsamen Zustand bringen lassen, vorwiegend für spanlose Formung eignen. Zu diesen Werkstoffen, die zunächst als Ersatz für seltene Naturprodukte, z. B. für Schildpatt und Elfenbein, dienen sollten, gehören Zelluloid und Galalith, ferner die Kautschukwaren, die durch ihre Elastizität und durch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit von keinem anderen Stoff bisher erreicht wurden. Plastische Massen sind auch die Kunstharzstoffe, die durch ihre Wärmebeständigkeit, große mechanische und elektrische Festigkeit, sowie durch die Widerstandsfähigkeit gegen viele chemische Einflüsse sich ein weites Verwendungsgebiet erobert haben. Zu den plastischen Massen sind auch die Zemente, das technische Glas und das Porzellan zu rechnen, die ältesten nichtmetallischen Werkstoffe. Viele dieser Stoffe wetteifern durch die Schönheit ihrer Farben und den Glanz ihrer Oberfläche mit den Naturprodukten, die sie ersetzen sollen. Die leichte Formbarkeit und die billigen Rohstoffe haben dazu geführt, daß plastische Massen heute einen viel größeren Raum einnehmen, als man je von den Naturstoffen, die sie ersetzen sollten, hat erwarten können, und daß viele von ihnen durch ihre besonderen Stoffeigenschaften unersetzlich geworden sind.

Wie groß die Verbreitung dieser nichtmetallischen Werkstoffe ist soll die folgende Zusammenstellung andeuten.

### Anwendung von plastischen Massen.

Im Baugewerbe. Dachdeckung, Wandbekleidung, Formsteine für Fensterumrahmung, Schornsteinaufsätze, Stufen, Bodenbelagsteine, Fliesen.

Asphaltpflaster, Deckensteine, Bauplatten.



Einrichtung von Waschanlagen, Waschtischbecken und Platten, Ventilverschlüsse, Handräder und ,Griffe, Abortsitze.

Im Haushalt für Gebrauchs- und Einrichtungsgegenstände: Uhrengehäuse, Tischplatten, Bettschoner, Schalen für Seife und andere Behälter, Tubenverschlüsse, Bürstenrücken und Kämme.

Geschirr, Servierbretter, Brotkörbe, Teller, Tassen, Kannen, Vasen.

Rauchutensilien, Zigarrenspitzen, Behälter, Ascher, Schreibtischzubehör, Federhalter, Bleistifthüllen, Tintenfässer, Federschalen.

Sonstige Gebrauchsgegenstände, Schirm- und Stockgriffe, Brillenschengel, Taschenbügel, Knöpfe, Perlen und andere Schmuckgegenstände, Ketten, Ringe, Armbänder.

In der Elektrotechnik für Isolier- und Bauteile; für Starkstrom: Stecker, Kupplungen, Zählertafeln, Anschlußklemmen, Beleuchtungskörper, Motorenklemmbretter, Verbindungsdosen, Akkumulatorenkästen, Gehäuse für Staubsauger- und Föhnapparate usw.; für Schwachstrom: Telefongriffe, Hörmuscheln, Sprechtrichter, Schalterplatten und Leisten, Gehäuse für Meßinstrumente.

Für Radio. Lautsprechergehäuse, Apparatelkästen, Skalenscheiben, Knöpfe.

Im Maschinen- und Apparatebau. Schreibmaschinenteile wie Walzen, Drehknöpfe, Tasten.

Gehäuse für Schnellwaagen.

Steuerräder.

Ventilverschlüsse.

Die Bedachung des Hauses aus Zementasbest, die Griffe und Schilder an den Türen, die Wandbekleidungen der Treppenhäuser und der Bodenbelag in Wasch- und Baderäumen, die Bodenplatten für Gehwege zeigen ebensoviel Anwendungen derartiger Werkstoffe, wie die im Innern der Häuser befindlichen Gegenstände des täglichen Gebrauchs, das Uhrengehäuse, die Tischplatte, die Untersätze für schwere Möbelstücke, die Seifenschale und viele Behälter, Bürsten und Kämme, Griffe von Stöcken und Schirmen und unzählige andere Gebrauchsgegenstände.

Fast jeder elektrische Apparat enthält Isolierteile aus plastischen Massen. Die gewaltigen Anlagen zur Erzeugung und Fortleitung der elektrischen Energie, das Antriebs- und Signalsystem der elektrischen Bahnen, ihre Beleuchtung und Heizung kann nur betrieben werden, weil Isolierteile dem Strom den Weg aufzwingen.

Auf dem Schreibtisch des Geschäftsmannes sehen wir neben dem Telefonapparat die Schreibtischgarnitur und den Federhalter, den Ascher und den Zigarrenbehälter aus plastischen Massen.

Viele dieser Werkstoffe verbergen sich hinter Phantasienamen, die nicht erkennen lassen, welcher Art der betreffende Stoff ist. Nur wenige der von den Erfindern gewählten Namen haben allgemeine Anwendung

gefunden, so daß sie als Stoffnamen betrachtet werden können, wie Zelluloid und Galalith.

An verschiedenen Stellen sind Zusammenstellungen veröffentlicht worden<sup>1</sup>, die Aufklärung über diese Namen geben sollen. Vielfach sind aber die Namen zu Herkunftsbezeichnungen geworden, denen Zahlen, Buchstaben oder andere Zeichen beigelegt werden, um Stoffe sehr verschiedener Zusammensetzung zu bezeichnen. Die Veröffentlichungen des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem<sup>2</sup> über die der Überwachung unterliegenden gummifreien Isolierpreßstoffe enthalten hierfür zahlreiche Beispiele.

Auch heute noch werden plastische Massen vielfach mit Phantasienamen bezeichnet, die die Übersicht erschweren. So kommen z. B. die aus Kunstharz und Holzmehl bestehenden plastischen Massen unter hunderten von verschiedenen Namen auf den Markt, trotzdem sie die gleiche Zusammensetzung haben und aus Preßpulvern hergestellt sind, die oft von denselben Herstellern stammen.

Über einzelne Teile dieses großen Gebietes besteht eine ausgedehnte Literatur, die aber meist nur dem auf dem Teilgebiet Arbeitenden bekannt ist. Der Zweck dieses Buches ist eine Übersicht möglichst über das ganze Gebiet der plastischen Massen zu geben<sup>3</sup>. Dabei sind auch die angrenzenden Gebiete mit in den Kreis der Betrachtung gezogen, um wenigstens kurz auf die Zusammenhänge hinweisen zu können. Die Rohstoffe der plastischen Massen, ihre Zusammensetzung und Herstellung, sowie die dazu nötigen Maschinen werden geschildert. Im allgemeinen Teil sind diejenigen Fragen erörtert, die für alle plastischen Massen gemeinsam gelten, um Wiederholungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Ebenso sind die Prüfverfahren für die verschiedenen Werkstoffe im Zusammenhang behandelt. Kurze geschichtliche Hinweise sind dazu bestimmt, denjenigen, die auf dem Gebiet der plastischen Massen arbeiten wollen, auf die Schwierigkeiten dieses Gebietes aufmerksam zu machen. Sehr viele Erfahrungen, langwierige und kostspielige Entwicklungsarbeiten sind nötig, um erst im Laboratorium zum Ziele zu kommen. Damit ist dann noch immer nicht die Frage gelöst, ob sich der Laboratoriumsversuch auf die Herstellung im großen übertragen läßt.

<sup>1</sup> Kausch, O.: Handbuch der künstlichen plastischen Massen. München: J. F. Lehmann 1932. Nachtrag in Kunststoffe 1932 S. 207, 222, 254; 1933 S. 37; ferner Chem. metallurg. Engng., Aug. 1931 S. 461.

<sup>2</sup> Zuletzt Elektrotechn. Z. 1932 Heft 52 S. 1259; 1933 Heft 4 S. 95.

<sup>3</sup> Siehe auch Zeitschriften Kunststoffe 1933. Jg. 23. München: J. F. Lehmann. — Plastische Massen, Organ der gesamten Preßstoffindustrie, Jg. 3. Troisdorf: Physik G. m. b. H. — Plastics and Molded Products, Jg. 9. New York: Plastics Publications Inc. — British Plastics, Jg. 4. London, E.C. 4: Plastics Press Ltd. — Rev. gén. des matières plastiques, Paris, 19 arr. Jg. 9. — Ferner ältere zusammenfassende Bücher: Blücher, H.: Plastische Massen. Leipzig: S. Hirzel 1924. — Hemming, E.: Plastics and Molded Electrical Insulation. New York: Chemical Catalog Co. Inc. 1923.

Im Laufe der letzten Jahre haben sich die Erfinder zu Tausenden auf dem Gebiete der plastischen Massen versucht. Die Industrie der plastischen Massen hat sich in großartiger Weise entwickelt<sup>1</sup>. Wenn ihr auch sicherlich eine bedeutende Zukunft bevorsteht, so sei doch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Unkundige auf diesem Gebiet keinen leichten Erfolg zu erwarten haben. Der wirtschaftliche Kampf ist auch hier ein schwerer. Nur wer mit allen Kenntnissen und Erfahrungen ausgerüstet ist und genügende Mittel besitzt, sich geeignete Einrichtungen zu beschaffen, hat Aussicht im Kampf um den Erfolg.

Viele Erfinder haben sich schon die Schaffung eines Idealwerkstoffes zum Ziel gesetzt. Ein solcher Stoff soll alle guten Eigenschaften in sich vereinigen: Gute mechanische Festigkeit und Härte, hohe Elastizität, hohe Wärmebeständigkeit und geringe Brennbarkeit mit geringem Leitvermögen für Wärme und Elektrizität, dazu Unangreifbarkeit durch Feuchtigkeit und chemische Einflüsse.

Ein solcher Stoff, der dazu noch schöne Farben, hohen Glanz, geringes spezifisches Gewicht und als Hauptsache, auch große Wohlfeilheit besitzt, wäre ein Ideal. Bisher ist dieser Stoff noch nicht gefunden worden und wird sich auch nicht so leicht finden lassen, da manche der genannten Eigenschaften sich auszuschließen scheinen.

An der Verbesserung der Eigenschaften wird auf allen Gebieten der plastischen Massen eifrig gearbeitet. Fast jede Gruppe dieser Werkstoffe besitzt eine oder einige besondere Eigenschaften, die sie für bestimmte Zwecke verwendbar macht. Diese Arbeit soll dazu beitragen, hierüber aufzuklären und darauf hinzuwirken, daß jeder Werkstoff auf dem ihm zukommenden Gebiet angewendet wird. Heute werden häufig Anstrengungen gemacht, einen Werkstoff durch einen anderen zu verdrängen, ohne daß dies sachlich berechtigt wäre. Das Eindringen in ungeeignete Gebiete schädigt schließlich den Ruf des Werkstoffes.

## II. Aufbau der plastischen Massen.

### 1. Bindemittel, Faser, Füllmittel, Farbe.

Plastische Massen können zusammengesetzt sein aus Bindemittel, Faser und Füllmittel, wozu vielfach noch die Farbe tritt. Die meisten Bindemittel sind allein zu spröde, deshalb soll die Faser dazu dienen, diese Sprödigkeit zu beseitigen und die Festigkeit zu erhöhen. Die Füllmittel wurden lange Zeit nur als Verbilligungs- und Beschwerungsmittel

---

<sup>1</sup> Vielleicht die größte Anlage für Herstellung und Verarbeitung plastischer Massen ist das Werk Troisdorf der zum Konzern der I. G. Farbenindustrie gehörenden Dynamit-Actien-Ges. vormals Alfred Nobel & Co., früher Rheinisch-Westfälische Sprengstoff A.-G. (Venditor Kunststoff-Verkaufsgesellschaft). Grundfläche des Werkes 153 ha, überbaute Fläche 15,17 ha, Belegschaft etwa 1800 Personen.

betrachtet. Jetzt hat man erkannt, daß auch dem Füllmittel die Aufgabe zufallen kann, die mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Das Bindemittel wird seiner verklebenden und kittenden Eigenschaften wegen gewählt.

Bindemittel aus dem Pflanzenreich. Zellulose dient sowohl als Faser, als auch in veränderter Form als Bindemittel, z. B. als Pergamentzellulose im Pergament und Vulkanfaser und in ihren Lösungen als Zelluloseester. Pflanzensäfte liefern Bindemittel als Harze, trocknende Öle und Kautschuk.

Bindemittel aus dem Tierreich sind Schellack und die Eiweißstoffe wie Kasein, Albumin und Blut.

Das Mineralreich liefert in den Steinbildnern Kieselsäure, Kalk und Tonerde die Bindemittel der Zemente, Gläser und Porzellane. Asphalte und Pecher sind ebenfalls Bindemittel aus dem Mineralreich. Die Kunstharze stammen teils aus dem Mineral-, teils aus dem Pflanzenreich.

Als Fasern werden in der Industrie der plastischen Massen solche aus dem Pflanzenreich verwendet: Holzmehl, Holzschliff, Zellstoff, Baumwolle, Leinen, Jute; aus dem Tierreich: Wolle und Seide; aus dem Mineralreich: Asbest. Die Fasern werden als aufbereitete Einzelfasern verwendet oder als Garnabfälle oder in Form von Geweben oder Papierbahnen. Die Gewebe können in kleinen unregelmäßigen Abschnitten als Schnitzel oder als Ganzes gebraucht werden, wie bei den Schichtstoffen mit dem Bindemittel Kunstharz.

Gebräuchliche Füllmittel sind Steinmehle, wie Schiefermehl, Marmor-mehl, Schwerspat und Kaolin.

Bei dem Aufbau von plastischen Massen aus Bindemittel, Faser und Füllmittel sind die drei Grenzfälle denkbar, daß die Stoffe entweder nur aus Bindemitteln, oder nur aus Fasern, oder nur aus Füllmitteln bestehen. Stoffe nur aus Bindemitteln sind möglich, z. B. die aus Latex oder aus Edelkunstharz durch Gießen hergestellten. Solche nur aus Fasern sind z. B. die Filze, Löschpapier ist ein Faserfilz in dünner Schicht. Die Gewebe, die aus vorher durch Verspinnen gerichteten Fasern und Fäden entstehen, scheiden aus unserer Betrachtung aus. Massen nur aus Füllmittel werden im allgemeinen keinen genügenden Zusammenhalt besitzen.

Die Vorstellung von der Form und Größe der kleinsten Teilchen, aus welchen die Werkstoffe bestehen, und von ihrer Anordnung und den zwischen ihnen wirkenden Kräften haben sich in den letzten Jahren außerordentlich verfeinert. In manchen Teilen der Industrie der plastischen Massen wird hiervon noch wenig Gebrauch gemacht. Hier herrscht vielfach eine grobe Empirie, und das „Rezept“ spielt seine unheilvolle Rolle. Wenn die Erkenntnisse der physikalischen Chemie in dieser Industrie mehr berücksichtigt werden als bisher, so werden große Fortschritte nicht ausbleiben.

Die chemische Zusammensetzung der Stoffe, wie sie die Elementaranalyse zeigt, ist nicht allein von Einfluß auf das Endprodukt. Aus den gleichen Rohstoffen lassen sich plastische Massen mit sehr verschiedenen Eigenschaften erzielen, je nach der Aufbereitung der Rohstoffe und der Art ihrer Verarbeitung.

## 2. Der plastische Zustand.

Plastische Massen tragen ihren Namen deshalb, weil sie sich in den plastischen Zustand versetzen lassen. (Plastisch vom griechischen *πλάσσειν*, d. h. formen, bilden.) Dieser Zustand der Bildsamkeit liegt zwischen dem festen und dem flüssigen Zustand. Die Begriffe fest, flüssig und gasförmig sind nach dem heutigen Stand der Kenntnisse unzulänglich. Eine weitergehende Kennzeichnung wird durch die Begriffe des geordneten und ungeordneten Zustandes der Materie gegeben, seitdem die Untersuchung mit Röntgenstrahlen die Anordnung der Atome und Moleküle in der Materie zu erkennen gegeben hat <sup>1</sup>. Dem ungeordneten, auch amorph genannten Zustand gehören Flüssigkeiten und Gase an, dem geordneten, auch kristallinisch genannten Zustand alle Metalle und die meisten Gesteine. Dazwischen bleibt die beachtenswerte Gruppe der plastischen Massen, der amorph-festen Körper, die zwar keine reine Kristallstruktur, aber auch keinen völlig ungeordneten Aufbau zeigen. Die physikalische Chemie definiert „den festen Körper als ein Gebilde, in dem Atome, Ionen oder Molekeln — letztere auch in dissoziierten oder assoziierten Komplexen — nach dem Prinzip des Raumgitters zu einem Kristall angeordnet sind. Systeme, deren Elementarteile dieser Raumgitterbedingung nicht genügen (die Gläser, d. h. die stark unterkühlten Schmelzen), zählen nicht zu den festen Körpern, obwohl ihnen das Vorhandensein von Formelastizität einen Teil der Eigenschaften fester Körper vermittelt“ <sup>2</sup>.

Bildsamkeit ist eine allgemeine Eigenschaft aller festen Körper. Selbst die festesten kristallinen Werkstoffe wie Stahl lassen sich unter bestimmten Bedingungen in den plastischen Zustand bringen, in dem sie sich verformen lassen, ohne zu brechen.

Die Plastizität steht im Gegensatz zur Elastizität. „Plastisch heißt ein Körper, der, durch äußere Kräfte zu einer Formänderung gezwungen, die neue Gestalt beibehält, auch nachdem die Einwirkung der äußeren Kräfte aufgehoben wurde“ <sup>3</sup>. Die Plastizität der Metalle ist eine Kristallplastizität von molekularer Art, während die nichtmetallischen plastischen

<sup>1</sup> Polanyi, S.: Natur der Festigkeit. Umschau 1930 Heft 50 S. 1001.

<sup>2</sup> Eggert, John: Lehrbuch der physikalischen Chemie, 2. Aufl. Leipzig: S. Hirzel 1929. S. 150.

<sup>3</sup> Handbuch der Kautschukwissenschaft. Herausgeber K. Memmler. Leipzig: S. Hirzel 1930 im Abschnitt Mechanische und technologische Prüfungsmethodik von K. Memmler und A. Schob, S. 653.

Massen eine kolloide Plastizität zeigen <sup>1</sup>. Eine Definition der Plastizität, die das absolute Maßsystem benutzt, ist die von E. Karrer <sup>2</sup>. Eine Substanz besitzt Einheitsplastizität, wenn sie unter normalen Bedingungen von einer Kraft von 1 kg/qcm während 1 Sekunde in bestimmtem Grade deformiert wird und die ganze Deformation dauernd behält. Die Definition berücksichtigt zwei Faktoren, von denen einer mit der Weichheit zusammenhängt und der andere die bleibende Deformation darstellt.

In dem Goodrich-Plastometer, dem die Definition von Karrer zugrunde liegt, dient als Prüfling ein Zylinder von 1 cm Durchmesser und Höhe, der zwischen zwei Backen von 1 cm Durchmesser gebracht wird. Durch eine meßbare Kraft wird die obere bewegliche Backe gegen die untere feste gedrückt. Die Höhenabnahme wird als Maß der Deformation bestimmt. Nach dem Zusammendrücken wird die Probe plötzlich entlastet und das Aufatmen gemessen.

Karrer setzt in roher Annäherung die Plastizität  $P = \text{Weichheit} \times \text{Dauerdeformation } D$ . Ist  $h = \text{Anfangshöhe}$ ,  $h_1 = \text{Höhe unter Druck}$  und  $h_2$  die Höhe nach dem Aufatmen,  $F$  die wirkende Kraft und  $K$  eine vom Apparat abhängige Konstante, so ist angenähert die Weichheit  $s = K \frac{h-h_1}{h} \frac{1}{F}$ . Die Dauerdeformation  $D = (h - h_2) (h - h_1)$ .

Danach  $P = s \cdot D = K \cdot \frac{h-h_2}{Fh}$ .

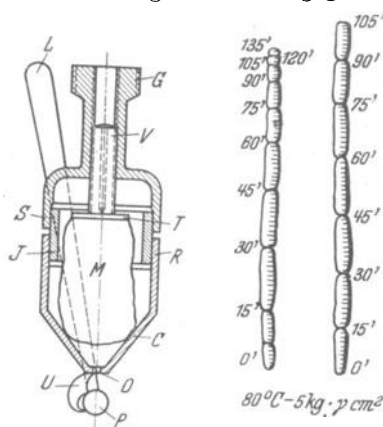


Abb. 1. Marzetti-Apparat zur Messung der Plastizität. (Aus Handbuch der Kautschukwissenschaft, Abb. 168.)

Andere Vorschläge zur Bestimmung der Plastizität benutzen die Ausflußzeit aus einer kleinen Öffnung. Bei dem in der Kautschukindustrie verwendeten Plastometer von B. Marzetti (Abb. 1) wird der Kautschuk mittels konstanten Luftdrucks durch eine Düse gedrückt und der aus der Düse tretende Strang nach einer bestimmten Zeit gemessen und gewogen. Durch ein an der Austrittsöffnung angebrachtes Messer U wird der Strang in bestimmten Zeitabschnitten eingekerbt. Auf dem Bild befinden sich rechts zwei Stränge, die in Abständen von je 15 Minuten eingekerbt wurden. Um den Versuch bei verschiedenen Temperaturen ausführen zu können, wird das Plastometer in ein Glycerinbad gesetzt.

Eine für die Messung der Verformbarkeit von Kunstharzmischungen vorgeschlagene Vorrichtung ist im Sonderteil (S. 249) bei Behandlung der Kunstharze besprochen.

<sup>1</sup> Näheres hierüber und Literatur s. Kolloidchem. Technologie, Herausgeber R. E. Liesegang, 2. Aufl. Dresden und Leipzig: Theod. Steinkopff 1932, Abschn. Obrist, Plastizität und Plastizierung, S. 479.

<sup>2</sup> Karrer, E.: J. ind. Engng. Chem. Bd. 21 (1929) S. 770

### 3. Die Ursachen der Plastizität.

Bei den nichtmetallischen plastischen Massen sind die Ursachen der Plastizität in der Art der Verteilung der kleinsten Teilchen, in ihrer Größe und Form zu suchen.

**Kolloide** sind keine besondere Stoffklasse, sondern jeder Stoff kann in kolloidem Zustand auftreten. Der kolloide Zustand ist ein allgemein möglicher Zustand der Materie <sup>1</sup>. Ist ein Stoff in einem anderen verteilt, so kann die Teilchengröße des verteilten Stoffes sehr verschieden sein. Kochsalz in Wasser ergibt eine sehr feine molekulare Verteilung, Aufschwemmung von Sand in Wasser enthält dagegen grobe, schon dem unbewaffneten Auge sichtbare Teilchen.

Zwischen den groben Verteilungen, die dem Auge unter dem Mikroskop sichtbar sind und die sich durch Papierfilter zurückhalten lassen, und den molekularen Verteilungen, die unter dem Mikroskop nicht mehr zu erkennen sind und die durch Papierfilter nicht zurückgehalten werden, liegt das Gebiet der Kolloide, d. h. der Stoffverteilungen mit einer Größe zwischen  $0,1 \mu$  und  $1 \mu\mu$  ( $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$ ).

| Disperse Systeme <sup>2</sup> .                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                             |                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grobe Dispersionen                                                                                                                                                                                                                                         | Kolloide                                                                                                    | Molekulardispersoide                                                                                                                    |
| <p style="text-align: center;">zunehmender Dispersitätsgrad <math>\longrightarrow</math></p> <p style="text-align: center;"> <math>\downarrow</math>                      <math>\downarrow</math><br/> <math>0,1 \mu</math> bis <math>1 \mu\mu</math> </p> |                                                                                                             |                                                                                                                                         |
| Perioden größer als $0,1 \mu$ ; laufen nicht durch Papierfilter; können mikroskopisch aufgelöst werden.                                                                                                                                                    | laufen durch Papierfilter; können nicht mikroskopisch aufgelöst werden; diffundieren und dialysieren nicht. | Perioden kleiner als $1 \mu\mu$ ; laufen durch Papierfilter; können nicht mikroskopisch aufgelöst werden; diffundieren und dialysieren. |

Diese Grenzen sind willkürlich aus praktischen Gründen gewählt. Zwischen groben Verteilungen und Kolloiden einerseits und zwischen Kolloiden und molekularen Verteilungen andererseits sind alle Übergänge möglich. Im Gebiet der kolloiden Verteilungen erreichen die Eigenschaften, die für plastische Massen besonders wichtig sind, ihr Maximum, nämlich die Formbarkeit und die Klebkraft. Während die molekular-dispersen Lösungen, z. B. eine Kochsalzlösung pulvrig eintrocknet und die trockenen Kristalle kaum eine äußere Ver kittungsfähigkeit haben, und auch grobe Verteilungen keine gut verklebenden Trockenrückstände geben, ist der dazwischen liegende Kolloidzustand ausgezeichnet durch die Verklebung und Verhornung der eintrocknenden Masseteilchen.

<sup>1</sup> P. P. von Weimarn s. Welt der vernachlässigten Dimensionen von Wo. Ostwald, 9. Aufl. S. 22.

<sup>2</sup> Welt der vernachlässigten Dimensionen, S. 20.

Für keramische Massen und für Kautschuk sind eingehende Untersuchungen über den Einfluß der Teilchengröße auf die Plastizität durchgeführt worden<sup>1</sup>. Tone mit einer Teilchengröße über  $10\ \mu$  sind weniger plastisch als solche mit Teilchengrößen unter diesem Wert. Ruff und Riebeth fanden eine Größe zwischen  $0,3$  und  $2,5\ \mu$  am günstigsten. Bei den keramischen Kaolinen liegt nach Stark die Teilchengröße zwischen  $3,6$  und  $8\ \mu$ . Von der gleichen Größenordnung sind die kolloiden Kautschukteilchen im Latex, nämlich  $0,5$ – $3\ \mu$ . Die für die plastische Verformung günstigste Teilchengröße liegt also nicht bei den feinsten molekularen Verteilungen, sondern in dem mittleren kolloiden Bereich.

Eine andere Ursache der Plastizität ist die Form der kleinsten Teilchen und ihre Anordnung in der Verteilung.

In die amorphe Masse müssen Teilchen mit Stäbchen- oder Blättchenform eingebettet sein, um eine gute Bildsamkeit zu erreichen. Die Blättchenform der Feinstruktur ist besonders günstig, da sich die Teilchen bei der plastischen Verformung mit ihren breiten Flächen aneinander legen und aneinander vorbeigleiten. So bildet sich ein schuppenförmiger, also in einer Richtung bevorzugter Aufbau. Der Vergleich von Le Chatelier<sup>2</sup> ist sehr deutlich: Wirft man ein Kartenspiel über einen Tisch, so bleibt der Zusammenhang der einzelnen Blätter weitgehend erhalten im Gegensatz zu einer Hand voll Würfel oder Kugeln, die über den Tisch geworfen sofort auseinander streben. Die Blättchen oder Stäbchen können in einer bevorzugten Richtung gelagert sein, so daß eine bestimmte Ordnung in der plastischen Masse entsteht. Die Röntgenoptik gibt die Möglichkeit zur Erkenntnis des Feinbaus der Stoffe. Sie hat gezeigt, daß gedehnter Kautschuk und plastische Massen aus Zelluloseabkömmlingen Faserdiagramme liefern und daß zwei scheinbar so verschiedene Körper, wie Kautschuk und Zellulose, in ihrem mizellaren Aufbau viel Ähnlichkeit besitzen.

**Formdoppelbrechung.** Einen Beweis für die Anordnung von Stäbchen oder Blättchen in einer bevorzugten Richtung ergibt die Formdoppelbrechung. Diese tritt in Körpern mit einer derartigen Struktur auf, wenn die Abstände der Strukturelemente im Verhältnis zur Wellenlänge des Lichts klein sind. Formdoppelbrechung ist nachgewiesen an gedehntem Kautschuk, Zelluloid, Zelluloseazetat, an Tonsuspensionen, Kasein und Kunstharzen.

**Adsorption und Oberflächenspannung.** Eine weitere Ursache der Plastizität ist die an den Grenzflächen zwischen der festen Dispersion und dem flüssigen Dispersionsmittel auftretenden Oberflächenspannung, Adsorption und Absorption. Diese Kräfte bewirken die Bildung einer Flüssigkeitsschicht um die festen Teilchen, die viele Molekülradien

<sup>1</sup> Siehe Kolloidchem. Technologie, Obrist, Plastizität, S. 493.

<sup>2</sup> Le Chatelier: Kieselsäure und Silikate, 1920 S. 378 (s. Kolloidchem. Technologie, S. 493).



stark sein kann. Solche Flüssigkeitsschichten begünstigen die Verschiebbarkeit der Teilchen bei der plastischen Verformung. Die Flüssigkeitsschicht um die dispersen Teilchen verliert ihre Flüssigkeitseigenschaften, sie benetzt nicht und fließt nicht bei Scheerbeanspruchung. Auch die Flüssigkeit außerhalb der gebundenen Schicht zwischen zwei Teilchen besitzt nicht ihre normalen Eigenschaften, vielmehr ist ihre Viskosität sehr groß; sie nähert sich erst mit zunehmender Entfernung von der gebundenen Schicht ihrem normalen Wert <sup>1</sup>.

#### 4. Herbeiführung des plastischen Zustandes.

Um einen Stoff in den plastischen Zustand zu versetzen, ist eine Auflockerung des Gefüges nötig. Diese kann erfolgen durch mechanische Zerkleinerung beim Mahlen und Kneten, durch Quellung, Lösung und chemische Wirkung und durch Erwärmung. Meist erfolgen mehrere dieser Angriffsarten auf den Stoff gleichzeitig. Die Vorgänge bei der mechanischen Zerkleinerung sind bei Besprechung der Rohstoffaufbereitung für die Mischerei behandelt.

Die Quellung ist gekennzeichnet durch die Flüssigkeitsaufnahme des festen, scheinbar homogenen Körpers ohne Verlust des Zusammenhalts. Hierbei erfolgt eine Vergrößerung des Volumens und eine Abnahme der Kohäsion, die Dehnbarkeit nimmt zu und die Festigkeit ab. Der vorher harte und spröde Körper wird weich und biegsam. Bei begrenzter Quellung nimmt der Körper beschränkte Mengen von Flüssigkeit auf, bei unbegrenzter Quellung geht er allmählich ganz in Lösung über. Quellbare Stoffe sind Mizellargitter, d. h. Gitter aus Bestandteilen von kolloiden Abmessungen, die durch Aufnahme von Flüssigkeiten ohne wesentlichen Verlust des Zusammenhanges ihre Gitterabstände erheblich erweitern können und dadurch zu Gallerten werden. Die Fähigkeit eines festen Körpers zur Gallertbildung scheint gebunden zu sein an das Vorhandensein einer Struktur von Waben, Netzen, Zellen, Schaumwänden und ähnlichem. Derartige Strukturen sind außerordentlich verbreitet. Die einzelnen Teilchen nehmen das Quellungsmittel unter Vergrößerung ihres Umfanges auf, z. B. geht bei der Gelatine der feste Körper allmählich in eine Gallert und dann in flüssige Tröpfchen über <sup>2</sup>. Alle quellbaren Körper nehmen nach scharfem Trocknen nicht mehr soviel Wasser auf wie vordem. Durch mechanische Bearbeitung, z. B. durch Vermahlen kann eine Erhöhung des Quellungsvermögens erreicht werden. Dieses Prinzip wendet man bei der Herstellung von Zelluloseschleim im Holländer an. Die Quellung kann ferner beschleunigt werden durch Anwendung bestimmter Chemikalien bei den im Wasser quellbaren Kolloiden.

Für die hochpolymeren organischen Naturstoffe, z. B. für Zellulose und Kautschuk, ist ihr großes Quellungsvermögen charakteristisch.

<sup>1</sup> Siehe Kolloidchem. Technologie, Obrist, S. 495f.

<sup>2</sup> Siehe Welt der vernachlässigten Dimensionen von Wo. Ostwald, 1927 S. 96.

Wärmezufuhr steigert die Bildsamkeit. Zwischen der aufgewendeten Wärmemenge und der Größe der für die Verformung nötigen Kräfte besteht ein Zusammenhang derart, daß der Kraftbedarf für die Verformung bei höheren Temperaturen stark abnimmt. Die meisten Bindemittel der plastischen Massen, Pech, Harze und Gläser, haben keinen scharf definierten Schmelzpunkt, sie erweichen ganz allmählich. Schon bei niedrigen Temperaturen ist eine gewisse Bildsamkeit vorhanden, die Verformung geht aber nur langsam vor sich. Harter Asphalt fließt aus einem umgelegten Faß. Eine Stahlkugel, die auf die Oberfläche eines mit Pech gefüllten Gefäßes gelegt wird, sinkt zu Boden. Eine an beiden Enden aufliegende Siegelackstange biegt sich unter ihrem Eigengewicht durch, ebenso eine Glasstange, die zur Durchbiegung aber längere Zeit braucht. Diese Stoffe zeigen gleichzeitig die Eigenschaften fester und spröder Körper, indem sie durch Schlag und Stoß zersplittern und die von Flüssigkeiten, die aber zum Fließen lange Zeit brauchen. Durch Vermischen und Verarbeiten mit anderen Stoffen, z. B. mit Fasern, und durch Verdichten gelingt es, den plastischen Massen, die solche sehr langsam auch bei niedriger Temperatur fließenden Bindemittel enthalten, eine gute Formbeständigkeit auch bei höheren Temperaturen zu verleihen.

## 5. Die Verfestigung.

Während der plastische Zustand dazu dienen soll, die Formung der plastischen Massen vorzunehmen, ist das Ziel der verschiedenen Arbeitsverfahren, Körper möglichst großer Festigkeit und Dichte herzustellen. Dieses Ziel wird erreicht durch Entquellen und Abkühlen und unterstützt durch Pressen und Ordnen des Gefüges durch irgendeine Gleichrichtung der kleinsten Bauteilchen. Die Verfestigung kann weiter erfolgen bei chemischen Vorgängen durch Bildung und Zusammenschluß möglichst langer Molekelketten oder Netze bei der Polymerisation und Kondensation.

Das Entquellen geschieht durch Vertreiben der Flüssigkeit, die als Quellmittel gebraucht wurde. Ein einfaches Beispiel des Quellens und Entquellens ist die Verleimung. Die Verleimung zweier Holzteile geht so vor sich, daß der Leim zum Quellen gebracht, erwärmt und auf die zu verbindenden Flächen aufgetragen wird. Die warme Leimlösung dringt in die Holzkapillaren ein, die ebenfalls angewärmt werden, damit der Leim eine Zeitlang dünnflüssig bleibt. Aus der erstarrten Leimlösung dringt das Wasser in die Holzfasern, wodurch der Leim sich an der Oberfläche der Kapillaren zusammenzieht. Zwischen den Kapillarwänden und dem Leim wirkt die Adhäsion. Zwischen den beiden Holzstücken bildet sich eine Leimbrücke, deren Festigkeit von der Kohäsion des Leimes, von seiner Eigenfestigkeit abhängt. Beide Eigenschaften, die Adhäsion, d. h. das feste Haften an den zu verklebenden Flächen, und die Kohäsion, d. h. die Eigenfestigkeit der erstarrten Schicht, sind zuerst

am Leim beobachtet worden. Vom Leim = colla stammt die Begriffsbezeichnung der Kolloide. Das Abkühlen kann vor sich gehen durch Erstarren aus der Schmelzung, Frittung oder Sinterung. Eine Schmelzung liegt vor, wenn alle Anteile in den tropfbar flüssigen Zustand übergegangen sind, z. B. bei der Herstellung von Glas. Wenn es beim Abkühlen der Schmelze nicht zur Ausbildung wahrnehmbarer Strukturen kommt, so tritt glasartiges Erstarren ein. Das Kennzeichen des glasartigen Zustandes ist die Durchlässigkeit für das sichtbare Spektrum und eine große Sprödigkeit, die wahrscheinlich auf das Fehlen oder die ungenügende Ausbildung von Strukturen zurückzuführen ist. Das Glas, das ein Gemenge von Kalzium und Alkalisilikaten darstellt, ist eine unterkühlte Flüssigkeit, deren Zähigkeit mit sinkender Temperatur immer mehr ansteigt. Besonders solche Stoffe haben Neigung zum glasigen Erstarren, deren Zähigkeit im Schmelzpunkt so groß ist, daß sie das Zusammentreten der Atome zu Raumgittern in größerem Umfang verhindern. Bei Gläsern ändert sich innerhalb gewisser Temperaturbereiche die Zähflüssigkeit außerordentlich stark, und zwar verdoppelt sie sich auf je 8—9° Temperaturabfall.

Unter Sinterung wird das Zusammenbacken von zwei erhitzten Bestandteilen verstanden, die teils flüssig, teils fest sind, wobei viel festes und wenig flüssiges Material vorhanden sein kann. Bei hohen Temperaturen findet eine Kornvergrößerung statt. Dabei wird das feine Pulver gröber und die größeren Teilchen wachsen auf Kosten der kleineren, indem Hohlräume ausgefüllt werden. Infolgedessen steigt das spezifische Gewicht. Ein gutes Beispiel gibt hierfür Magnesiumoxyd.

Tabelle 1. Kornvergrößerung von Magnesiumoxyd beim Erhitzen<sup>1</sup>.

| Herstellung des Magnesiumoxyd aus      | Erhitzung                                                        | Spez. Gew. | Beobachter |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| Karbonat                               | 350°                                                             | 3,19       | Ditte      |
| Karbonat                               | Dunkle Rotglut                                                   | 3,25       | Ditte      |
| Nitrat                                 | 24 Stunden auf 1200°                                             | 3,30       | Endell     |
| Nitrat                                 | 10 Stunden im Gebläseofen                                        | 3,58       | Moissan    |
| Karbonat                               | Auf Weißglut                                                     | 3,57       | Ditte      |
| Zum Teil kristallisiert                | 2 Stunden der Einwirkung des elektrischen Lichtbogens ausgesetzt | 3,59       | Moissan    |
| Im elektrischen Lichtbogen geschmolzen | —                                                                | 3,65       | Moissan    |
| desgl.                                 | —                                                                | 3,63       | Endell     |

Durch Sinterung erstarren die Massen der Keramik, z. B. Porzellan. Bei der Schmelzung sind alle Bestandteile flüssig, bei der Sinterung sind sie teils flüssig, teils fest, bei der Frittung nur fest.

<sup>1</sup> Lehrbuch der Technischen Physik, Herausgeber G. Gehlhoff, Bd. 3, Physik der Stoffe, Tab. 140. Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1929.

**Die hochmolekularen Stoffe.** Fast alle wichtigen Bindemittel der plastischen Massen sind hochmolekulare Substanzen. Bei diesen sind sehr zahlreiche Moleküle in Form von Ketten, Bündeln oder Netzen zusammengeschlossen, die die Fähigkeit haben, sich außerordentlich fest zu vereinigen. Der Feinbau der pflanzlichen und tierischen Gewebe zeigt hochmolekularen Aufbau. Es sind wirkliche Gewebe oder Gespinste, in denen Pektine und Eiweißstoffe in langen Ketten den Zusammenhalt bedingen. Zellulose und Kautschuk sind Beispiele der hochmolekularen Naturstoffe. Auch die Kieselsäure ist zu den hochmolekularen Stoffen zu rechnen. Hochmolekulare Stoffe lassen sich künstlich aufbauen z. B. durch Polymerisation oder Kondensation niedrigmolekularer Verbindungen. Zu den künstlichen Hochmolekularen gehören die Kunstharze. Die von Meyer und Mark wiedergegebenen Arbeiten Staudingers lassen gewisse Gesetzmäßigkeiten in der Änderung der physikalischen Eigenschaften mit der Molekülgröße erkennen. Mit dem Ansteigen des Molekulargewichts findet eine Erhöhung des Schmelzpunktes, des Siedepunktes, der Dichte und der mechanischen Härte statt und eine Abnahme der Löslichkeit. Die Änderungen dieser

Tabelle 2. Physikalische Eigenschaften der löslichen Polyoxymethylen diazetate<sup>1</sup>.

| Formaldehyd-gehalt | Mol.-Gew. | Siedepunkt           | Schmelzpunkt                                         | Löslichkeit                  |
|--------------------|-----------|----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1                  | 132       | 164—165 <sup>0</sup> | —                                                    | mit Äther mischbar           |
| 2                  | 162       | 200—202 <sup>0</sup> | —                                                    | „                            |
| 3                  | 192       | 113—115 bei 2 mm     | —                                                    | „                            |
| 4                  | 222       | 132—134 bei 2 mm     | —                                                    | „                            |
| 5                  | 252       | 160—165 bei 0,4 mm   | in Kältemischung fest                                | „                            |
| 6                  | —         | —                    | —                                                    | —                            |
| 7                  | 312       | 180—190 bei 0,3 mm   | 15 <sup>0</sup>                                      | in Äther sehr leicht löslich |
| 8                  | 342       | Zersetzung           | 27,5—28,5 <sup>0</sup>                               | desgleichen                  |
| 9                  | 372       | Zersetzung           | a) 46—48 <sup>0</sup><br>b) 50—51 <sup>0</sup> }     | in Äther leicht löslich      |
| 10                 | 402       | —                    | —                                                    | —                            |
| 11                 | 432       | Zersetzung           | 64—65 <sup>0</sup>                                   | in Äther leicht löslich      |
| 12                 | 462       | Zersetzung           | 66—67 <sup>0</sup>                                   | in Äther schwer löslich      |
| 13—16              | —         | —                    | —                                                    | —                            |
| 17                 | 612       | Zersetzung           | a) 103—107 <sup>0</sup><br>b) 105—107 <sup>0</sup> } | in Essigester löslich        |
| 18—19              | —         | —                    | —                                                    | —                            |
| 20                 | 702       | Zersetzung           | über 120 <sup>0</sup>                                | unlöslich                    |
|                    |           | Zersetzung           | über 160 <sup>0</sup>                                | unlöslich                    |

<sup>1</sup> K. H. Meyer - H. Mark: Aufbau der hochpolymeren organischen Naturstoffe, Akadem. Verlagsges. Leipzig 1930, S. 65.

Eigenschaften an Bindemitteln für plastische Massen bedeuten eine Verbesserung, denn dem Ansteigen des Schmelzpunktes entspricht eine Verbesserung der Wärmebeständigkeit, dem Ansteigen der Dichte eine Verbesserung der elektrischen und mechanischen Festigkeit. Die Abnahme der Löslichkeit bedeutet eine Zunahme der Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe. Staudinger hat planmäßig Verbindungen von sehr hohem Molekulargewicht geschaffen und die erwähnten Gesetzmäßigkeiten durch ein großes Tatsachenmaterial gestützt. Als Beispiel sei Tabelle 2 angegeben.

**Verdichtung durch Pressen.** Die Verfestigung der plastischen Massen beim Entquellen, Abkühlen oder bei chemischen Vorgängen der Polymerisation und Kondensation wird unterstützt und wesentlich verstärkt durch Zusammenpressen der Masse. Durch das Zusammenpressen werden die einzelnen Teilchen einander noch mehr genähert und hierdurch die Wirkung der Oberflächenkräfte zwischen ihnen verstärkt. Das Pressen ist die wichtigste Art der Verformung und Verdichtung plastischer Massen, deshalb ist dieser Vorgang und die dazu nötigen Einrichtungen im allgemeinen Teil des Buches ausführlich behandelt. Das Pressen kann darin bestehen, daß durch einen Stempel gleichzeitig ein Druck auf die Oberfläche oder auf deren Projektion ausgeübt wird. Beim Walzen wird der Druck jeweils nur in einer schmalen Zone wirksam, deren Haupttrichtung parallel zur Walzenachse liegt. Andere Abarten des Pressens sind das Spritzen, z. B. des Zelluloseazetats und das Blasen des Glases, des Zelluloids oder des Kautschuks.

In welcher Weise die Festigkeit durch Steigerung der Packungsdichte beim Zusammenpressen der Stoffe erhöht werden kann, ist an Metallen zahlenmäßig untersucht worden. Als Beispiel sei die Verfestigung von Kupfer angeführt.

Tabelle 3<sup>1</sup>.

| Kupfer             | Vorbehandlung    | Vor-<br>gewalzt<br>bzw.<br>gepreßt |          | Gewalzt<br>auf<br>2 mm |          | Gewalzt<br>auf<br>0,5 mm |          | Gewalzt<br>auf<br>0,17 mm |          |
|--------------------|------------------|------------------------------------|----------|------------------------|----------|--------------------------|----------|---------------------------|----------|
|                    |                  | $\sigma_B$<br>kg/qmm               | $\delta$ | $\sigma_B$<br>kg/qmm   | $\delta$ | $\sigma_B$<br>kg/qmm     | $\delta$ | $\sigma_B$<br>kg/qmm      | $\delta$ |
| Elektrolytbarren . | gewalzt auf 4 mm | 23,4                               | 47       | 37,7                   | 5        | 43,1                     | 5        | 42,2                      | 2        |
| Gußknüppel . . .   | gewalzt auf 4 mm | 23,1                               | 47       | 37,2                   | 6        | 43,0                     | 5        | 42,4                      | 3        |
| Elektrolytbarren . | gepreßt auf 6 mm | 23,1                               | 43       | 38,1                   | 5        | 43,1                     | 5        | 41,9                      | 2,5      |
| Gußknüppel . . .   | gepreßt auf 6 mm | 22,8                               | 44       | 38,7                   | 6        | 43,6                     | 6        | 43,7                      | 2        |

Durch Pressen oder Walzen wird sowohl bei dem porösen Elektrolytkupfer, als auch bei dem dichteren Gußknüppel die gleiche Festigkeit erreicht, unabhängig von dem ursprünglichen Gefüge.

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie S. 498.

Vor der Verdichtung sind die plastischen Massen häufig in Pulverform, durch das Zusammenpressen werden aber erhebliche Festigkeitswerte erreicht.

Der Verfestigung durch die plastische Verformung sind jedoch bestimmte Grenzen gesetzt, die von der Natur der Ausgangsstoffe abhängen. Bei weiterer Steigerung der Preßwirkung tritt eine Festigkeitsminderung ein. Diese Erscheinung ist beim Kautschuk als „Totwalzen“ bekannt. Die Tabelle 4 zeigt die rasche Abnahme der Festigkeit bei zu langer Walzdauer. In der Tabelle sind auch die Werte für kaltgewalztes Zinkblech zum Vergleich aufgenommen.

Diese Verminderung der Festigkeit läßt sich dadurch erklären, daß die Anordnung, welche die Voraussetzung für die Verfestigung war, gestört oder gar zerstört wird. Die Festigkeit hängt unter anderem ab von der Länge der ketten- oder faserförmigen Gebilde. Durch übermäßige Einwirkung der deformierenden Kräfte wird ein Teil der Strukturgebilde in der Oberflächenschicht zerstört, während in einer gewissen Entfernung von der Oberfläche

die Faser- oder Strukturbildung noch fortschreiten kann. In jedem Verformungszustand bildet sich ein bestimmtes Verhältnis zwischen gebrochenen und ungebrochenen Elementen aus. Solange der Anteil der ungebrochenen Elemente überwiegt, nimmt die Festigkeit zu, bei weiter getriebener Verformung dagegen wächst der Anteil der zerbrochenen Elemente und damit sinkt die Festigkeit.

Bei der plastischen Verformung wird die Festigkeit der plastischen Massen vergrößert, die bedingt ist durch den Zusammenhalt der als Kristallite, Mizellen, Fasern oder in ähnlicher Weise ausgebildeten Stoffelemente. Der Zusammenhalt wird um so besser, je größer die Oberfläche der zusammentretenden Stoffmenge ist. Die Kugelform der Teilchen bietet die ungünstigste Berührungsmöglichkeit, und zwar nur in Punkten. Die Stäbchen- oder Blättchenform ergibt die größten Berührungsflächen dann, wenn die Teilchen parallel gerichtet sind. Deshalb wird unter bestimmten Umständen der Höchstwert der Festigkeit erreicht, wenn die Gleichrichtung der Teilchen am vollkommensten ist. Alle Vorgänge mit

Tabelle 4<sup>1</sup>.

|              | Walzdauer       | Festigkeit | Bruchdehnung |
|--------------|-----------------|------------|--------------|
|              |                 | kg/qm      | %            |
| Rohkautschuk | 10 Min.         | 7,75       | 172          |
|              | 15 „            | 4,37       | 306          |
|              | 20 „            | 2,29       | 382          |
|              | 30 „            | 1,59       | 509          |
|              |                 | kg/qmm     | %            |
| Zinkblech    | 3 Sek.          | 38,3       | 10           |
|              | 25,2 „          | 28,5       | 19           |
|              | 1 Min. 12 Sek.  | 24,9       | 25           |
|              | 3 „ 30 „        | 21,0       | 40           |
|              | 12 „ 24 „       | 16,1       | 66           |
|              | 63 „ 20 „       | 11,8       | 85           |
|              | nach 20 Stunden | 7,9        | 125          |

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie S. 499.

Strömungscharakter bewirken eine Gleichrichtung der kleinsten Teilchen: Gießen, Pressen und seine Abarten wie Walzen, Spritzen, Recken.

Ein Ausrichten der Teilchen erfolgt z. B. bei der Bildung des Papiers auf dem Sieb der Papiermaschine durch das Einfließen des Papierbreies in der Maschinenrichtung und durch das dann folgende Walzen. Die Festigkeit ist in der Strömungsrichtung größer als in der Querrichtung. Bei Asbestzementplatten, die auf ähnlichen Maschinen hergestellt werden wie Pappen, bei Kasein und Kautschukfellen, die durch Auswalzen

gebildet werden<sup>1</sup>, ist die Festigkeit in der Längsrichtung ebenfalls größer als quer dazu.

Die drei wichtigsten Arten der spanlosen Formung von plastischen Massen sind Pressen, Gießen und Schichten.

Tabelle 5.

| Stoffart             | Festigkeit in     |                            |
|----------------------|-------------------|----------------------------|
|                      | Strömungsrichtung | quer zur Strömungsrichtung |
| Packpapier . . . . . | 9,06 km           | 4,25 km Reißlänge          |
| Asbestzementplatten  | 260 kg/qcm        | 212 kg/qcm                 |
| Kasein . . . . .     | 0,446             | 0,356                      |
| Kautschuk . . . . .  | 0,155             | 0,022                      |

Das eigentliche Pressen durch Werkzeuge oder Stempel unter gleichzeitiger Einwirkung auf die ganze Oberfläche kann Preßstücke nahezu beliebiger Gestalt in der gewünschten endgültigen Formgebung und in einem Zustand liefern, der keine wesentliche weitere Bearbeitung erfordert. Die durch Gießen hergestellten Stücke erhalten entweder ihre endgültige Gestalt oder eine dieser möglichst nahe kommende Form, wie die Gießlinge aus Kunstharz für Stockgriffe und Bälle. Werden die plastischen Massen durch Aufeinanderlegen dünner Lagen aufgebaut, so entstehen auf diese Weise Bahnen, Tafeln oder Blöcke, die meist einer Bearbeitung durch spanabhebende Werkzeuge unterworfen werden, um die Endform zu erzeugen. Solche Stoffe können als Schichtstoffe bezeichnet werden. Beispiele von Schichtstoffen sind Papier, Pappe, Zementasbest, Kunstharz-Hartpapier.

### III. Herstellung und Verarbeitung plastischer Massen.

#### 1. Das Mischen und Aufbereiten.

Das Ziel der Mischarbeit ist, die Teilchen der Mischung so anzuordnen, daß sie an allen Stellen der fertigen Mischung gleichmäßig verteilt sind und daß in jeder kleinsten Mischungsgruppe die gleiche Zahl der verschiedenen Mischungsbestandteile enthalten ist. Derartig vollkommene

<sup>1</sup> Siehe Kolloidchem. Technologie, Obrist, Plastizität, S. 497.

Mischungen lassen sich bei festen Körpern nicht erreichen, da die gegenseitige Lagerung der Einzelteilchen je nach Art des Mischverfahrens von Zufälligkeiten abhängt. Die Mischarbeit kann daher nur eine möglichst gute Annäherung an die vollkommen gleichmäßige Verteilung anstreben. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Mischung ist eine gewisse Kleinheit der Einzelteilchen erforderlich, die zweckmäßig in kolloidem Gebiet liegt. Ferner ist eine gewisse Form der Einzelteilchen günstig, die deren Verbindung in einer möglichst großen Oberfläche zuläßt. Eine möglichst geringe Verschiedenheit des spezifischen Gewichts erleichtert das Durchmischen. Bei ungleicher Größe und Form der Mischungsbestandteile sind die größeren Teile von vielen kleinen umlagert, die die Hohlräume zwischen den größeren Teilen ausfüllen können.

Das lose Haufwerk, das die zusammengeschütteten, aber unverarbeiteten Einzelteile der Mischung bilden, wird durch Aneinanderkitten mit Hilfe des Bindemittels zu einem Körper vereinigt. Eine gleichmäßige Durchmischung gelingt am besten bei Flüssigkeiten. Bei plastischen Massen ist wesentlich, daß wenigstens einer der Mischungsbestandteile beim Vermischen dem Zustand der Flüssigkeit so nahe wie möglich gebracht wird. Eine zahlenmäßige Kontrolle der Güte der Mischung durch die Feststellung, wieviel von den Einzelteilen in der Raumeinheit enthalten ist, ist kaum möglich. Für die Gleichmäßigkeit der Durchmischung bietet die Farbe einen gewissen Anhalt. Die Betrachtung der Mischung unter einer Lupe oder einem Mikroskop erleichtert die Kontrolle. Die Bildsamkeit wird zwar durch die Flüssigkeit vergrößert, aber der Zusammenhalt der Einzelteile wird geschwächt. Die günstigste Menge des Bindemittels hängt ab vom Gehalt an Fasern und Füllmittel der Mischung, von der Natur des Bindemittels und seinem Zustand. Die Erhöhung des Bindemittelgehaltes oder des flüssigen Anteiles über ein bestimmtes Maß erschwert die Bildung eines gleichförmigen Gemisches, weil sich dann leicht Nester von Bindemitteln bilden.

Die Mischarbeit ist mit einer Ortsänderung der Bestandteile verbunden, so daß diese ihre gegenseitige Lage wechseln. Je vielseitiger und häufiger dieser Wechsel erfolgt, um so besser ist die Vollkommenheit der Mischung. Die Güte der Mischung ist auch in hohem Maße abhängig von der Dauer des Mischens. Die Ortsänderung der Mischungsteile wird erzwungen durch die Einwirkung äußerer Kräfte mit Hilfe von Mischmaschinen. Das Mischen durch Rühren und Verreiben, d. h. durch Kneten erfordert bei bildsamen Stoffen mit großer Klebkraft einen großen Arbeitsaufwand zur Überwindung der beträchtlichen inneren Widerstände. Für das Mischen durch Verreiben ist kennzeichnend, daß fortgesetzt eine weitgehende Zerteilung des Mischgutes erfolgt.

Die Art und die Reihenfolge des Eintragens des Mischgutes in die Mischmaschine beeinflußt die Güte der Mischung und die Mischungsdauer. Nicht nur der Verteilungsgrad der Bestandteile, sondern auch die



Reihenfolge und Menge des jeweiligen Eintrages ist für die Erzielung einer innigen Durchmischung bestimmend.

Die Abmessung der richtigen Menge jedes Bestandteiles ist Voraussetzung für die Erzielung einer bestimmten Mischung. Die Gewichtsbestimmung bietet hierfür die größte Gewähr. Dabei ist aber immer zu berücksichtigen, daß für den Aufbau der Mischung nicht die Gewichtsverhältnisse, sondern die Raumverhältnisse bestimmend sind. Hierauf ist beim Vergleich von Mischungsrezepten Rücksicht zu nehmen<sup>1</sup>. Für die Fabrikation großer Mengen von Mischungen erfolgt das Abwiegen

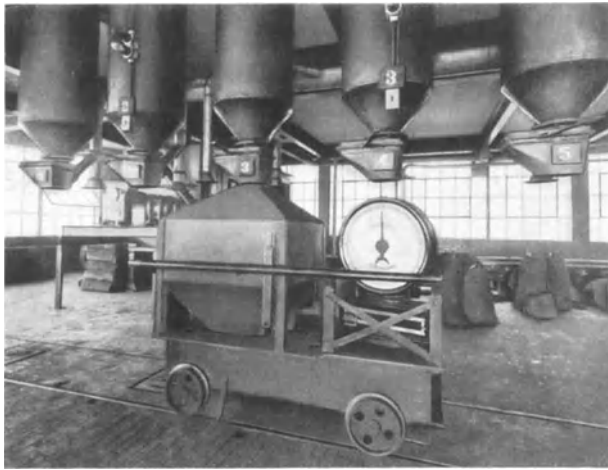


Abb. 2. Wagen für das Abwiegen von Mischungen in einer amerikanischen Kohlebürstenfabrik. (National Carbon Co., Inc. Cleveland, Ohio.)

unter Zuhilfenahme von Anordnungen, wie Abb. 2, die aus einer amerikanischen Kohlebürstenfabrik stammt.

Das Mischen wird beschleunigt durch das Zerteilen des zugeführten Gutes in einzelne Ströme, z. B. durch Anbringen von Schüttelsieben über den Mischmaschinen beim Eintragen.

Fast kein Rohstoff ist im Gewinnungszustand zu verarbeiten, vielmehr ist eine Aufbereitung nötig, die im Zerkleinern, Quellen, Lösen und Waschen und im Sichten bestehen kann.

**Zerkleinern.** Feste Werkstoffe werden durch die Zerkleinerung in lose Haufwerke zerlegt, während die Werkstoffe in plastischem Zustand dazu neigen, nach dem Zerkleinern wieder aneinander zu backen. Die Teilstücke loser Haufwerke können der Form und Größe nach gleich oder verschieden sein. Im ersten Fall liegt bestimmte, im zweiten Fall unbestimmte Zerkleinerung vor. Die Haufwerke der unbestimmten Zerkleinerung enthalten eckige und rundliche Körper. Der Zweck des

<sup>1</sup> Siehe Messung des Klopffolumens, S. 290.

Zerkleinerns ist die Schaffung einer möglichst großen und in ihrer Form wirksamen, den Zusammenhalt fördernden Oberfläche. Mit fortschreitender unbestimmter Zerkleinerung nimmt die Gleichheit der Größe und Gestalt zu. Die feinsten Mehle bestehen daher nur aus fast gleichgroßen und gleichgestalteten, meist kugelförmigen Körpern. Die Größe der beim Zerkleinern aufzuwendenden Arbeit hängt ab von dem Grad der Zerkleinerung, von der Härte, Festigkeit und Zähigkeit des zu zerkleinernden Gutes.

Die Zerkleinerung kann entweder unter allmählich wachsendem Druck oder durch plötzlich wirkenden Stoß erfolgen. Beim Stoß werden die äußeren Schichten des Gutes getroffen, so daß diese mehr zertrümmert werden als die inneren Werkstoffteile, wodurch mehr mehlfine Teile entstehen. Dagegen führt die allmähliche Steigerung des Druckes zu einem gleichmäßigeren Durchdringen der ganzen Masse und zu einem Zerfall in verhältnismäßig wenige Teile gleicher Größe. Ein Kollergang liefert z. B. mehr grobe Bestandteile, ein Pochwerk mehr feine.

Die Gestalt und Größe der bei der Zerkleinerung entstehenden Teilstücke hängt ab von deren Materialeigenschaften, dem Arbeitsverfahren und den Maschinen. Die Teilstücke spröder Werkstoffe sind meist kantig oder eckig mit mehr oder weniger ausgeprägten Begrenzungsflächen. Findet beim Zerkleinern auch ein Zerreiben und Zermahlen statt, so erhalten die Teilstücke rundliche Gestalt. Werkstoffe, wie z. B. manche Fasern, die sich weder durch Druck oder Stoß, noch durch Zerreiben zerkleinern lassen, müssen zerschnitten werden. Es sind drei Zerkleinerungsverfahren zu unterscheiden: Brechen ergibt Haufwerke mit Teilstücken verschiedener Größe, Reiben, Mahlen ergeben feinkörnige Haufwerke, Schneiden und Spalten bestimmte Zerkleinerung.

Unter den gebräuchlichen Maschinen sind auch alle Übergänge zwischen diesen drei Verfahren zu finden.

Über die zur Zerkleinerung nötige Arbeit macht Rittinger<sup>1</sup> folgende Annahme: Die Oberflächenzunahme des zerkleinerten Körpers ist ein Maßstab für die geleistete Zerkleinerungsarbeit. Danach verbraucht ein Steinbrecher, der große Blöcke zerbricht, weniger Arbeit als nachher zum Mahlen des vorgebrochenen Gutes nötig ist.

Mit zunehmender Zerteilung findet ein außerordentlich schnelles Wachsen der Oberfläche statt. Wenn z. B. ein kleiner Steinwürfel von 1 cm Kantenlänge mit einer gesamten Oberfläche von 6 qcm bis zur mikroskopischen Sichtbarkeitsgrenze von  $0,1 \mu = \frac{1}{10\,000}$  mm zerkleinert wird, so entsteht bereits eine Oberfläche von 60 qm.

Wie verschieden die Form der bei der Zertrümmerung entstehenden Teilchen ist und wie sich die Oberflächenzunahme bei verschiedenen Teilchenformen verändert, hat die neuere Staubforschung<sup>2</sup> untersucht. Die Oberfläche wächst nicht nur mit zunehmender Zerteilung, sondern

<sup>1</sup> Naske, Carl: Zerkleinerungsvorrichtungen und Mahlanlagen, S. 3. Leipzig 1921.

<sup>2</sup> Gonell, H. W.: Formenkunde des Industriestaubes. Z. VDI 1930 S. 917.

vergrößert sich auch bei Teilen gleichen Rauminhalts mit der Annäherung an die Blättchenform. Die Tabelle 6 gibt hierfür einen Anhalt, die unter Annahme dezimaler Zerteilung und regelmäßiger Kornform verschiedener Prismen errechnet ist.

Tabelle 6.

| Form                                                               |  |  |  |  |  |          |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Verhältnis der<br>Quadratseite a<br>zur Höhe b                     | 1 : 1                                                                             | 1 : 5                                                                             | 1 : 10                                                                            | 5 : 1                                                                             | 10 : 1                                                                            |          |
| Zahl der<br>Teilchen                                               | Kanten-<br>länge                                                                  | Oberfläche                                                                        |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |          |
| 1                                                                  | 1 cm                                                                              | 6 qcm                                                                             | 7,6 qcm                                                                           | 9,1 qcm                                                                           | 8,2 qcm                                                                           | 11,1 qcm |
| $10^3$                                                             | 1 mm                                                                              | 60 „                                                                              | 76 „                                                                              | 91 „                                                                              | 82 „                                                                              | 111 „    |
| $10^6$                                                             | 0,1 mm                                                                            | 600 „                                                                             | 760 „                                                                             | 910 „                                                                             | 820 „                                                                             | 1110 „   |
| $10^9$                                                             | 10 $\mu$                                                                          | 6000 „                                                                            | 7600 „                                                                            | 9100 „                                                                            | 8200 „                                                                            | 11100 „  |
| $10^{12}$                                                          | 1 $\mu$                                                                           | 6 qm                                                                              | 7,6 qm                                                                            | 9,1 qm                                                                            | 8,2 qm                                                                            | 11,1 qm  |
| Verhältnis der Ober-<br>flächen zu der Ober-<br>fläche des Würfels |                                                                                   | 1                                                                                 | 1,27                                                                              | 1,51                                                                              | 1,36                                                                              | 1,84     |

Die Ausgangsprismen haben gleichen Inhalt von 1 ccm. Das Verhältnis von der Kante der Grundfläche a zur Höhe b ist so geändert, daß je zwei Prismen sich der Stäbchen- und Blättchenform nähern. Die Oberflächenzunahme bei Zerteilung eines Würfels dient als Vergleichsgrundlage. Die stäbchenförmigen Teile gleichen Rauminhalts haben entsprechend der Zunahme des Verhältnisses von Höhe zu Kantenlänge der Grundfläche eine größere Oberfläche als die Würfel. Wenn dieses Verhältnis jedoch nicht größer ist als 5 : 1, so ist die Zunahme nicht sehr wesentlich, nämlich 1,27fach. Dagegen wächst bei Teilen in Blättchenform die Oberfläche im Verhältnis zum Würfel sehr erheblich, bei a zu b = 10 : 1 ist die Oberfläche = 1,84 der Oberfläche des Würfels gleichen Rauminhalts. Diese Ermittlungen sind zwar angestellt, um wirksame Maßnahmen gegen die Staubeentwicklung zu finden und die Selbstentzündung von Staub zu verhindern, sie geben aber auch wertvolle Aufklärung über die beim Zerkleinern von Stoffen herrschenden Verhältnisse, die für die Aufbereitung der plastischen Massen wichtig sind.

**Bedingungen der Kornform<sup>1</sup>.** Die bei der mechanischen Zerkleinerung entstehende Kornform ist wesentlich abhängig vom Zustand des Ausgangsstoffes. Die weitaus größte Zahl der festen Stoffe gehört, wie die

<sup>1</sup> Gonell, H. W.: Formenkunde des Industriestaubes. Z. VDI 1930 S. 916.

Röntgenforschung gezeigt hat, zu den Stoffen, die aus geordnet oder regellos gelagerten Kristalliten bestehen oder solche in gleichförmiger



Abb. 3. Holzmehl, feinste Anteile.  
Vergr. 150fach.



Abb. 4. Mikroasbest nach Meldau.  
Vergr. 110fach.

Substanz eingebettet enthalten. Pflanzliche Fasern enthalten geordnete Kristallite, deren Größe unter der mikroskopischen Grenze der Sichtbarkeit,

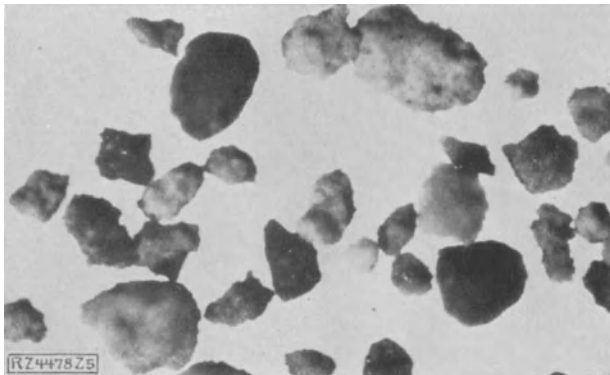


Abb. 5. Gebrannter Kalk. Teils runde Körner, teils zackige zerfranste Bruchränder.  
Vergr. 50fach.

also im Gebiet der kolloiden Dimensionen liegt. Dieser kristalline Bau prägt den meisten Stoffen seine Gestalt auf. Die zerkleinerten

Teilchen sind ihrer Form nach meist die geometrischen Verkleinerungen des grobkörnigen Ausgangsstoffes.

Die Fasern der Pflanzen, des Holzes und des Asbestes stellen eine solche Kristallitordnung dar (s. Abb. 3 und 4).



Abb. 6. Glaspuver. Vergr. 50fach.

Hier sind kleinste, zwar nicht durch das Mikroskop, aber durch das Röntgenbild erkennbare, nadelförmige Kristalle mit ihrer Längsachse annähernd parallel zur Faserachse und zueinander angeordnet. Eine Faser besitzt in ihrer Längsrichtung besonders hohe Festigkeit, sie läßt

sich in dieser Richtung leichter spalten als quer dazu. Die zerkleinerten Teilchen von Wolle, Holzmehl (Abb. 3), Asbest (Abb. 4) haben langgestreckte faserige Form.

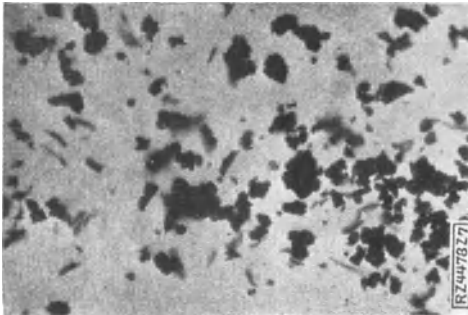


Abb. 7. Kupferstaub aus Pochwerk. Die langgestreckten unscharfen Teilchen sind aufrecht stehende Blättchen. Vergr. 28fach.

Die Form der Körner von anderen, nicht faserigen Stoffen hängt hauptsächlich davon ab, ob sich der Stoff in mürbem, sprödem oder elastischem Zustand befindet. Gebrannter Kalk (Abb. 5), in mürbem Zustand zeigt

teils rundliche Körner, teils zackige, zerfranste Bruchränder. Glaspulver (Abb. 6) gibt das typische Bild eines spröden Stoffes mit scharfen und kantigen Begrenzungen. Befinden sich die Stoffe bei der Zerkleinerung in plastischem Zustand, so erleiden sie unter Einwirkung von Druck oder Stoß eine bleibende Formänderung und nähern sich der Blättchenform (Abb. 7 des Kupfers). Eine Zusammenstellung

der wichtigsten Kornformen in Abhängigkeit von dem Ausgangszustand gibt Tabelle 7.

Tabelle 7.

|               |                  |           |                |           |
|---------------|------------------|-----------|----------------|-----------|
| Zustand . . . | mürbe            | spröde    | elastisch      | plastisch |
| Kornform. . . | rundlich, wellig | splittrig | körnig, kantig | blättrig  |

## 2. Zerkleinerungsmaschinen.

Die Zerkleinerung durch allmählich wachsende Druckwirkung liefert verhältnismäßig wenige Teile ähnlicher Größe, daher arbeiten die Maschinen, die zur Vorzerkleinerung dienen, die Brechwerke, nach diesem Grundsatz. Die Brecher sollen das in Stücken von Faust- oder Kopfgröße anfallende feste oder spröde Gut in kleinere Körner vorbrechen. Brecher werden zur Vorzerkleinerung von Steinmehlen, ebenso auch zur Vorzerkleinerung von Mischungen, wie sie den Mastikator verlassen, verwendet. Die Zertrümmerung geht von den Angriffspunkten der Druckkräfte, also von den Berührungspunkten des Werkstoffes mit der Maschine aus; hier bilden sich Druckkegel, die durch Keilwirkung den Druck auf benachbarte Teile fortpflanzen.

**Backenbrecher.** Der von dem Amerikaner Blake im Jahre 1858 erfundene Steinbrecher ist auch heute noch das Vorbild ähnlicher Maschinen. Er ist für die Grobzerkleinerung sehr fester Stoffe, wie Basalt, Granit und Schmirgel geeignet. Kennzeichnend ist das keilförmige Brechmaul, das von der festen und der beweglichen Backe gebildet wird.

Die zahlreichen konstruktiven Abänderungen des Blakeschen Brechers bezwecken die Bildung feiner Körnungen neben den groben durch die Erzeugung einer reibenden Wirkung, indem die bewegliche Backe sich nicht nur der festen nähert, sondern auch eine auf- und abgleitende Bewegung vollführt.

Die größte Bewegung kann in das Maul oder in den Spalt verlegt werden, die Bewegung kann aber auch an beiden Stellen gleich groß sein.

**Walzenbrecher.** Drehen sich zwei zylindrische Walzen mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit gegeneinander, so ziehen sie das eingetragene Gut ein, dessen Stücke eine bestimmte Größe nicht überschreiten dürfen, und zerquetschen es. Die Größe des Einzugs winkels ist abhängig vom Reibungskoeffizienten, vom Walzendurchmesser, der Spaltweite und der Stückgröße. Richards<sup>1</sup> fand als guten Mittelwert für den Einzugs winkel  $2\alpha = 32^\circ$  und hat unter dessen Annahme eine Tabelle aufgestellt, die z. B. bei einem Walzendurchmesser von 610 mm und einer Spaltweite von 6 mm als maximale Stückgröße 32 mm ergibt, d. h. die aufgegebenen Stücke dürfen in keiner Richtung größer sein als 32 mm, wenn der Einzug sicher erfolgen soll. Die Lagerung der einen Walze

<sup>1</sup> Naske: Zerkleinerungsvorrichtungen, S. 39.

ist fest, die der Gegenwalze verschiebbar unter Federbelastung, um Brüche beim Hineingeraten zu harter Körper zu verhüten. Für die Grobzerkleinerung werden beide Walzen angetrieben. Die Walzenoberfläche kann auch rau oder geriffelt ausgeführt werden, um einen besseren Einzug zu erreichen.

**Mahlwerke.** Unter dem Ausdruck Mahlen wird eine feine Zerkleinerung fester Körper, z. B. Mahlen auf  $1\mu$  Korngröße verstanden. Die Mahlwirkung beruht auf der gleichzeitigen Anwendung von Druck- und Scherkräften und führt bei genügend langer Dauer infolge des häufigen Lagenwechsels des Mahlgutes und des Abschleifens der Kanten der zertrümmerten Teilchen zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Kugelgestalt. Da es sich bei den Stoffen, die in der Industrie der plastischen Massen gemahlen werden, fast immer um ziemlich harte Körper, wie Kaolin, Schwerspat und Schiefer handelt, so werden die Mahlwerke mit Mahlkränzen aus hartem Stahl oder Stahlguß versehen.

**Trommel- oder Kugelmühlen.** Diese bestehen aus rohrförmigen Gehäusen, die um ihre Achse oder auch um eine schräg zu ihrer Achse liegende Gerade in langsame Drehung versetzt werden. Die Drehzahl darf nicht so groß sein, daß das Mahlgut von der Trommelwand mitgenommen wird, vielmehr muß sie so gewählt werden, daß sich das Mahlgut von der Trommelwand löst und auf die gerade unten befindliche Stelle der Trommel aufschlägt. Die Zerkleinerung erfolgt durch dieses Aufprallen und wird unterstützt, wenn harte Mahlkörper, z. B. Stahlkugeln oder Flintsteine, mit dem Mahlgut in die Trommel gefüllt werden. Auch die Kugeln sollen sich möglichst in ihrer höchsten Stellung von der Trommelwand lösen. Durch Aufschlagen auf das zwischen zwei Kugeln oder zwischen Kugel und Trommelwand befindliche Mahlgut erfolgt das Zerkleinern.

**Kollergänge** sind Mahlgänge, bei denen ein oder zwei zylindrische Läufer oder Koller, das sind schwere Walzen aus Stein mit Hartgußbandagen oder ganz aus Stahl, auf einer ebenen kreisförmigen Mahlbahn rollen. Bei der einen Ausführung sind die Läufer mit der Königswelle der senkrechten Achse fest oder gelenkig verbunden und werden von dieser im Kreis auf der feststehenden Mahlbahn herumgeführt. Bei der anderen Ausführung drehen sich die Läufer um eine festliegende Achse, während die mit der Königswelle verbundene Mahlbahn sich mit dieser dreht. Außer der rollenden findet eine stark gleitende Bewegung zwischen Läufer und Mahlbahn statt. Das Zermahlen erfolgt nicht nur durch den Druck infolge des hohen Läufergewichts, der durch eine Anpressung des Läufers an die Mahlbahn durch die Kreiselwirkung unterstützt werden kann<sup>1</sup>, sondern auch durch Zerreiben durch die gleitende Bewegung zwischen Läufer und Mahlbahn. Wenn zwei Läufer in verschiedenem Abstand von der Tellermitte angeordnet sind, so ergibt

<sup>1</sup> Grammel, R.: Kurvenkreisel und Kollergang. Z. VDI 1917 S. 572.

sich auch bei verhältnismäßig geringer Breite der Läufer und großem Mahlbahndurchmesser eine gute Ausnutzung der Mahlfläche. Die Mahlbahn ist an einer oder mehreren Stellen mit Rosten versehen, durch die das Mahlgut nach genügender Zerkleinerung aus dem Teller fällt. Mit den Läufern bewegen sich Schaber- oder Scharreisen, die das Gut je nach ihrer Einstellung in die Mahlbahn zurück- oder aus der Bahn herausstreichen. Kollergänge werden zum Vorzerkleinern von Kalkstein, Dolomit, Zementklinker, Schamotte und zum Aufschließen von Asbest benutzt.

**Walzmühlen.** Zur Erzielung feiner und feinsten Mehle dienen Walzmühlen mit glatter oder geriffelter Walzenoberfläche, bei denen die Walzen gegeneinander laufen und zwar mit verschieden großer Umfangsgeschwindigkeit, die entweder durch verschiedene Durchmesser oder durch verschiedene Umdrehungszahlen der Walzen erreicht wird. Das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeiten liegt meist zwischen 1:1,5 und 1:3. Derartige Walzmühlen werden zum Mahlen von Zement und anderen Steinmehlen, zum Zerreiben von Farben und für ähnliche Zwecke verwendet.

**Schlag- und Schleudermühlen.** Bei den Schleudermühlen wird das Mahlgut von einem Teller mit hoher Umfangsgeschwindigkeit gegen eine feststehende glatte oder gezahnte Wand geschleudert, an der es zerschellt; bei den Schlagmühlen wird das Gut durch Anschlagen an rasch umlaufende Stifte, Nasen, Arme u. ä. zerkleinert. Wegen des geringen Wirkungsgrades der Mühlen, die nur durch Schleudern zerkleinern, wird die Schlag- und Schleuderwirkung gleichzeitig angewendet. Für diese Mühlen ist die hohe Umfangsgeschwindigkeit von 40 m je sec und mehr kennzeichnend. Daher ist es notwendig auf gutes Auswuchten der umlaufenden Teile zu achten und infolge der hohen Beanspruchungen durch die zentrifugalen Kräfte besonders feste und zähe Baustoffe zu wählen. Um den hohen Luftwiderstand und damit den großen Kraftverbrauch herabzusetzen, sollte im Gehäuse für gute Entlüftung, z. B. durch Anschluß an eine Absaugung, gesorgt werden.

**Die Schlagkreuzmühle** von H. Carter (London 1875) stellt die einfachste Bauart einer Mühle mit Schlag- und Schleuderwirkung dar. Als Schleuder dient ein sechsarmiges Schlagkreuz aus Flachstahlstäben, das in einem innen mit Rippen und unten mit Rosten versehenem Gehäuse mit hoher Umdrehungszahl, z. B.  $n = 3000$  umläuft. Das Mahlgut wird beim Einwurf von den Schleudern erfaßt, im Gehäuseinnern umhergeschleudert und durch Wiederauftreffen auf das Schlagkreuz und Wiederanprallen auf die Gehäusewand zertrümmert<sup>1</sup>.

**Hammermühlen.** Von der Schlagkreuzmühle unterscheidet sich die Hammermühle dadurch, daß die Schläger nicht starr, sondern gelenkig mit der Welle verbunden sind. Im Ruhezustand hängen die

<sup>1</sup> Siehe H. Fischer: Technologie des Scheidens, Abb. 284.



Schläger lose nach unten, um sich erst beim Anlauf radial einzustellen. Da die Schläger ausweichen können, sind sie gegen das Eindringen von Fremdkörpern nicht sehr empfindlich. Der aus einzelnen Stäben bestehende Rost ist am unteren Gehäuseumfang angeordnet. Das Mahlgut kann Faustgröße und mehr haben. Das Erzeugnis besteht aus Grieß mittlerer Körnung, dem auch feine Teile beigemengt sind. Da namentlich die größeren Teilstücke häufig gegen die Gehäusewand geschleudert werden, können sie auch zur Einwurfoffnung wieder herausfahren. Eine Vorrichtung, die diese zurückprallenden Teile am Verlassen des Gehäusestutzens verhindert, ist deshalb empfehlenswert.

**Der Desintegrator** (1859, Thomas Carr, Bristol<sup>1</sup>) ist gekennzeichnet durch mehrere meist vier konzentrisch angeordnete Reihen von Schlagstiften, von denen z. B. Reihe 1 und 3 auf einer Scheibe angeordnet sind, Reihe 2 und 4 auf der gegenüberliegenden Scheibe. Die Scheiben drehen sich in entgegengesetzter Richtung. Das Mahlgut wird in der Nähe der Welle zugeführt, fällt auf die innerste aus Stiften von dem größten Durchmesser gebildete Reihe, wird von diesen auf die nächste Reihe geschleudert usw., bis es in der gewünschten Zerkleinerung die äußerste Stiftenreihe verläßt. Der Desintegrator dieser Bauart verbraucht verhältnismäßig viel Kraft und ist, wie alle mit Schlagstiften, Nasen und ähnlichen Zerkleinerungsmitteln ausgerüsteten schnellaufenden Vorrichtungen, gegen harte Fremdkörper empfindlich. Eindringene Fremdkörper können die Stifte abbrechen und verbiegen, die Scheiben und auch das Gehäuse beschädigen. Deshalb sollte das Mahlgut vorher in dünnen Strömen mittels einer Rüttelvorrichtung über einen kräftigen Magneten geführt werden, der wenigstens die Eisenteile festhält. Der Magnet muß aber in kurzen Abständen gereinigt werden. Der Desintegrator wird zum Aufschließen von Asbest, zum Zerkleinern vorgebrochener Mischungen usw. verwendet.

**Simplex-Perplexmühlen** (Alpine Maschinenfabrik, Augsburg). Bei dieser Bauart ist die Mahlscheibe auf einer Seite mit kantigen Nasen in drei Gruppen besetzt, die mit kantigen Zapfen an der vorderen aufzuklappenden Gehäusewand zusammenarbeiten. Der Siebkorb ist auswechselbar, die Größe der Sieblochung bestimmt den Feinheitsgrad des Mahlgutes. Die von den einzelnen Zapfen und Nasen gebildeten Schlitzte, durch die das Mahlgut getrieben wird, werden von innen nach außen immer enger, so daß schon bei einmaligem Durchgang eine starke Zerkleinerung stattfindet. Die Mahlscheibe trägt am äußeren Umfang Räumer, die das zerkleinerte Gut durch das am Umfang angeordnete Sieb treiben. Die Kanten der Schlagnasen sind als Schneiden ausgebildet, wodurch außer der Schleuder- und Schlagwirkung auch noch eine gewisse Schneidwirkung erzielt wird. Deshalb eignen sich derartige

<sup>1</sup> Siehe l. c., Abb. 285.

Mahlwerke auch zur Zerkleinerung weicher, zäher und faseriger Stoffe, wie Zellstoff, Papier, Kork u. ä.

**Aufschließen von Fasern.** Einige der beschriebenen Mahlwerke, wie der Kollergang und die Perplexmühle, sind auch zum Aufschließen von Fasern geeignet. Diese beiden Bauarten werden hintereinander geschaltet und z. B. zum Aufschließen von Asbestfasern gebraucht. Um ein möglichst vollständiges Freilegen der einzelnen Faserchen zu erreichen, ohne daß die Faserlänge und die Festigkeit der Faser beeinträchtigt wird, sind andere Vorrichtungen nötig, wie sie in der Textilindustrie zum Öffnen der Baumwollfasern gebraucht werden.

**Öffner** bestehen aus Walzen, die mit Schlagarmen versehen sind und denen durch besondere Zuführungswalzen über endlose Lattentuche das Fasergut zugeführt wird. In der Textilindustrie wird für die Weiterverarbeitung durch Spinnen das Fasergut in Form von Wattewickel gebracht, in der Preßstoffindustrie ist die Gewinnung der losen Fasern das Endziel.

**Der Reißwolf** besteht aus einer mit zahlreichen Nadeln besetzten Walze, der das Fasergut über endlose Lattentuche durch Speisewalzen zugeführt wird. Die Fasern werden durch die Nadeln von den Zuführungswalzen abgerissen und häufig herumgewirbelt. Wegen der großen Unfallgefahr werden die Maschinen mit Sperrvorrichtungen ausgerüstet, die ein Öffnen des Gehäuses vor Stillstand der Reißtrommel oder der Schlägerwalze verhindern sollen. Auch bei diesen sehr schnell laufenden Vorrichtungen empfiehlt sich der Anschluß an eine Absaugung zur Verminderung der Leistungsverluste in den im Gehäuse herumgewirbelten Luftmassen.

**Der Holländer** ist der aus der Papierfabrikation stammende Zerkleinerer, der die Zellstofffasern aufschließen und auch zerkleinern soll. Holländer werden nicht nur zur Herstellung des für die Papier- und Pappenherstellung nötigen Faserbreies, sondern auch für die Aufbereitung des Asbestzementbreies bei der Herstellung von Dachplatten verwendet.

Der aufzubereitende Stoff wird durch den Wasserstrom, den die umlaufende Messertrommel erzeugt, wiederholt zwischen Trommel und Grundmesser hindurchgetrieben. Die Messertrommel ist mit einer Anzahl Messer, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind, versehen und arbeitet zusammen mit einem ruhenden Grundwerk, das aus einigen Gegenmessern besteht. Die große Leistungsfähigkeit der Holländer beruht auf der außerordentlich hohen Schnitzzahl, die in der Sekunde erfolgt. Z. B. werden bei 50 Walzenmessern, 10 Grundmessern  $n = 170$

$$\frac{50 \cdot 170 \cdot 10}{60} = \text{etwa } 1400 \text{ Schnitte in der Sekunde ausgeführt}^1.$$

Während fast alle bisher beschriebenen Arbeitsverfahren, das Brechen und Mahlen von Steinen und Erden, das Kollern und Öffnen von Fasern an einem einzelnen Rohstoff vor sich gehen, sind beim Holländer bereits

<sup>1</sup> Siehe H. Fischer: Technologie des Scheidens, S. 314.

zwei Stoffe nötig, der zu lösende oder aufzuschließende Stoff und die Flüssigkeit. Im Holländer und in all den Vorrichtungen, die als Mischmaschinen bezeichnet werden, ist ein wesentliches Merkmal des Arbeitsverfahrens, daß mehrere, aber mindestens zwei Stoffe möglichst innig und gleichmäßig zu mischen sind durch Zerteilen und Wiederezusammenfließenlassen unter vielfacher Wiederholung.

### 3. Quellen und Lösen, Waschen.

Da die günstigste Mischwirkung erzielt wird, wenn wenigstens einer der Mischungsbestandteile in flüssigem oder möglichst einer Flüssigkeit ähnlichem Zustand vorhanden ist, so werden fast alle Bindemittel soweit möglich zum Lösen oder zum Quellen gebracht. Über das Wesen der Quellung ist einiges bereits gesagt worden. Wichtig ist mit einem geringen Anteil des Lösungs- oder Quellungsmittels<sup>1</sup> auszukommen, da zur Erzielung fester und dichter plastischer Massen diese Mittel vertrieben werden müssen. Je weniger Lösungsmittel in der Mischung enthalten war, um so geringer wird der Aufwand zu deren Vertreibung sein können.

Beim Lösen und Quellen und auch beim Waschen, z. B. von Rohkautschuk, handelt es sich um Aufbereitung, d. h. um Vorbereitung der Einzelteile der Mischung für das Mischen. Da aber bei diesen Vorgängen bereits mehrere Stoffarten aufeinander einwirken, so findet bei dieser Art der Aufbereitung bereits ein Vermischen statt. Daher können vielfach die gleichen Maschinen zum Lösen und zum Mischen verwendet werden.

### 4. Mischmaschinen.

Rührwerke werden zum Quellen und Lösen verwendet, wenn einer der Bestandteile eine leicht bewegliche Flüssigkeit ist, z. B. beim Lösen von Kautschuk in Benzin oder von Kunstharz in Spiritus. Rührwerke sind in Anlehnung an den Handquirl entstanden, der als Maschinenquirl oder Rührer aber erst zusammen mit dem Rührtrog die wirksame Vorrichtung ergibt, wenn der Rührer möglichst nahe an der Gefäßwand vorüberstreicht und keine toten Räume mit ungemischten Stoffteilen liegen läßt. Maschinenrührer bestehen meist aus Stäben oder Leisten, die in Reihen und als Rahmen an der Drehachse angeordnet sind, die in der Mitte des Rührgefäßes läuft. Wenn die Rührleisten die Form von Schraubenflügeln haben, so entstehen in dem Mischgut Strömungen, die das Mischen verbessern. Damit das Mischgut nicht mit dem Rührer mitläuft, darf je nach der Zähigkeit des Gemisches die Gesamtfläche der Rührstäbe nicht zu groß sein. Wesentlich ist, daß die Rührwerke für Füllung, Entleerung und Reinigung leicht zugänglich sind. Da die Lösungsmittel meist flüchtig und meist auch giftig und feuergefährlich sind, so sind feste Verschlüsse notwendig, die aber die Zugängigkeit nicht behindern dürfen.

<sup>1</sup> Ausführliche Angaben über Lösungsmittel siehe O. Jordan: Chemische Technologie der Lösungsmittel. Berlin: Julius Springer 1932.

**Knetwerke.** Das wesentliche Merkmal der Knetwirkung ist die Umlagerung der Mischungsteile unter gleichzeitigem Verreiben der Teile. Der Kraftaufwand wächst mit der Zähigkeit der Mischung namentlich gegen Ende des Mischvorganges sehr beträchtlich, wenn aus Pulvern, Fasern und Flüssigkeit eine einheitliche Masse dadurch entstanden ist, daß Pulver und Faser von der Flüssigkeit umhüllt und durch diese zusammengeklebt werden. Die in der Industrie der plastischen Massen gebräuchlichen Knetwerke sind daher von kräftiger Bauart.

**Schraubenknetter** (1875, Paul Freyburger<sup>1</sup>) sind die verbreitetsten Mischmaschinen mit vorzüglicher Knetleistung, die besonders von der Firma Werner & Pfleiderer, Cannstatt-Stuttgart seit den 70er Jahren gebaut werden. Für diese Knetmaschinen sind zwei Knetflügel kennzeichnend, die in einem aus zwei Halbzylindern zusammengesetzten Trog arbeiten. Jeder Knetflügel besteht bei der Freyburgerschen Anordnung aus einer elliptischen Scheibe, die gegen die Mischerwelle unter einem spitzen Winkel geneigt ist. Die Knetstreifen drehen sich dicht an den Trogwänden und schieben die Mischung an diesen entlang. Hierbei wird das Mischgut gegen die Trogwände gepreßt, steigt an diesen hoch und fällt wieder in den Trog zurück.

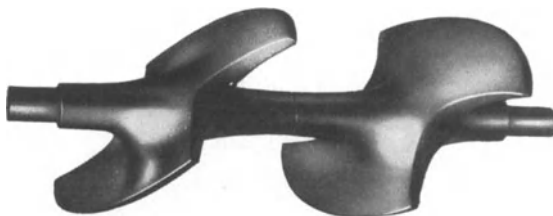


Abb. 8.

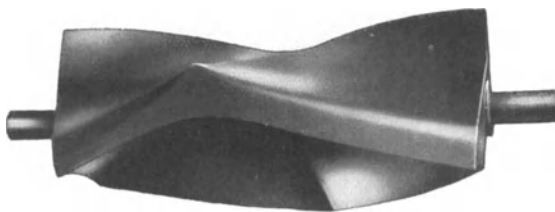


Abb. 9.

Abb. 8 und 9. Formen der Mischflügel von Werner &amp; Pfleiderer-Knetern.

Die Knetter drehen sich mit verschiedenen Umlaufzahlen, z. B. macht der eine Knetter zwei Umdrehungen, wenn der andere einmal umläuft. Hierdurch ändert sich die Stellung der beiden Knetter zueinander dauernd, was das Durchkneten des Mischgutes erheblich fördert. Die von Werner & Pfleiderer verwendeten Knetter sind ebenfalls aus elliptischen Scheiben entstanden und zwar durch allmählichen Anschluß an die Welle und Ausschneiden je zweier einander diametral gegenüberliegenden Stücke.

Wenn dieser Ausschnitt nur mäßige Größe hat und die Achse des Knetflügels nicht erreicht, bleibt die Welle ungeschwächt und die kurzen Scheibenreste erhalten erhebliche Festigkeit. Je zäher und schwerer das Mischgut ist, um so kleiner wird der Ausschnitt der Mischflügel gehalten. Abb. 8 und 9 zeigen einige Formen derartiger Mischflügel.

<sup>1</sup> Siehe H. Fischer: Technologie des Scheidens, S. 236f.

Wird der Ausschnitt vergrößert, so bleiben nur zwei schmale schraubenförmig verdrehte Flügel stehen, die durch einen Mittelsteg verbunden sind. Die Knetflügel bilden Teile zweier Schraubengänge, von denen der eine rechtsläufig, der andere linksläufig angeordnet ist. Wenn der eine Knetflügel das Mischgut nach der einen Seite in der Längsrichtung verschiebt, so bewegt es der andere nach der entgegengesetzten Seite. Gleichzeitig mit der Längsbewegung erfolgt eine Kreisbewegung des Gutes, so daß es im Trog nach zwei verschiedenen Richtungen Schraubebewegungen ausführt und aus der einen Troghälfte in die andere befördert wird. Je nach der Drehrichtung der Mischflügel gelangt das

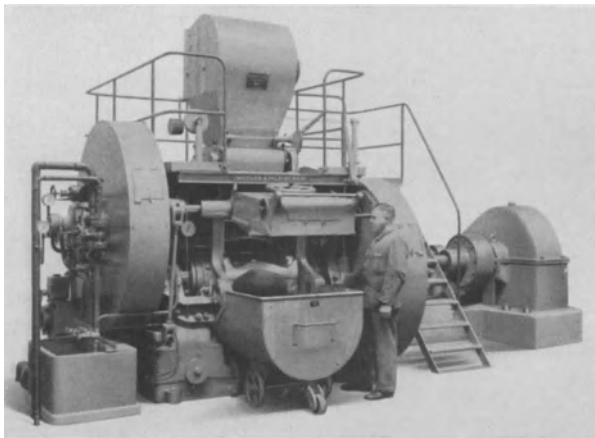


Abb. 10. Große Knet- und Mischmaschine. (Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt.)

Gut einmal zwischen diese, oder bei Umkehrung des Drehsinnes zwischen Mischflügel und äußere Trogwand. Durch abwechselndes Umkehren der Drehrichtung kann eine erhebliche Beschleunigung des Mischvorganges erreicht werden. Der Antrieb erfolgt meist von beiden Wellenden her über kräftige Zahnradvorgelege. Abb. 10 zeigt eine Knetmaschine sehr starker Bauart in neuester Ausführung, Abb. 11 eine kleinere Knetmaschine. Die Knetmaschinen in mannigfaltiger Ausführung werden von Werner & Pfleiderer für einen Troginhalt von 1 l an bis zu 10000 l gebaut. Die ähnlich gebauten Zerfaserer zum Aufschließen von Zellstoff und Holzschliff oder von Papierabfällen leisten gute Vorarbeit für den Holländer.

**Mischwalzen.** Gleichzeitiges Mischen und Verreiben findet auch zwischen Walzen statt, die mit ungleicher Geschwindigkeit gegeneinander laufen und deren Oberfläche so genau geschliffen sein muß, daß das Mischgut in ganz dünner Schicht zwischen den Walzen durchlaufen kann. Der Mischvorgang ist mit einem Feinmahlen verbunden. Mischwalzwerke werden z. B. bei der Herstellung von Kautschuk, Linoleum

und Kunstharzmassen verwendet. Die Walzen sind heiz- und kühlbar, 1—1,5 m breit, ihre Umfangsgeschwindigkeiten verhalten sich wie 3:4. Der Kautschuk wird auf den Warmwalzen solange bearbeitet, bis er eine gleichförmige Masse bildet, in die der Schwefel und die anderen Zusätze in Staubform beim Walzen eingetragen werden. Das gebildete Fell wird mit einem Messer von der Walze gelöst, zu einer Puppe zusammengerollt und wieder zwischen die Walzen gebracht.

**Der Kollergang** stellt eine besondere Form des Mischwalzwerkes dar. Er wirkt nicht nur zerkleinernd, sondern auch vermischend durch die Gleitung der zylindrischen Läufer auf der ebenen Bodenplatte. Die Mischwirkung ist aber gering und bleibt auf die Herstellung ziemlich grober Mischungen beschränkt.

**Trommelmischer.** Für das Vermischen von trocknen Stoffen in Form von Pulvern und Fasern findet die einfachste Mischvorrichtung Verwendung, der Trommelmischer. Die Mischtrommel ist im Innern mit Schaufeln oder Anschlägen versehen, die das Mischgut in häufiger Wiederholung anheben und beim freien Fall durcheinander wirbeln und stürzen lassen. Die Mischwirkung wird verstärkt, wenn die Trommel nicht um ihre Mittelachse, sondern um eine zur Mitte im Winkel liegende Achse sich dreht.

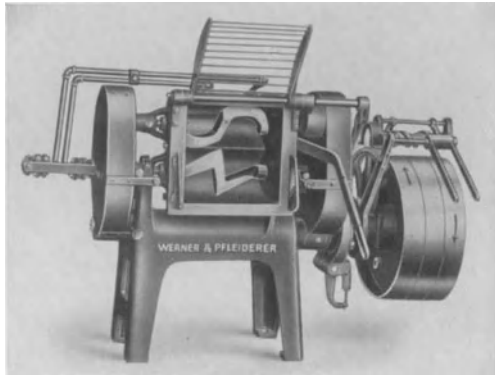


Abb. 11. Knet- und Mischmaschine 2428. (Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt.)

**Sieb- und Schlauchpressen.** Da eine Mischwirkung überall da eintritt, wo die Bestandteile einer Mischung unter Druck gegeneinander bewegt werden, so findet auch bei Siebpressen und Schlauchpressen ein kräftiges Durchmischen statt. Die Siebpressen sind zunächst zum Zwecke der Reinigung von Mischungen bestimmt. Es hat sich aber bei besonders harten und zähen Mischungen das Durchmischen unter hohem Druck, wie es bei den Siebpressen stattfindet, als vorteilhaft erwiesen. Auf hydraulischen Siebpressen stehen so große Kräfte zur Verfügung, wie kaum bei einer anderen Vorrichtung.

Bei der **Schneckenpresse**, wie sie bei Herstellung von Gummischläuchen und Gummiüberzügen auf Leitungsdrähten gebraucht wird, findet beim Fördern der Mischung zwischen Schnecke und Gehäusewand ein kräftiges Reiben statt.

## 5. Klassieren.

Welche Bedeutung die Teilchengröße bei dem Aufbau einer Mischung hat, ist bereits erörtert worden. Für die Erzielung eines bestimmten Mischungsergebnisses ist es notwendig, daß die Mischungsbestandteile eine bestimmte, als besonders günstig festgestellte Größe besitzen. Das Scheiden eines Haufwerkes nach der Korngröße, das Klassieren, wird mit Hilfe von Sieben vorgenommen. Die Gestalt der Sieböffnungen wird bei gestanzten Sieben der Form des Siebgutes angepaßt, z. B. werden für kugelförmiges Siebgut Kreise, für längliche Gebilde, wie Fasern, Schlitzte als Öffnungen gewählt. Die Teilchen, die durch eine Sieböffnung gehen, sind kleiner als diese, vielleicht mit Ausnahme von Fasern, die nicht zu kurz sind. Durch ein quadratisches Siebloch von  $s$  mm Kantenlänge gehen z. B. für  $s = 0,7$  bis  $s = 1$  mm Teilchen mit einem Durchmesser von  $0,8 - 0,85 s$  und einem Querschnitt von  $0,51$  bis  $0,57 s^2$ . Das Verhältnis der freien Siebfläche, das ist der Summe der Öffnungen zur gesamten Siebfläche, ist bestimmend für die Durchtrittsmenge. Bei gewebten Sieben aus Drahtgaze ist dieses Verhältnis am günstigsten, bei aus Blech gestanzten Sieben am kleinsten. Die freie Siebfläche beträgt bei gewebten Sieben 30–70 %, bei gestanzten 20 bis 40 % der Gesamtfläche.

**Schüttelsiebe** sind Flachsiebe, die von Schwingstützen getragen und durch Exzenter hin und her bewegt werden. Infolge einer geringen Neigung der Siebfläche gleitet das Grobe von dem Ende des Siebes ab, während das Feine in einen Behälter unter das Sieb fällt. Wegen der Staubentwicklung bei feinem und trockenem Siebgut werden Schüttelsiebe in Gehäuse eingeschlossen.

**Trommelsiebe** ergeben eine höhere Leistung auf kleinerem Raum durch stetiges Ein- und Austragen. Für das letztere genügt meist eine schwache Neigung der Trommelwand zur Welle. Die Siebtrommeln sind oft sechseckig, mit ihrer Hilfe lassen sich bequem mehr als zwei Klassen aussieben. Die Trommelsiebe laufen in staubdichten Gehäusen, auch an den Ein- und Austragstellen sollte eine Staubabdichtung vorhanden sein.

## 6. Trocknen.

Eine kräftige Trocknung muß bei den Mischungen und Preßteilen angewendet werden, deren Bindemittel mit Hilfe von Lösungsmitteln plastisch gemacht sind. Eine möglichst vollkommene Vertreibung der Lösungsmittel ist die Voraussetzung für die Gewinnung einwandfreier Preßstücke. In welcher Weise die Entfernung des Lösungsmittels vor sich geht, ist bisher nur bei der Trocknung von Lacken untersucht worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen an Bindemitteln in dünner Schicht lassen nicht ohne weiteres einen Schluß auf die Vorgänge beim Trocknen von plastischen Massen zu, in denen die Bindemittel

und die übrigen Stoffe in viel stärkeren Schichten vorhanden sind. Die Untersuchungen lassen aber erkennen, daß der Ablauf des Trocknungsvorganges durchaus nicht einfach ist<sup>1</sup>.

Beim Trocknen dünner Schichten sind die Bewegungen der übrigen Bestandteile durch das Lösungsmittel heftiger, als beim Trocknen von plastischen Massen, die verhältnismäßig geringe Mengen von Lösungsmitteln enthalten. Immerhin zeigt die Betrachtung der Schnitte von nachgeheizten Preßstücken, z. B. von Gummonteilen (Asphalt, Asbest, Steinmehle — Type 4) bisweilen eine ungleichmäßige Verteilung des Bindemittels, namentlich bei größeren und unregelmäßig geformten Querschnitten, die auf ähnliche Vorgänge hindeutet.

Die Feuchtigkeit, die durch Trocknen entfernt werden soll, kann in verschiedener Verteilung vorhanden sein. Die Oberflächenbenetzung der Gemeingeteile ist leichter zu vertreiben, als die in den feinsten Poren enthaltene kapillare Feuchtigkeit oder das chemisch gebundene Kristallwasser der Asbestfaser und des erhärteten Zementes. In beiden Fällen ist eine vollkommene Austrocknung dann nicht zweckmäßig, wenn es weniger auf gute elektrische Isolierfähigkeit, als auf gute mechanische Festigkeit ankommt. Stark ausgetrocknete Asbestzementplatten lassen sich nicht stanzen, ohne an den Kanten auszubrechen oder zu zerspringen. Durch leichtes Anfeuchten der Platten läßt sich dies aber vermeiden. Die Abnahme der Schlagbiegefestigkeit solcher Platten bei zunehmender Austrocknung bestätigt diese Beobachtung.

Wenn bei der zur Herbeiführung einer Kondensation erforderlichen Erwärmung eine Abspaltung von Wasser stattfindet, wie beim Härten gewisser Kunstharzpreßstoffe, so tritt eine verstärkte Neigung zur Blasenbildung im Innern und an der Oberfläche der Preßteile auf, und zwar besonders an den Stellen größerer Materialanhäufungen. Der Blasenbildung kann entgegengewirkt werden durch sehr langsame Vortrocknung und durch Erwärmen unter Druck (Bakelisorator).

**Trockenvorrichtungen.** Für Trockentemperaturen bis 150° wird in den Trockenöfen Dampf, bis 300° direkte Gas- oder indirekte Ölheizung verwendet. Höhere Temperaturen, wie sie beim Brennen von Steatit, etwa 900°, oder von Porzellan, etwa 1300°, notwendig sind, werden durch direkte Feuerung erzeugt. Für Temperaturen bis 300° wird auch vielfach elektrische Beheizung verwendet, ferner auch Beheizung durch heißes Druckwasser.

Die stetig wirkenden Trockenvorrichtungen, in der Art der Tunnelöfen der Porzellanherstellung, gewinnen sowohl für das Vortrocknen von Rohstoffen, als auch für das Fertig Trocknen von Preßteilen Verbreitung.

Beim Vertreiben der Lösungsmittel, die meist recht kostspielig sind, erfolgt deren Wiedergewinnung bei der Trocknung in luftverdünnten

<sup>1</sup> Bartel u. van Loo: J. ind. Engng. Chem. Bd. 17 (1925) S. 925, 1025 aus Kolloidchem. Technologie, 1931 S. 319, Dr. Ernst Stern.



Räumen durch Absaugen des Lösungsmitteldampfes, der in Gegenstromkühlern niedergeschlagen oder durch aktive Kohle festgehalten wird.

## 7. Das Pressen.

Bei Anwendung von Wärme und Druck lassen sich auch sehr feste Stoffe wie Stahl durch Pressen verformen, wenn nur die zur Verfügung stehenden Kräfte groß genug sind. Ein großer Teil der plastischen Massen läßt sich durch Pressen besonders wirtschaftlich verarbeiten. Der Preßvorgang setzt auch bei den Stoffen, die sich wesentlich leichter verformen lassen als die Metalle, große Kräfte und widerstandsfähige Werkzeuge voraus.

**Abteilen und Vorformen.** Die plastischen Massen gelangen in der Form von Pulver oder Platten in die Presserei. Die Kunstharzmischungen z. B. stellen mehr oder weniger feinkörnige Pulver dar. Die Mischungen, die kalt verarbeitet werden, erhalten meist eine gröbere Körnung auf Grund der Erfahrung, daß die gröbere Körnung nicht so schnell austrocknet wie die feinere, da sich zunächst um jedes Korn eine Schutzhaut aus trockenem Material bildet, die das Lösungsmittel aus dem Innern des Kornes nicht so schnell verdunsten läßt.

Die losen Haufwerke des Pulvers werden vielfach zusammengedrückt, ehe sie in das Preßwerkzeug gelangen und bisweilen auch, ehe sie erwärmt werden. Derartige Vorpressungen (Tabletten) erlauben den Füllraum des Preßwerkzeuges niedriger zu halten, da die vorher zusammengedrückte Mischung einen kleineren Raum einnimmt, als die lose Mischung. Die Werkzeuge werden dadurch kleiner und billiger. Bei Mischungen, die angewärmt werden, bevor sie in das Preßwerkzeug gelangen, besteht die Gefahr der Überhitzung der feinsten Teile des Preßpulvers, die der Heizung am nächsten liegen. Dem Ausdörren oder Verbrennen von Mischungsteilchen wird durch Vorpressungen entgegengewirkt. Die vorverdichtete Mischung hat eine größere spezifische Wärme als die lose Mischung und läßt sich deshalb besser anwärmen. In Form der Tablette enthält die Mischung weniger Luft als lose. Die mit Tabletten hergestellten Preßstücke neigen daher weniger zur Blasenbildung. Auch Kunstharzmischungen können bei mäßiger Wärme vorgepreßt werden.

Die Entwicklung wird vielleicht dahin gehen, daß die Hersteller von Kunstharzpreßmassen diese künftig gleich in Tablettenform liefern.

Wenn es sich um Mischungen handelt, die verhältnismäßig geringe Fließfähigkeit haben, oder wenn der Weg der Mischung durch Formteile versperrt wird, so kann eine Vorformung auch das Auspressen erleichtern. Für das Einpressen empfindlicher Teile aus anderen Stoffen, z. B. von Metallteilen, bietet das Vorpressen Vorteile. Es werden dann in der Vorpressung Aussparungen für die später einzusetzenden Metallteile vorgesehen.

Das Abteilen der Preßmasse durch Abwiegen mittels einer Waage ist zwar einfach, aber zeitraubend und nicht sehr genau. Die mechanischen Abteilverrichtungen wirken nicht durch Gewichts-, sondern durch Volumenmessung. Diese setzt einen bestimmten Feinheits- und Trockenheitsgrad voraus. Den einfachsten Fall stellt das Bechermmaß dar. Wenn bei einer geschlossenen Form der Füllraum so bemessen ist, daß er für die Preßmasse genau ausreicht, so kann durch einfaches Glattstreichen mit dem Formrand abgeteilt werden. Mechanische Abteilverrichtungen, die die Mischung lose in einen Becher oder bei Mehrfachpressen auch gleich in das Werkzeug werfen, sind meist durch die Vorrichtungen verdrängt worden, die nicht nur abteilen, sondern auch vorformen.

Bei diesen Maschinen, den sog. Tablettiermaschinen, fällt die Mischung aus einem mit Rührer versehenen Vorratsbehälter in einen als Meßraum ausgebildeten Schuh, in dem die Mischung gerüttelt und dann in das darunterliegende Werkzeug gefüllt wird. Mit Hilfe einer Exzenterpresse (Abb. 12) oder einer doppelseitig angeordneten Walzvorrichtung wird die Mischung zusammengedrückt und durch einen Auswerfer die Tablette ausgestoßen. Die Größe des Meßraumes ist veränderlich, die Werkzeuge sind auswechselbar. Die Genauigkeit derartiger Tablettiervorrichtungen ist eine sehr gute.

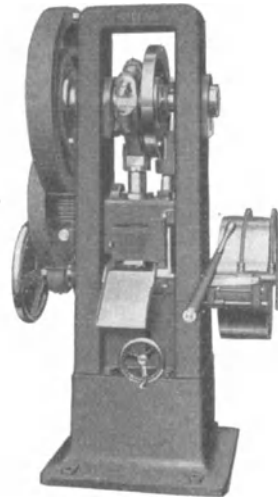


Abb. 12. Tablettiermaschine.  
(Fritz Kilian, Berlin-Hohen-  
schönhausen.)

**Vorgang des Pressens.** Welche Vorgänge sich beim Pressen abspielen, soll zunächst an dem einfachen Beispiel einer glatten Platte betrachtet werden, die aus einer körnigen Mischung von Pech, Asbest und Steinmehl gepreßt wird. Das erwärmte Preßpulver wird in das ebenfalls erwärmte Werkzeug gebracht und dort so gut wie möglich verteilt. Selbst bei Anwendung mechanischer Hilfsmittel zur Verteilung, z. B. eines Streicheisens in U-Form, wird sich diese doch nicht ganz gleichmäßig vornehmen lassen. In der Abb. 13 sind die Ungleichheiten übertrieben dargestellt. Wenn bei A eine Erhöhung entstanden ist, so entspricht dem bei B ein Loch. Trifft der Oberstempel beim Zusammendrücken der Mischung zunächst auf die Mischung bei A, so muß diese entweder von A oder von einer anderen dazwischen liegenden Stelle nach B hinfließen. Voraussetzung hierfür ist, daß die Mischung genügend Fließfähigkeit besitzt und die Führung des Oberstempels so stark ist, daß dieser sich nicht schiefe stellen kann. Ist dies nicht der Fall, so entsteht eine schiefe Platte, die am Ende bei A stärker sein wird als bei B. Ist die verwendete Mischung für die Pressung unter den gegebenen Bedingungen

geeignet, so ist für das gleichmäßige Auspressen immer noch die Bedingung zu erfüllen, daß sowohl die Mischung als auch die Formteile genügend warm sind und daß ein genügend großer Druck zur Verfügung steht. Druck und Temperatur müssen deshalb stets gemessen und überwacht werden. Übersteigt der Druck ein gewisses Maß, so besteht die Gefahr, daß die Mischung an der Oberfläche des Werkzeuges festklebt, zunächst in unserem Falle bei A. Die Platte kann dann nicht unbeschädigt aus dem Werkzeug entfernt werden. Sie zeigt an den Stellen, wo die Mischung am Stempel angeklebt ist, Löcher. Diese angeklebte Mischung läßt sich nur schwer von dem Werkzeug entfernen. Hierbei

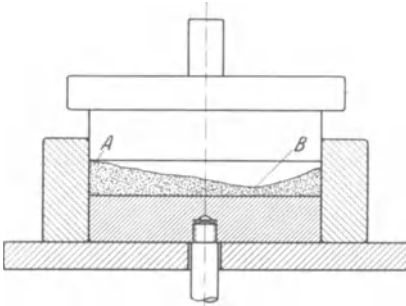


Abb. 13. Ungleichverteilung der Masse beim Pressen einer flachen Platte.

kommt es leicht zu Beschädigungen des Werkzeuges. Selbst wenn nur Spuren von Mischungen an dem Werkzeug haften bleiben, wird an diesen Stellen das nächste Preßstück unansehnlich und auch leicht unbrauchbar.

Kann nun aus irgendwelchen Gründen die Mischung nicht von der Stelle A fortgedrückt werden, wenn z. B. Temperatur oder Druck unzureichend sind oder die Mischung zu wenig fließt, so wird der Druck

von der Mischung bei A abgefangen und die übrigen Teile der Platte erhalten geringeren Druck. Die Stelle bei A ist deshalb gut verdichtet. An der Oberfläche entsteht vielleicht Hochglanz, während von B ausgehend die Platte porig erscheint. Derartige schlecht ausgepreßte Stücke weisen dann auch gewisse Maßschwankungen auf. Die Platte wird auch in diesem Fall bei B etwas dünner sein als bei A. Ein Festkleben der Mischung tritt auch noch aus anderen Gründen ein, nämlich wenn die verwendete Mischung zuviel Bindemittel enthält oder bei zu hoher Temperatur verpreßt wird.

Bei der Herstellung ebener Platten tritt eine verhältnismäßig geringfügige Verschiebung der Masse innerhalb des Werkzeuges ein. Die Mischungsteilchen werden einander genähert und die Mischung verdichtet. Soll eine Platte gepreßt werden, die 15 mm Stärke hat, so wird in unserem Beispiel das eingeschichtete Pulver etwa die  $2\frac{1}{2}$ -fache Höhe einnehmen, etwa 40 mm. Die einzelnen Teilchen werden nun auf dem Wege von 40 zu 15 mm zusammengedrückt und die Preßmasse verdichtet. Lagern die einzelnen Teilchen, wie Asbestfasern, Körnchen von Steinmehlen und Körnchen und Schuppen von Pech regellos durcheinander, so findet ein Ausrichten dieser Teilchen in einer bevorzugten Richtung nur da statt, wo die Preßmasse unmittelbar an das Werkzeug stößt, oder jedenfalls in Schichten, die dem Werkzeug sehr nahe liegen.

Anders gestaltet sich die Materialbewegung, wenn eine Platte mit hochgezogenem Rand gemäß Abb. 14 zu pressen ist. Wenn die Mischung auch von dem Presser meist etwas hochgezogen wird, so muß sie doch unter dem Stempel fortfließen in den schmalen zwischen Formwand und heruntergehendem Stempel sich bildenden Schlitz. Bei diesem Fließen reiben sich die einzelnen Teilchen der Mischung kräftig aneinander. In der Abbildung der profilierten Platte ist angedeutet, daß sich auf der Ober- und Unterseite Aussparungen befinden, die den Vorsprüngen des Preßwerkzeuges entsprechen. Die Mischung wird an den Stellen zwischen diesen Vorsprüngen stärker zusammengepreßt als an den anderen Stellen.

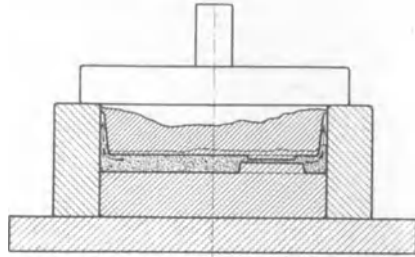


Abb. 14. Pressen einer Platte mit hohem Rand.

Wenn diese Aussparungen im Verhältnis zur Platte groß sind und die Mischung nicht sehr gut fließt, so fangen sie den Druck ab.

Noch heftiger wird die Bewegung der Preßmasse im Werkzeug beim Pressen eines hochwandigen Bechers gemäß Abb. 15. Nimmt die Mischung zuerst nach dem Einfüllen den in der Abbildung gestrichelten Raum ein, so muß sie bei niedergehendem Oberstempel zu einem erheblichen Teil vom Boden her in den schmalen, runden Schlitz einströmen, der sich zwischen Werkzeug und Oberstempel bei dessen Niedergang bildet. Beträgt z. B. die Wandstärke eines derartigen Bechers 1,5 bis 2 mm und seine Höhe 70 mm, so tritt beim Pressen bereits ein heftiger Strömungsvorgang ein, der mit einem kräftigen Aneinanderreiben und Durchmischen der Preßmasseteilchen, sowie mit einem gewissen Ausrichten der kleinsten Teilchen verbunden ist.

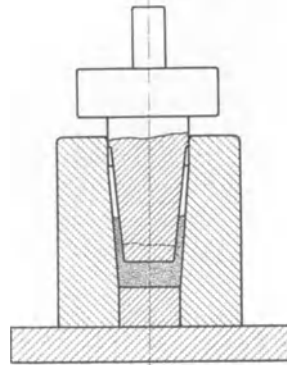


Abb. 15. Pressen eines Bechers.

Stellen wir uns vor, daß das Werkzeug umgekehrt wie in Abb. 15 für denselben Becher angeordnet ist, so findet auch hier beim Einstromen der Preßmasse in den Formschlitz das Durchmischen und Ausrichten der Mischungsteilchen statt. Derartige Vorgänge können auch bei Kaltpreßmischungen mit dem Bindemittel Kunstharz in auffälliger Weise beobachtet werden. Wahrscheinlich erklärt dies die Zunahme der spezifischen Festigkeit dünnwandiger Körper. Daher kann ein dünnwandiger Körper größere mechanische Festigkeit besitzen als ein dickwandiger, bei dem die

spezifische Festigkeit unter bestimmten Voraussetzungen mit der Wandstärke absinkt.

Die Betrachtung des Pressens eines dünnwandigen hohen Körpers leitet über zu den Überlegungen für das Strangpressen und Spritzen. Unter Strangpressen wird das Durchtreiben eines Stoffes, der sich in plastischem Zustand in einem Aufnehmer oder Behälter befindet, durch eine verhältnismäßig kleine Öffnung verstanden. Dieses Verfahren ist zuerst von Dick in der Metallindustrie angewendet worden und zwar zur Herstellung von Profilstangen aus Kupferlegierungen. Die erhitzte Legierung wird in Form eines Gußblockes in den Aufnehmer gelegt und

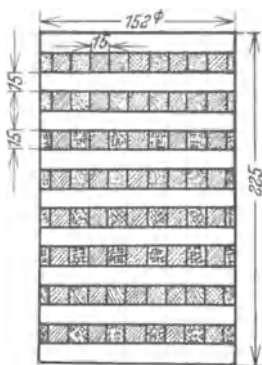


Abb. 16. Versuchskörper.

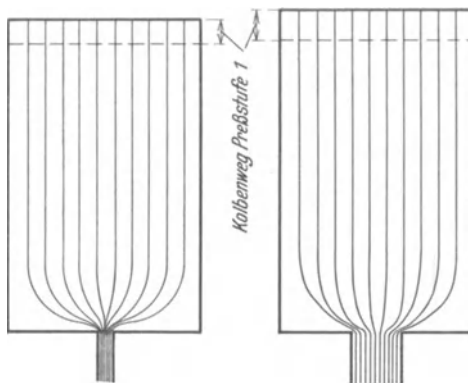


Abb. 17. Stromlinien beim Strangpressen.

mit Hilfe starker hydraulischer Pressung durch ein Mundstück gedrückt, das je nach dem gewünschten Profil geformt ist.

Das gleiche Verfahren Profilstangen herzustellen wird in der Industrie der plastischen Massen, z. B. für Zellulose-Azetat und Nitrat (Lonarit, Trolit) angewendet.

Durch das Neoresit-Strangpreßverfahren der Aug. Nowack AG., Bautzen, D.R.P. 557268 und Zusatzanmeldungen (P. Kopp) ist es möglich, auch aus härtbaren Kunstharzmischungen endlose Rohre, Stangen und andere Profile herzustellen.

„Das Verfahren beruht darauf, daß die Preßmasse nicht wie bei dem gewöhnlichen Preßverfahren in geschlossenen, sondern speziellen, am Eintritts- und Austrittsende offenen Formen gepreßt wird, wobei die Preßmasse durch eine in der Preßrichtung steigende Temperatur vom ungehärteten allmählich in den gehärteten Endzustand übergeführt wird und sich während des Preßvorganges in dauernder oder periodischer Bewegung befindet. Der am Austrittsende sich bildende gehärtete Preßabschnitt, der durch eine Vorrichtung beliebig stark gebremst werden kann, dient gewissermaßen als Unterstempel der Preßform und gestattet die Erzeugung des gewünschten Preßdruckes im Innern der

Form bzw. der Preßmasse. Die durch den Preßstempel dem nicht auf hohe Temperatur erhitzten Eintrittsende der Preßform dauernd neu zugeführte und durch den Preßdruck vorgeschobene Preßmasse verbindet sich innig mit dem noch nicht in den Endzustand übergegangenen und unveränderten Preßlingsabschnitt“<sup>1</sup>.

Während bei dem Strangpreßverfahren der Strang frei aus einer Düse austritt, wird bei dem eigentlichen Spritzverfahren die plastische Masse in einen geschlossenen Raum getrieben, den sie vollkommen ausfüllt. Auch dieses Verfahren ist zuerst in der Metallindustrie angewendet worden, und zwar bei verhältnismäßig leicht schmelzenden Zinklegierungen. Heute wird das gleiche Verfahren auch für Messing benutzt. Das Spritzverfahren dient hauptsächlich zur Verformung leicht erweichbarer plastischer Massen und zur Herstellung kleiner Körper, wie Griffe, Knöpfe, Telefonspulen.

Die Vorgänge beim Austritt der Masse aus der Düse der Dickschen Strangpresse sind von Dr.-Ing. Hermann Unckel<sup>2</sup> untersucht worden. Es wurden Körper aus verschieden gefärbtem Plastilin und Ton aufgebaut, die aus konzentrischen Ringen von dem Querschnitt  $15 \times 15$  mm und Zwischenlagen von ungefärbten Schichten gleicher Abmessungen bestanden, Aufbau siehe Abb. 16. Zwei Stromlinienbilder, von denen das eine bei enger und das andere bei weiter Düse gewonnen wurde, zeigt Abb. 17. Schließlich zeigt Abb. 18 den Zustand, nachdem ungefähr die Hälfte des Spritzweges zurückgelegt ist.

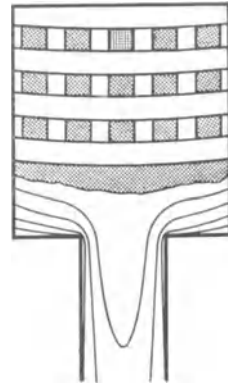


Abb. 18. Versuchskörper, ungefähr zur Hälfte verpreßt.

Unckel folgert aus seinen Versuchen für die Gestaltung von Aufnehmern, daß der Boden, der die Düse trägt, am besten eine geringe Neigung erhält. Wie vorausszusehen, erfolgt die stärkste Bewegung in der Masse beim Umströmen der inneren Kanten der Düse<sup>3</sup>.

Ein Vorgang, der mit dem Pressen verwandt ist, ist das Walzen, wenn beide Walzen sich mit gleicher Geschwindigkeit aufeinander zudrehen. Bei entsprechender Einstellung der Walzen kann eine kräftige Druckwirkung auf den schmalen sich jeweils zwischen den Walzen befindlichen Streifen des zu walzenden Stoffes ausgeübt werden. Das Zusammendrücken mit Hilfe von polierten Walzen unter gleichzeitigem Glätten

<sup>1</sup> Broschüre der Aug. Nowack AG., S. 2.

<sup>2</sup> Unckel, Hermann: Über die Fließbewegung in plastischem Material, das aus einem Zylinder durch eine konzentrische Bodenöffnung gepreßt wird, mit besonderer Berücksichtigung des Dickschen Strangpreßverfahrens. Berlin: Julius Springer 1928.

<sup>3</sup> Siehe auch G. Sachs: Spanlose Formung der Metalle. Berlin: Julius Springer 1931. Dort Übersicht über neue Versuchsarbeiten.

wird vielfach bei Schichtstoffen, aber auch in der Kautschukindustrie angewendet.

## 8. Die Pressen.

Für kleinere Preßstücke werden Handpressen ohne Vorgelege mit Exzenter oder Kniehebel verwendet. Man kann damit rechnen, daß derartige Pressen Kräfte bis zu 5 t entwickeln. Diese wohlfeilen Maschinen

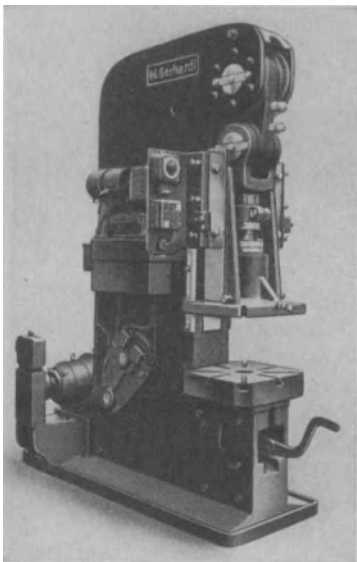


Abb. 19. Mechanisch angetriebene Presse mit doppelter Kniehebelwirkung. W. Gerhardt, Lüdenscheid i.W.

haben meist Hübe bis zu 150 mm. Zum Verpressen von zäheren Massen sind die Handpressen, die hauptsächlich zuerst in der Porzellanindustrie gebraucht wurden, meist zu schwach. Der an den Handpressen befindliche einfache Hebelauswerfer macht keine gerade, sondern eine Bogenbewegung. Das Armkreuz, durch das die Kurbel betätigt wird, ist meist durch ein Gegengewicht ausgeglichen. Da namentlich bei zäheren Massen der Preßstempel mehrfach kräftig heruntergeschlagen wird, so findet an dem scharf abgesetzten Gewinde des Gegengewichtes eine erhebliche Beanspruchung statt, so daß das Gewicht bisweilen abbricht. Der Unfallgefahr, die durch das Abfallen des Gegengewichtes entsteht, sollte durch entsprechende Schutzvorrichtungen vorgebeugt werden.

**Handpressen mit Vorgelege** in kräftiger Bauart ergeben wesentlich höhere Drücke. Diese Pressen besitzen eine kräftige Stößelführung und Tischausbildung. Abgesehen von den Leitungen, die zum Heizen und Kühlen der Werkzeuge und Preßmassen dienen, brauchen Handpressen keine Kraftleitungen. Sie sind daher einfach aufzustellen, haben geringen Raumbedarf und sind im Betrieb billig.

**Spindelpressen** nach Art der kleinen Kopierpressen lassen sich leichter unter Druck halten als die Exzenterpressen. Diese Ausführung ist für kleine Preßstücke am billigsten. Werden größere Kräfte gebraucht, so verwendet man Friktionsspindelpressen. Die kurze schlagartige Druckwirkung ist für manche Preßstoffe nicht ausreichend, um ein genügendes Zerfließen zu erzielen. Die Beanspruchung der Werkzeuge durch den Schlag ist größer als bei dem allmählich erfolgenden Druckanstieg der hydraulischen Pressen. Vergleichsversuche, die in einer Messingteilpresserei vorgenommen wurden, ergaben auf hydraulischen

Pressen eine wesentlich längere Lebensdauer der Werkzeuge als auf Friktionspressen.

**Mechanische Pressen verschiedener Bauart.** Für die Verarbeitung von Kunstharzpreßmassen sind in letzter Zeit zahlreiche Konstruktionen von mechanischen Pressen entwickelt worden, die bezwecken, daß der Druckverlauf unter dem Preßstempel sich den Bedingungen der Kunstharzverarbeitung anpaßt<sup>1</sup>.

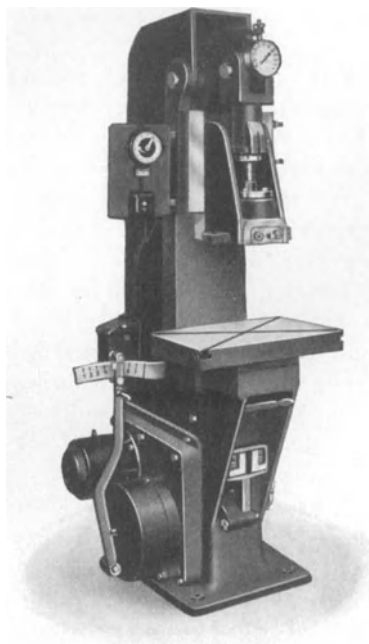


Abb. 20. Mechanisch angetriebene Presse mit Kurbeltrieb und Kniehebel. Ludwig Grefe, Lüdenscheld i. W.

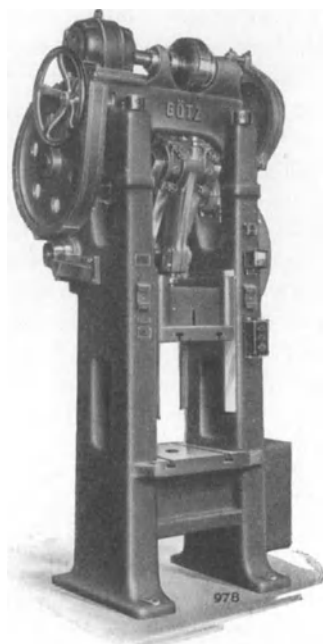


Abb. 21. Mechanisch angetriebene Presse mit 2 Kurbelwellen und ölhydraulischer Steuerungskupplung. Rückansicht. Gebr. Götz, Lauter, Sa.

Hierzu sollen dienen: bei der Presse nach Abb. 19 doppelte Kniehebel, bei der Presse nach Abb. 20 Verbindung von Kniehebel und Kurbel, bei der Presse nach Abb. 21 zwei Kurbeln. Alle Pressen sind mit Steuerkupplungen ausgerüstet. Die Geschwindigkeit des Preßstempels nimmt gegen Ende des Abwärtshubes stark ab.

**Hydraulische Pressen.** Für mittlere und große Kräfte sind in der Industrie der plastischen Massen die hydraulischen Pressen weit verbreitet. Durch sie können auf einfachste Weise sehr große Kräfte wirksam werden. Die Grundanordnung besteht aus einem Kolben in dem

<sup>1</sup> Diese Bedingungen siehe S. 248.



untenliegenden Zylinder, der durch eine Ledermanschette mit Weichgummieinlage gedichtet wird. Die Presse besitzt keine Stopfbuchsen, der Kolben steigt aus seiner untersten Stellung schon durch Druckwasser, das durch zwei Ventile gesteuert wird und zwar je eines für Druckwasser und Abwasser. Der Rückgang des Kolbens mit dem Pressentisch erfolgt durch das Eigengewicht, das die Manschettenreibung zu überwinden und das Abwasser aus dem Zylinder zu verdrängen hat. Wenn die Querschnitte der Steuerung und Rohrleitung nicht sehr groß sind, so steigen und fallen derartige Pressen langsam. Die Pressen verbrauchen viel Druckwasser.

Eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit erfordert zunächst nicht eine Änderung der Presse selbst, sondern an der zugehörigen Anlage: nämlich die Anwendung von Füllwasser, entweder aus einem Hochbehälter, oder aus einem Niederdruckakkumulator. Die Erzeugung von Druckwasser ist verhältnismäßig teuer, da Hochdruckpumpen einen großen Kraftverbrauch haben und starker Abnutzung unterliegen. Die Druckwasserfortleitung erfordert starkwandige Rohrleitungen, deren Kosten mit wachsendem Querschnitt stark steigen. Deshalb soll mit dem Hochdruckwasser soweit möglich gespart werden. Eine Presse, die mit zwei Druckstufen arbeitet, steigt bis zum Schließen des Werkzeuges mit Niederdruckfüllung. Zur Zurücklegung des dann noch übrigen kleinen Weges braucht in den Zylinder nur eine kleine Menge Hochdruckwasser eingespritzt zu werden. Die Steuerung für zwei Druckstufen hat drei Schlußstellen.

Ein anderer Weg, um Ersparnisse an Druckwasser zu erreichen, geht dahin, daß nicht nur für den Rückzug, sondern auch für die Hauptbewegung der Presse Hilfskolben angebracht werden. Der Hauptkolben wird dann durch den oder die Hilfskolben bis nahe an die Schlußstellung bewegt und saugt sich das Füllwasser hierbei selbst an. Der Druckwasserverbrauch für den Schlußdruck ist dann gering, die Steuerung wird aber verhältnismäßig verwickelt und erfordert eine besonders gute Überwachung, auch muß für gründliche Entlüftung der Leitungen gesorgt werden. Diese Pressenart hat den Vorteil, daß mit nur einem Preßwasserdruck auszukommen ist.

Der Rückgang der Presse unter dem Eigengewicht erfolgt nur langsam. Bei dieser Anordnung fehlt auch eine Kraftreserve zum Auseinanderziehen fest aufgespannter Werkzeuge. Zum Arbeiten mit solchen und zur Beschleunigung ist eine besondere Rückzugskraft nötig. Diese kann geliefert werden durch einen unten- oder obenliegenden Hilfszylinder mit Umführung in der Achse des Hauptzylinders, zwei unten- oder obenliegende Außenzylinder mit Zug- oder Druckstangen, die am Pressentisch angreifen, oder schließlich durch einen Differentialkolben. Für den dritten Fall sollten verschiedene Druckstufen vorhanden sein. Diese Anordnung ist zwar gedrängt, aber im Betriebe empfindlich und

erfordert mehrere Manschetten, die zum Teil auf beiden Seiten verschiedene Drücke zu dichten haben. Am einfachsten sind die Rückzüge mit Hilfe von Außenzylindern, die nur eine einzige Manschette zur Dichtung brauchen.

Für fest aufgespannte Werkzeuge ist eine gute Führung des beweglichen Pressentisches notwendig, um Beschädigungen zu vermeiden. Deshalb werden die Pressentische mit Führungslagern an den Säulen

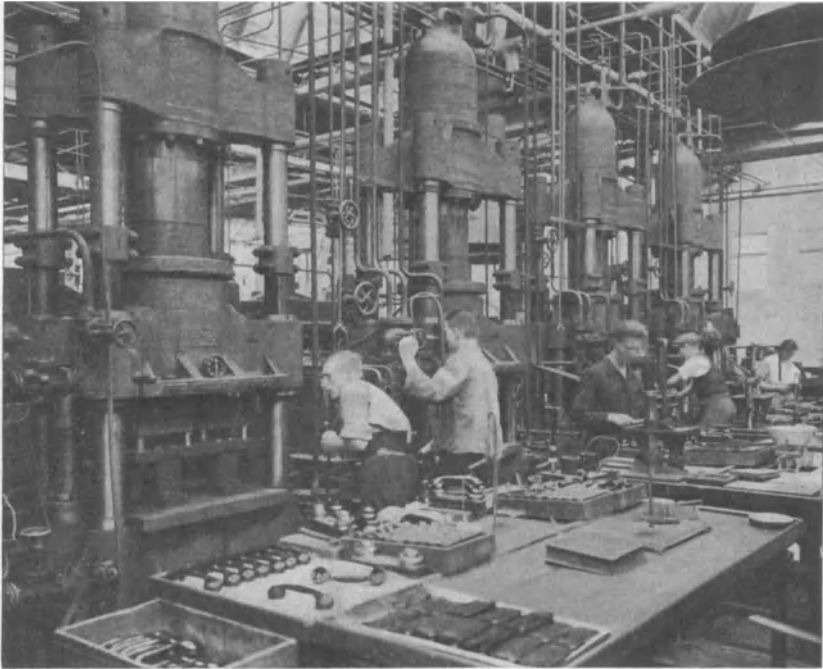


Abb. 22. Viersäulenpressen in der Kunstharzpresserei der Siemens-Schuckertwerke AG., Kabelwerk Gartenfeld.

ausgerüstet, auch erhalten große und schwere Kolben besondere Führungsringe, oder die Stopfbuchsen werden auch als Führungen ausgebildet.

Pressen mit nur zwei Säulen schwanken leicht bei größerer Säulenhöhe, wenn nicht für hohe Wasserdrucke der Kolben einen kleinen Durchmesser und eine sehr lange Führung erhält, so daß dann bei diesen Pressen tatsächlich drei Führungen wirksam werden. Im Aufbau sind Zweisäulenpressen billiger als die standfesten Viersäulenpressen. Pressen mit drei Säulen haben sich im Betriebe nicht besonders bewährt. Da man sparen will, dazu soll ja die Dreisäulenanordnung dienen, legt man die drei Säulen möglichst nahe zusammen und erhält dann eine geringe Standfestigkeit. Die dritte hintenliegende Säule ist hinderlich für die

Zugänglichkeit der Werkzeuge. Die Viersäulenpresse hat die größte Verbreitung, sie besitzt eine gute Standfestigkeit und erlaubt eine gute Tischführung (Abb. 22).

Die Säulen sind gewöhnlich mit Gewinde und Muttern versehen, um die Höhe zwischen Pressentisch und Pressenhaupt zu verstellen.

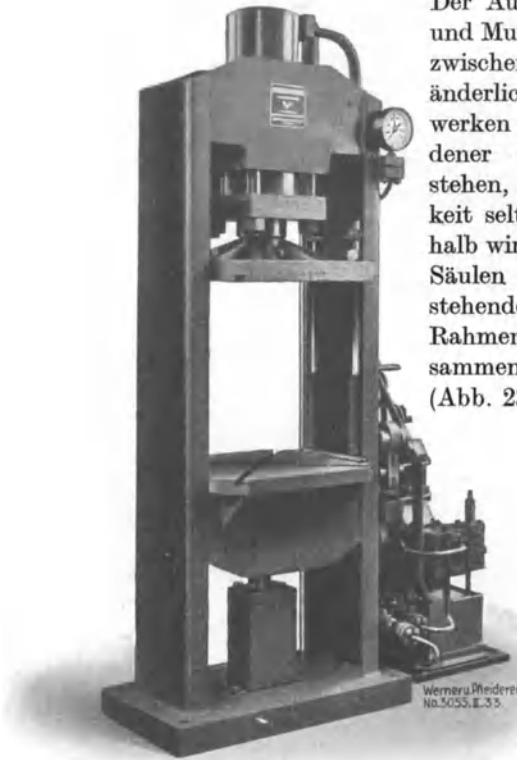


Abb. 23. Geschweißte Rahmenpresse.  
Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt.

Der Aufbau der Presse mit Säulen und Muttern hat den Zweck, die Höhe zwischen Pressentisch und Kolben veränderlich zu machen. Da in den Preßwerken meist Pressen mit verschiedener Einbauhöhe zur Verfügung stehen, so wird von der Verstellbarkeit selten Gebrauch gemacht. Deshalb wird in neuerer Zeit an Stelle der Säulen ein aus einem Gußstück bestehender Rahmen verwendet. Der Rahmen kann auch aus Walzeisen zusammengesetzt oder verschweißt sein (Abb. 23).

Dieser Aufbau erschwert bei kleineren Pressen die Anbringung von Tischführungen. Richtig bemessene Rahmenpressen nehmen sehr große Zugspannungen ohne erhebliche Deformationen auf.

Für aufgespannte Werkzeuge ist ein besonderer Auswerfer nötig, um das Preßstück

leicht aus der Form zu entfernen. Um den Auswerfer gut anbringen zu

können, werden die Pressenzylinder oben angeordnet, so daß sich ein feststehender Pressentisch unten ergibt. Dies hat den weiteren Vorteil, daß die Hauptteile des Preßwerkzeuges, wie Rahmen und Formplatte, fest angeordnet sind und daß auch die Zuführungen für Heiz- und Kühlmittel fest verlegt werden können. Bei solchen Pressen wird der mechanische Auswerfer mit dem auf- und abgehenden am unteren Kolbenende befindlichen Pressenhaupt verbunden. Er geht also gleichzeitig mit dem Pressenkolben auf und ab. Hierbei fehlt eine Rückzugskraft für die Rückführung des Unterstempels oder der Formeinsätze in die Formrahmen. Bei dem Zahnradausstoßer, der einen zentralen

Angriff an den hin und her zu bewegenden Werkzeugteilen sichert, ist die Ausstoßzeit unabhängig von dem Tempo der Pressenbewegung. Da der Hebelarm eines solchen Ausstoßers nicht zu groß gewählt werden kann und die menschliche Angriffskraft auf einen Druck von etwa 30 kg beschränkt ist, so stehen in dem von Hand zu betätigendem Zahnradausstoßer nur beschränkte Kräfte zur Verfügung.

**Hydraulische Ausstoßer mit Rückzug** weisen alle Vorteile des Zahnradausstoßers auf und verbinden damit die Möglichkeit große Kräfte zu entwickeln, die für das Ausstoßen und die Rückführung großer und schwerer Formteile notwendig sind. Der hydraulische Ausstoßer ist eine Presse für sich, erfordert deshalb auch eine besondere Steuerung. Mit seiner Hilfe ist schnelles Auseinander- und Zusammenfahren auch sehr großer Preßwerkzeuge möglich.

## 9. Akkumulatoren.

Für einzelne Pressen großer Abmessungen sind schon früher besondere Pumpen verwendet worden. Sind mehrere oder viele Pressen

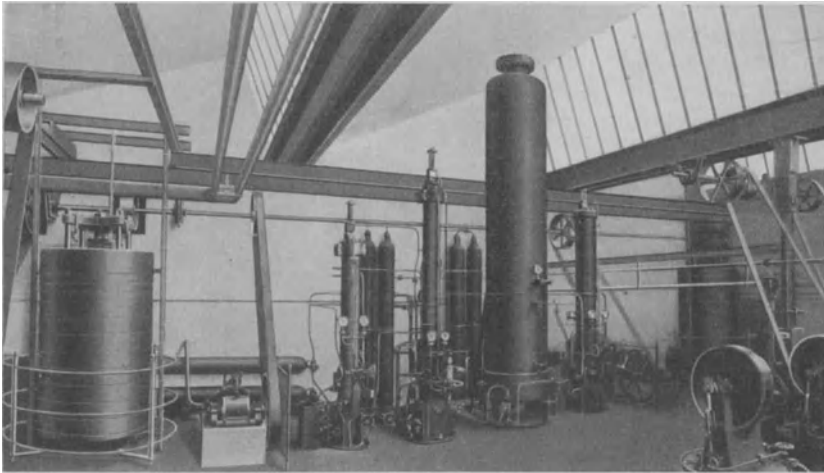


Abb. 24. In der Mitte Druckluft-Akkumulatoren. Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt.

mit Druckwasser zu versorgen, so ist ein Druckwasserspeicher vorteilhaft. Der Druckwasserakkumulator kann als Gewichtsakkumulator ausgeführt sein. Bei großen Preßwassermengen und hohen Drücken werden die Belastungsgewichte sehr schwer und führen im Falle von Rohrbrüchen in der Preßwasserleitung zu heftigen Schlägen auf das Fundament. Selbst sehr kräftige Fundamente können trotz des Unterlegens von Hartholzklötzen zersprengt werden. Die Einschaltung von Pufferfedern, wie sie im Eisenbahnwagenbau benutzt werden, bringt hier Abhilfe. Für die Akkumulatorgewichte müssen kräftige Führungen

vorhanden sein. In großen hydraulischen Anlagen werden für die Akkumulatoren besondere Bauwerke nötig, die meist aus der Baufläche hervorragenden Akkumulatorentürme. Bei Gewichtsakkumulatoren finden nur geringe Schwankungen des Preßwasserdruckes statt.

Statt der Belastung durch Gewichte kann auch eine solche durch Preßluft erfolgen. Druckluftakkumulatoren werden mit direkter oder indirekter Luftbelastung der Preßwassersäule gebaut. Bei der direkten Belastung ist die Anordnung zwar sehr einfach, aber das Druckwasser nimmt allmählich einen Teil der Druckluft auf. Ein Druckluftakkumulator wird kleiner und leichter als ein Gewichtsakkumulator gleicher Speicherfähigkeit. Zu der Preßwasserpumpe ist aber in dieser Anlage noch ein Luftkompressor und ein Preßluftspeicher notwendig. Die Druckschwankungen in derartigen Anlagen sind größer als bei Gewichtsakkumulatoren. Die Druckluftakkumulatoren haben aber wegen ihrer vielen Vorteile große Verbreitung gefunden (Abb. 24).

**Wahl des Preßwasserdruckes.** Pressen gleicher Leistung werden für hohe Wasserdrücke kleiner und billiger als für niedrige Wasserdrücke.

Die Anordnung von zwei oder drei Druckstufen erfordert entsprechend viele Rohrleitungen, Pumpen und Akkumulatoren. Die Steuerungen der Pressen können aber einfacher und der Betrieb im ganzen trotzdem billiger werden als bei nur einer Druckstufe. Eine richtig angeordnete hydraulische Anlage mit drei Druckstufen

25 Atm. für Füllwasser,  
150 Atm. für Mitteldruck und  
450 Atm. für Hochdruck

arbeitet jahrelang nahezu automatisch mit einem verhältnismäßig geringen Kraftbedarf. Wichtig hierfür ist die Umsteuerung der Pumpen, wenn die Akkumulatoren in ihrer höchsten und tiefsten Stellung sind. Die Umsteuerung der Pumpe kann durch Anheben der Saugventile erfolgen, oder durch besondere Umsteuerventile, die das Druckwasser nach Erreichung der höchsten Stellung des Akkumulators frei in einen Behälter laufen lassen und so die Pumpen entlasten.

## 10. Verschiedene Pressenkonstruktionen<sup>1</sup>.

In neuerer Zeit hat man den hydraulischen Pressen mit Einzelpumpen besondere Aufmerksamkeit zugewendet. Diese Pressen sind für die Verarbeitung von Kunstharzpreßmassen bestimmt. Pressen und Pumpen werden zu einer einheitlichen Maschine zusammengebaut. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß lange Rohrleitungen fortfallen und daß eine einfache Druckregelung möglich ist. Zwischen gewissen Druckgrenzen können alle Druckabstufungen eingestellt werden. Ferner ergibt sich eine einfache Montage und ein übersichtliches Werkstattbild. Da die Aufstellung unabhängig von einer zentralen Druckwasser-

<sup>1</sup> Siehe auch W. Mehdorn: Die Verarbeitung von Kunstharzpreßstoffen. Maschinenbau, Betrieb Bd. 12 Aug. 1933 Heft 15/16.

erzeugungsanlage vorgenommen werden kann, so hat man Freiheit in der Raumauswahl. Wenn es sich um einzelne Pressen handelt, wird die Anlage mit derartigen Maschinen billiger, trotzdem sie natürlich teurer sind als die normalen Pressen ohne Pumpen. Jede Presse mit eingebauter Pumpe stellt aber ein vielgliederiges Gebilde dar, bei dem die Gefahr der Störung mit der größeren Zahl der Einzelteile gegeben ist. Soweit solche Pressen sich nur mit Öl als Preßflüssigkeit betreiben lassen, weil die vielen empfindlichen, bewegten Teile an den Pumpen und Steuerungen dies erfordern, besteht eine gewisse Unfallgefahr bei Rohrbruch, da sich das umherspritzende Drucköl an der Heizung entzünden kann.

Die mit der Pumpe zusammengebauten Pressen haben die Entstehung zahlreicher kleiner Pressereien mit nur einer oder wenigen Pressen gefördert. Ob diese Entwicklung vom allgemeinen wirtschaftlichen Standpunkt zu begrüßen ist, erscheint sehr fraglich, da viele Unerfahrene zur Gründung von Pressereien angereizt werden.

Die von Bußmann konstruierte und von Hahn & Kolb vertriebene Presse ist in Abb. 25 und 26 dargestellt.

Kennzeichnend für die Konstruktion sind die beiden Rotationspumpen mit der automatischen Druckumsteuervorrichtung. Beide Pumpen sind

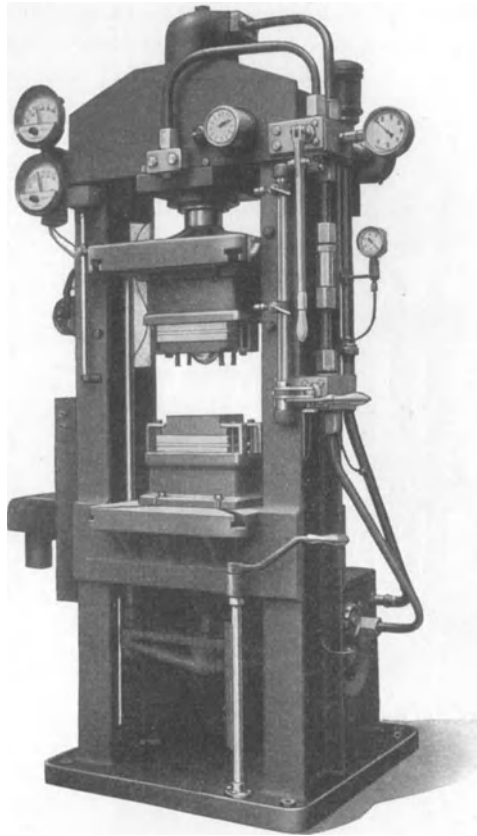


Abb. 25. Presse mit eingebauten Rotationspumpen und elektrischem Antrieb. Hahn & Kolb, Stuttgart.

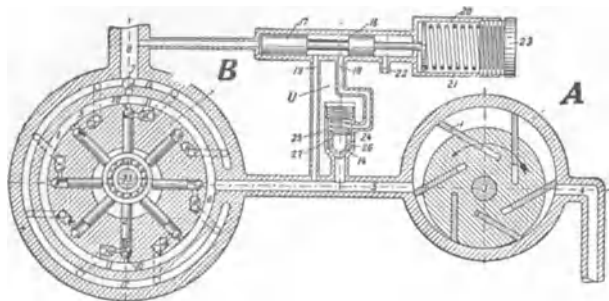


Abb. 26. Steuerungsanordnung der Presse nach Abb. 25.

in einem Gehäuse untergebracht und werden durch ein Reduziergetriebe von einem Elektromotor angetrieben. Die Niederdruckpumpe A hat als

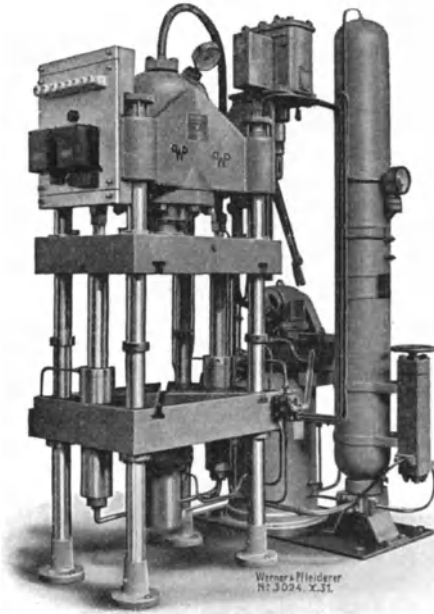


Abb. 27. Presse mit Einzelantrieb durch Kolbenpumpe und Luftdruck-Akkumulator.  
Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt.

Förderorgane mehrere Schieber 1, die in Schlitten des im Gehäuse exzentrisch gelagerten Kolbenkörpers geführt sind. Diese Pumpe versorgt sowohl den Pressenzylinder, als auch die Hochdruckpumpe mit Niederdruckfüllöl. Die Hochdruckpumpe besitzt mehrere sternförmig angeordnete kleine Zylinder und Kolben, deren Druckhub durch das Exzenter 13 erfolgt, während der Kolbenrückgang durch den Druck des Füllöls vor sich geht. Zwischen den beiden Pumpen wirkt eine selbsttätige Druckumsteuervorrichtung, die zwei Ventile mit einstellbarer Federbelastung enthält. Beide Pumpen und die Steuerorgane sind empfindlich gegen eindringende Schmutzteilechen und Fasern von Putzwolle.

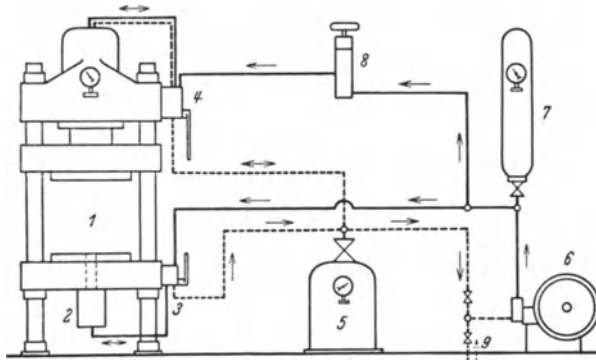


Abb. 28. Schaltplan der Presse nach Abb. 27. 1 Hydraulische Presse. 2 Hydraulischer Ausstoßer. 3 Steuerung des Ausstoßers. 4 Steuerung der Presse. 5 Niederdruck-Akkumulator. 6 Druckwasser-Pumpe. 7 Hochdruck-Akkumulator. 8 Druckregler. 9 Anschluß für Druckluft.

Die Hahn & Kolb-Pressen sind in der Art von Rahmenpressen aufgebaut. Der Pressentisch hat vier kräftige nachstellbare Führungen. Die Pumpen sind in dem Flüssigkeitsbehälter eingebaut. Bemerkens-

wert sind die Hilfseinrichtungen der Presse, z. B. die Vorrichtungen für die Einstellung der Druckdauer und für Öffnung der Presse, sowie der mechanische Ausstoßer. Letzterer ist abstellbar, was wichtig ist, wenn der Oberstempel aus der Preßform gezogen werden soll, ohne daß der schon mit Mischung gefüllte untere Teil des Werkzeuges angehoben

werden darf. Zur Pressenausrüstung werden auch automatische Regelvorrichtungen für die Temperatur der elektrischen Werkzeugheizung geliefert. Die Höhe des Preßwasserdruckes ist regelbar durch Verstellung des Handrades, das die Federn über dem Ventil 14 für Niederdruck und die Federn 21 für den Kolbenschieber 16—17 verstellt. Der Druck läßt sich z. B. zwischen 20 und 300 Atm. einstellen.

Pressen in ähnlicher Anordnung werden jetzt von zahlreichen Firmen angeboten. Werner & Pfleiderer z. B. führt eine solche Anordnung mit Kolbenpumpe und kleinem Hoch- und Niederdruckakkumulator mit Luftbelastung aus, so daß die Pumpe nur läuft, wenn die Akkumulatorfüllung verbraucht ist. Die Regelbarkeit und die Hilfseinrichtungen sind den vorher beschriebenen ähnlich. Als Druckflüssigkeit dient Wasser (Abb. 27 und 28).

**Drehtischpresse** für Kunstharz-Preßmassen (Abb. 29). Auf dem drehbaren Arbeitstisch lassen

sich zwei gleiche oder verschiedene Preßformen unterbringen. Während

die eine Form durch den Preßkolben unter Druck gehalten wird, kann die zweite Form vorn am Bedienungsstand entleert, gereinigt und neu gefüllt werden. Die Steuerung des Pressenkolbens erfolgt automatisch nach der Drehung des Tisches. Die Oberstempel der Preßformen lassen sich nach oben aufklappen, was das Einlegen von Metallteilen und das Lösen von Gewinden erleichtert. Der Antrieb der Presse gleicht dem der auf S. 48 beschriebenen Konstruktion.



Abb. 25. Drehtischpresse für 2 Preßformen, eine Form unter Druck, die andere aufgeklappt.  
Hahn & Kolb, Stuttgart.



Ein anderes Verfahren zur Ausschaltung der Härtezeit des Kunstharzes, das Durchpreßverfahren, ist auf S. 57 beschrieben.

**Etagenpressen.** Für die Herstellung von Platten, z. B. aus Hartpapier, Hartgummi, Sperrholz und ähnlichem, werden große Pressen mit heiz- und kühlbaren Zwischenplatten gebraucht. An Stelle der Spiralschläuche haben sich für die Ab- und Zuführung von Heizdampf und Kühlwasser Rohre mit Gelenkverbindungen bewährt.

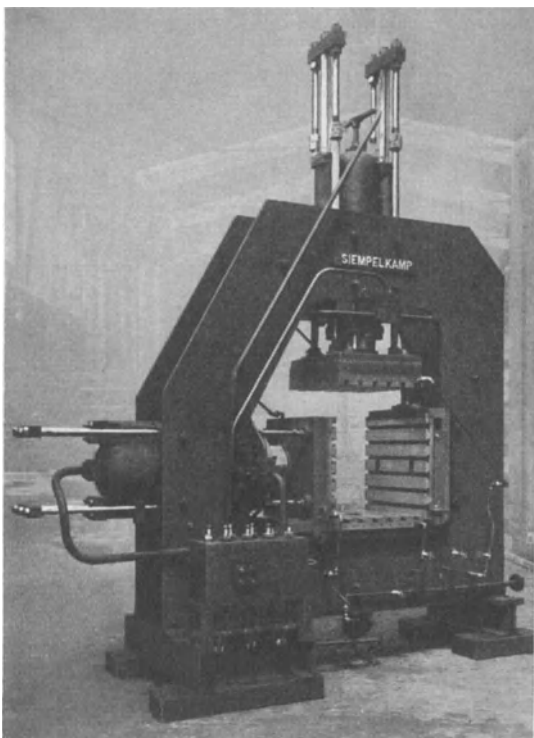


Abb. 30. Winkelpresse. G. Siempelkamp & Co., Krefeld.

**Winkelpressen.** Geteilte Preßformen müssen während des Preßvorganges fest zusammengehalten werden. Dies wird meist durch den Formrahmen bewirkt. Um das Preßstück aus der Form zu entfernen, muß nach Herausziehen des Oberstempels der untere Teil des Werkzeuges soweit aus dem Rahmen gehoben werden, daß die Formteile seitlich genügend Spiel haben, um das Preßstück freizugeben. Wenn der Zusammenhalt der Preßformen nicht durch einen Rahmen, sondern durch den Druck einer hydraulischen Presse erfolgt, so werden die Preßformen

durch den Fortfall des Rahmens und der erforderlichen Konizitäten einfach und billiger. Der Arbeitsgang wird beschleunigt, da das Werkzeug durch den Rückzug der seitlich angeordneten Presse geöffnet wird. Abb. 30 zeigt zwei im Winkel angeordnete hydraulische Pressen, die durch einen kräftigen Walzeisenrahmen verbunden sind. Beide Pressen sind mit Rückzügen versehen. Der Tisch der waagerechten Presse hat unten Führungsschuhe, die auf einer besonderen Führungsplatte gleiten. Die Heizdampfzuführungen sind mit Gelenkrohren ausgerüstet.

**Pressen mit Wendekopf (Tilting Head Press).** Die Presse besitzt ein besonderes Pressenhaupt, das durch eine Vorrichtung um etwa 90°

gedreht werden kann, so daß die an dem Wendehaupt befestigten Oberstempel der Preßwerkzeuge gut sichtbar und zugänglich werden. Bei Mehrfachwerkzeugen kann dies wichtig sein, besonders wenn in die Oberstempel noch Metallteile einzulegen sind. Diese amerikanische Konstruktion hat sich bisher in Deutschland nicht einzuführen vermocht.

**Automatische Pressen.** Eine automatische Presse für Isolierpreßteile aus Kaltpreßmassen wurde nach langen Vorarbeiten, die zuerst mit hydraulischen Pressen und Steuerungen versucht wurden, als Exzenterpresse mit hydraulischem Zwischenglied ausgebildet (Abb. 31). Tischschaltung und Auswerferbewegung sind mit Hilfe der rechts und links von der Gradführung angeordneten Gestänge von der Exzenterbewegung abgeleitet. Das hydraulische Zwischenstück soll gegen Bruchgefahr schützen, die durch in die Formen gelangende Fremdkörper oder zu große Massemenge entstehen kann. Ferner gestattet es auch eine gewisse Einstellung des Gegendruckes. Die an der Seite stehende Füllmaschine wird durch die auf dem Tisch befindlichen Schrägen gesteuert und wirft die Preßmasse lose in die Werkzeuge. Die Presse macht etwa 8 Hübe je Minute, die Bedienung beschränkt sich auf das Abnehmen der ausgestoßenen Preßstücke und das zeitweilige Nachfüllen des Mischungsbehälters der Dosiermaschine.

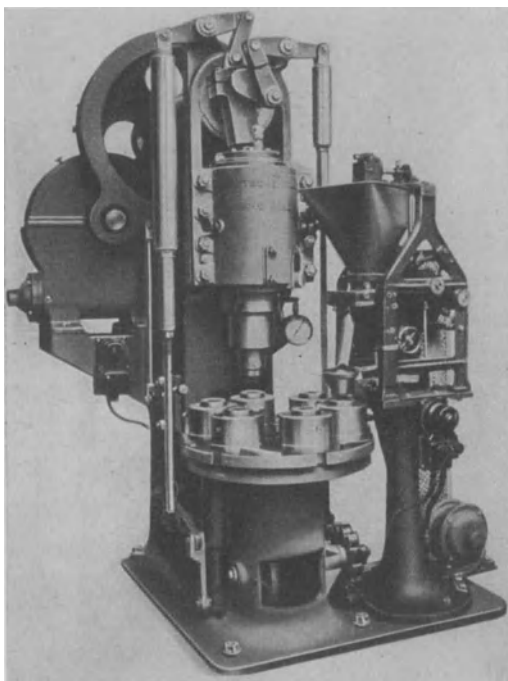


Abb. 31. Automatische Presse der Nileswerke (AEG).

Automatische Pressen verschiedener Anordnung befinden sich an mehreren Stellen in Vorbereitung.

**Automatische Pressen für Gehwegplatten.** Die automatischen Pressen der Firma Grether & Co., Freiburg i. Br., dienen zur Herstellung von Gehwegplatten aus Beton- oder Asphaltmasse und sind mit dem Massebehälter zusammengebaut (Abb. 32). Sie bestehen aus einer Zweisäulenpresse mit untenliegendem Kolben von 250–600 t Kraft, links

neben dem Hauptzylinder ist ein hydraulischer Ausstoßer mit etwa 2 t Kraft. Die Füllung der Presse mit Niederdruckwasser erfolgt aus einem kleinen Akkumulator. Der Hochdruckkolben der Preßwasserpumpe arbeitet direkt auf den vorgefüllten Zylinder. Der Übergang von Niederdruck auf Hochdruck stellt sich automatisch ein. Die Steuerung kann nur bedient werden, wenn der Tisch sich in richtiger Stellung befindet, so daß das Werkzeug genau unter dem Oberstempel steht. Der Revolvvertisch enthält vier Öffnungen für auswechselbare Formenrahmen, für die ein Oberstempel am Oberhaupt der Presse befestigt ist.

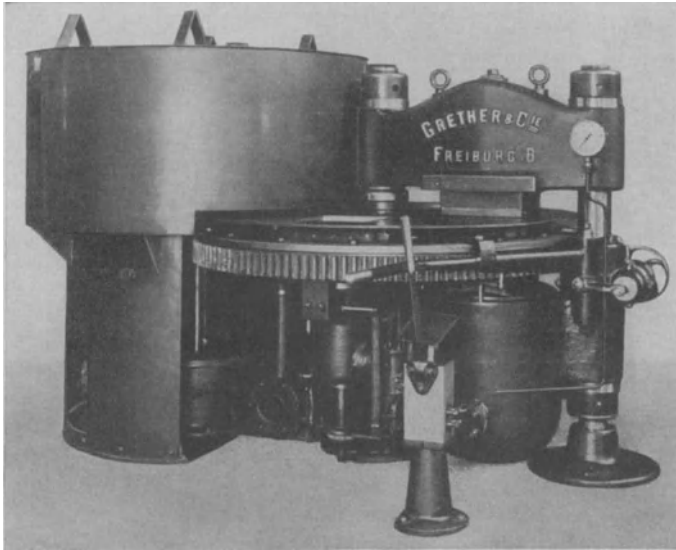


Abb. 32. Automatische Presse für Gehwegplatten. Grether & Cie., Freiburg i. B.

Der Tisch wird durch Zahnkranz und Ritzel angetrieben, dessen Bewegung von dem gleichen Motor oder Vorgelege abgeleitet werden kann, das die Pumpe, die Mischflügel im Massebehälter und die Rüttelvorrichtung für das Einfüllen der Masse in die Formen antreibt. Man sieht aus dem Massebehälter, der heizbar ist, die Spitzen der Mischflügel hervorragen. Diese Presse kann Platten  $60 \times 300 \times 300$  bis zu  $60 \times 500 \times 750$  mm erzeugen und zwar bis zu 150 Stück je Stunde. Zur Bedienung sind zwei Mann erforderlich, einer für die Steuerung und das Abnehmen der Preßlinge und ein zweiter für das Einlegen der Abschlußbleche nach Einfüllen der Masse in die Werkzeuge und für das Säubern der Werkzeuge. Der Kraftbedarf einer solchen Anlage mit 250 t-Pressen ist nur 3,5 PS.

## 11. Pumpen.

Hochdruckpreßwasserpumpen werden in stehender oder liegender Bauart mit mehreren, meist mit drei Kolben ausgeführt, wobei die Kolben entweder gleiche oder verschiedene Durchmesser haben können. Die Kurbeln für drei Kolben sind an der Welle um  $120^{\circ}$  versetzt zur Erzielung einer möglichst gleichen Druckverteilung. Je nach dem Wasserdruck und der Wassermenge werden z. B. zwei Kolben als Vordruck für den dritten kleineren Hochdruckkolben gewählt, oder zwei Niederdruckkolben arbeiten auf einen Niederdruckakkumulator und ein Hochdruckkolben auf den Hochdruckakkumulator oder auf eine Presse direkt.

Bei der **Eumuco-Pumpe** liegt die Kurbelwelle unten in einem öldicht geschlossenen Gehäuse, ebenso das Vorgelege und die Gradführung. Dagegen liegen die Ventile sämtlich oben. Diese Pumpen ähneln in ihrem Aufbau einem Automobilmotor. Sie können mit höheren Tourenzahlen betrieben werden als andere Pumpen. Das Ventilgehäuse ist bequem zugänglich, dafür ist aber schwieriger an das Triebwerk zu gelangen.

**Preßwassersammelbehälter.** Falls irgend möglich, sollte das von den Pressen, Akkumulatoren und Pumpen abfließende Wasser gesammelt und im Kreislauf wieder verwendet werden. Läßt sich die ganze Anlage genügend dicht halten, so kann man dem Preßwasser ein wasserlösliches Öl beimischen und dadurch eine günstige Schmierung erzielen. Der Preßwasserbehälter sollte mindestens eine Zwischenwand haben, damit sich mitgerissene Schmutz- und Rostteilchen setzen können. Derartige Behälter sind in nicht zu langen Abständen zu reinigen. Der Verbrauch an Dichtungen wird dadurch erheblich vermindert und die Lauf- und Dichtungsflächen der Pressen und Steuerungen geschont.

Die hydraulischen Anlagen bieten der Normung noch ein dankbares Feld: die Druckstufen des Preßwassers, Hochdruckrohrleitungen, Leistungsstufen der Pressen, Spannutenform und Anordnung, Manschettenform und Größe seien als Beispiele genannt, die eine Normung erfordern, um die unnötige Vielgestaltigkeit zu vermindern.

**Manschetten und Packungen.** Die Abdichtung der Pressen, Pumpen und Akkumulatoren kann durch Manschetten oder Packungen erfolgen. Bei mäßigen Temperaturen bewähren sich Manschetten aus lohgarem Leder, für höhere Temperaturen Chromleder oder Schichtungen von Leder und Asbest, die zusammengepreßt werden.

Durch Dipl.-Ing. H. Sondermann<sup>1</sup> sind wertvolle Vorarbeiten für die Normung der Manschetten geleistet worden.

<sup>1</sup> Sondermann, H.: Packungen und Manschetten für hohen hydraulischen Druck. (Sonderdruck aus Ledertreibriemen und technische Lederartikel, 1931 Heft 14, 15 u. 16. Berlin W 35.)

Die vier Grundformen der Ledermanschetten sind: Hutform, Napf-form, U-Form oder Nutring, Dachform. Für höhere Drücke werden die letzten beiden Formen verwendet, die U-Form einzeln, die Dachform in Paketen. Die Dichtung erfolgt dadurch, daß der Wasserdruck in das Innere der Manschette geleitet wird und die Manschette auseinander spreizt. Die Manschettenunterlagen und Stopfbuchsringe müssen daher Kanäle und Bohrungen haben, die dem Druckwasser den Zutritt in das Innere des Manschettenprofils ermöglichen.

Tabelle 8. Abmessungen von Nutring- und Dachmanschetten.

| Kolben-<br>durchmesser<br>d | Breite<br>b | Leder-<br>stärke<br>l | Höhe der<br>Nutringe | Anzahl der<br>Dach-<br>manschetten |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Bis 90 mm                   | 10          | 3—3,5                 | 14,5—15,25           | 3                                  |
| 91—250 mm                   | 15          | 4—5                   | 23 —24,5             | 4                                  |
| 251—450 mm                  | 20          | 5—6                   | 31,5—33              | 4                                  |
| 451—700 mm                  | 22,5        | 5—7                   | 41,5—44,5            | 5                                  |
| > 700 mm                    | 25          | 5—7                   | 47,5—50,5            | 6                                  |

Vorschläge für Abmessungen der Nutringe und Dachmanschetten enthält die nebenstehende Tab. 8.

Als Packungen für hydraulische Anlagen haben sich Huhnsche Ringe aus Graphit und Blei, die unter hohem Druck gepreßt sind, oder aus Hanf mit Blei-

einlage geflochtene und mit Talg getränkte Schnüre bewährt. Sie haben gegenüber den Manschetten den Vorteil, daß sie sich nachziehen lassen und daß auch einzelne Ringe nachgelegt werden können.

Der Reibungsverlust an Manschetten und Packungen kann besonders bei Pressen mit großem Kolbendurchmesser erhebliche Werte annehmen.

## 12. Preßwerkzeuge.

In der Konstruktion der Preßwerkzeuge verkörpert sich die Summe der Erfahrungen des Preßfachmannes. Eine noch so vorzügliche Mischung und die modernsten Arbeitsmaschinen führen nicht zu einem wirtschaftlichen Erfolg der Presserei, wenn das Werkzeug nicht richtig konstruiert und aus einem widerstandsfähigen Material sachgemäß hergestellt ist. Preßwerkzeuge jeder Art sind verhältnismäßig teuer. Ihre Anfertigung wird sich daher nur für eine Massenfabrikation von Preßteilen lohnen. Bei der Auswahl der Konstruktion und des Materials werden deshalb nicht die Kosten den Ausschlag geben, sondern die Möglichkeit einer rationellen und störungsfreien Fabrikation.

**Quetschformen, geschlossene Formen.** Die einfachste Art eines Preßwerkzeuges ist die Quetschform (Abb. 33). Quetschformen können als Vulkanisierformen oder in ähnlichen Fällen gute Dienste leisten, in denen die Preßmasse kein wesentlich anderes Volumen hat, als die Höhlung der Form.

Bei der Form nach Abb. 34 ist die Höhe des Füllraumes so gewählt, daß die Preßmasse, die vor dem Zusammenpressen die Höhe  $h_1$  hat, von dem Füllraum aufgenommen wird und noch einen Teil der Höhe, nämlich  $h_f$  freiläßt, der zur Führung des Oberstempels dienen soll. Diese Formenart stellt eine geschlossene Form dar, wenn nicht Schlitzte am Umfang angebracht sind, die der Preßmasse solange einen Abfluß gestatten, bis der Oberstempel die Höhe  $h_2$  des Preßstückes erreicht hat. Ist die Preßmasse sehr leicht plastisch, so tritt die Druckwirkung erst nach Abschluß dieser Kanäle ein.

Eine geschlossene freie Form mit Oberstempel, Unterstempel und Rahmen zeigt Abb. 35. Um ein Preßstück von richtiger Höhe zu erhalten, muß die Preßmasse genau abgewogen sein. Nach dem Einfüllen wird der Oberstempel aufgesetzt und dann die Form unter der Presse zusammengedrückt. Um das Preßstück aus der Form zu entfernen, muß diese umgedreht und das Preßstück zusammen mit dem Ober- und Unterstempel aus dem Rahmen gedrückt werden. Dies kann mit Hilfe von Unterlagen entweder auf derselben Presse oder auf einer besonderen

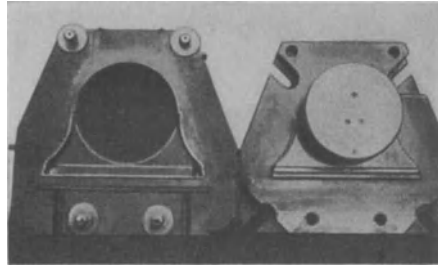


Abb. 33. Quetschform für Uhrensockel  
(J. Geller, Verarbeitung von Kunstharzen,  
Brennstoff-Chemie, 1932, S. 132).

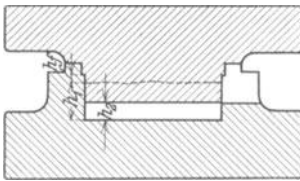


Abb. 34. Geschlossene Form.

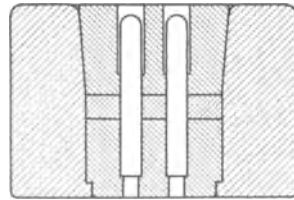


Abb. 35. Geschlossene freie Form mit Oberstempel, Unterstempel, Rahmen und Formstiften.

Ausdrückpresse geschehen. Dann sind die Stifte zu entfernen und erst jetzt kann der Oberstempel von dem Preßstück abgenommen und dieses freigelegt werden. Sollen derartige freie Formen für Warmpreßmassen benutzt werden, so wird die mit Masse gefüllte Form in den Ofen gehoben. Nachdem Material und Werkzeug genügend erwärmt sind, wiederholt sich der Vorgang wie beschrieben. Dieses Verfahren ist recht umständlich und ergibt nur eine geringe Leistung an Preßstücken.

Ganz anders spielt sich der Arbeitsvorgang bei einer geschlossenen aufgespannten Form nach Abb. 36 ab. Der Rahmen ist mit Hilfe von

Zwischenplatten oder direkt auf dem Pressentisch festgespannt, der Oberstempel mit Hilfe eines Spannfutters am Pressenkopf befestigt. Der Ausstoßer wird von der Presse nach oben bewegt. Das Öffnen und Schließen der Form und das Ausstoßen des Preßstückes besorgt also die Presse. Mit dieser Vorrichtung, die die Grundform für die meisten modernen Preßwerkzeuge darstellt, ist ein schnelleres Arbeiten möglich, als mit den bisher beschriebenen.

Als Preßstück ist eine einfache runde Scheibe in Abb. 36 dargestellt. Das Preßstück wird zwar beim Ausstoßen dann freigegeben, wenn es

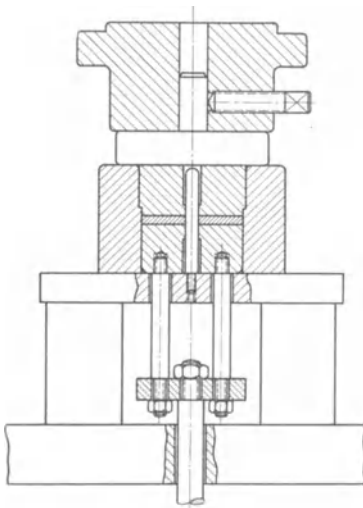


Abb. 36. Geschlossene aufgespannte Form.

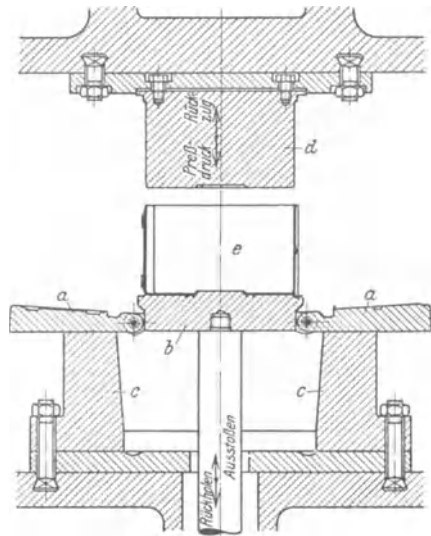


Abb. 37. Klappform (Röhre, Plastische Massen in der Technik Z. VDI 1932, H. 51).

um die eigene Höhe angehoben ist. Dies wird durch einen kleinen Absatz im Werkzeug erreicht. Aber trotzdem werden derartige Formen ohne Beilagen leicht am Umfang durch Anfressungen beschädigt, der Rand der Preßstücke wird unsauber, die Werkzeuge sind nur kostspielig oder gar nicht auszubessern. Aus diesem Grunde geht man besonders bei Preßstücken mit größerer Höhe und starkem Profil zu den Werkzeugen mit Beilagen über (Abb. 37). Diese Konstruktion ermöglicht die Normalisierung der Rahmen, so daß ein Rahmen mit Spannplatte und Heizvorrichtung für verschiedene Werkzeuge verwendet werden kann. Das Preßstück läßt sich nach Anheben der konischen Beilagen leicht abheben. Trotz der größeren Zahl der Formenteile werden durch bessere Zugänglichkeit bei der Bearbeitung diese Werkzeuge nicht wesentlich teurer als solche ohne Beilagen. Das unvermeidliche Spiel der Beilagen ergibt beim Zusammendrücken eine erwünschte Entlüftung der Preßmasse.

Um die Zeit zu sparen, die das Auseinandernehmen und Zusammenlegen von Beilagen und Unterstempel erfordert, können die Beilagen an Scharnieren befestigt werden. Mit solchen Werkzeugen, deren Unterstempel mit Beilagen durch die Rückzugskraft eines hydraulischen Ausstoßers in den Rahmen zurückgezogen werden, läßt sich sehr schnell arbeiten.

**Mehrfachwerkzeuge.** Kunstharzpreßmassen gebrauchen eine gewisse Erhärtungszeit, bis die Preßstücke aus dem Werkzeug genommen werden können. Da ein Werkzeug mit nur einem Einsatz dieselbe Erhärtungszeit unter der Presse erfordert wie ein solches mit mehreren Einsätzen, so werden zur besseren Ausnutzung der Pressen und zur Leistungssteigerung Mehrfachwerkzeuge verwendet. Das Übliche ist

die Anordnung mehrerer gleicher Preßstücke in einem Werkzeug (Abb. 38 und 39). Die Oberstempel werden ebenso wie die das Profil enthaltenden Werkzeugenäpfe in besondere Platten auswechselbar eingesetzt. Die Heizung ist möglichst dicht an die Werkzeugeinsätze herangeführt, die Auswerfer sind in einem kräftigen Unterbau angeordnet. Derartige Werkzeuge werden z. B. für Schalterkappen oder Stekkerteile mit 60 oder mehr Einsätzen ausgeführt. Ist bei allen eingespannten Werkzeugen schon eine genaue Führung des bewegten Pressentisches nötig, so trifft dies bei Mehrfachformen noch in besonderem Maße zu. Die Preßmasse wird derartigen Werkzeugen in Form von Tabletten zugeführt.

Wenn die Preßstücke in den Abmessungen nicht sehr verschieden sind, lassen sich auch verschiedene Teile in einer Mehrfachform unterbringen.

**Durchpreßformen.** Eine nahezu völlige Ausschaltung der Härtezeit läßt sich mit Hilfe von Durchpreßwerkzeugen erzielen (Abb. 40, D.R.P.

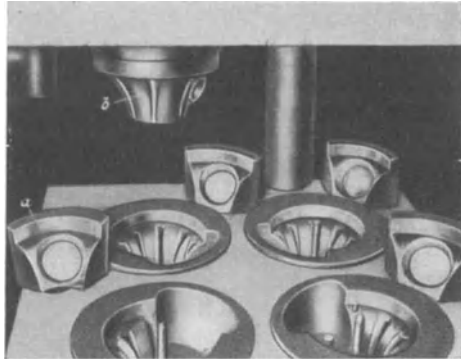


Abb. 38. Vierfachpreßform für Tonabnehmerfüße (Röhrs, Plastische Massen in der Technik. Z. VDI 1932, H. 51). Aufnahmen aus der Presserei der Firma Bernhard Thormann, Berlin. Von den 4 Oberstempeln b ist nur einer sichtbar.

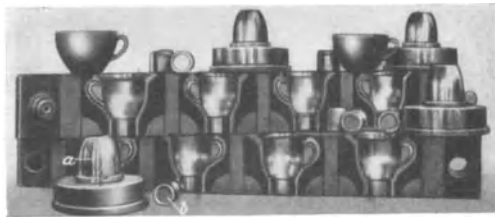


Abb. 39. Geteilte Vielfachpreßform für Kaffeetassen. Unterteil längs geschnitten, wird durch den waagrechten Kolben einer Winkelpresse zusammengepreßt. Der senkrechte Kolben trägt die 4 Oberstempel a. Unterstempel b (Röhrs, Plastische Massen in der Technik. Z. VDI 1932, H. 51).



474097). Jeder Werkzeugeinsatz kann ein oder mehrere Preßstücke enthalten. Die vorgewärmten Einsätze werden außerhalb des in seinem Oberteil geheizten Durchpreßmantels mit Masse gefüllt und geschlossen. Wenn oben ein Einsatz zugeführt wird, wird unten ein solcher aus dem Mantel herausgezogen. Je nach der Zahl der Einsätze kann die Erhärtungszeit geregelt werden. Sie läßt sich meist so wählen, daß auch die Nachkondensation der Preßmasse im Durchpreßrahmen zu Ende geführt wird. Derartige Durchpreßwerkzeuge haben sich gut bewährt. Die Einsätze werden verhältnismäßig billig. Die Preßstücklohnkosten werden nur durch den Zeitaufwand für Füllen, Schließen, Öffnen, Entleeren und Säubern des Werkzeuges bestimmt. Das Öffnen und Entleeren findet auf einer Hilfspresse, z. B. einer Handkurbelpresse statt.

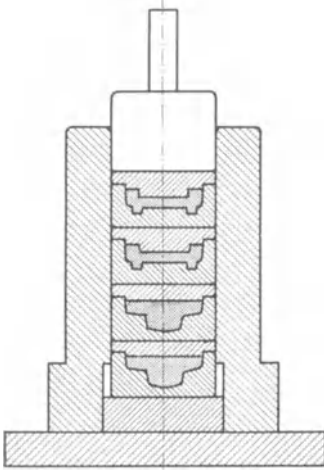


Abb. 40. Durchpreßform.

**Spritzwerkzeuge** unterscheiden sich von den Preßwerkzeugen durch das Fehlen des Füllraumes, der in einen besonderen mit Düsen versehenem Behälter verlegt ist. Aus diesem heizbaren Behälter, der die Masse für mehrere Formstücke aufnehmen kann, wird sie durch einen glatten Preßstempel verdrängt. Die Spritzform wird mit soviel Masse gefüllt, wie sie aufnehmen kann. Deshalb fällt das Abwiegen oder Abteilen für das einzelne Formstück fort. Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht darin, daß bewegte Formteile im Spritzwerkzeug nicht vorhanden sind. Die

Anordnung des Stückes in der Form kann also unabhängig von der Stempelbewegung vorgenommen werden.

**Preßgrat** entsteht an den geformten Stücken, wenn die Werkzeuge nicht dicht schließen. Der Grund hierfür kann in der Ausführung der Werkzeuge liegen, da namentlich für die Warmpresserei die Stempel und Werkzeugteile wegen der Gefahr von Anfressungen nicht zu stramm zusammengepaßt werden dürfen. Die Hauptursache für die Gratbildung ist aber die Abnutzung der Werkzeugteile entweder an den Flächen, wo sie aneinander vorbeigleiten, oder an den Stellen, wo die Masse in heftiger Bewegung vorüberströmt. Der Preßgrat erschwert das Auseinandernehmen des Werkzeuges und die Entfernung des Preßstückes vom Stempel. Der Grat erfordert kostspielige Nacharbeit der Preßstücke und verschlechtert deren Aussehen. Überschreitet der Grat eine gewisse Stärke, so tritt an der Stelle unter ihm eine erhebliche Minderung der Festigkeit ein. An den Stellen der Gratbildung kann nämlich die Preßmasse abfließen, ohne einem wesentlichen Gegendruck

ausgesetzt zu sein, da ja hier die Werkzeugwand fehlt, die sonst den Gegendruck ausübt. Wenn z. B. bei einem geteilten Griffwerkzeug die Teilungsflächen durch langen Gebrauch oder durch ungenügendes Entfernen der Mischungsreste an den Schlußkanten eingedrückt sind und ein Grat von etwa 1 mm stehen bleibt, so entstehen nach dem Abschleifen des Grates an diesen Stellen tiefe Furchen. Das sind die Stellen, an denen die Preßmasse nicht zusammengedrückt, sondern fast frei ausgeflossen ist.

**Herstellung und Material der Werkzeuge.** Der vorzeitigen Abnutzung der Werkzeuge sucht man durch die Auswahl besonders widerstandsfähiger Stähle und durch Härtung entgegenzuwirken. Von vielen Stahlwerken werden bereits Sonderstähle zur Anfertigung von Preßwerkzeugen angeboten, die je nach der Preßtemperatur, der verlangten Politur, der Größe und Form der Preßstücke ausgewählt werden. Für einfache, nicht zu hoch beanspruchte Formenteile, wie Rahmen, Beilagen, Stempelzwischenstücke, genügt ein besonders reiner und blasenfreier geschmiedeter SM-Stahl von 70 kg Festigkeit, der gut ausgeglüht ist. Ein solcher Stahl entspricht den Normen Din 1661 St. C. 45, 61 und läßt sich härten. Für höher beanspruchte Teile werden legierte Stähle verwendet. Die Preßwerkzeuge sollen große Oberflächenhärte haben, damit sie eine große Zahl von Pressungen aushalten. Die verwendeten Stähle dürfen nicht härteempfindlich sein, weil die Werkzeuge oft starke Profilierungen haben. Wasserhärter scheiden daher meist aus. Die Preßtemperatur ist im allgemeinen nicht so hoch, daß Warmarbeitsstähle benutzt werden müssen, mit Ausnahme der Preßwerkzeuge für Mycalex und Glas.

Einsatzstähle besitzen hohe Oberflächenhärte und geringe Härteempfindlichkeit. Stärker legierte Nickel-Chromstähle sind den schwach legierten durch größere Kernhärte und besseres Formhalten beim Abschrecken überlegen. Um das Verziehen zu vermeiden, läßt man die Stähle im Einsatz langsam erkalten, schaltet eine Zwischenglühung bei 650—700° ein und schreckt dann ab.

Für kleinere Werkzeuge lassen sich alle üblichen in Öl zu härtenden Stähle verwenden. Am verschleißfestesten sind Stähle mit der größten Menge freier Karbide in der gehärteten Grundmasse, z. B. ein Stahl mit 12% Chrom und 2% Kohlenstoff. Um die Schwierigkeiten der Härtung und das Verziehen zu vermeiden, verwendet man für größere Werkzeuge Stähle, die vor der Bearbeitung auf Festigkeiten von 90 bis 120 kg/qmm vergütet sind, z. B. Chrom-Nickel- oder Chrom-Molybdänstähle. Die Bearbeitung wird dadurch teurer.

Werden einige oder viele Werkzeuge für das gleiche Preßstück gebraucht, so wendet man zur Herstellung der Matrize, des die Höhlung enthaltenden Preßformteils, das Kalteinsatzverfahren an. Ein positives Abbild des Preßstückes, der Pfaffe oder Einsatzstempel wird unter

hohem Druck kalt in ein vorgearbeitetes Stahlstück eingepreßt (Abb. 41). Ist die Verformung groß, so muß die Matrizze eine Zwischenglühung bei  $650-750^{\circ}$  erhalten. Als Stahl für den Pfaffen dient in der Luft zu härtender Chromnickel- oder Chromstahl mit 1,5–2% Kohlenstoff und etwa 13% Chrom. Die Härte soll 58–61 Rockwell-C-Einheiten betragen. Ein guter Einsatzstempel kann 100 Abdrücke und mehr liefern. Für die zu prägende Matrizze braucht man einen unlegierten oder wenig legierten Stahl, der sich weich glühen läßt, z. B. Stahl mit 0,5 bis 1% Chrom.

Für Werkzeuge, in denen Harnstoffmischungen verpreßt werden, sind rostsichere Stähle nötig, z. B. Chromstähle, um zu vermeiden, daß sich unter dem Angriff der Säuren auf der Werkzeugoberfläche ein schwarzer Belag bildet<sup>1</sup>.

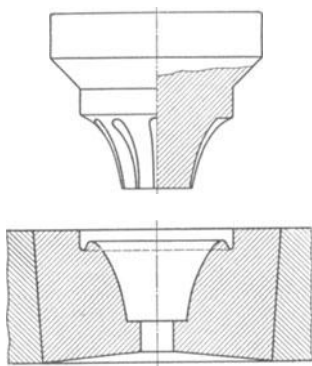


Abb. 41. Pfaffe und vorgearbeitetes Stück weichen Stahles. Entwurf und Ausführung Oberingenieur Mach, Berlin-Karlshorst. (Röhrs, Plastische Massen in der Technik, Z. VDI 1932, H. 51).

Für die Werkzeugrahmen, soweit diese nicht aus vorgeschmiedetem SM-Stahl der erwähnten Art hergestellt werden, empfiehlt sich Stahlguß Stg 50,81 R nach Din 1681.

**Die Berechnungsgrundlagen.** Für die Periode des größten Druckes ist die Annahme zulässig, daß der Zustand der Preßmasse nicht sehr von dem flüssigen verschieden ist. Wie dünnflüssig die Mischungen werden können, z. B. beim sehr heißen Verarbeiten von Kunstharzpreßstoffen, läßt der feine Grat erkennen, der auch die kleinsten Spalten im Werkzeug ausfüllt und eine Stärke von Seidenpapier, d. h. von

0,05 mm haben kann. Die Annahme, daß in der Preßmasse der Druck nicht nur in der Preßrichtung, sondern wie bei einer Flüssigkeit nach allen Seiten wirkt, sollte besonders für die Berechnung der Rahmen und Beilagen, sowie für die Sicherung von querstehenden Formendornen zugrunde gelegt werden. Derartige Querdorne sind sorgfältig gegen Herausschleudern zu sichern, um Unfälle zu vermeiden. Der Druckanstieg unter der hydraulischen Presse erfolgt zwar langsam, wenn aber wiederholt die Presse kurz zugefahren und wieder geöffnet wird, was vorkommt, wenn der Druck für das betreffende Preßstück knapp ist und saubere Preßstücke erzielt werden sollen, dann wird auf die Preßmasse eine heftige Hammerwirkung ausgeübt. Dabei können sehr erhebliche zusätzliche Kräfte auftreten.

<sup>1</sup> Rapatz, F., Düsseldorf: Stähle für Werkzeuge zum Pressen von Kunstharz. Stahl u. Eisen 1932 Heft 51 S. 1271.

### 13. Härten und Bearbeiten der Preßstücke.

Je nach der bei der Verarbeitung der Preßmassen angewendeten Temperatur unterscheidet man Warm- und Kaltpreßstoffe.

Warmpreßstoffe wurden früher erst im Werkzeug geheizt und dann gekühlt, um eine glatte Oberfläche und ein leichtes Abnehmen aus dem Werkzeug zu erzielen. Dieses Verfahren ist unwirtschaftlich, da jedes einzelne Preßstück lange Zeit beansprucht, und durch die Notwendigkeit jedesmal die abgekühlten Werkzeuge wieder aufzuheizen, ein großer Wärmeverbrauch entsteht. Jetzt wird die Preßmasse außerhalb des Werkzeuges vorgewärmt, ein Verfahren, das sich bei Begrenzung der Temperatur auch auf Kunstharzmischungen anwenden läßt. Die Mischungen werden so vorbereitet, daß die Erstarrung möglichst schnell eintritt. Die Preßstücke werden aus dem Werkzeug entfernt, sobald sie nur eine gewisse Formbeständigkeit erlangt haben, ohne daß sie schon ganz hart sind. Preßstücke aus Naturharz- und Asphaltmischungen erlangen ihre Endfestigkeit nach der Abkühlung; eine geringe Nachhärtung findet auch hier innerhalb der ersten 24 Stunden statt. Dagegen erreichen Kunstharzmischungen ihren Endzustand erst durch längeres Nachheizen, das aber nicht im Werkzeug, sondern an den freistehenden Preßstücken in besonderen Brennkesseln oder Öfen erfolgt. Für alle Preßstücke, die nicht eine flache Auflage haben und die bei der Nachheizung einsinken oder sich verbiegen können, müssen Unterlagen und Vorrichtungen vorgesehen werden, um ein Verziehen zu verhindern. Denn bei den Maximaltemperaturen, die z. B. bei Asphalt-Asbestmischungen bei 180° liegen, tritt eine gewisse Festigkeitsabnahme und Erweichung der Stücke ein. Auch bei den Preßmassen, die nur in Luft oder erst in Luft und dann in kaltem Wasser abgekühlt werden, wobei eine Art Abschreckung eintritt, muß für eine entsprechende Auflage gesorgt werden, sobald sie aus dem Werkzeug kommen. Um die Blasenbildung zu vermeiden, werden die Brennkessel mit indifferentem Druckgas, z. B. mit Kohlensäure gefüllt.

Kaltpreßstoffe erfordern eine Wärmenachbehandlung zur Vertreibung des Lösungsmittels und zur Erhärtung. Auch hier wird die Nachheizung vielfach unter Druck vorgenommen. Da die Einhaltung bestimmter Temperaturgrenzen sehr wichtig ist, so sind die Temperaturen möglichst an verschiedenen Stellen der Brennkessel oder Öfen zu überwachen. Namentlich bei Öfen, die ohne Innendruck arbeiten, können infolge großer Abmessungen der Abgasöffnungen erhebliche Temperaturunterschiede auftreten.

Die Härtung bei der Vulkanisation von Kautschukwaren wird in besonderen Vulkanisierformen unter Dampfdruck vorgenommen.

Bei Kaltpreßmassen mit Zement als Bindemittel wird eine Lufttrocknung angewendet, die sich als Vorstufe für das Nachheizen bei allen Kaltpreßstoffen empfiehlt, um eine bessere Oberfläche zu erzielen.

**Bearbeitung der Preßstücke.** Die dem Wesen der plastischen Massen entsprechende Formgebung ist die spanlose Verarbeitung. Die Vorteile dieses Verfahrens lassen sich dann am besten ausnutzen, wenn die Preßstücke mit allen Löchern, Einsenkungen und Profilierungen das Werkzeug verlassen. Eine Nachbearbeitung wird sich nicht immer vermeiden lassen. Diese gilt dem Entfernen des Preßgrates, dem Bohren von dünnen Löchern, die sich deshalb nicht einformen lassen, weil Formstifte unter 5 mm Durchmesser, namentlich bei größerer Länge, leicht beschädigt werden. Bisweilen sind auch Nuten einzusteichen oder plattenförmige Stücke zu zerteilen.

Wegen der Härte, die die plastischen Massen infolge ihres Gehaltes an Steinmehlen, Asbestfasern und an Harzen besitzen, stumpfen sie die spanabhebenden Werkzeuge schnell ab. Solche Werkzeuge müssen nach kurzem Gebrauch geschliffen oder ersetzt werden. Für plastische Massen wird deshalb als Schleifmaterial Karborundum auf Papier- oder Leinenunterlage an Tellerscheiben und Bandschleifern verwendet. Wenn geringe Maßtoleranzen eingehalten werden sollen, empfiehlt sich das Nachschleifen der Preßstücke auf normalen Schleifmaschinen unter Wasserzufuhr mit Karborundumscheiben. Für das Entgraten großer Preßstücke sind Rillenscheiben im Gebrauch, in die U-förmige Nuten eingepreßt sind. Die Scheiben bestehen aus einem etwa 2 mm starken Schmirgelbelag auf einer kräftigen Leinenunterlage.

Bohrungen werden mit Marmorbohrern hergestellt, die aus besonders zähem und hartem Stahl bestehen und den normalen Spiralbohrern entsprechen, aber eine größere Spiralnute zur Abführung der Bohrspäne und einen steileren Spitzenwinkel besitzen.

Für die spanabhebende Bearbeitung steht jetzt außer dem teuren und empfindlichen Diamanten in dem Widiametall ein vorzügliches Material zur Verfügung. Die Diamantwerkzeuge enthalten Diamantsplitter in ein kleines Stück Stahl hart eingelötet. Bei zu großem Vorschub wird der Diamant leicht aus der Fassung gerissen, gerät dann unter die Späne und geht leicht verloren. Widia ist ein Hartmetall, das aus pulverförmigem Wolframkarbid unter Zusatz geringer Mengen eines metallischen Bindemittels, meist Kobalt, durch Zusammenfritten bei hoher Temperatur gewonnen wird, nachdem die Metallpulver vorher kräftig zusammengepreßt werden<sup>1</sup>. Die Härte des Widiametalls liegt nur wenig unter der des Diamanten. Mit Widiaschneiden lassen sich spanabhebende Werkzeuge für alle plastischen Massen herstellen. Auch Glas, Porzellan und Marmor lassen sich damit bearbeiten. In Tabelle 9<sup>2</sup> sind die Schnittgeschwindigkeiten  $v$  und die Vorschübe  $s$  beim Bohren,

<sup>1</sup> Skaupy, Franz: Metallkeramik, S. 53. Berlin 1930.

<sup>2</sup> Agte, C. u. A. Fehse: Bearbeitung von Isolierstoffen mit Widiawerkzeugen. Elektrotechn. Anz. 1932 Heft 33 S. 749.

Tabelle 9.

| Material                                                                                               | Zerspanungsbedingungen                                                                                        |                                              |                                                                                   |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                        | Bohren                                                                                                        |                                              | Drehen                                                                            | Sägen                                                                              |
|                                                                                                        | Ø 10—20 mm                                                                                                    | Ø 20—40 mm                                   |                                                                                   |                                                                                    |
| Gummifreie Isolier-<br>preßmassen, Hart-<br>papier, Novotext,<br>Stabilit, Ebonit,<br>Pertinax u. dgl. | v = 130—200 m/min<br>s = 0,5 mm/U<br>Spitzenwinkel 90°                                                        | v = 100—150 m/min<br>s = 0,3 mm/U            | v = 100—150 m/min<br>(bis zu 400 m/min)                                           | Hartpapier: 500 m/min<br>Repelit: 1200 m/min<br>Novotext: 2100 m/min<br>s von Hand |
| Hartgummi                                                                                              | v = 35—40 m/min<br>s von Hand; Spitzen $\nless 90^\circ$                                                      | v = 30—40 m/min<br>Spitzen $\nless 90^\circ$ | v = 80—120 m/min                                                                  | v = 300—400 m/min<br>s von Hand                                                    |
| Marmor                                                                                                 | v = 20—35 m/min<br>s von Hand<br>(0,10 mm/U)<br>Spitzen $\nless 90^\circ$                                     | v = 20—35 m/min<br>s von Hand<br>(0,08 mm/U) | v = 30—40 m/min<br>s = 0,3—0,5 mm                                                 | v = 60—100 m/min<br>s = 200 mm/min                                                 |
| Porzellan                                                                                              | v = 10—30 m/min<br>s = 0,05 mm/U<br>Spitzen $\nless 90^\circ$ , Terpentin                                     | v = 10—20 m/min<br>s = 0,01 mm/U             | v = 14 m/min<br>s = 0,10 mm                                                       |                                                                                    |
| Glas                                                                                                   | v = 15—30 m/min<br>s von Hand<br>(0,04 mm/U)<br>Spitzen $\nless 90^\circ$ ; bei dünnen Glasplatten 60° Wasser | v = 15—30 m/min<br>s von Hand<br>(0,04 mm/U) | v = 40 m/min<br>(Schruppen)<br>v = 60—100 m/min<br>(Schlichten)<br>s = 0,1—0,2 mm |                                                                                    |

Drehen und Sägen mit Widiawerkzeugen für einige plastische Massen angegeben.

**Sägen.** Das Sägen von Platten aus plastischen Massen kann mit geschränkten und grobzahnigen Bandsägen aus Tiegelgußstahl erfolgen. Um sehr glatte und saubere Schnittflächen zu erzielen, so daß deren Nachbehandlung eingeschränkt werden kann oder jedenfalls sehr billig wird, erfolgt das Zertrennen von Plattenmaterial mit Hilfe von dünnen Schneidscheiben aus Karborundum oder mit Kreissägen, die eingesetzte Zähne aus Widiametall haben.

**Oberflächenbehandlung.** Die Beschaffenheit der Oberfläche der Preßteile hängt von der Politur des Preßwerkzeuges ab, die sich auf dem Preßstück abdrückt. Läßt man der Preßmasse genügend Zeit, sich der polierten Oberfläche unter Druck gut anzuschmiegen, so wird eine glänzende Oberfläche bei Preßstoffen jeder Art durch die Pressung erzeugt. Auf großen Plattenpressen geschieht dies z. B. bei Asphaltmaterial durch Zwischenlegen von polierten, nickelplattierten Blechen. Der Glanz der Oberfläche wird auf dem Werkzeug durch Vernickeln, Verchromen und Polieren erzeugt. Wenn die Warmpreßstücke warm aus dem Werkzeug genommen werden, so verändert sich die Oberfläche leicht dadurch, daß die Masse noch auftreibt. Die sich bildenden unregelmäßigen kleinen Erhöhungen machen die Oberfläche unansehnlich und erfordern eine Nachbehandlung. Diese erfolgt durch Glätten oder Glänzen am Tuchschwabbel unter Verwendung eines feinen Poliermittels, einer Polierpaste, wenn die Unebenheiten der Oberfläche nur gering sind. Bei den Preßstücken, die ohne Werkzeug frei nachgebrannt werden, also vor allem bei den Kaltpreßstoffen, treten die Unebenheiten der Oberfläche stärker auf, als bei den im Werkzeug warm zusammengepreßten Stoffen. Deshalb ist die Oberfläche der Kaltpreßstoffe weniger glatt und sauber als die der Warmpreßstoffe. Sie macht eine besondere Behandlung durch Vorschleifen mit Karborundumleinen oder Papieren und durch Nachschwabbeln oder durch Lackierung nötig. Als Lacke dienen Asphaltlacke, die in der Luft oder im Ofen getrocknet werden, Nitrozellulose- und ähnliche Lacke.

## Zweiter Teil.

# Die einzelnen plastischen Massen und ihre Rohstoffe.

## I. Zellulose.

### 1. Vorkommen, Aufbau, Anwendungsformen.

#### a) Vorkommen.

Die Zellulose gehört zu den wichtigsten Baustoffen des Pflanzenreiches, sie bildet das Gerüst der Pflanzenzellen. Zellulose ist der Hauptbestandteil der Pflanzenfasern und des Holzes. In fast reiner Form erscheint die Zellulose in der Natur als Baumwolle mit einem Anteil von mehr als 90%. Auch die Bastfasern, wie Jute, Flachs, Hanf und Ramie bestehen hauptsächlich aus Zellulose. Der Zelluloseanteil im Holz beträgt etwa die Hälfte.

Baumwolle besteht aus den feinen Fasern, die zur Zeit der Reife als watteähnliche Büschel die einzelnen Samenkörner der Baumwollstaude einhüllen. Die krautartige weiße Baumwollstaude, *Gossypium herbaceum* L., ein 0,6—1 m hohes Sommergewächs, wird mit zahlreichen Abarten in China, Japan, Indien, Java, Kleinasien, Ägypten und auf Malta angebaut. Die Faser- oder Stapellänge beträgt 13—23 mm, die Farbe ist meist weiß und glänzend, bisweilen aber auch gelblich und glanzlos. Die nächstwichtigste Art ist *Gossypium hirsutum* L., mit einer Faserlänge von 15—40 mm; diese Art liefert den größten Teil der Baumwolle der Vereinigten Staaten von Amerika, sie wird auch in Zentralamerika, China, Indien, Australien, Ostafrika und Südeuropa angebaut.

Bei der Abtrennung der Fasern von den Samenkapseln bleiben gewöhnlich kurze Fäserchen an diesen übrig. Nach möglichst vollständiger Entfernung der Samenschalen bieten diese als Linters bezeichneten Fäserchen einen wertvollen Rohstoff für feinste Papiere. Die Baumwollfaser zeigt sich in der Vergrößerung als ein knotenfreies Band, das infolge der beim Trocknen entstehenden Spannungen spiralgig gedreht ist. Die Faser hat Schlauchform. Das spezifische Gewicht der Baumwolle ist etwa 1,5. Als langer Stapel wird die Faserlänge von 25—40 mm, als kurzer Stapel die von 10—25 mm bezeichnet. Die Faserbreite beträgt 12—45  $\mu$ . Reißfestigkeit und Dehnbarkeit schwanken auch bei der gleichen Sorte sehr stark. Nach Fikentscher besitzt gewöhnliche



amerikanische Baumwolle eine Reißfestigkeit 3,571—8,777 g und eine Dehnbarkeit von 6,611—11,075 %.

Im Holz liegt die Zellulose nicht in der reinen Form vor wie etwa in der Baumwolle. Bei der Verholzung scheiden die Zellen aus dem Wachstum und Stoffwechsel der Pflanzen aus und werden zu starren Gebilden, die zur Verfestigung des Pflanzenkörpers dienen und die Kanäle für die Wasser- und Säftezirkulation bilden. Bei der Verholzung nimmt die Festigkeit zu und die Elastizität ab. Dies ist eine Folge der Vereinigung der Zellulose oder der Inkrustierung der Zellwand mit dem die Verholzung bedingenden Lignin. Dieses ist nach den Arbeiten von Wedekind<sup>1</sup> von amorpher und kolloider Beschaffenheit, seine Mizellen haben Scheibchenform und sind vermutlich ähnlich wie Dachziegel angeordnet. Lignin ist mit der Zellulose nicht chemisch verbunden, sondern auch räumlich getrennt.

Für die Herstellung von Holzschliff für Papiere und Pappen findet das Holz der Fichtenarten Verwendung, das die längsten Fasern liefert, ferner das Kiefern- und Espenholz. Neuerdings werden Papierfasern auch aus Buchenholz gewonnen, die zwar kürzer sind, aber sich als Zusatz zu Fichtenholzfasern bewährt haben. Die gleichen Holzarten werden zu Holzmehl und Holzbrei für die Herstellung von Kunstharzpreßmassen, Papiermaché, Holzstoff u. ä. verarbeitet. Fichtenholz hat folgende durchschnittliche Zusammensetzung (Hottenroth, Kunstseide):

Tabelle 10.

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Zellulose . . . . .            | 53—55 % |
| andere Kohlehydrate . . . . .  | 10—14 % |
| Lignin . . . . .               | 29—30 % |
| Harz, Fett und Asche . . . . . | 3,3—5 % |
| Proteine . . . . .             | 0,7 %   |

#### b) Aufbau der Zellulose und ihre Eigenschaften.

Der Aufbau der Zellulose ist seit Jahrzehnten Gegenstand umfassender Arbeiten zahlreicher Forscher. Der heutige Stand der Kenntnisse auf diesem Gebiet ist in dem groß angelegten Werk Technologie der Textilfasern, das von R. O. Herzog herausgegeben wird, in dem Band Physik und Chemie der Zellulose von H. Mark zusammengefaßt. Die Zellulose gehört zu den hochpolymeren organischen Substanzen, zu deren Untersuchung die Methoden der analytischen und präparativen Chemie verfeinert und die physikalische Arbeitsweise mit herangezogen werden mußte, da „die in der organischen Chemie der niedrig molekularen Stoffe verwandte und dort bestens bewährte konventionelle Formelsprache bei der Übertragung auf die Zellulose an das Wesen der Dinge nicht recht heranführe“. Die Strukturformel ist durch Modellvorstellungen ergänzt worden, die mit Hilfe der Röntgenoptik gewonnen wurden und Annahmen über Anordnung und Größe der kleinsten Bausteine der Zellulose erlauben. Wie die Untersuchung des Feinbaues der Zellulose

<sup>1</sup> Wedekind: Chem.-Ztg. 1929 S. 656 u. 789.

mit Röntgenstrahlen gezeigt hat, besitzt sie Faserstruktur. Nach R. O. Herzog, dem wir die grundlegenden Erkenntnisse über den Feinbau von Fasern verdanken, ist die Faserstruktur bedingt durch das Vorhandensein kleinster räumlicher Bauelemente, die fast ausnahmslos kristallinischer Natur sind. Diese Kriställchen sind in einer bestimmten Lage zueinander angeordnet, und eine gewisse Anzahl ist zu einer neuen Einheit, der Fibrille zusammengefaßt. Häufig bildet eine Anzahl von Fibrillen das nächst höhere Strukturelement. Bei der Zellulose ist dies die Elementarfaser, die eine pflanzliche Faser darstellt. Das Aufbauschema Elementarfaser-Fibrillekriställchen gilt wahrscheinlich für alle Fasern. Über die einzelnen Bauelemente der Zellulosefaser macht R. O. Herzog folgende Angaben: Die durchschnittliche Breite der Elementarfaser beträgt  $20-30\mu$ , selten über  $100\mu$  und unter  $5\mu$ . Die Fibrillen oder Primitivfasern besitzen eine Breite von einigen Zehntel  $\mu$ , so daß etwa 100 zusammengelegte Fibrillen erst eine Elementarfaser bilden. Durch Röntgenstrahlen kann erkannt werden, daß eine Fibrille aus etwa 100 Kriställchen besteht, deren Dicke nur einige  $\mu\mu$  beträgt. Die Kriställchen sind durch gewisse Substanzen verkittet, und man nimmt an, daß manche Änderung der Eigenschaften, die man bisher dem Zellulosemolekül zuschrieb, nur auf Veränderung dieser Kittsubstanz beruht. Die Auffassung der Zellulose als hochpolymere Substanz von hohem Molekulargewicht nimmt folgenden Aufbau an. Die einzelnen Zellulosemoleküle hängen zu  $60-100$  als lange Molekülketten zusammen und mehrere dieser parallelen Ketten sind zu Bündeln vereinigt. Daß die in der Natur vorkommende Zellulose solche Kettenform besitzt, wird jetzt allgemein angenommen. Daneben besteht eine andere Auffassung, die dem Zellulosemolekül ein geringes Molekulargewicht und zwar bis zu  $C_6H_{10}O_5$  zuschreibt. Zellulose ist, dem chemischen Aufbau nach, ein Polysacharid von der Formel  $(C_6H_{10}O_5)_X$ , in der für X wahrscheinlich ein hoher Zahlenwert zu setzen ist. Zellulose ist eine Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, bei der Wasserstoff und Sauerstoff im gleichen Verhältnis vorhanden sind wie im Wasser, das ist eine Kohlehydrat. Eine verhältnismäßig einfach zusammengesetzte Verbindung dieser Art ist der Traubenzucker. Durch Zusammenschluß zahlreicher Zuckermoleküle baut sich die Stärke auf und auf dieser die Zellulose.

Die wichtigste Eigenschaft der natürlichen Zellulosefasern ist ihre auffallend große mechanische Festigkeit, die in Tabelle 11<sup>1</sup> mit einigen Werten für Metalle, Steinsalz und Holz zusammengestellt sind.

Die natürlichen Zellulosefasern besitzen Festigkeiten, die denjenigen der Metalle gleichen oder sie sogar übertreffen und die wesentlich höher liegen als die Festigkeiten wohl kristallisierter organischer Präparate.

<sup>1</sup> Mark, H.: Physik und Chemie der Zellulose, S. 47. Berlin: Julius Springer 1932.

Tabelle 11. Absolute Reißfestigkeit von natürlichen Zellulosen mit einigen Vergleichswerten.

| Material                     | Festigkeit<br>kg/qmm | Bruchdehnung<br>% der<br>Ausgangslänge | Bemerkung               |
|------------------------------|----------------------|----------------------------------------|-------------------------|
| Ägyptische Baumwolle . . .   | 28—36                | 1,6                                    | trocken                 |
| Indische Baumwolle . . .     | 29—37                | 2,0                                    | „                       |
| Amerikanische Baumwolle . .  | bis 44               | 1,4                                    | „                       |
| Bambusfaser . . . . .        | 38                   | 1,5                                    | „                       |
| Flachs . . . . .             | 36—110               | 1,8                                    | 8 % H <sub>2</sub> O    |
| Jute . . . . .               | 37,9                 | —                                      | 9,3 % H <sub>2</sub> O  |
| Hanf . . . . .               | 92                   | 1,7                                    | 7,7 % H <sub>2</sub> O  |
| Ramie . . . . .              | 77,6                 | 1,7                                    | 8,7 % H <sub>2</sub> O  |
| Aluminiumguß . . . . .       | 10—40                |                                        |                         |
| Hartgezogenes Kupfer . . .   | bis 50               |                                        |                         |
| Flußstahl . . . . .          | 50—160               |                                        |                         |
| Gußeisen . . . . .           | 9—32                 |                                        |                         |
| Steinsalz . . . . .          | 0,5—2,5              |                                        | je nach<br>Orientierung |
| Kristalliner Quarz . . . . . | 12—16                |                                        |                         |
| Buchenholz . . . . .         | 13                   |                                        |                         |

**Quellbarkeit und Löslichkeit, Verhalten gegen Laugen und Säuren.**

Die Quellung natürlicher Zellulose in Wasser ist nur gering, dagegen ist die Quellbarkeit von regenerierter Zellulose, der Hydratzellulose, sehr groß. Der chemische Nachweis für die Hydratisierung gelingt nicht, die Eigenschaften der Hydratzellulose sind aber von denen des Ausgangsstoffes sehr verschieden. Durch mechanische Einwirkung z. B. beim Mahlen im Holländer wird das Quellungsvermögen der Zellulose außerordentlich erhöht. Wenn diese Auflockerung der Zellulosestruktur zu weit getrieben wird, so entsteht ein Zelluloseschleim, die totgemahlene Zellulose, die beim Eintrocknen zu einer spröden, hornartigen Masse zusammenschrumpft; diese quillt in Wasser wieder stark auf.

Zelluloselösungen lassen sich durch chemische Einwirkungen herstellen. Die Lösungen der Zellulose und ihrer Derivate zeigen charakteristische Unterschiede von den Lösungen der normal kristallisierenden organischen Verbindungen. Besonders auffällig ist die große Zähigkeit der Zelluloselösungen und ihre Fähigkeit, Fäden, Filme und Körper mit vorzüglichen mechanischen Eigenschaften zu bilden.

Gegen Laugen ist die Zellulose verhältnismäßig beständig, wenn auch je nach der Konzentration bestimmte Mengen in Lösung gehen. Weniger beständig ist die Zellulose gegen Säuren. Schon verdünnte Säuren führen sie bei längerer Einwirkung oder bei höheren Tempera-

turen in Hydrozellulose über, die aus einem Gemenge von veränderter Zellulose und Abbauprodukten besteht. Hydrozellulose ist mürbe und leicht zu Pulver zu zerreiben, ebenso wie die durch Oxydationsmittel entstehenden Oxyzellulosen, auf deren Bildung das Mürbewerden von Baumwoll- und Leinengeweben bei zu starker Wirkung von Bleichmitteln beruht. Durch konzentrierte Schwefelsäure wird Zellulose in dextrinartige Stoffe verwandelt, z. B. in Pergamentzellulose. Eine Pergamentierung bewirkt auch Zinkchlorid bei der Herstellung von Vulkanfaser.

**Zelluloselösungen, Verbindungen.** Die Zellulose ist ein Alkohol, sie kann auch Ester und Äther bilden. Die technisch wichtigsten Zelluloseester entstehen durch mäßig konzentrierte Säuren, z. B. die leicht entzündlichen Zellulosenitrate durch Salpetersäure. Sie werden als niedriger nitrierte, in Ätheralkohol leicht lösliche Kollodiumwolle und als höher nitrierte, in demselben Lösungsmittel unlösliche Schießbaumwolle hergestellt. Kollodiumwolle ist der Ausgangsstoff für die älteste Art der Kunstseide, die Chardonnetseide, ferner für Kollodium und Zelluloid. Schießbaumwolle ist der Ausgangsstoff für den Spritz- und Preßstoff Trolit. Mit Essigsäureanhydrid und einem wasserentziehenden Mittel wie Schwefelsäure oder Chlorzink bildet Zellulose die Zelluloseazetate, die den Ausgangsstoff für ähnliche Kunststoffe wie die Zellulosenitrate bilden, aber diesen gegenüber den Vorteil der geringeren Feuergefährlichkeit haben: Azetatkunstseide, Zellon, Lonarit.

Von den anderen Zelluloselösungen hat die Viskose besondere technische Bedeutung erlangt. Viskose ist die wäßrige Lösung des aus Alkalizellulose und Schwefelkohlenstoff entstehenden Alkalizellulose-Xanthogenats und bildet die Grundlage des zur Zeit wichtigsten Verfahrens für die Herstellung der Kunstseide, des Viskoseverfahrens.

### c) Anwendungsformen.

Zellulose wird bei der Herstellung von Kunststoffen in verschiedenen Formen verwendet. Holzmehl oder Holzschliff entsteht durch Zermahlen von Holz und enthält teilweise noch die anderen Holzbestandteile, wie das Lignin. Soll die Zellulose in möglichst reiner Form verwendet werden, was bei der Herstellung der Zelluloselösungen und gewissen Papierarten notwendig ist, so müssen die anderen Bestandteile des Holzes durch mechanische und chemische Eingriffe entfernt werden, oder als Ausgangsstoff dienen Baumwolle oder Bastfasern. Die Zellulose ähnelt in dieser Form dem Papier oder der Pappe und wird als Zellstoff bezeichnet.

Eine andere Form der Holz-Zelluloseverwertung vermeidet die völlige Zerlegung des Holzes in die Einzelfasern, sondern schält eine dünne zusammenhängende Schicht des Kernholzes ab. Diese dünnen Schichten, die als endloses Band die Schälmaschine verlassen, werden so aufeinander-

geleimt, daß die Faserrichtungen der Lagen abwechseln. Auf diese Weise entsteht das Sperrholz.

**Holzmehl** wird aus den Sägespänen von Tannen-, Fichten- und Buchenholz durch Vermahlung auf Steinmühlen gewonnen. Der Vermahlung muß eine sorgfältige Auswahl, Lagerung und Siebung vorausgehen. Steinmühlen ergeben ein leichtes und faseriges Mehl infolge ihrer quetschenden Mahlwirkung. Das Mahlgut wird durch Windsichtung getrennt, fest in Säcke gepackt und in großen Lagerräumen gestapelt, um gleichbleibende Qualität liefern zu können. Bei der Vermahlung entweichen 10–15 Gewichtsprocente Wasser, dessen Verdampfung die Mahlgänge und die Sichter kühlt.

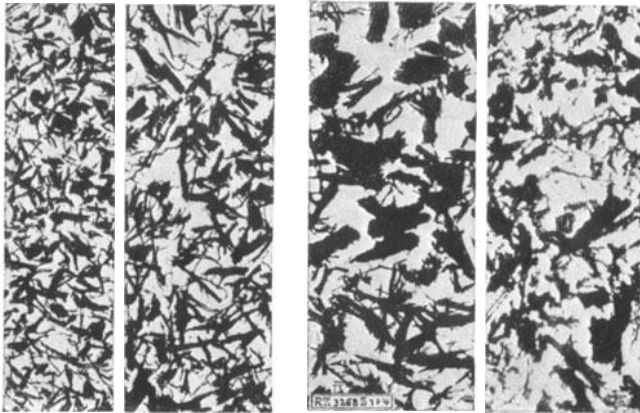


Abb. 42. Vier verschiedene Arten von Holzmehl. Vergr. 7fach. (R. Meldau, Eigenschaften und Verwertung von Holzstaub und Holzmehl. Z. VDI 1929 S. 1315, Abb. 1–4.)

Das Holzmehl bildet Blättchen, also Körper größter Oberfläche (Abb. 42). Die dünnen Blättchen brechen beim Mahlen unter Bevorzugung einer Achse, bis sie schließlich stäbchenförmig werden. Die feinsten Blättchen sind nur wenige  $\mu$  dick. Das Schüttgewicht der feinsten Sorten von  $4 \times 25 \mu$  beträgt eingerüttelt etwa 940 g/l und sinkt bei groben Sorten auf etwa 160 g. Der Wassergehalt des lufttrockenen Holzmehls von 6–12% kann durch Wasseraufnahme im Innern auf 100% steigen. Das spezifische Gewicht der wassergesättigten Teilchen ist etwa 1,3 und ist damit gleich dem von Leim und Kunstharz. Äußerlich kann im Haufwerk des Holzmehls, das dabei etwas bröckelig bleibt, etwa die 5–6fache Gewichtsmenge Wasser gebunden werden. Holzmehl wird durch wiederholte Erwärmung und Abkühlung auf etwa 80° allmählich verkocht, hochporös und leichtentzündlich. Der Gefahr der Entzündung von Holzmehl kann durch Luftbefeuchtung mittels Wasser oder Dampf begegnet werden.

Die äußere Form und der innere Aufbau macht das Holzmehl leicht und vielseitig mischbar. Holzmehl stellt eine Membran dar, die für Wasser, Phenole und Farben durchlässig, für Leim und Kunstharz dagegen undurchlässig ist. Die vorzüglichen mechanischen Eigenschaften der Preßstoffe, die aus Kunstharz und Holzmehl bestehen und die in großem Umfang verwendet werden, beruhen wahrscheinlich hierauf<sup>1</sup>.

**Holzschliff**<sup>2</sup> entsteht durch die mechanische Zerfaserung von Holz, dessen von der Rinde befreite, etwa 1 m lange Stücke, die 150–200 mm



Abb. 43. Holzschliff. Vergr. 200fach.

Durchmesser haben, unter Wasserzufuhr gegen große Schleifsteine gepreßt werden. Die Holzschleifer werden für einen Kraftaufwand bis zu 1200 PS an einem Stein gebaut, sie können bis zu 10 t Holzschliff in 24 Stunden herstellen. Die gegen die Schleifsteine gepreßten Holzstempel wirken wie Bremsklötze an einem Rad. Die dabei entstehende Wärme soll zur Erweichung der Holzfasern dienen, das Wasser soll ebenfalls die Holzfasern erweichen, aber auch eine übermäßige Temperatursteigerung verhindern, die zu Verbrennungen führen könnte. Damit das Holz von dem heißen Wasser durchtränkt und gequollen werden kann, muß die Beschaffenheit des Wassers entsprechend sein. Die Quellung wird durch kleine Mengen von Essigsäure und Ameisensäure

<sup>1</sup> Meldau, R.: Eigenschaften und Verwertung von Holzstaub und Holzmehl. Z. VDI 1929 S. 1315.

<sup>2</sup> Schwalbe: Kolloidchem. Technologie. Papier S. 210.

unterstützt, die sich bei der Erhitzung von Holz und Wasser bilden. Die Güte des Holzschliffs (Abb. 43<sup>1</sup>) ist abhängig von der Zahl und Länge der unverletzten Fasern, von der Menge der Faserbündel, der Fasertrümmer und des Faserschleimes. Diese Werte wieder hängen von der Korngröße und Schärfe des Schleifsteines, vom Anpressungsdruck u. a. ab. Der Zustand des Holzes ist von besonderer Bedeutung. Frisches Holz, das nur kurze Zeit lufttrocken gelagert hat, eignet sich am besten. Lange gelagertes Holz verschleift sich schwerer und gibt minderwertigen Schliff, wahrscheinlich, weil bei der Lagerung die Holzmembranen einschrumpfen und die verhornte Oberhautschicht die Quellung verzögert. Beim Abreißen der Fasern wird ein Teil von ihnen zertrümmert, da sie bei der Verholzung ziemlich starr geworden sind. Durch Reibung der Fasern aneinander und an den Steinen wird ein Teil soweit zermahlen, daß die Faserstruktur verschwindet und Schleim entsteht. Der Schleim kann auch absichtlich im Kollergang durch weiteres Mahlen von Holzschliff erzeugt werden. Der Holzschliff wird entweder in Breiform oder in Form von feuchten Pappenwickel oder als trockene Papptafel verwendet. Die Trocknung, die etwa mit Rücksicht auf die Transportkosten vorgenommen wird, bedeutet eine Verschlechterung, da die getrocknete Faser schwerer quillt als vorher und weniger schmiegsam und verfilzbar ist. Holzschliff ist licht- und luftempfindlich, in feuchtem Zustand unterliegt er leicht der Pilz- und Bakteriengärung. Trocken bräunt er sich unter der Wirkung des Lichtes, wobei die Festigkeit abnimmt. Der Holzschliff von weißlicher, schwach gelblicher oder rötlicher Farbe wird auch Weißschliff genannt.

Wird das Holz vor dem Schleifen längere Zeit gedämpft, so färbt es sich bräunlich und erweicht. Dadurch entstehen beim Schleifen längere Fasern und weniger Fasertrümmer, aber die Ausbeute sinkt, da beim Dämpfen 15—20% des Holzes in Lösung geht, und zwar die Zuckerstoffe, Teile des Lignins, die organischen Säuren u. a. Dieser Braunschliff ist ein vorzüglicher Rohstoff für Pappen, und zwar für Lederpappen.

**Zellstoff.** Je nach dem Ausgangsstoff unterscheidet man Holzzellstoff, Hadernzellstoff, Baumwollzellstoff. Wegen der engen mechanischen und chemischen Verknüpfung der Zellulose mit ihren Begleitstoffen, wie Lignin und Bastkörper, sind recht kräftige Einwirkungen zu deren Entfernung nötig, wie Laugen und Säuren hoher Konzentration und Kochen unter Druck.

**Holzzellstoff** kann durch verschiedene Verfahren aus dem vorher zerkleinerten, in Hackspäne zerlegten Holz hergestellt werden, die größte Menge wird nach dem Sulfitverfahren aufgeschlossen. Als Kochflüssigkeit dient eine wäßrige Kalziumbisulfitlösung, die freie schweflige Säure enthält und die dadurch entsteht, daß in Türmen aufgeschichteter Kalkstein von oben mit Wasser berieselt wird, während von unten

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie, Abb. 77.

Schwefligsäuregase aus Schwefelkiesöfen oder Schwefelofengase zuströmen. Die Kochflüssigkeit hat einen Gehalt von etwa 1% Ätzkalk und 3–4% Schwefeldioxyd. Die Hackspäne werden in großen Eisenblechzylindern gekocht, die zum Schutz gegen die schweflige Säure ausgemauert sind. Die Kocher fassen 150–250 cbm, ja selbst bis zu 350 cbm. Mitscherlich-Holzzellstoff entsteht bei Beheizung mit Dampfschlangen bei einer Temperatur von nicht mehr als 135° und einer Kochdauer von 16–20 Stunden, wobei eine Ausbeute von 45–50% des Holzgewichtes erreicht wird. Wird mit direktem Dampf bis zu 145° und mit stärkerer Lauge, nämlich mit solcher mit 4–5% Schwefeldioxyd

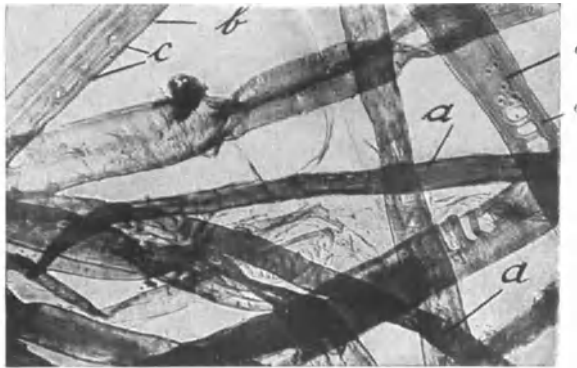


Abb. 44. Nadelholzfasern. Vergr. 200fach. *a* Sommerholzfasern, *b* Frühjahrsholzfasern, *c* Behöfte Poren, *d* Große fensterähnliche Poren, charakteristisch für Fasern der Kiefer.

als Anfangskonzentration, gekocht, so entsteht in 8–16 Stunden Ritter-Kellner-Zellstoff, dessen Faser der Baumwollfaser ähnelt, während der Mitscherlich-Zellstoff mehr der Leinenfaser gleicht. Sind die Holzstücke genügend erweicht, so werden sie nach beendeter Kochung dem Kocher entnommen, zerfasert, gewaschen, entwässert und zu feuchten Pappwickeln aufgerollt. Das mikroskopische Bild von Holzzellstofffasern zeigt Abb. 44<sup>1</sup>.

**Natron- und Sulfatverfahren.** Die in den Zellwänden enthaltenen Begleitstoffe der Zellulose können auch durch Kochen in Natronlauge unter Druck herausgelöst werden, doch wird meist nicht reine Natronlauge, sondern ein Zusatz von Schwefelnatrium verwendet. Die Kochflüssigkeit enthält 6–8% Ätznatron, gewöhnlich wird ein Viertel des Natrons durch Schwefelnatrium ersetzt. Die Kochung dauert 6 bis 10 Stunden bei 150–180°. In drehbaren Kochern läßt sich die Kochzeit auf 3–6 Stunden herabsetzen. Nach beendeter Kochung wird in Diffuseuren, das sind Kessel mit Siebböden, die schwarze Lauge von den Fasern getrennt.

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie, S. 216 Abb. 79.



Hadernzellstoffe, die zur Herstellung feiner Papiere dienen, werden aus Lumpen gewonnen, in denen die Baumwoll-, Leinen- oder Hanffasern bereits aufgeschlossen und versponnen vorliegen. Zu den Lumpen kommen die Abfälle der Kleider- und Wäschefabrikation und der Werg, der bei der Verarbeitung der Bastfasern anfällt. Diese Abfälle werden durch Kochen in Ätzkalk-, Ätznatron- oder Sodalaugereinigt und entfettet, nachdem sie zerkleinert und von Staub und Fremdkörpern befreit sind. Nach dem Kochen werden die Hadern im Waschkolländer gewaschen und zugleich weiter zerkleinert.

Aus den Linters, den kurzen an den Samenkapseln der Baumwolle hängenbleibenden Fasern, wird der Zellstoff in besonders reiner Form als feines Papier zur Weiterverarbeitung für Nitrozellulose, Zelluloid und die anderen Zelluloselösungen gewonnen.

**Bleiche.** Der rohe Zellstoff nach der Kochung stellt keine reine Zellulose dar, sondern enthält noch eine erhebliche Menge von Begleitstoffen. Um diese zu entfernen, wird der Stoff der Bleiche unterzogen. Für die Zwecke des Papiermachers ist es nicht wesentlich, daß die Fasern aus reiner Zellulose bestehen, wenn sie nur genügende Verfilzbarkeit, Festigkeit und, falls helle oder weiße Papiere erzeugt werden sollen, helle Farbe besitzen und nicht mehr die Stoffe enthalten, die wie z. B. das Lignin, ein Vergilben bewirken. Möglichst reine Zellulose ist notwendig für die Papiere, die für die chemische Weiterverarbeitung bestimmt sind. Durch die oxydierende Bleiche lassen sich die Ligninreste fast vollkommen beseitigen. Hierbei werden die Fasern geschmeidiger und besser verfilzbar. Als Bleichflüssigkeit dienen Lösungen von Chlorkalk oder Natriumhypochlorid, die so eingestellt werden, daß in ihnen etwa 0,5% freies Chlor vorhanden ist. Ein Faserbrei mit einem Fasergehalt von 5–8% wird im Bleichkolländer bei einer Temperatur von 30–40° gebleicht. Der Kolländer ist zum Schutz gegen das Chlor mit Porzellankacheln ausgekleidet und seine Messerwalze besteht aus Bronze. Je nach der Art des Stoffes dauert die Bleiche 8–12 Stunden, Sulfitzellstoff läßt sich leichter bleichen als Natronzellstoff, am leichtesten wird Hadernzellstoff gebleicht. Wird zu lange oder mit zu scharfen Lösungen gebleicht, so kann sich Oxyzellulose bilden, die Faser verliert an Festigkeit und neigt zur Vergilbung. Nach dem Bleichen wird der Zellstoff gewaschen und auf Entwässerungsmaschinen in die Form feuchter Pappenwickel gebracht oder anschließend getrocknet.

## 2. Kunststoffe aus Zellulose.

### a) Papier und Pappe, Papiermaché.

Aus Holzschliff und Zellstoff werden Papiere hergestellt, die entweder zum Gebrauch als Druck-, Schreib-, Zeichen- und Hüllpapiere bestimmt sind, oder die weiterverarbeitet werden, z. B. zu Schichtstoffen mit

Kunstharz oder zu Zelluloselösungen in der Kunstseide- und Zelluloid-industrie.

Die Papiere bestehen je nach dem Verwendungszweck nur aus Fasern, wie die Lösch- und Filtrierpapiere, die möglichst saugfähig sein sollen, oder sie enthalten zwischen den Fasern ein Bindemittel und zwar einen Harzleim, um eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen von Tinte zu erzielen. Um Papiere mit besonders glatter Oberfläche zu erhalten, werden Füllmittel z. B. Kaolin, Talkum und Blanc fixe, das ist gefälltes Bariumsulfat, zugefügt, die die Unebenheiten des Faserfilzes ausfüllen sollen. So entstehen die Kunstdruckpapiere.

Als Papiere bezeichnet werden die aus verfilzten Pflanzenfasern bestehenden dünnen Schichten mit einem Gewicht bis 150 g/qm und einer Dicke bis 0,2 mm, als Kartonpapiere solche mit einer Dicke von 0,2 bis 0,3 mm und einem Gewicht von 150—200 g/qm. Stärkere Schichten werden als Pappen bezeichnet. Nach dem neuen internationalen Zolltarifschema werden Stoffe mit einem Gewicht über 300 g/qm als Pappen betrachtet.

**Der Faserbrei.** Um den Faserbrei für die Blattbildung auf der Papiermaschine zu bereiten, werden die als Holzschliff oder Zellstoff vorbereiteten Fasern im Mahl- oder Ganzzeugholländer gemahlen. Die Mahlarbeit wird erleichtert und abgekürzt, wenn der Stoff vorher auf dem Kollergang gekollert wird. Die Walze des Kollergangs drückt die Faserbündelchen auseinander. Im Mahlholländer erhält der Faserbrei eine möglichst gleichmäßige Struktur. Durch die mechanische Bearbeitung zwischen Grundmesser und Messerwalze werden die Fasern gestaucht und gequollen, sie werden biegsamer und besser verfilzbar. Da auch die Faseroberfläche aufgeraut wird, bietet der Faserfilz größeren Widerstand gegen das Abgleiten der mit den rauen Stellen sich ineinander fügenden Fasern. Wird zu lange oder zu scharf gemahlen, so entsteht aus dem Faserbrei ein Faserschleim. Ein größerer Anteil an Schleim macht das Papier durchscheinender, dichter und „klangvoller“. Mit dem Schleimgehalt steigt die Festigkeit bis zu einer gewissen Grenze, um dann bei weiterer Steigerung des Schleimgehaltes rasch zu sinken. Sollen fettdichte Papiere, Pergamynpapiere hergestellt werden, so wird hierzu der Faserbrei mehr zerquetscht als zerschnitten, und zwar durch stumpfe Basaltmesser am Holländer, so daß ein großer Schleimanteil entsteht. Auf die Mahlarbeit ist der Fasergehalt, der gewöhnlich 5—8% beträgt, ferner die Beschaffenheit und die Temperatur des Wassers von großem Einfluß. Kleine Mengen von Säuren und Alkalien wirken günstig, da sie die Quellung beschleunigen, dagegen wirken kleine Mengen von Salzen wie Chlormagnesium verzögernd.

**Leimung.** Soll das fertige Papier eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen von Tinte und Wasser erhalten, so müssen die Kapillaren der Einzelfasern verstopft und die Fasern aneinandergeklebt

werden. Früher wurden die Papiere geleimt, indem die fertigen Bogen in Leim- oder Gelatinelösung getaucht wurden, die aber nur die obersten Faserschichten durchdringt. Die getrocknete, aber quellbare Gelatineschicht widersteht zwar der kurzen Beanspruchung der Tinte beim Schreiben, wird aber die Oberfläche beim Radieren verletzt, so kann die Tinte in das Blatt eindringen. Um dies zu verhindern, muß das Papier in der ganzen Schicht geleimt sein. Das Verfahren der Leimung wurde von dem Uhrmacher Illig zu Anfang des vorigen Jahrhunderts in Eberbach bei Darmstadt ausgearbeitet. Dem Faserbrei wird eine Harzlösung zugesetzt, die durch Behandlung von gewöhnlichem Kolophonium mit Alkalien oder durch Kochen mit Soda hergestellt wird. Dann befinden sich zwischen den Fasern zahlreiche Harzkügelchen, die durch Anwendung von Tonerdesulfat dazu gebracht werden können, sich auf den Fasern niederzuschlagen und diese zu umhüllen. So geleimtes Papier besitzt genügende Wasserfestigkeit für Schreibzwecke, wird es aber längere Zeit in Wasser gelegt, so erweicht es doch und verliert seine Festigkeit.

**Färben.** Bei den Packpapieren stört die gelbbraune Naturfarbe des ungefärbten Papiers nicht, dagegen soll für Schreibpapiere eine möglichst reine weiße Farbe erzielt werden, für andere Zwecke werden auch andere Farben nötig. Selbst wenn die Naturfarbstoffe durch die Bleiche entfernt sind, ist es zur Erzielung sehr weißer Papiere nötig, den schwach gelblichen Farbton durch Zufügen von Blau und etwas Rot zu verdecken. Hierzu dienen die sehr echten blauen und roten Indanthrenfarben, die vor oder nach dem Leimen zugesetzt werden. Sollen die Papiere lebhaftere Farben erhalten, so kann bei sehr dünnen Papieren die Färbung durch Eintauchen in die Farblösung erfolgen. Dickere Papiere müssen im Stoffbrei gefärbt werden. Um die Farbe mehr oder weniger unauswaschbar auf der Faser festzuhalten, muß die Faser oft viele Stunden in der Farblösung gekocht werden.

**Füllung.** Die Füllmittel sollen teils zur Beschwerung dienen, teils aber die Oberfläche durch Ausfüllen der Zwischenräume zwischen den unregelmäßig gelagerten Fasern des Filzes glätten. Als Füllmittel dient hauptsächlich Kaolin oder China Clay, ferner auch Gips, Talkum, Blanc fixe u. a., die entweder als Pulver oder als Brei dem Faserbrei zugesetzt werden. Sie werden sehr fein geschlämmt angewendet, um das Abschwemmen bei der Blattbildung möglichst einzuschränken. Vermeiden läßt es sich nicht, durchschnittlich wird mit einem Füllstoffverlust von 50% gerechnet.

**Blattbildung.** Der Faserbrei wird in dünner Schicht auf einer wasserdurchlässigen Unterlage und zwar auf ein Sieb ausgebreitet, damit das Wasser abfließen und der Faserfilz sich bilden kann. Bedingung für die Blattbildung ist, daß der Faserbrei stark verdünnt und die Fasern in lebhafter Bewegung vorhanden sind. Der Stoff, der im Holländer einen Fasergehalt von 5—8% besitzt, muß auf 0,1—1% verdünnt werden.

Im Mittelalter und bis zur Neuzeit wurden Büttenpapiere so hergestellt, daß aus einer Bütte nach kräftigem Rühren der Stoff in einen mit abnehmbarem Rand versehenen Siebtrog eingefüllt wurde. Nach dem Abfließen des Wassers wird der Rand entfernt und der feuchte Faserfilz auf einen Wollfilz übertragen. Mehrere Papierlagen übereinander werden zwischen den Wollfilzen unter einer Presse ausgedrückt und zum Trocknen einzeln an Schnüren aufgehängt und nach dem Trocknen geglättet. Werden die handgeschöpften Papiere nicht beschnitten, so bleibt ein unregelmäßig ausgefränkter Rand stehen, der dadurch entsteht, daß der Holzrand des Schöpfsiebes nicht scharf auf der Siebunterlage aufliegt. Solche Ränder gelten als Kennzeichen des handgeschöpften Papiers, das heute noch auf dieselbe Weise hergestellt wird. Wasserzeichen entstehen im Bogen dadurch, daß Drahtauflagen, die die Form des Zeichens haben, auf das Sieb gelegt werden. Dadurch wird das Blatt an der Stelle der Drahteinlage dünner als an den übrigen Stellen und durchscheinender. Das Wasserzeichen dient als Herkunfts- und Qualitätszeichen.

Heute wird der größte Teil der Papiere, auch die Feinpostpapiere, auf Maschinen angefertigt. Diese Maschinen sind mit Rund- oder Langsieb ausgerüstet. Das aus Metalldrahtgewebe bestehende Rundsieb taucht in den Faserbrei ein und nimmt eine Faserlage bis zur höchsten Stelle mit. Hier gelangt die Faserbahn auf ein dicht an das Sieb gepreßtes Führungstuch aus Wollfilz und von dort in die Teile der Maschine, wo das Wasser aus der Papierbahn durch Zusammenpressen zwischen Filztüchern entfernt und die feuchte Bahn zwischen geheizten Zylindern getrocknet und geglättet wird, so daß am Maschinenende das Papier aufgerollt werden kann.

Sollen dickere Papiere oder Pappen hergestellt werden, so werden verschiedene Lagen des Faserfilzes übereinander geschichtet, bis die nötige Dicke erreicht ist. Dann wird der so entstandene Zylinder durch einen Schnitt parallel zur Achse aufgetrennt, gestreckt und auf Entwässerungs- und Trockenpressen, die meist als Etagenpressen ausgebildet sind, weiterbehandelt.

Für die Herstellung der normalen Druck- und Schreibpapiere dient die Langsiebmaschine, die mit einem 3–5 m langen endlosen, über Walzen geführten Sieb ausgerüstet wird. Der Papierbrei fließt auf das Sieb, unter dem sich Absaugekammern befinden, die das Papierband, nachdem ein Teil des Wassers durch die Siebmaschinen abgeflossen ist, weiter entwässern. Von dem Drahtsieb wird das feuchte Papierband durch einen Transportfilz ebenso weiterbefördert und dann weiterbehandelt, wie an der Rundsiebmaschine. Beim Trocknen schrumpft das Papierblatt und ist einem erheblichen Zug zwischen den Trockenwalzen ausgesetzt. Das Trocknen leimfester Papiere ist besonders

schwierig, durch ungeschickte Trocknung kann die schon vorhandene Leimfestigkeit wieder verschwinden.

Die Eigenschaften der Papiere, die ihr Verhalten bei mechanischen Beanspruchungen kennzeichnen, sind: Reißfestigkeit, Dehnung, Falzbarkeit und Widerstand gegen Durchdrücken.

Reißfestigkeit und Dehnung werden an Versuchsstreifen von  $15 \times 180$  mm auf dem Schopperschen Festigkeitsprüfer (S. 300) ermittelt. Die Reißfestigkeit hängt unter anderem von der Festigkeit der verwendeten Fasern, von ihrer Länge und Oberflächenausbildung ab, von der Art der Verfilzung und Verbindung der Fasern mit Bindemitteln und von der Anwendung von Füllmitteln. Die innige Verschlingung der Fasern bei der Blattbildung liefert dann den größten Widerstand gegen das Auseinandergleiten beim Zerreißen, wenn die Fasern eine gewisse Länge und Schmiegsamkeit besitzen. Die dünnen, langen und weichen Fasern von Baumwolle und Flachs sind am besten zur Herstellung von festen Papieren geeignet, während der kurzfasrige und nicht so biegsame Holzschliff oder Strohzellstoff sich nicht so gut verfilzen läßt. Die Fasern sind wegen ihrer größeren Starrheit auch nicht so knickfest. Die möglichst gleichmäßige Lagerung der Fasern im Papier ist zwar für die Festigkeit sehr wesentlich, sie läßt sich aber nur bei den handgeschöpften Papieren erreichen. Bei den Maschinenpapieren wird durch den Strömungsvorgang beim Aufließen des Faserbreis aus der Stoffbütte auf das Sieb ein großer Teil der Fasern in die Fließrichtung eingestellt. Dadurch wird die Reißfestigkeit des Papieres in der Laufrichtung wesentlich größer als quer dazu. Bevor die Fasern selbst bei der Zugbeanspruchung, die auf das Papier wirkt, reißen oder voneinander gezogen werden, erfährt das Papier eine gewisse Dehnung. Eine hohe Dehnung weist auf gute Festigkeitseigenschaften hin. Beim Glätten oder Satinieren können zu starre und harte Fasern zerquetscht werden, wodurch die Festigkeit des Papieres leidet. Dagegen werden genügend elastische und weiche Fasern durch den hohen Druck der Glättwalzen einander noch weiter genähert und dadurch der Widerstand gegen Auseinandergleiten beim Zerreißen vergrößert. Die Reißfestigkeit wächst mit abnehmender Trockenheit, während die Dehnung abnimmt. Eine Luftfeuchtigkeit von 65% gilt als normal für die Prüfung. Die Reißfestigkeit von Papieren wird gewöhnlich als Reißlänge angegeben. Die Reißlänge ist die Länge eines Streifens von beliebiger, aber gleichbleibender Dicke und Breite, bei der der Streifen unter seinem Eigengewicht an der Einspannstelle abreißen würde. Diese Länge läßt sich aus der Bruchlast und dem Gewicht des Streifens berechnen. An Stelle der Zerreißfestigkeit wird z. B. in den Vereinigten Staaten der Widerstand gegen Durchdrücken, der Berstwiderstand mit dem Mullenapparat bestimmt. Ein Papierblatt wird auf eine Weichgummimembran gespannt

und der Flüssigkeitsdruck gemessen, durch den die Membran so weit ausgewölbt wird, daß das Papier reißt.

Der Falzwiderstand wird mit dem Schopperschen Falzer durch Hin- und Herbiegen eines gespannten Papierstreifens bestimmt und zwar durch die Zahl der Doppelfaltungen, die die Bruchkante des Papiers aushält. Besonders zähe und feste Papiere halten mehr als 1000 Doppelfaltungen aus, andere Papiere brechen schon nach wenigen Faltungen.

Das scheinbare Raumgewicht der Papiere schwankt in weiten Grenzen:

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Löschpapier . . . . .        | 0,33, |
| Banknotenpapier . . . . .    | 0,75, |
| dichtes Pergamynpapier . . . | 1,35. |

Diese Zahlen sind errechnet aus dem Gewicht der Raumeinheit, wobei die mit Luft gefüllten Hohlräume des Papieres mitgemessen wurden. Das wirkliche spezifische Gewicht kann nach der Auftriebsmethode bestimmt werden.

Unbeschwerte und ungeleimte Papiere haben einen Aschengehalt von etwa 1%, ein höherer Aschengehalt läßt auf Leimung und Füllstoffe schließen. Auch bei Papieren ohne Füllstoffe kann der Aschengehalt auf 3% durch die für die Leimung nötige Tonerde steigen. Füllstoffe können den Aschengehalt auf 10—50% und noch darüber hinaus wachsen lassen.

Lange Einwirkung von Temperaturen über 100° schädigen die Haltbarkeit der Papiere. Je weniger verholzte Fasern ein Papier enthält, um so größer ist seine Widerstandsfähigkeit. Durch Licht und Feuchtigkeit werden die Papiere allmählich infolge Bildung von Hydro- und Oxyzellulosen brüchig. Reine Hadernpapiere haben bei Abschluß von Licht und Feuchtigkeit scheinbar unbegrenzte Lebensdauer, wie das Bestehen 1000jähriger Papiere beweist. Papiere mit verholzten Fasern werden schnell gelb und brüchig.

In völlig trockenem Zustand hat Papier vorzügliche isolierende Eigenschaften.

Leimfeste Papiere, die aber doch eine gewisse Saugfähigkeit zur Aufnahme der Tränkmittel haben müssen, werden als Isolierung der Leiter von Schwachstrom- und Hochspannungskabel verwendet. Diese Papiere sollen möglichst rein sein. Der Temperaturbehandlung bei der Herstellung dieser Papiere ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Ähnliche Papiere dienen als isolierende Zwischenlagen in Kondensatoren. Die Eigenschaften einiger Isolierpapiere sind auf S. 276 angegeben.

Aus Pappen, die hauptsächlich aus finnischem und schwedischem Holzschliff bestehen, werden für Bauzwecke durch Aufeinanderleimen mehrerer Papplagen mit Wasserglas Bauplatten wie die Enso- und Varjagplatten hergestellt. Derartige Platten, die auch auf einer Seite mit einer gehärteten und blanken Oberfläche versehen sein können, werden in einer Stärke bis zu 10 mm ausgeführt, sie sind vorzügliche

Schutzmittel gegen Wärme und Kälte und lassen sich leicht montieren. Derartige Platten werden nicht, wie die aus Zuckerrohrfasern hergestellten Bauplatten, von Mäusen angefressen.

**Preßspan.** Eine besondere Pappenart, der Preßspan, findet in der Elektrotechnik als Isolierstoff, aber auch für Bucheinbände u. a. Verwendung. Preßspan wird meist aus Zellstoff hergestellt. Baumwoll- und Leinenfasern ergeben zähe, saugfähige Sorten, während Holzschliff, Jute und Hanf den Stoff, namentlich nachdem er höheren Temperaturen ausgesetzt war, unbiegsam und spröde machen. Der Faserbrei wird auf das Rundsieb der Pappenmaschine gebracht und soviel Lagen übereinander geschichtet, wie für die zu erreichende Plattenstärke nötig ist. Der so gebildete Zylinder wird parallel zur Achse aufgeschnitten, gestreckt und unter hohem Druck auf der hydraulischen Presse entwässert, wobei grobmaschige Gewebe als Zwischenlagen zwischen den einzelnen Platten zur Erleichterung des Entwässerns dienen. Diese Gewebe drücken sich auf der Oberfläche des Preßspans ab und geben ihm das kennzeichnende Aussehen. Die Tafeln werden aufgehängt und im Trockenofen unter sorgfältiger Temperaturüberwachung langsam getrocknet, zwischen geheizten Walzen geglättet und gehärtet und falls nötig, auf Maschinen poliert.

Von dem Verband Deutscher Elektrotechniker sind in VDE 464 Leitsätze für die Lieferung und Prüfung von Tafelpreßspan, in DVE 483 für Rollenpreßspan aufgestellt. Diese Leitsätze unterscheiden zwei Sorten, Preßspan mit dem spezifischen Gewicht von etwa 1,25, gelb oder grau, ferner Edelpreßspan, spezifisches Gewicht etwa 1,35 schwarzgrau. Der Preßspan kann zweiseitig oder einseitig geglättet oder ungeglättet, das ist matt, geliefert werden. Die üblichen Tafelgrößen liegen zwischen  $600 \times 800$  mm bei Dicken von 0,15 bzw. 0,20–5 mm und  $1000 \times 2000$  mm bei Dicken von 1–5 mm. Der Feuchtigkeitsgehalt des „lufttrockenen“ Preßspans darf 8% nicht übersteigen. Für die Zugfestigkeit und die Falzzahl sind Mindestwerte vorgeschrieben, die für Preßspan zwischen 0,20 und 1,0 mm Dicke längs 1,8 kg/qmm, quer 0,9 kg/qmm und für die stärkeren Tafeln 1,7 und 0,8 bzw. 1,3 und 0,6 kg/qmm liegen. Falzzahlen: für 0,2 mm 1400 längs und 700 quer, für 1 mm 7000 längs und 3500 quer. Für Edelpreßspan sind die entsprechenden Werte höher: Zugfestigkeit zwischen 2,3/1,2 kg/qmm und 1,7/0,8 kg/qmm, Falzzahlen bis zu 10000/5000. Ebenso sind die Mindestwerte für die Durchschlagsfestigkeit aufgestellt. Für die Maße und Toleranzen von Tafelpreßspan gilt das Normblatt DIN-VDE 600. Die entsprechenden englischen Vorschriften BERA 231 sehen 4 Sorten vor.

**Lackpappe und Holzstoff.** Aus saugfähigen Papieren und Pappen, die mit verschiedenen Bindemitteln wie Leim, Stärke u. ä. zusammengeklebt werden, lassen sich Gegenstände aller Art durch Ziehen und Pressen formen, die mit einem Lacküberzug versehen und meist im

Ofen getrocknet werden. Solche Gegenstände aus Lackpappe wurden vor allem in Japan in vorzüglicher Ausführung hergestellt. Die Festigkeit und der hohe Glanz von außerordentlicher Widerstandsfähigkeit beruhen unter anderem auf der Güte der verwendeten Lacksorten, Japanlack und Holzöllack. Für die Elektroindustrie wird Lackpappe aus saugfähigen, möglichst holzfreien Pappen mit trocknenden Ölen getränkt und mit Isolierlack überzogen, die Teile werden dann im Ofen sorgfältig getrocknet und gehärtet. Für die Prüfung von Elektrolackpappe sind Leitsätze vom Verband Deutscher Elektrotechniker in VDE 457 aufgestellt.

Aus Holzschliffbrei lassen sich auch große und hohe Stücke wie Eimer, Waschgefäße u. ä. dadurch herstellen, daß der Brei über einem siebartigen Kern angesaugt, verdichtet und gepreßt wird. Nach diesem Verfahren werden von Gebr. Adt in Wächtersbach die bekannten gelbbraunen Holzstoffgefäße hergestellt. Das Preßstück wird getrocknet, geglättet, getränkt, wiederum getrocknet und schließlich lackiert. Holzstoffgefäße sind leicht, fest und wegen ihrer glatten Oberfläche gut zu reinigen. Die Fabrikation erfordert große Erfahrungen.

**Papiermaché** hat vor einigen Jahrzehnten viel Aufsehen und übertriebene Erwartungen erregt. Die Erfinder dachten, daß sich vom Eisenbahnrad bis zum Baustein, von der Zwirnrolle bis zum Wassereimer alles aus diesem Stoff herstellen läßt. Heute wird die aus Papierabfällen bereitete Masse nur noch in beschränktem Umfang gebraucht, z. B. zur Herstellung von Spielzeug oder von Verpackungen. Zerkleinerte Papierabfälle werden in Wasser aufgeweicht und zermahlen, dem als Bindemittel Leim oder Stärke und als Füllmittel Ton, Gips, Schwerspat, Kreide u. a. beigelegt wird. Als Farben dienen Erdfarben. Die Masse wird in Formen verpreßt, getrocknet und lackiert. Auch gießbare Massen ähnlicher Zusammensetzung lassen sich herstellen.

#### b) Pergament und Vulkanfiber.

In den bisher besprochenen, Zellulose enthaltenden Stoffen, ist diese in unveränderter oder in wenig veränderter Form vorhanden. Der stärkste Eingriff in den Aufbau der Zellulose hat beim Bleichen und Mahlen stattgefunden. Von viel stärkerer Wirkung sind die Angriffe der Säuren, denen die Zellulose bei der Herstellung von Pergamentpapier und Vulkanfiber ausgesetzt wird.

Echtes vegetabilisches Pergamentpapier wird durch Eintauchen von saugfähigem Papier in konzentrierte Schwefelsäure von 78° Bé während einiger Sekunden erhalten. Hauptsächlich werden Baumwollpapiere verwendet. Die Schwefelsäure quillt und löst die Fasern an der Oberfläche zu einer Gallert, mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche nimmt die Schleimbildung ab. Die Fasern im Innern des Blattes bleiben bestehen und werden so verdichtet, daß die Festigkeit



des Papierees durch das Pergamentieren erheblich zunimmt. Voraussetzung hierfür ist aber, daß die Wirkung der Säure durch gehöriges Auswaschen richtig beschränkt wird. Die Verwandlung der Oberfläche des Faserfilzes in eine strukturlose, hornartige Masse verleiht dem Pergamentpapier außer der größeren Festigkeit auch die Fähigkeit, dem Eindringen von Fett und Flüssigkeiten zu widerstehen.

Durch einen ähnlichen Quellungs- und Lösungsvorgang entsteht Vulkanfiber. Vulkanfiber, Fiber oder Leatheroid ist ein sehr zäher und fester, aber biegsamer Stoff, der früher hauptsächlich aus Amerika bezogen wurde. Die amerikanischen Fiberplatten zeichnen sich durch ihre vorzüglichen mechanischen Eigenschaften aus. Ähnliche Stoffe werden aber heute auch in Europa hergestellt.

Der Ausgangsstoff für Fiber ist meist Baumwoll- oder Leinen-Hadernzellstoff. Holzschliff, Jute und andere verholzte Anteile verschlechtern die Biegsamkeit und Festigkeit. Aus dem Hadernzellstoff wird ein saugfähiges, 0,1—0,25 mm dickes Papier hergestellt, das der Einwirkung von Zinkchlorid ausgesetzt wird. Dadurch wird der Faserfilz aufgelöst und in eine einheitliche, strukturlose Masse verwandelt. Das behandelte Papier wird auf eine große geheizte Trommel gewickelt und bis zur nötigen Dicke aufeinandergeschichtet. Dann wird der Papierzylinder aufgeschnitten und zu einer Platte gestreckt, die weich und leicht verletzbar ist und deshalb mit großer Vorsicht weiter behandelt werden muß. Sollen Rollen hergestellt werden, so werden die Papierlagen auf passende Dorne gewickelt. Die weichen Tafeln oder Rohre wandern nun durch eine Reihe von etwa 40° warmen Chlorzinkbädern mit abnehmender Konzentration, denen sich die Waschbäder mit reinem Wasser anschließen. In den Säurebädern soll die Pergamentierung der Fasern zu Ende geführt werden, bis alle Fasern verwandelt sind, in den Waschbädern soll alle Säure soweit nur irgend möglich vertrieben werden. Um dieses Ziel mit einiger Sicherheit zu erreichen, ist eine sehr lange Behandlungszeit nötig, eine Platte von 1,6 mm Dicke braucht etwa 2 Wochen, eine solche von 25 mm Dicke etwa 12 Monate. Nach dem Waschen folgt das Trocknen, ebenfalls ein lange dauernder Vorgang, der von einer Schrumpfung von etwa 10% begleitet ist. Dann werden die Platten auf hydraulischen Etagenpressen unter hohem Druck nachgepreßt und in einem Raum mit 65% Luftfeuchtigkeit gelagert. Schließlich werden die Tafeln auf schweren Walzwerken geglättet. Stäbe werden meist aus Platten geschnitten und nachgedreht, so daß der Zusammenhang in der Längsrichtung zerstört ist. Deshalb ist es vorteilhafter, falls möglich, Rohre an Stelle der Stäbe zu verwenden. Die dünnen Fibersorten, wie Leatheroid, werden in ununterbrochenem Verfahren hergestellt, indem das Papierband ganz langsam die Säure- und Waschbäder, danach die Trocken-, Preß- und Glättvorrichtungen durchläuft.

In einer guten Fiber sollte etwa ein Gehalt von 90% in dextrinartige Stoffe verwandelte Zellulose, 8–10% Feuchtigkeit und ein kleiner Anteil unlöslicher Salze vorhanden sein. Die Naturfarbe ist ein mittleres Grau. Schwarze Fiber wird meist aus schwarzen Hadern gewonnen, rote Fiber durch Zugabe von Farbstoffen; letztere erhöhen das spezifische Gewicht und verschlechtern die mechanischen und isolierenden Eigenschaften. Weiße Fiber entsteht durch Bleichung. Die unangenehmste Eigenschaft der Fiber ist ihre Neigung, gierig Feuchtigkeit aufzunehmen, die wahrscheinlich von Spuren des nicht vollständig vertriebenen Zinkchlorids herrührt. Je nach der Dicke und der Form des Stückes kann Fiber von 10 bis zu 75% Wasser aufnehmen, wenn es bei 20° etwa 24 Stunden in Wasser gelegt wird. Fiber sollte daher nicht an feuchten Stellen gebraucht werden, namentlich nicht als Isolierstoff der Elektrotechnik, da eine vollkommene Tränkung des pergamentierten Stoffes als Feuchtigkeitsschutz nicht möglich ist. Fiber wirft sich und schwillt bei der Wasseraufnahme in der Dicke 25–35%. Beim Erwärmen in der Luft oder in Öl schrumpft es. Gute Fiber soll beim Erwärmen in Mineralöl von 110° sich nicht werfen, aufblättern oder Blasen bilden. Das spezifische Gewicht beträgt 1,2–1,4. Fiber ist hart, zähe, dicht und doch biegsam. Die Biegefestigkeit längs (Maschinenrichtung) liegt gewöhnlich zwischen 580 und 970 kg/qcm, quer dazu zwischen 310 und 730 kg/qcm. Widerstand gegen Abscheren 500–870 kg/qcm, Druckfestigkeit senkrecht zur Schicht 1700 bis 2100 kg/qcm, Brinellhärte 10–15. Fiber enthält oft metallische Einschlüsse, die aus den für den Zellstoff verwendeten Lumpen herrühren. Fiber, das für Isolationszwecke dienen soll, ist deshalb zweckmäßig auf solche Einschlüsse unter Hochspannung zu prüfen. Die Isolierfähigkeit von Fiber ist nur mäßig, sie ist deshalb als Isolierstoff von untergeordneter Bedeutung. Infolge der Feuchtaufnahme wird der Isolationswiderstand erheblich vermindert. Aus Fiber hergestellte Teile, die isolieren sollen, müssen deshalb sorgfältig lackiert werden. Die Leitsätze des Verbandes Deutscher Elektrotechniker für die Bewertung und Prüfung von Fiber als Isolierstoff, VDE 460, sagen deshalb: „Die Verwendung ist auf solche Fälle zu beschränken, wo Fiber wegen ihrer günstigen mechanischen Eigenschaften nicht durch andere Isolierstoffe zu ersetzen ist. Im allgemeinen ist sie jedoch (als Isolierstoff) ungeeignet.“ Die englischen Normen für Fiber sind in der BERA Nr. 216 enthalten. Fiber kann bei Temperaturen bis zu 105° verwendet werden. Bei höheren Temperaturen schmilzt und erweicht es nicht, es verkohlt. Gute Fiber läßt sich ausgezeichnet bearbeiten, hierin liegt einer ihrer größten Vorzüge, und zwar ähnlich wie Holz; sie läßt sich z. B. drehen, bohren, sägen, hobeln und fräsen. Nach Erwärmen in warmen Wasser läßt sich Fiber auch in Preßwerkzeugen unter Druck bis zu einem gewissen Grade formen<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nach H. Warren: Electrical Insulating Materials p: 319. London: Ernest Benn Ltd. 1931.

Fiber wird außer als Baustoff in der Elektrotechnik für viele andere Zwecke verwendet, z. B. für Kofferplatten, Laufrollen für bewegliche Apparate, Handräder an Ventilen usw.

### 3. Kunststoffe aus Zelluloselösungen.

#### a) Übersicht.

Die Auflockerung und Lösung der Zellulose gelingt durch chemische und strukturelle Veränderungen der Zellulosemizelle. Alle Zelluloselösungen sind kolloid; sie erhöhen schon in geringer Konzentration die Viskosität des Lösungsmittels sehr beträchtlich. Aus Zelluloselösungen lassen sich Fäden, Filme und feste Körper herstellen, die sich durch große Festigkeit auszeichnen und entweder durchsichtig oder so hellfarbig sind, daß sie sich auch in allen leuchtenden, hellen Farben färben lassen.

Die Industrie der Fäden aus Zelluloselösungen ist die Kunstseidenindustrie, die in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung durchgemacht hat und heute zu den bedeutendsten Industriezweigen gehört. Filme aus Zelluloselösungen sind die dünnen, durchsichtigen Häute, die als Bildträger in der Photo- und Kinoindustrie, aber auch als Hülpapiere für alle möglichen Waren dienen. Feste Körper aus den gleichen Grundstoffen gehören zu den älteren plastischen Massen, das Zelluloid hat eine mehr als 60jährige Entwicklung hinter sich.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Hauptarten der Zelluloselösungen und die aus ihnen hergestellten Kunststoffe.

Tabelle 12.

| Art der Zelluloselösung                                                   | Fäden<br>Kunstseide und<br>Kunstwolle | Filme<br>Photo-<br>und Kino-<br>Bildträger | (Lacke)<br>Hüll-<br>papiere | Feste<br>Körper    |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Zellulosenitrate<br>niedrig nitriert, in Äther-<br>alkohol leicht löslich | Nitroseide<br>Chardonnetside          | Kollo-<br>dium                             |                             | Zelluloid          |
| höher nitriert, in Äther-<br>alkohol unlöslich                            |                                       |                                            | (Schießbaumwolle)           | Trolit             |
| Zelluloseazetate . . . . .                                                | Azetatseide                           | Cellit-<br>filme                           | Cellon                      | Lonarit-<br>Trolit |
| Viskose . . . . .                                                         | Glanzstoff<br>Agfa-, Travisseide      |                                            | Cellophan                   | Monit (?)          |
| Kupferoxydammoniak .                                                      | Kupferseide<br>J. P. Bemberg          |                                            |                             |                    |

Als Ausgangsstoff für die Lösungen dient möglichst reine Zellulose, entweder gereinigte Baumwolle und Linters oder Sulfitzellstoff in Form

von feinstem Krepppapier. Vor der chemischen Behandlung wird mit der Zellulose meist eine Merzerisation vorgenommen. Das Merzerisieren erfolgt durch vorübergehendes Tränken mit konzentrierter Natronlauge von etwa 30° Bé bei 10–15° und anschließendes Neutralisieren. Dabei quellen die Fasern, ihre Struktur lockert sich und die Fasern werden kürzer. Werden Baumwollgarne oder Gewebe während oder sofort nach dem Merzerisieren einem mechanischen Zug unterworfen, so erhalten sie schönen Glanz.

**Das Fadenspinnen.** Die Lösung wird nach entsprechender Vorbereitung durch sehr feine Öffnungen ausgespritzt, so daß sich ein endloser Faden formt. Damit der Faden nicht abreißt und sich stetig fortsetzt, muß die Lösung eine gewisse Zähflüssigkeit haben. Der Faden läßt sich aber nur dann gleichmäßig fortspinnen, strecken und färben, wenn die Viskosität der Lösung gleichbleibt und diese sorgfältig filtriert ist. Nachdem sich aus der Lösung beim Durchfließen der Spinn­düse der Faden gebildet hat, muß er schon beim Ausziehen möglichst schnell koagulieren und soviel Festigkeit erreichen, daß er sich weiterführen und aufwickeln läßt. Dies geschieht durch Verdunsten des Lösungsmittels beim Trockenspinnen oder durch Entziehen eines lösenden Anteils, besonders von Lösungsmittelgemischen, im Fällbad des Naßspinnens. Der Faserquerschnitt der verschiedenen Kunstseidenarten ist sehr verschieden. Kupferseide, auch Viskoseseide kann der feinfädigen und völligen Naturseide sehr nahekommen, während andere Arten einen zackigen, unregelmäßig begrenzten größeren Querschnitt aufweisen. Wollartige Fasern enthalten einen Hohlraum im Innern. Die aus Glas, Porzellan oder Metall hergestellten Spinn­düsen enthalten meist mehrere Öffnungen. Die Einzelfasern werden am Ende des Spinnvorgangs zu dem eigentlichen Kunstseidefaden zusammengedreht, verdreht. Damit sich nicht einzelne der feinen Düsenöffnungen verstopfen, wird die Spinnlösung mehrfach filtriert. Um eine gleichmäßige Fadenstärke zu erhalten, wird jeder Düse die Lösung durch eine besondere kleine Pumpe zugeführt. Hierzu dienen kleine, feine Zahnrad- oder Kolbenpumpen. Zur Aufnahme der Fäden werden Haspeln, Spulen oder Spinntöpfe, Zentrifugen gebraucht. Da die Austrittsgeschwindigkeit des Fadens immer kleiner gewählt wird als die Abzugsgeschwindigkeit der aufnehmenden Spule, Haspel od. ä., so tritt hierdurch bereits ein Strecken des Fadens ein. Besondere Streckspinnverfahren beruhen darauf, daß der Faden mit verhältnismäßig großem Durchmesser die Düse verläßt und durch starkes Strecken der sehr langsam koagulierenden Lösung sehr fein ausgezogen wird.

#### b) Zellulosenitrate.

Kunstseide aus Zellulosenitrat kann nach dem Trocken- oder Naßspinnverfahren hergestellt werden. Der erste Hersteller von Kunstseide

aus Zellulosenitrat war H. de Chardonnet, der sein erstes französisches Patent im Jahre 1884 nahm. Für das von ihm angewendete Trockenspinnverfahren wird die sorgfältig gereinigte Zellulose in einer Nitriersäure behandelt, die aus 19% Wasser, 17% Salpetersäure und 64% Schwefelsäure besteht. Die Nitriersäure für das Naßspinnverfahren nach Lehner enthält 15% Wasser, 37% Salpetersäure und 48% Schwefelsäure. In der Säure bleibt die Zellulose 1—1½ Stunden bei 40°. Dann läßt man die Säure ablaufen, schleudert das Nitriergut in Aluminiumzentrifugen ab und wäscht die säurefeuchte Nitrozellulose mit kaltem und danach mit heißem Wasser. Dann wird der Stoff im Schneidholzländer zerschnitten, bei 100° mit Wasser behandelt und trocken geschleudert. Die fertige Nitrozellulose enthält noch etwa 30% Wasser, das in besonderen Behältern durch Alkohol verdrängt werden kann. Dann wird die Nitrozellulose in einem Gemisch von Äther und Alkohol gelöst und diese Kollodiumlösung ist nach dem Filtrieren für die Verarbeitung fertig.

Nitrozellulose ist, besonders in trockenem Zustand, äußerst leicht entzündlich, deshalb müssen die Fäden der Nitrozelluloseseide denitriert werden. Dies geschieht in 5%igen Lösungen von Natriumsulfat. Hierbei tritt durch die Entfernung der Nitrogruppen ein Gewichtsverlust bis zu 30% ein, zugleich auch eine erhebliche Verminderung der Festigkeit. Die Nitroseite besteht nach dem Denitrieren hauptsächlich aus Hydratzellulose.

Filme aus Zellulosenitrat werden aus filtrierten Lösungen ähnlicher Art hergestellt, wie sie zur Kunstseideherstellung benutzt werden. Die Gießlösung enthält außer dem Zellulosenitrat ein leichtflüchtiges und ein schwer- oder nichtflüchtiges Lösungsmittel. Als ersteres dient z. B. eine Mischung von Alkohol und Äther, als letzteres Kampfer. Die Lösung wird in dünner Schicht auf einen sich langsam drehenden Zylinder gegossen, dessen Umfang mit vernickeltem Stahl- oder Kupferblech bespannt ist. Das Kollodium wird durch eine einstellbare Gießvorrichtung über die Breite des Zylinders verteilt. Über den Film streicht warme Luft, um die flüchtigen Lösungsmittel zu vertreiben. Der Film wird über verschiedene Heizwalzen geführt, um ihn vollkommen zu trocknen. Ein solcher Film dient als durchsichtige Unterlage zur Aufnahme der lichtempfindlichen Bromsilber-Gelatineemulsion für photographische Zwecke.

**Schießbaumwolle.** Schießbaumwolle<sup>1</sup> wurde gleichzeitig von Schönbein und Böttger im Jahre 1845 entdeckt. Sie entsteht durch Behandlung möglichst reiner, durch Kochen in einer Sodalösung von Fett und anderen Beimengungen und Verunreinigungen befreiter Baumwolle mit einer Mischung von Salpetersäure und konzentrierter Schwefelsäure.

<sup>1</sup> Siehe H. B. Stocks: Zelluloid von Böckmann, Engl. Ausgabe 1921, 2. Aufl., S. 21.

Die Säuren sollen so konzentriert und so rein wie möglich sein. Nach der Nitrierung müssen aus der Schießbaumwolle auch Säurespuren durch wiederholtes und gründliches Waschen entfernt werden, um zu verhindern, daß allmählicher Zerfall, unter gewissen Bedingungen aber auch allzuleicht die Explosion eintritt. Zwischen der unbehandelten und der mit dem Säuregemisch behandelten Baumwolle oder dem unbehandelten und behandelten Papier besteht äußerlich kein Unterschied. Die behandelten Stoffe sind nur etwas heller und fühlen sich härter an als die unbehandelten. Durch Schlag oder Druck läßt sich Schießbaumwolle zur Explosion bringen, die sich aber auf den unmittelbar getroffenen Teil beschränkt, während die umgebenden Teile fortgeschleudert werden. Bei allmählicher Erwärmung beginnt bei 60° der Zerfall unter Ausstoßen von Säuredämpfen, aber im allgemeinen findet unter 130° keine Explosion statt. Bei schneller Erwärmung detoniert Schießbaumwolle bei 150—180°; wenn sie auf erwärmten Metallblechen getrocknet wird, kann schon bei 70—100°, ja selbst bei 25—30° eine Explosion vorkommen. Wahrscheinlich ist dies auf Spuren von zurückgebliebener Säure zurückzuführen. Bei den heute angewendeten gründlichen Reinigungsverfahren sind solche Explosionen sehr selten. Feuchte Schießbaumwolle ist viel ungefährlicher als trockene. Sie läßt sich durch brennende, trockene und gepreßte Schießbaumwolle leicht entzünden. Schießbaumwolle ist unlöslich in Wasser, Äther, Alkohol, Chloroform und Essigsäure, aber löslich in Azeton und Methylalkohol. Sie ist ferner löslich in einer Mischung von trocknenden Ölen und Kampfer bei etwa 150° und bildet eine plastische Masse, das Xylonite, einen dem Zelluloid ähnlichen Stoff. Schießbaumwolle dient auch zur Herstellung des Zelluloids.

Als nach dem Weltkrieg große Mengen von Schießbaumwolle vernichtet werden sollten<sup>1</sup>, wurde entdeckt, daß man diesem Stoff seine gefährlichen Eigenschaften durch Einmischen von ungebranntem Gips nehmen kann, D.R.P. 396051, Leysieffer. So entstand die Preß- und Spritzmasse Trolit F, die ähnlich verarbeitet und verwendet wird wie die aus Zelluloseazetat bestehende plastische Masse Trolit W. Trolit F gehört zu den typisierten Isolierstoffen, die Mindestwerte für ihre Eigenschaften sind in der Zusammenstellung auf S. 265 enthalten (Type N).

#### c) Zelluloid.

Im Jahre 1865 stellte der Engländer Parkes aus Birmingham eine hornähnliche, biegsame Masse her, die er Parkesine nannte und die er zur Nachahmung von Schildpatt und Elfenbein benutzte. Diese Masse bestand aus Schießbaumwolle, die in Methylalkohol gelöst und der fette Öle wie Rizinusöl beigelegt waren. Parkesine war der Vorläufer des

<sup>1</sup> Röhrs: Plastische Massen in der Technik. Z. VDI 1932 Nr. 51 S. 1238.

Zelluloid. Einer der Mitarbeiter von Parkes erfand 1867 eine dem Zelluloid sehr ähnliche Masse, die er Xylonite nannte. Die englische Xylonite-Gesellschaft wurde von ihm 1877 gegründet. Der amerikanische Buchdrucker John W. Hyatt nahm mit seinem Bruder Smith die Arbeiten Parkes' wieder auf und stellte Mischungen von Nitrozellulose und Kampfer mit einem höheren Gehalt an letzterem her, indem er die Pflanzenöle fortließ. Sie nahmen 1869 und 1870 die grundlegenden Patente, auf denen auch heute noch die Herstellung von Zelluloid beruht. 1872 gründeten sie die erste Zelluloidfabrik in Newark, die spätere Celluloid Co. Zelluloid erhielt von ihnen seinen Namen nach dem Hauptbestandteil, der Zellulose. Zelluloid besteht aus einer festen Lösung des Zellulosenitrats in Kampfer.

Kampfer, japanischer oder Formosakampfer wird aus der Rinde und dem Holz, in geringerem Maße auch aus den Blättern und Blüten eines großen Baumes der Gattung Laurinea, *Laurus Camphora* gewonnen, der in China und Japan ganze Waldungen bildet und am besten in einem milden, feuchten Klima gedeiht. Die Gewinnung geht sehr primitiv vor sich, indem der Stamm und die Äste des Baumes zerkleinert und mit Wasser in eisernen Pfannen gekocht wird. Über die Pfannen werden Tontöpfe gestellt, die mit Reisstroh oder trockenen Zweigen gefüllt sind und auf denen sich der Kampfer und die ätherischen Öle niederschlagen, die mit dem Dampf beim Kochen entweichen. Auf dem Stroh oder den Zweigen bildet sich eine graue, körnige Masse von Kampfer, die viel Kampferöl enthält. Diese wird so gut wie möglich von Zweigen und Stroh getrennt und nachdem das Öl abgetropft ist, als Rohkampfer auf den Markt gebracht. Je nach seiner Herkunft werden zwei Sorten unterschieden, der japanische oder holländische Rohkampfer in zylindrischen Stücken von 50–80 kg, in Strohmatten verpackt. Die zweite Sorte ist der chinesische Rohkampfer, der über Kanton und Bombay von Formosa kommt und in mit Blei ausgeschlagenen Kisten mit einem Inhalt von 25–80 kg versandt wird. Der größte Teil des Rohkampfers wird erst in dem Verarbeitungsland von dem Öl durch Sublimation befreit. Er wird in Europa meist nach Beigabe einer kleinen Menge von Kalk, Eisenfeilspänen oder Asche in breite, niedrige, weithalsige Glasflaschen mit flachem Boden gefüllt, von denen eine größere Zahl auf einem Sandbad zuerst auf 120°, und nachdem alle Feuchtigkeit vertrieben ist, auf 190–200° erhitzt werden. Dabei sammelt sich der Kampfer als dichte zusammenhängende kristallinische Masse im Flaschenhals, der zerbrochen wird, um den raffinierten Kampfer entfernen zu können. Der Kampfer hat jetzt die Form eines konkav-konvexen Kuchens mit einem Loch in der Mitte, das der Flaschenöffnung entspricht. Amerikanischer Kampfer ist dichter und weniger flüchtig, da er nach der Sublimation meist unter hohem Druck zusammengepreßt wird. Reiner Kampfer schmilzt bei 175° und siedet bei 204°, er ver-

flüchtig sich aber schon bei Zimmertemperatur. Er löst sich in konzentrierter Essigsäure, ist aber in Wasser fast unlöslich, 1 Teil in 1000 Teilen Wasser. Bei 12° ist das spezifische Gewicht 0,995, aber bei 6° und darunter ist es gleich dem des Wassers. Reiner Kampfer vollführt auf der Wasseroberfläche spontane Bewegungen. Er läßt sich nur nach Anfeuchten mit Alkohol oder anderen Lösungsmitteln fein mahlen, besitzt einen charakteristischen Geruch und einen aromatischen, ziemlich bitteren Geschmack. Er ist leicht entflammbar und brennt mit stark rußender Flamme. Kampfer vermindert die Neigung zu explodieren bei Nitroglycerin und Schießbaumwolle. Wenn Kampfer dem Kollodium zugesetzt wird, kann dieses nicht mehr explodieren. Ebenso wirkt Kampfer im Zelluloid.

Synthetischer Kampfer wird z. B. aus Terpentinöl durch Einwirkung von Oxalsäure hergestellt.

**Die Herstellung des Zelluloids** beruht darauf, daß sich Schießbaumwolle oder Kollodium unter gewissen Bedingungen in Kampfer lösen lassen, und zwar entweder wenn das Zellulosenitrat unter Druck mit Kampfer erwärmt wird oder wenn es bei gewöhnlicher Temperatur mit einer Lösung von Kampfer in Alkohol zusammengebracht wird. Die Herstellung von Zelluloid ist, ebenso wie die der Zellulosenitrate, nicht ungefährlich, aber solange die Zellulosenitrate in nassem Zustand verarbeitet werden, ist kaum eine Explosionsgefahr vorhanden. Auch verschwindet die Explosionsgefahr durch den Zutritt von Kampfer. Für die Herstellung und Lagerung von Zelluloid bestehen besondere gesetzliche Vorschriften, die von K. Stiller zusammengestellt sind<sup>1</sup>.

Das Zellulosenitrat für die Zelluloidherstellung wird meist aus Papier in Nitrierzentrifugen hergestellt und zwar mit einem Stickstoffgehalt von etwa 11%. Das gebleichte und gewaschene Zellulosenitrat wird gemahlen und in einer Knetmaschine (S. 29) mit Kampfer und Alkohol gemischt, wobei der Alkohol als Lösungsmittel des Kampfers dient. Ist der Knetter zum Arbeiten im Vakuum eingerichtet, so kann das Lösungsmittel leicht wiedergewonnen werden. Die zähe aus dem Knetter entnommene Masse wird auf einem erwärmten Walzwerk weiter durchgearbeitet und mit Farben vermischt, auch werden auf dem Walzwerk die verschieden gefärbten Massen zur Erzeugung von wolkigen und anderen Färbungen in Art des Schildpatts vermischt. Die von der Walze kommenden Tafeln werden beschnitten, aufeinandergelegt und auf schweren Pressen heiß zusammengepreßt. Der Zelluloidblock wird unter Druck abgekühlt. Auf der Schneidmaschine wird er in Blätter gleichmäßiger Dicke zerlegt, die von 0,03–30 mm messen können. Diese Blätter, die noch bis zu 15% Alkohol enthalten, werden getrocknet,

<sup>1</sup> Stiller, K.: Vorschriften für die Verarbeitung von Zellhorn. Berlin: C. Heymann 1933.



wodurch sie sich verziehen und deshalb unter der Presse warm nachgerichtet werden müssen. Oberflächenglanz wird durch Zwischenlegen von polierten Blechen erzeugt. Bänder, Rohre, Stäbe oder andere Profile lassen sich dadurch herstellen, daß die vorgewalzte und erwärmte Masse durch entsprechende Düsen gepreßt wird. Auch diese Profile müssen getrocknet und nachgerichtet werden.

Aus Zelluloidblöcken können durch spanabhebende Werkzeuge fertige Stücke hergestellt werden. Da Zelluloid aber schon durch Eintauchen in heißes Wasser bildsam wird, so lassen sich namentlich die dünnen Blätter durch Anwendung von geringem Druck in jede gewünschte Form bringen. Hohlkörper, z. B. Tierfiguren und Puppen werden dadurch in geschlossenen Werkzeugen geformt, daß die in die Form eingelegten dünnen Zelluloidblätter durch Dampfdruck gegen die Formwand gepreßt werden.

Das Zellulosenitrat ist nicht molekular in Kampfer gelöst, sondern es handelt sich um eine kolloide feste Lösung. Eine chemische Verbindung liegt wahrscheinlich nicht vor, hierauf weist das Verhalten des Zelluloids bei unvollkommener Verbrennung hin. Wird ein Stück Zelluloid entzündet und die Flamme schnell wieder ausgeblasen, so glüht es kurze Zeit und es entweichen starke Kampferdämpfe. Scheinbar unterhält nur das Kollodium die Verbrennung, während der Kampfer nur soweit erhitzt wird, bis er sich verflüchtigt, aber nicht entzündet. Zelluloid besitzt stets einen Kampfergeruch, besonders wenn es gerieben wird. Von Wasser, verdünnten Säuren und Laugen wird es nicht angegriffen; starke Säuren und Laugen lösen es leicht, besonders in der Wärme. Die Werte der Eigenschaften eines guten Zelluloids sind auf S. 94 zusammen mit denen von Zellon angeführt.

Ungefärbtes reines Zelluloid ist glasklar, sehr elastisch, in der Kälte wenig, bei mäßiger Wärme leicht biegsam. Bei 80—90° ist es plastisch, bei 125° verliert es seine Durchsichtigkeit. Von 140° an beginnt die Zersetzung, es entweichen nitrose Dämpfe. Es entzündet sich leicht an glühenden Körpern oder an offener Flamme, unter Umständen auch durch strahlende Wärme. Die Verbrennung schreitet schnell fort, wenn auch meist ohne Explosion. Explosionen können entstehen, wenn Zelluloidstaub entzündet wird oder wenn entzündetes Zelluloid unter hohem Druck eingeschlossen ist. Zelluloidbrände sind sehr gefährlich, die Menge der bei der Verbrennung entstehenden Gase ist sehr beträchtlich. Das Anwendungsgebiet des Zelluloids ist sehr groß. Genannt seien nur: Kämme, Knöpfe, Bürstenrücken, Puppen, Bälle, Behälter und Verschlüsse aller Art.

#### d) Zelluloseazetat.

Zellulosenitrat ist sehr fest und unempfindlich gegen Wasser und Feuchtigkeit, es ist aber feuergefährlich und explosiv. Auf der Suche

nach anderen Zelluloseestern, die diese unangenehme Eigenschaften nicht besitzen, wurde zuerst von Eichengrün und seinen Mitarbeitern Becker und Guntrum<sup>1</sup>, gleichzeitig mit dem Amerikaner G. Neiles, Boston, im Jahre 1901 nach dem grundlegenden Patent 159524 der Elberfelder Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co. ein hochwertiges Zelluloseazetat hergestellt. Unveränderte Zellulose, z. B. Baumwolle oder Linters, wurde durch Essigsäureanhydrid in Gegenwart von Eisessig als Lösungsmittel und von Schwefelsäure als Katalysator bei 10–15° in einheitliches Zelluloseazetat überführt. Dieser von den Erfindern als Triazetat bezeichnete Stoff ließ sich nur in teils giftigen, teils ätzenden und teuren Mitteln lösen. Im Jahre 1905 gelang es ihnen durch Einwirkung von verdünnter Salz- oder Salpetersäure auf das Triazetat ein in Azeton lösliches Zelluloseazetat zu erhalten, das unter dem Namen Cellit-Bayer bis zum Kriege das einzige im großen zu den verschiedensten Zwecken verwendbare Azetat war. Die erste größere Menge von Azetatkunstseide wurde 1907 in der Kunstseidenfabrik Jülich hergestellt. Cellitfilme erwiesen sich als geeigneter Ersatz für die Zellulosenitratfilme in der Photo- und Kinotechnik, die zwar nicht in Deutschland, aber in Frankreich durch Pathé Frères in Paris und durch Eastman Kodak in Amerika in größtem Maßstab hergestellt wurden. Im Jahre 1909 fand Eichengrün die Löslichkeit der Zellulosehydroazetate in einem heißen Gemisch von Alkohol und Benzol, die zum Zellon, dem schwer entflammaren Ersatz des Zelluloids führte, dessen Herstellung im großen später von der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff-A.G. in Troisdorf aufgenommen wurde (D.R.P. 254385)<sup>2</sup>. Die Herstellungsverfahren wurden zuerst bei der Société Industrielle de Celluloid in Paris ausgearbeitet. Diese brachte das Cellon unter dem Namen Sicoid in den Handel, und zwar mit großem Erfolg, weil der Verkauf von Zelluloid in den Pariser Warenhäusern zugunsten des Sicoids verboten wurde. Dieses Verbot gilt noch heute. Im Kriege wurden sehr große Mengen von Cellonlacken für die Lackierung der Tragflächen von Flugzeugen von Freund und Feind gebraucht. Die ausgedehnten Anlagen für Erzeugung von Zelluloseazetat in Frankreich, England und Amerika sollten nach dem Kriege, als die Lackherstellung keine lohnende Beschäftigung mehr bot, anders ausgenutzt werden. Die Möglichkeit hierzu fand sich in der Herstellung von Azetatkunstseide, die von den Brüdern Dreyfuß in ihrer englischen Gesellschaft, die später in die British Celanese Co umgewandelt wurde, durchgeführt werden konnte. Für die Verwertung der Azetatseide schaffte aber erst die Erfindung von Färbeverfahren durch René Clavel aus Basel 1920 die richtige Grundlage.

<sup>1</sup> Siehe A. Eichengrün: Chem.-Ztg. 1927 S. 25. — H. Stadlinger: 1929 S. 77.

<sup>2</sup> Jetzt Dynamit-Actien-Gesellschaft vormals Alfred Nobel & Co.

**Herstellung von Zelluloseazetat<sup>1</sup>.** Aus Baumwolle, Linters oder bestem Zellstoff, die vorher eine Merzerisation durchgemacht haben können, wird in einem Gemisch von Essigsäureanhydrid und Eisessig unter Zusatz von einer geringen Menge konzentrierter Schwefelsäure als Katalysator das Zelluloseazetat hergestellt. Essigsäure entsteht bei der Holzdestillation oder synthetisch aus Azetylen. Eisessig ist die 100%ige kristallisierte Essigsäure, die aus verdünnter Essigsäure entsteht. Der Eisessig dient zur Abschwächung der sehr lebhaften Reaktion bei der Azetylierung, die unter Kühlung bei einer Temperatur von nicht mehr als 30° in 4–5 Stunden vor sich geht. Das gebildete Triazetat wird durch Eingießen des Azetylierungsgemisches in einen großen Überschuß von Wasser gefällt, darauf ausgewaschen, zentrifugiert und getrocknet. Wird statt der Schwefelsäure Chlorzink als Katalysator verwendet, so verläuft die Reaktion milder und langsamer, der Aufbau der Zellulose wird mehr geschont. Um das Triazetat azetonlöslich zu machen, muß ein Teil der Essigsäure wieder abgespalten, verseift werden, z. B. durch schwache Säuren oder saure Salze. Das Azetylieren und Verseifen geschieht in Knet- und Mischmaschinen, die mit einer den chemischen Einflüssen widerstehenden Bronze ausgekleidet sind. Das Zelluloseazetat fällt in farblosen, gequollenen Flocken aus, die allmählich erhärten.

Die Wiedergewinnung der Essigsäure ist wegen ihres hohen Preises für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens von großer Wichtigkeit.

**Kunstseide.** Zelluloseazetatseide kann ebenso wie Zellulosenitratseide trocken oder naß versponnen werden. Vor allen anderen Kunstseideverfahren hat das Azetatverfahren den Vorteil, daß, besonders beim Trockenspinnen, die aufgespulten Fäden nur noch zu zwirnen und zu haspeln sind, um fertig zu sein. Der Vorteil dieser erheblichen Vereinfachung des Verfahrens wird abgeschwächt durch die Schwierigkeiten bei der Herstellung eines Zelluloseazetats, das einen gleichmäßig guten Faden liefert. Ein weiterer Nachteil liegt in der geringen chemischen Beständigkeit des Zelluloseazetats, das beim Erhitzen mit Seifenwasser verseift und beim Bügeln zersetzt werden kann. Die Beständigkeit soll z. B. durch Beschweren mit Zinnsalzen sich verbessern lassen. Azetatkunstseide zeichnet sich durch das schöne seidenartige Aussehen und den seidigen Griff aus.

**Cellon<sup>2</sup>.** Zelluloseazetat wird in der Knet- und Mischmaschine in einem etwa 60° warmen Gemisch von Alkohol und Benzol gelöst, der ein anderes Lösungsmittel z. B. Tetrachloräthan und ein Gelatinierungs-

<sup>1</sup> Siehe Kolloidchem. Technologie. Faust: Kunstseide S. 185. — Clément-Rivière: Übersetzung von Bratring, S. 55.

<sup>2</sup> Siehe Plastische Massen, Dez. 1932 S. 224. Dr. R. Röhm: Cellon, seine Eigenschaften und seine Verarbeitung, und Eichengrün: Chem.-Ztg. 1927, S. 25. Clément-Rivière-Bratring, S. 110. Die Bezeichnung Cellon ist der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff A.-G. geschützt.

mittel wie Triazetin zugefügt ist. Die teigige Masse wird nach dem Durchkneten auf der Knetmaschine in eine hydraulische Siebpresse gebracht und filtriert, um alle störenden Unreinigkeiten zurückzuhalten. Dann wird die Masse auf dem geheizten Walzwerk einige Stunden lang durchgearbeitet, wobei Farben zugesetzt werden können, und zu Blättern von etwa 5 mm Dicke ausgewalzt. Diese Blätter werden übereinander geschichtet und auf starken hydraulischen Pressen unter Druck und Hitze zu Blöcken verschweißt. Die Blöcke werden zuerst unter der Presse, dann durch Eintauchen in Wasser vorsichtig und gleichmäßig abgekühlt und auf einer Schneidmaschine in Tafeln oder Stäbe zerschnitten. Um endlose Bänder als Cellon herzustellen, werden die Cellonfelle von dem Walzwerk kommend auf Dorne gewickelt und in Walzenformen auf der Presse zusammengedrückt. Von dem rohrförmigen Block werden die Bänder durch Schälmaschinen abgeschält. Derartige endlose Bänder können noch nicht mit hochglänzender Oberfläche versehen werden. Die geschnittenen Cellontafeln oder Profile enthalten noch 10–15% Lösungsmittel, die durch längeres Trocknen entfernt werden. Dann erfolgt das Geraderichten der Stücke gleichzeitig mit der Oberflächenbehandlung auf hydraulischen Etagenpressen. Zwischen die Platten gelegte vernickelte, mattierte oder anders behandelte Bleche lassen auf den Cellontafeln die entsprechende Art der Oberfläche entstehen. Das fertige Cellon unterscheidet sich äußerlich nicht von Zelluloid. Es kann wie dieses wasserklar, aber auch in allen Musterungen und Farben hergestellt und nach den gleichen Verfahren wie Zelluloid weiter verarbeitet werden. Cellon ist fast geruchfrei, nicht entflammbar und schwer brennbar. Es ist wasserdicht und widerstandsfähig gegen Öle, Fette, Alkohol, Petroleum und Benzin. Nach Angaben der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff A.-G., Troisdorf, ist Cellon glasklar oder gefärbt in Platten von  $600 \times 1400$  mm und in Dicken von 0,125 mm an lieferbar. Dünne Platten lassen sich mit Messer oder Schere schneiden; Cellon läßt sich sägen, fräsen, drehen, polieren, biegen und formen. Die Platten lassen sich mit Cellonlack oder Azeton aufkleben oder auch nageln und nähen.

Die Durchschnittswerte der mechanischen und elektrisch isolierenden Eigenschaften eines normalen, unbeschwerten Cellons, dem zum Vergleich die Werte eines normalen Zelluloid beigefügt sind, hat das Laboratorium der Dynamit A.-G., Troisdorf, gemäß Tabelle 13 angegeben<sup>1</sup>.

Das glasklare Cellon eignet sich als Ersatz für Glas im Fahrzeugbau, da es nicht splittert, biegsam und schwer entflammbar ist. Es kann für aufrollbare Fenster an Verdecken von Automobilen, Booten, Zelten, ferner für Schutzbrillen, Kartentaschen und ähnliche Zwecke Verwendung finden. Die Scheiben der großen Gondel des Luftschiffes „Graf Zeppelin“ bestehen z. B. aus Cellon. Ein großes Anwendungsfeld bietet die

<sup>1</sup> Plastische Massen, Dez. 1932 S. 225.

Tabelle 13.

|                                                                           | Cellon         | Zelluloid    |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Spezifisches Gewicht . . . . .                                            | 1,3            | 1,38         |
| Zugfestigkeit (20°) <sup>1</sup> . . . . . kg/qcm                         | etwa 500       | 600—700      |
| Dehnung . . . . .                                                         | 25—40 %        | 30—50 %      |
| Falzzahl . . . . .                                                        | 2—7            | 3—8          |
| Biegefestigkeit <sup>1</sup>                                              |                |              |
| Normalstab 10 × 15 × 120 mm, kg/qcm                                       | etwa 550       | 600          |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . . cmkg/qcm                                  | 100—200        | 100—200      |
| Kugeldruckhärte nach Brinell kg/qcm                                       |                |              |
| nach 10 Sekunden . . . . .                                                | 500—600        | 600—700      |
| nach 60 Sekunden . . . . .                                                | 450—500        | 540—640      |
| Wärmebeständigkeit nach Martens . . °                                     | etwa 35        | 40           |
| Ausdehnungskoeffizient <sup>2</sup> . . . . .                             | 0,00011130     | 0,00010095   |
| Feuchtigkeitsaufnahme 24 Stunden im<br>Wasser (0,5 × 50 × 100 mm) . . . % | etwa 3,0       | etwa 1,25    |
| Riß <sup>3</sup> . . . . .                                                | bis—0° gut     | bis —15° gut |
| Brechungsindex <sup>4</sup> . . . . .                                     | 1,47—1,50      | 1,50         |
| Oberflächenwiderstand MΩ                                                  |                |              |
| 1. ohne Vorbehandlung . . . . .                                           | 150 000        | 175 000      |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 2 000          | 17 500       |
| 2. 3 Tage bei 80° getrocknet . . . .                                      | unendlich      | unendlich    |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 7 000          | 200 000      |
| Innerer Widerstand MΩ                                                     |                |              |
| 1. ohne Vorbehandlung . . . . .                                           | 850 000        | 23 500       |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 4 000          | 2 000        |
| 2. 3 Tage bei 80° getrocknet . . . .                                      | etwa 3 000 000 | 155 000      |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 30 000         | 55 000       |
| Verlustwinkel tg δ                                                        |                |              |
| 1. abgelagert . . . . .                                                   | 0,045          | 0,025        |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 0,117          | 0,05         |
| 2. 3 Tage bei 80° getrocknet . . . .                                      | 0,02           | sehr klein   |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 0,03           | 0,005        |
| Dielektrizitätskonstante                                                  |                |              |
| 1. ohne Vorbehandlung . . . . .                                           | 6,85           | 5,9          |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 9,0            | 6,7          |
| 2. 3 Tage bei 80° getrocknet . . . .                                      | 2,0            | 2,0          |
| 4 Tage über Wasser . . . . .                                              | 3,5            | 2,7          |
| Durchschlagsfestigkeit (20°)                                              |                |              |
| Transparent 1 mm . . . . . V                                              | 30 000         | 30 000       |

<sup>1</sup> Zerreißfestigkeit und Biegefestigkeit steigen mit Härte je nach Ansatz, jedoch läßt damit die Elastizität nach.

<sup>2</sup> Zwischen 0° und 100° relativ gegen Kupfer.

<sup>3</sup> Ein gutes Material muß bei 0° einen glatten Riß ohne seitliche Verästelungen ergeben. Für diese Prüfung werden Tafeln 20 × 30 cm, 0,5 mm dick, etwa 1 cm eingeschnitten und in einer Maschine auseinandergerissen. (Praktische Prüfung auf Sprödigkeit bei niedrigen Temperaturen.)

<sup>4</sup> Der Brechungsindex ist von den Gelatinierungsmitteln abhängig.

Beleuchtungsindustrie: Für Lampenschirme, Reklamebuchstaben, Innenbeleuchtungen, Scheinwerfer- und Signalscheiben, Nebelblenden, Schau-  
gläser läßt es sich vorteilhaft verwenden.

**Lonarit, Zelluloseazetatpreß- und Spritzmasse.** Zur Formung von festen Körpern verschiedenster Art aus Zelluloseazetat hat A. Eichengrün in Gemeinschaft mit Ing. R. Herrmann eine Preßmasse ausgearbeitet, die zuerst von der Lonarit-Gesellschaft m. b. H. unter der Bezeichnung Lonarit, heute von der Dynamit A.-G. vormals Alfred Nobel & Co., Troisdorf, unter dem Namen Trolit W, H usw. hergestellt wird. Diese plastische Masse eignet sich besonders zur Verarbeitung durch Spritzen (D.R.P. 393873, 395083, 395084). Die Formung durch das Spritzverfahren geht unter Umständen schneller als durch Pressen vor

sich. Die erwärmte Masse wird durch eine Düse in die fest anschließende, kalte Form gepreßt. Dadurch erstarrt das geformte Stück schnell und kann nach kurzer Zeit der Form entnommen werden<sup>1</sup>. Die Oberfläche des geformten Stückes schreckt durch die schnelle Kühlung ab und wird dicht und blank, so daß das Stück fast ohne andere Nacharbeit, als das Entfernen der Einspritzstelle und etwaigen Grates gebrauchsfertig ist. Aus den weichen Trolitsorten lassen sich durch Spritzen sehr dünnwandige und feingliedrige Teile herstellen, wie Spulenkörper, Spulenhalter und Sternspulen (Abb. 45 und 46<sup>1</sup>). Eine Veränderung oder Härtung der Masse tritt bei der Verarbeitung nicht ein, deshalb sind Abfälle und Fehlstücke wieder zu verwenden.

Trolitspritzpulver wird in verschiedenen Härtegraden ohne und mit Füllmitteln hergestellt. Das spezifische Gewicht der ungefüllten Sorten ist 1,4—1,6, das der gefüllten 1,8—1,9. Die weichste ungefüllte Sorte

<sup>1</sup> Pabst, Dr. F.: Der Spritzguß organischer Massen in der Elektrotechnik. Elektrotechn. Z. 1931 Heft 38 S. 1189.

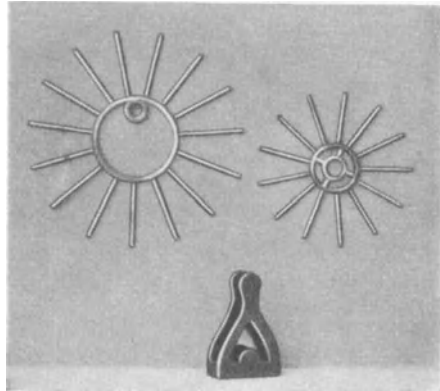


Abb. 45. Sternspulen und Spulenhalter aus Trolit, etwa  $\frac{1}{3}$  natürlicher Größe.

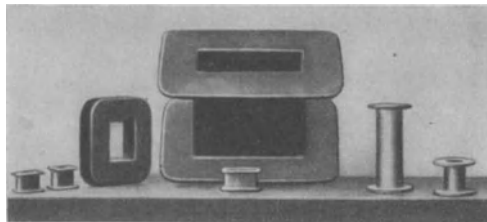


Abb. 46. Spulenkörper aus Trolit, etwa  $\frac{1}{3}$  natürlicher Größe.

Trolit W supra ist außer schwarz auch weiß oder in anderen leuchtenden Farben und durchscheinend herstellbar, die anderen Sorten nur in schwarzer Farbe. Die gefüllten Sorten haben eine höhere Wärmebeständigkeit. Die Wärmebeständigkeit der ungefüllten Sorten ist mäßig, deshalb findet Trolit als Isolierstoff hauptsächlich in der Schwachstromindustrie, z. B. im Telephonbau Verwendung. Trolit W gehört zu den Isolierstoffen der Elektrotechnik, die typisiert sind [s. S. 265 (Type A)]. Die garantierten Mindestwerte der wichtigsten Eigenschaften sind dort angegeben.

Die Wasseraufnahme eines Stabes  $10 \times 15 \times 120$  mm aus Trolit W, der 24 Stunden im Wasser lag, beträgt 0,84%.

|                                                    |                |
|----------------------------------------------------|----------------|
| Zugfestigkeit . . . . .                            | 260 kg/qcm     |
| Dielektrizitätskonstante bei 800 Hz . $\epsilon$ = | 6,1/6,9        |
| Verlustwinkel $\text{tg } \delta$ . . . . .        | = 0,028/0,041  |
| bei 750000 Hz . . . . . $\epsilon$ =               | 5,2/5,7        |
| $\text{tg } \delta$ . . . . .                      | = 0,048/0,052. |

Die Zahlen an erster Stelle gelten für Proben ohne Vorbehandlung, die an zweiter Stelle für Proben, die 4 Tage einer Luftfeuchtigkeit von 80% ausgesetzt waren. Die Schlagbiegefestigkeit dieser plastischen Masse ist sehr groß, sie wird nur von Hartpapier und Hartgewebe übertroffen.

Trolit aus Zelluloseazetat ist auch in Stäben und Röhren verschiedener Profile und in Platten lieferbar. Die Profile werden in ähnlicher Weise hergestellt, wie die Messingprofile beim Strangpreßverfahren.

Trolit läßt sich ähnlich bearbeiten wie Hartgummi und Galalith. Mit scharfen und harten Werkzeugen läßt es sich sägen, drehen und bohren. Mit Azeton läßt es sich kitten und kleben.

Trolit wird nicht nur in der Elektrotechnik als Isolierstoff, sondern auch in der Optik, für Messerwaren, als Möbelbeschlag, für Schreib-, Spiel- und Schmuckwaren und für viele ähnliche Zwecke verwendet.

#### e) Viskose.

Die Engländer Cross und Bevan machten im Jahre 1892 die Entdeckung, daß durch Einwirkung von Schwefelkohlenstoff auf Alkalizellulose sich das Natriumsalz der Natriumzellulosexanthogensäure bildet. Dessen wäßrige Lösung nannten sie ihrer schleimig-zähflüssigen Beschaffenheit wegen Viskose.

Sulfitzellstoff wird zerrissen, in Tauchgefäßen oder in Pappenform unter der Tauchpresse durch Natronlauge merzerisiert und die abgepreßte Alkalizellulose in Knetern, deren Trogmitte und Knetarme mit Zähnen ausgerüstet sind, zu einer feinen, flockigen Masse zerfasert. Um schädliche Temperaturerhöhungen zu vermeiden, sind die Zerfaserer mit Kühlung versehen. Die zerfaserte Alkalizellulose kommt zur Reifung auf einige Tage in einen Raum mit einer Temperatur von  $20^{\circ}$ . Die Reife macht die Masse gleichmäßiger und setzt ihre Zähflüssigkeit herab. Nach der Reifung folgt die Behandlung der Alkalizellulose mit Schwefel-

kohlenstoff, der durch Druckluft aus einem Sammelgefäß in das Meßgefäß gefördert wird und von dort durch natürliches Gefälle in die vorher mit der gereiften Alkalizellulose gefüllte und vom Luftsauerstoff evakuierte Sulfidiertrommel gelangt. Während des Sulfidierens färbt sich die vorher weiße Alkalizellulose allmählich gelbbraun. Der Vorgang dauert 2—4 Stunden und gilt als beendet, wenn die Masse eine Orangefarbe angenommen hat. Das so entstandene Xanthogenat kommt, um die eigentliche Viskose herzustellen, auf mehrere Stunden in Rührwerke, die mit verdünnter Natronlauge gefüllt sind und als Vorlösekessel dienen. Die dicke Viskoseflüssigkeit wird dann unter Zwischenschaltung eines Zerreibers in den Nachlösekessel gepumpt. In dem Xanthatkneter von Werner & Pfleiderer kann der Sulfidier- und Lösevorgang unter Vakuum in nur einer Apparatur vor sich gehen. Die Viskose wird durch eine Filterpresse filtriert und zur Nachreifung in Kessel gepumpt.

**Kunstseide.** Da das Viskoseverfahren bis jetzt das billigste ist, wird der weitaus größte Teil der Kunstseide heute nach diesem Prozeß hergestellt. Die gereifte und wiederholt filtrierte Viskoselösung wird abschließend im Naßspinnverfahren zu Fäden versponnen. Als Spinnbad dienen meist schwefelsaure Flüssigkeiten, z. B. Schwefelsäure und saure Ammoniaksalze. Für die Herstellung von Spinnbädern gibt es eine große Zahl von Patenten. Die konzentrierten Salzbäder bewirken, daß beim Austritt der Spinnflüssigkeit aus der Düse zunächst die Oberfläche des austretenden Strahles als schlauchartiges Gebilde mit einer semipermeablen Wand koaguliert. Die Osmose entzieht dem noch nicht koagulierten Inneren des Fadens das Wasser, der Faden schrumpft und erhält einen mehr oder weniger stark gezackten Querschnitt. Die Viskoseseide bedarf der Nachbehandlung durch Waschen mit Wasser, um die Reste des Spinnbades zu beseitigen, und der Entschwefelung, um den sehr fein verteilten Schwefel zu entfernen, der aus den Verunreinigungen beim Zersetzen entsteht und der Seide ein mattes Aussehen verleiht. Als Entschwefelungsbäder dienen 70—90° warme 0,5%ige Lösungen von Schwefelnatrium. Die etwa nötige Bleiche erfolgt in Natriumhypochloritlösungen. Zuletzt gibt man der Seide meist ein Seifenbad und trocknet bei nicht zu hoher Temperatur.

**Filme.** Aus Viskose werden außer Kunstseide und Kunstfäden auch künstliche Roßhaare und endlose dünne Bändchen von einigen Millimetern Breite hergestellt.

Filme lassen sich auf der Gießmaschine ähnlich wie aus Zellulosenitrat bilden, indem die Viskose aus einem etwa 1,5 m langen Schlitz auf eine im Fällbade sich drehende spiegelglatt polierte Walze tritt, dort ausgefällt und dann in einem ununterbrochenen Arbeitsgang gewaschen, entschwefelt und getrocknet wird. Da diese Filme, ebenso wie die Viskosekunstseide, bis zu einem gewissen Grade wasserempfindlich sind, lassen sie sich für photographische Zwecke nicht verwenden. Die



Transparentfolien dienen aber als Hüllpapiere für Verpackungen aller Art, sie lassen sich wirkungsvoll bedrucken. Cellophan ist eine aus Viskose bestehende Transparentfolie. Aus der Viskose in Blattform können durch Ziehen Flaschenkapseln und nahtlose Schläuche gebildet werden.

#### f) Kupferoxydammoniakverfahren.

**Lösung.** Das Verfahren beruht auf der schon im Jahre 1857 von Schweizer beobachteten Löslichkeit von Zellulose in Kupferoxydammoniak (Schweizers Reagens).

Ausgangsstoff kann Baumwolle, Linters oder Zellstoff in Form von feinstem Krepppapier sein. Natronlauge fällt aus wäßriger Kupfersulfatlösung unter Eiskühlung Kupferhydroxyd aus, das im Holländer nach Zufügen von Kupfersulfat und Ätznatron gemischt wird. Der wäßrige Brei wird unter hohem Druck entwässert, die gepreßte Masse zerkleinert und in einem Rührwerk mit konzentriertem, wäßrigen Ammoniak und mit Zusätzen zur Erhöhung der Haltbarkeit einige Stunden lang verrührt.

**Kunstseide.** Durch das Streckspinnverfahren lassen sich aus der Lösung Fäden von großer Feinheit im Naßspinnprozeß erzielen, die der Naturseide auch im Aussehen sehr nahe kommen.

## II. Naturharze<sup>1</sup>.

### 1. Einteilung und Kennzahlen.

Kunststoffe mit Naturharzen als Bindemittel waren die ersten plastischen Massen, die in großen Mengen als Isolierkörper für die Elektrotechnik hergestellt wurden und die auch heute noch, trotz des Wettbewerbs der Kunstharze, eine wichtige Rolle spielen. Ein anderer Kunststoff mit ähnlichem Bindemittel ist die Masse, aus der Schallplatten bestehen.

Die Harze haben schon im Altertum eine bedeutende Rolle in der Heilkunde und im Kultus gespielt, wo sie zum Räuchern und Einbalsamieren Verwendung fanden.

Der Begriff Harz ist nicht chemisch oder physikalisch eindeutig zu definieren. Unter Harzen werden die Ausscheidungen von Pflanzen verstanden, die unlöslich in Wasser, ziemlich leicht löslich in Alkohol, Äther oder Schwefelkohlenstoff sind, in der Wärme erweichen und schließlich bis zu einem gewissen Grade schmelzen. Sie verbrennen mit stark rußender Flamme, reagieren nicht leicht mit anderen Stoffen und verderben nicht. Die alkoholische Lösung von Harzen trocknet als durchscheinende Lackschicht auf.

<sup>1</sup> Siehe Dr. H. Wolff, Berlin: Die natürlichen Harze. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1928.

Die Meinung, daß die Harze sämtlich amorphe Körper sind, ist nicht zutreffend. Nicht die Eigenschaften, sondern die Herkunft ist den Harzen gemeinsam. Harze sind Ausscheidungen von Pflanzen, nicht Abscheidungen des inneren Stoffwechsels. Die Ausscheidungen können im normalen Stoffwechsel oder bei Verwundung der Pflanze erfolgen. Wahrscheinlich ist das Harz ein Abfallprodukt im Haushalt der Pflanzen, das abgeschieden werden muß, um der Pflanze nicht schädlich zu werden.

Harze können auftreten als Balsame oder flüssige Harze, z. B. die Terpentine der Koniferen mit hohem Gehalt an ätherischen Ölen, als harte Harze mit geringem Gehalt an ätherischen Ölen, z. B. die Kopale und Dammarharze, schließlich als Gummiharze oder Pflanzengummi, z. B. das Gummi arabicum. Der Ausdruck Gummi für Kautschuk beruht auf dem Irrtum, daß Kautschuk eine Pflanzenausscheidung sei. Dieser besteht aber aus dem Milchsafte verschiedener Pflanzen. Die Milchsäfte sind zwar den Harzen verwandt, aber durch ihre Beschaffenheit und ihr Aussehen doch deutlich von den Harzen zu unterscheiden.

Die rezenten Harze, z. B. die Terpentine und manche Kopale, werden von lebenden Pflanzen gewonnen, die fossilen Harze stammen von Pflanzen, die schon vor langer Zeit zugrunde gegangen sind, wie z. B. Bernstein oder Kongokopale.

Das Harz ist gewöhnlich in besonderen Behältern der Pflanzen enthalten, die manchmal Taschen, meist aber Gänge zwischen den Zellen des Pflanzengewebes bilden. Diese Gänge sind verzweigt und stehen untereinander in Verbindung, so daß aus einer einzigen Wunde verhältnismäßig große Harzmengen austreten können. Die Harze treten nur selten auf die Oberfläche der Pflanzen, ohne daß diese verwundet ist. Meist werden die Harze durch Anzapfen oder Anschneiden gewonnen, wobei die ausgeschiedene Menge, die Harzträne, zunächst nur gering ist.

Die Harze werden je nach den Pflanzenfamilien eingeteilt, aus denen sie stammen. In der Industrie der plastischen Massen werden hauptsächlich folgende Harze verwendet:

#### Aus der Familie

|                |                               |                                |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| (Gymnospermae) | Abietineae, Tannen            | Terpentin, Kolophonium         |
|                | Araucariaceae, Araukarien     | Kaurikopal, Manilakopal        |
| Monocotylae    | Liliaceae                     | Akaroidharze                   |
| Dicotylae      | Moraceae                      | (Kautschukharze)               |
|                | Leguminosae, Caesalpinioideae | Kopale außer Kauri und Manila. |

Schellack ist zwar auch ein Naturharz, ist aber nicht eine Ausscheidung von Pflanzen, sondern von Tieren.

Zu den Eigenschaften der Harze, die für ihre Verwendung zur Herstellung von Kunststoffen wichtig sind, gehören außer ihrer Reinheit, Gleichmäßigkeit und Härte ihre Wärmebeständigkeit, Löslichkeit und Klebfähigkeit.

Unter Reinheit ist hier nicht die Eigenschaft chemisch rein zu verstehen, denn die Naturharze sind chemisch nicht einfach zu definieren. Sie enthalten Verbindungen von hohem Molekulargewicht, wie Harzalkohol oder Resinole, indifferente Stoffe unbekannter Zusammensetzung, Harzsäuren und ätherische Öle. Die Harze bestehen ausschließlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, also aus den Elementen der Kohlehydrate. Unter Reinheit ist hier das Freisein von Fremdkörpern und Beimengungen wie Holz- und Rindestückchen, Sand, Textilfasern u. ä. verstanden.

Die Kennzahlen des Chemikers für Harze sind die Säurezahl, Verseifungszahl und Esterzahl. Diese Zahlen sind aus der Fettuntersuchung übernommen, bei denen sie im großen und ganzen bestimmten chemischen Verbindungen entsprechen. Dies ist aber bei den Harzen in viel geringerem Maße der Fall.

Wichtig ist das Verhalten der Harze beim Einschmelzen. Die Harze sind keine einheitlichen Substanzen mit einem scharf bestimmten Schmelzpunkt; Teile der Harze schmelzen früher als andere, manche Teile schmelzen überhaupt nicht, sondern erweichen und treiben auf. Deshalb wird nicht der Schmelzpunkt, sondern der Erweichungspunkt beobachtet. W. Nagel<sup>1</sup> hat eine Methode ähnlich der von Krämer-Sarnow (s. S. 283) ausgearbeitet. Das Glasröhrchen von 5 mm lichter Weite verjüngt sich 10 mm vom Ende an auf 3 mm. Das Harz wird nicht eingeschmolzen, wegen der dabei meist eintretenden Zersetzung, sondern fein gepulvert und mit einem Holzstäbchen in das Röhrchen eingestampft. Die Harzmenge soll das Rohr auf 10 mm vom Ende ausfüllen, wozu 0,12–0,15 g genügen. Auf das Pulver kommen wie bei Krämer-

Sarnow 5 g Quecksilber; die Temperatur, bei der dieses durch das Harz bricht, gilt als Erweichungspunkt. Einige so ermittelte Zahlen sind in Tabelle 14 angegeben.

Auf fossile Harze läßt sich diese Methode nicht anwenden. Um Vergleichszahlen für diese zu gewinnen, gebraucht Verfasser eine Methode, die der Martensprobe ähnelt. Dabei müssen die beim Einschmelzen auftretenden Veränderungen in Kauf genommen werden, was um so leichter zulässig ist, als bei der Verarbeitung des Harzes im Mischer die Temperatur auch so weit gesteigert werden muß, bis das Harz möglichst gut erweicht ist. Nach dieser Methode lassen sich die Unterschiede für den

Tabelle 14.

| Bezeichnung                           | Erweichungs-<br>punkte<br>Durch-<br>schnittswerte<br>° C |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Akaroides gelb . . . . .              | 100—105                                                  |
| Akaroides rot . . . . .               | 128—133                                                  |
| Kolophonium,<br>amerik. W. W. . . . . | 85— 90                                                   |
| Schellack TN . . . . .                | 80— 85                                                   |
| Schellack Rubin I . . . .             | 82— 90                                                   |
| + 10% Harz . . . . .                  | 77— 83                                                   |
| Stocklack . . . . .                   | 81— 86                                                   |

<sup>1</sup> Nagel, W.: Wiss. Veröff. Siemens-Konz. Bd. 4 Heft 2.

Beginn der Erweichung feststellen, der bei niedrigerer Temperatur eintritt, als der Durchbruch des Quecksilbers bei der Methode nach Krämer-Sarnow. Für Kongokopale ergeben sich so Temperaturen von 120–135° C.

Um die Eignung des Harzes zur Herstellung von Preßmassen festzustellen, bleibt bisher nichts übrig als der Mischungsversuch, Anfertigung von Probekörpern und deren Prüfung.

Die Angaben über die Löslichkeit der Harze weichen aus zwei Gründen vielfach voneinander ab. Zwei Harze gleicher Art und Beschaffenheit können in ihren physikalischen und chemischen Kennzahlen beträchtlich verschieden sein. Ist es doch meist nicht einmal möglich mit Sicherheit den Fundort und die Bäume festzustellen, von denen das Harz stammt, namentlich wenn es sich um tropische Pflanzen handelt. Die Unterschiede werden hervorgerufen durch Standort und Alter des Baumes, Jahreszeit der Gewinnung, Behandlung beim Einsammeln und manche andere Umstände, die sich nicht sicher ermitteln lassen. Der zweite Grund liegt in der Natur der Harze, die keine chemisch einheitlichen Körper, sondern Gemische verschiedener Bestandteile sind. Einige dieser Bestandteile sind in den Lösungsmitteln selbst unlöslich, werden aber gelöst durch die Lösung des löslichen Harzanteils im Lösungsmittel. Da es sich bei den Harzen fast stets um Körper im kolloiden Zustand handelt, so genügt oft eine geringe Menge eines löslichen Harzanteils, um die Dispersion des an sich nicht löslichen Teiles zu bewirken.

Wenn man zunächst in wenig Lösungsmittel löst und dann verdünnt, erscheint die Löslichkeit anders als wenn man gleich das Harz mit der ganzen Menge des Lösungsmittels übergießt. Auch kann es einen Unterschied machen, ob das Harz fein gepulvert oder grobstückig ist, wobei nicht immer das erstere sich besser löst als das letztere.

In der Tabelle 18 sind die Löslichkeiten ermittelt bei kaltem Lösen an nicht zu kleinen Stücken oder sehr grobem Pulver mit mindestens der 10fachen Menge Lösungsmittel.

## 2. Terpentine.

Terpentine sind die Balsame verschiedener Abietineen oder Tannenarten, deren Hauptmenge in Nordamerika und in Europa in Frankreich, Spanien und Portugal gewonnen wird. Die Stammpflanzen sind in Amerika: *Abies balsamea*, *Pinus strobus*, *Pinus resinosa*, *Pinus toeda* (White-Pine-Fichte), in Europa: *Pinus maritima*, auch *Picea excelsa*, *Abies pectinata* und *Pinus silvestris*.

Der Balsam entsteht in der Rinde und im Holzkörper aus dem Zellinhalt, namentlich aus der Stärke, zum Teil auch aus der Zellwand. Die natürliche Balsamausscheidung wird durch Anschneiden oder Heraus-schälen der Rinde vermehrt. Unterhalb der Verletzungen werden die

Behälter zum Auffangen angebracht. Unterschieden werden gewöhnliche und feine Terpentine, letztere von Lärchen und Weißtannen. Die Terpentine bestehen aus Harz und Mengen von Terpentinöl, die zwischen 10 und 35% liegen können; der Anteil des Öles wird auch durch die Art der Harzung verändert.

Tabelle 15. Kennzahlen der Terpentine.

|                              | Säurezahl |                 | Verseifungszahl |                 | Esterzahl |                 |
|------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|
|                              | Grenzen   | häufigste Werte | Grenzen         | häufigste Werte | Grenzen   | häufigste Werte |
| Gewöhnliche Terpentine . . . | 108—145   | 110—125         | 105—180         | 115—130         | 2—60      | 5—20            |
| Lärchen-terpentine . . .     | 65—100    | 65—75           | 85—130          | 110—130         | 0—55      | 35—55           |

**Kolophonium** gilt als Prototyp der Harze, ist aber eigentlich kein Harz, sondern ein aus Harz hergestellter Stoff. Kolophonium wird aus Terpentininen hergestellt, denen zunächst durch Destillation mit Wasserdampf das ätherische Öl, das Terpent inöl, entzogen wird. Der kristallinische Rückstand wird dann solange geschmolzen, bis er amorph wird.

Tabelle 16.

| Jährliche Erzeugung in 1000 t von | Terpent inöl | Kolophonium |
|-----------------------------------|--------------|-------------|
| Amerika etwa . .                  | 98           | 350—420     |
| Frankreich etwa .                 | 20           | 70—85       |
| Spanien etwa . .                  | 4,2          | 13—14       |
| Portugal . . . .                  |              | 10          |

Die Handelsmarken des Kolophoniums sind in den Vereinigten Staaten gesetzlich geregelt. Die hellsten Typen gelten als beste.

Bezeichnungen von amerikanischem Harz: WW = Water White, WG = Window Glas, dann N, M, K, J.

Bezeichnung von französischem Harz: hellste Type AAAAA, AAAA, AAA, AA, AB, WW und WG.

## Kennzahlen des Kolophoniums.

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Säurezahl . . . . .       | 140—185 |
| Verseifungszahl . . . . . | 145—195 |
| Esterzahl . . . . .       | 5—95    |

Schmelzpunkt zwischen 90 und 100° C.

Beginn der Erweichung bei 80° C.

Das spezifische Gewicht schwankt und liegt meist bei 1,07—1,09. Der Bruch ist großmuschelrig.

Der größte Teil des Kolophoniums wird in Form seines Kalksalzes oder als Ester zu Öllacken verarbeitet, ein Teil zur Herstellung von öllöslichen Kunstharzen, den Albertolen. Die Verwendung des gehärteten Kolophoniums, des Kalksalzes, hat zugenommen seit Anwendung des

Holzöls in der Lackfabrikation, da das Holzöl die Wasserempfindlichkeit des gehärteten Kolophoniums wesentlich vermindert. Kolophonium wird ferner in der Linoleumindustrie und in der Papierfabrikation verwendet.

### 3. Kaurikopal.

Kaurikopal wird von großen Araukariéen gewonnen. Die Stammpflanze ist die Kaurifichte, *Dammara australis*, ein mächtiger in Neuseeland heimischer Baum, der eine Höhe von 50 m und einen Umfang von 12—15 m erreichen kann. Der Baum ist sehr harzreich, Zweige und Äste starren von weißlichen Harztropfen, die sich allmählich ablösen und sich am Fuße der Bäume zu großen Klumpen vereinigen. Kauri kommt als fossiler oder vielmehr halbfossiler gegrabener Kopal, dessen Gewinnung recht mühsam ist, nach Auckland, wo er geschabt wird. Zur Gewinnung des rezenten Kaurikopals werden die hohen Bäume bis zu einem starken Ast erklommen, die Äste setzen meist erst in einer Höhe von 20 m an.

Der ungeschabte Kaurikopal aller Sorten hat eine dicke Verwitterungskruste. Der geschabte Kauri zeigt oft gestreifte oder wolkige Stellen. Die Farbe ist hellgelb bis mäßig braun, der Bruch muschelig und fettglänzend. Beim Reiben ist ein ziemlich starker, balsamischer Geruch wahrnehmbar. Schmutz und Pflanzenteile sind oft reichlich vorhanden.

Kennzahlen.

Säurezahl . . . 50—115, meist 65—75

Verseifungszahl . 77—120, meist 75—85.

**Manilakopal**, weich oder völlig spritlöslich, stammt nach Wiesner<sup>1</sup> von *Dammara orientalis* = *Agathis alba* von den Philippinen und Sunda-inseln. Das am Fuß der Bäume zu Klumpen vereinigte Harz wird vielfach durch die Flüsse fortgeführt und an die Ufer als felsartige Masse angeschwemmt. Daher stammt wohl der malaiische Name „Dammar batu“, der Harzstein bedeutet. Dieser ist nicht das im Handel als Dammar bezeichnete Harz, sondern Manilakopal. Harter, heller Manilakopal ist gelbweiß bis gelbrot, flach oder knollenförmig, trübe und undurchsichtig. Der Bruch ist flach muschelig, teils glänzend, teils matt. Die Stücke sind oft mit einer Erdschicht bedeckt und enthalten Pflanzen und andere Einschlüsse. Der weiche Manilakopal ist rezent, der harte fossil.

**Akaroidharz** stammt von den in Australien und Tasmanien wachsenden Liliaceen der Gattung *Xanthoroea*, aus denen es freiwillig in großen Mengen austritt und entweder in 2—4 cm dicker Schicht von der Rinde abgelöst oder am Fuß der Bäume als große Klumpen gesammelt wird. Das rote Akaroidharz wird von *Xanthoroea australis*, das gelbe von *Xanthoroea hastilis* gewonnen. Das rote Harz kommt

<sup>1</sup> Wiesner: Rohstoffe des Pflanzenreiches, 1914 S. 349.

in unregelmäßigen Stücken bis zu Faustgröße vor, die größeren Stücke sind an der Seite, die dem Stamm zugewendet war, meist flacher als an der entgegengesetzten, die höckerig und uneben ist. Die Bruchflächen sind unregelmäßig muscheliger. Auch scheinbar völlig verharzte Stücke enthalten manchmal noch Gewebereste. Das Harz hat keinen deutlichen Schmelzpunkt, es zersetzt sich beim Erhitzen unter Ausstoßen von stark riechenden Dämpfen. Rotes Akaroidharz ist in Alkohol vollkommen löslich.

#### Kennzahlen.

|             |                     |                       |
|-------------|---------------------|-----------------------|
| Rotes Harz  | Säurezahl . . . .   | 60—100, meist um 75   |
|             | Verseifungszahl . . | 160—200, meist um 170 |
|             | Esterzahl . . . .   | 75—125, meist um 100. |
| Gelbes Harz | Säurezahl . . . .   | 125—140               |
|             | Verseifungszahl . . | 200—220               |
|             | Esterzahl . . . .   | 70—90.                |

### 4. Kongokopale.

Der Name Kopal vom altindianischen Wort Copalli = Harz ist eine Sammelbezeichnung für viele sehr verschiedene Harze. Kauri- und Manilakopal wurden bereits besprochen. Die Stammpflanze des an der westafrikanischen Küste am Kongo gefundenen Kopals ist wahrscheinlich *Copaifera Demensii* Harms oder *Copaifera Guibourtiana*. Die Angola- und Benguelakopale sind den eigentlichen Kongokopalen sehr ähnlich. Das massenhafte Vorkommen von Kopalen in den jüngeren Erdschichten und ihre vielfach rollsteinartige Form lassen darauf schließen, daß das Harz von Bäumen stammt, die nicht an der Küste, sondern im Innern des Landes gewachsen sind, und daß es durch Flüsse an die Küste gebracht wurde. Die eigentlichen Kongokopale sind meist fossile Harze, die am Südufer des Kongo in einer Tiefe von einigen Zentimetern bis zu einem Meter in den Wäldern gefunden werden. Die Kopale sind meist mit einer dicken Verwitterungsschicht bedeckt, sie werden durch Schaben mit Messern oder durch Waschen mit Soda gereinigt. Dabei werden die Stücke in warme Sodalösung gelegt und häufig umgeschauelt, dann wird die Lauge abgelassen und mit Wasser nachgespült. Die Stücke sind teils rund, teils oval, 2—8 cm groß, von hellgelber bis bräunlicher Farbe, teils klar, teils milchig; sie werden nach Größe, Form, Farbe und Durchsichtigkeit sortiert, z. B. als groß, mittelstückig, Bohnen, Zungen, Staub, ferner als weiß, gelb, rot oder hell, weiß, mittelfarben, dunkel oder als glasig, milchig usw. Vielfach ist eine schwache Verwitterungsschicht noch zu erkennen. Der Bruch ist muscheliger und glasglänzend.

Das Ausschmelzen der Kopale in der Lackindustrie, um sie in Leinöl, Terpentinöl, Schwerbenzin und anderen Lacklösungsmitteln löslich zu machen, stellt eine partielle trockene Destillation dar. Die Löslichkeit in Benzin wird beim Ausschmelzen größer, die in Alkohol kleiner.

## 5. Stocklack und Schellack.

Stocklack und Schellack ist zwar lange Zeit auch als Pflanzenharz angesehen worden, jetzt steht aber fest, daß der Stocklack, aus dem Schellack hergestellt wird, eine Absonderung des Insektes *Tachardia lacca* ist. Schellack kommt fast ausschließlich aus Indien. Die Entstehung des Stocklackes wird von dem englischen Staatsentomologen E. P. Stebbing<sup>1</sup> etwa so geschildert: Die ausschwärmenden Larven der Lacklaus, von denen etwa 5% Männchen sind, haben eine Länge von 0,6—1,3 mm und sind orangerot. Sie suchen einen geeigneten Platz auf einer Pflanze, wobei sie einen Aktionsradius von etwa 4 m haben, und wenn sie diese nicht innerhalb von 8—12 Stunden finden, gehen sie zugrunde. Sie stechen mit ihrem Saugrüssel die Wirtspflanze an und saugen deren Saft aus. Sie scheiden ein weißes Wachs aus, und zwar etwa 130 mg je 1000 Larven, das bald das Tier und den Zweig einhüllt und zu einer festen Masse eintrocknet. Aus der Larve entwickelt sich das unbewegliche Weibchen innerhalb von zwei Monaten zur doppelten Größe und gleicht dann mehr einem Lackklümpchen als einem Tier. Die dann erscheinenden Männchen befruchten die Weibchen und gehen nach kurzer Zeit ein. Jetzt wird das Weibchen gefräßig, die Eierstöcke wachsen und füllen sich mit einer roten Flüssigkeit, der roten Lackfarbe, in der sich die Eier bilden. In dieser Zeit wird die Hauptmenge des Lackes ausgeschieden, und zwar 150 mg je Insekt. Etwa einen Monat später geht das Weibchen zugrunde, die junge Brut bleibt wenige Tage in ihrem Körper, um dann auszuschwärmen und das Spiel von neuem zu beginnen. Als Wirtspflanzen werden von Stebbing 90 verschiedene Arten genannt, deren wichtigste *Schleichera trijuga* (Willd) von den Eingeborenen Kusum genannt, den besten Lack liefert. Andere bevorzugte Bäume sind: *Butea frondosa* (Roxb), Eingeborenenbezeichnung Palas oder Dhak, *Zizyphus xylopyrus* (Willd) oder Ghort; *Acacia arabica* oder Babul, *Cajanus indicus* oder Arhar, *Zizyphus jujuba* oder Ber; *Ficus religiosa* oder Pipal liefert den an Farbstoff ärmsten Lack. Die Stocklackgewinnung und die Herstellung des Schellacks liegt fast ausschließlich in den Händen der Eingeborenen. Die mit Lack bedeckten Zweige werden zur richtigen Zeit gesammelt, etwas vorgetrocknet und zerkleinert. Dann wird der Lack von den Zweigen und anderen groben Beimengungen getrennt, gewaschen, wobei der Ghasan die Masse im Waschtrog mit den Füßen mehrfach durcharbeitet. Dann wird der Lack so schnell wie möglich unter häufigem Umwenden in der Sonne getrocknet, aber nicht zu lange, da er sonst dunkel wird. Der trockene Körnerlack wird in 3 Graden abgesiebt. Das Feine, von dunkelroter Farbe, wird für sich verwendet, während die mittlere und grobe Körnung zu Schellack und Granat- oder Knopflack verarbeitet wird, wobei Zusätze wie

<sup>1</sup> Stebbing, E. P.: Ind. Forest Mem. Bd. 1 (1910) Part III.



Kolophonium zur Erleichterung des Schmelzens oder Auripigment für eine hellere Färbung beigemischt werden. Der Körnerlack wird in einen bis zu 10 m langen Baumwollschlauch gefüllt, dessen eines Ende festgehalten wird, während das andere gedreht wird. Unter dem Schlauch befindet sich nahe dem festen Ende ein offenes Kohlenfeuer. Der schmelzende Lack tritt infolge der Verdrehung des Schlauches durch das Gewebe und fällt auf Steinpflaster, von dem er, leicht abgekühlt, mit einem Spachtel aufgenommen und auf Tonzylinder gestrichen wird, die mit warmem Wasser gefüllt sind. Von diesem Tongefäß wird die Lack-schicht wie eine Schale oder Hülse entfernt, shell = Schale, hiervon stammt die Bezeichnung Schellack aus dem englischen shell-lac. Soll Granat- oder Knopflack gewonnen werden, so ist die Behandlung hiermit zu Ende. Die so entstandenen Stücke sind etwa 6 mm dick und  $600 \times 600$  mm groß. Für andere Sorten wird der Lack mechanisch durch Ausziehen, und zwar durch Strecken behandelt, indem der „Strecker“ das nochmals angewärmte Schellackblatt mit den Zehen beider Füße und den Fingern beider Hände an den vier Ecken festhält, sich aufrichtet und durch Ausstrecken der Arme und Beine soweit wie möglich zu einem dünnen Blatt auseinanderzieht, das schließlich in die bekannten Blättchen des Handels zerbrochen wird.

Die fabrikmäßige Verarbeitung des Schellacks mit Hilfe von Dampf und Lösungsmitteln hat zwar Fortschritte gemacht, der größte Teil des Schellacks wird aber noch auf die geschilderte primitive Weise gewonnen.

Je nach der Form wird Körner- und Knopflack, Lemon oder Zitronenlack in den Helligkeitsgraden extra hell bis fein hell, Orangellack gut hell bis goldorange, ferner Granat- oder Rubinlack unterschieden. Daneben sind andere Bezeichnungen gebräuchlich, für die aber eine bestimmte Regelung noch fehlt. Die Reihenfolge in der Güte ist, Superfein, Fein, Standard I, TN. Die ersten drei Sorten sollen frei von Kolophonium sein. Woher die Bezeichnung TN stammt, ist nicht mehr festzustellen. In London werden die Durchschnittswerte, die TN-Schellack besitzen soll, jährlich durch die Schellack-Handels-Gesellschaft festgelegt; TN darf nicht mehr als 3% Verunreinigungen und Kolophonium enthalten.

Gebleichter Schellack wird erhalten durch Auflösen und Verdünnen des Schellacks in einer Lösung von kohlenisaurem Natron. Das Bleichmittel, Kochsalz, wird allmählich der kalten Lösung zugefügt. Das Bleichen dauert einige Stunden. Dann wird der Lack mit schwefliger Säure gefällt, durch Hitze zum Zusammenfließen gebracht, dann in heißem Wasser ausgewaschen, um die Säure zu entfernen und schließlich in Strähnen ausgezogen. Wenn das Bleichen nicht sorgfältig durchgeführt wird, so wird der Lack nach kurzem Verweilen an der Luft schnell in Alkohol unlöslich. Gebleichter Schellack enthält bis zu 30% und mehr Feuchtigkeit, die ihm im Vakuum bis auf etwa 5% entzogen werden

kann. Dieser Schellack wird als trocken bezeichnet. Damit der gebleichte Schellack seine Löslichkeit länger behält, wird er unter Wasser aufbewahrt.

Einige wichtige Werte der verschiedenen Schellacksorten sind in Tabelle 17<sup>1</sup> zusammengestellt.

Tabelle 17. Bedingungen für einige Schellack-Marken nach W. Bayley Parker.

|                       | Reiner Knopflack                         | Schwarzer Knopflack                                           | Reiner Lemon-Schellack       | Reiner Orange-Schellack   | TN Standard                     |
|-----------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Farbe . . .           | halbdurchsichtig klar rot oder gelbbraun | dunkelrot bis schwarzbraun in dünner Schicht halbdurchsichtig | klar hellgelb durchscheinend | hellorange durchscheinend | dunkelorange halbdurchscheinend |
| Kolophonium           | nicht statthaft                          | max. 2 %                                                      | nicht zulässig               | nicht zulässig            | max. 3 %                        |
| Asche . . .           | max. 0,6 %                               | 2 %                                                           | 0,7 %                        | 1 %                       | 1,5 %                           |
| Säurezahl .           | max. 66                                  | 66                                                            | 60                           | wie bei 3                 | wie bei 1                       |
| Verseifungszahl . . . | max. 225                                 | 225                                                           | 200                          | wie bei 3                 | wie bei 1                       |
| Wachsgehalt           | min. 3 %<br>max. 6 %                     | min. 3 %<br>max. 10 %                                         | wie bei 1                    | min. 3 %<br>max. 8 %      | min. 3 %<br>max. 9 %            |

Das spezifische Gewicht von Schellack beträgt 1,0—1,04, der Schmelzpunkt liegt zwischen 80 und 120° C. Der Schmelzpunkt wird nach jedem Schmelzen höher. Durch längeres Erhitzen wird Schellack schließlich mehr oder weniger unschmelzbar. Dies ist ein Vorteil, der bei der Herstellung von Isolierstoffen ausgenutzt wird, z. B. für Mikanit. Schellack ist löslich in Alkohol, Azeton, Äther und Terpentin. Längeres Lagern verschlechtert die Löslichkeit.

Der Aufbau des Schellacks ist gründlich untersucht und weitgehend aufgeklärt worden, durch die Arbeiten von Tschirch<sup>2</sup>, dann durch Harries und Nagel<sup>3</sup>. Schellack wurde in Farbstoff, Wachs, Fettsäuren und Reinharz zerlegt. Das Reinharz ist im Schellack zu etwa 80 % enthalten und kann in verschiedenen Modifikationen auftreten, es zeigt bei Behandlung mit verschiedenen Lösungsmitteln ein eigenartiges Verhalten. Das durch Ausschütteln mit Äther und mehrmaliges Ausfällen mit Alkohol erhaltene Reinharz ist ein bräunlichweißes Pulver, das in

<sup>1</sup> Aus Dr. H. Wolff, Berlin: Die natürlichen Harze. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1928. S. 302.

<sup>2</sup> Tschirch: Helv. chim. Acta Bd. 6 (1923) S. 994.

<sup>3</sup> Harries u. Nagel: Ber. Bd. 55 (1922) S. 3833. — Harries, C.: Ber. Bd. 56 (1923) S. 1058. — Nagel, W.: Ber. Bd. 60 (1927) S. 603.

Tabelle 18. Übersichtstabelle über die Löslichkeit der wichtigeren Harze.

|                 | Ätzer                     | Äthyl-<br>azetat | Äthyl-<br>alkohol | Amyl-azetat | Amylalkohol | Benzin       | Benzol | Chloroform    | Eisessig | Methyl-<br>alkohol | Schwefel-<br>kohlenstoff | Terpentinöl   | Tetrachlor-<br>kohlenstoff |
|-----------------|---------------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|--------|---------------|----------|--------------------|--------------------------|---------------|----------------------------|
| Akaroid . . .   | swl                       | —                | l                 | —           | l           | ful          | —      | wl            | ul       | l                  | ful                      | ful           | wl                         |
| Kopal           | etwa<br>50                | —                | 20/70             | fv-l-vl     | 80          | etwa<br>40   | tl     | etwa<br>40/60 | —        | etwa<br>30/50      | —                        | etwa<br>25/40 | etwa<br>20                 |
| Kongo . . .     | 70/90                     | tl               | 90/100            | fv-l        | fv-l        | swl          | tl     | tl            | swl      | —                  | —                        | etwa<br>35/40 | etwa<br>40                 |
| Manila weich    | 40/50                     | wl-              | 40/50             | tl          | fv-l        | swl          | tl     | tl            | ful      | —                  | —                        | etwa<br>20/30 | etwa<br>30                 |
| „ hart.         | 10—25<br>(meist<br>15/20) | —                | 85—98             | tl-fv-l     | fv-l        | ful<br>(2—6) | 10—20  | 25—40         | vl       | vl                 | ful                      | etwa<br>10—15 | 5—15                       |
| Schellack . . . |                           |                  |                   |             |             |              |        |               |          |                    |                          |               |                            |

Tabelle 19. Kennzahlen der wichtigsten Harze.

|                             | SZ        | VZ        | DZ        | JZ        |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Akaroid, rot . . . . .      | 60—100    | 160—200   | 75—125    | 150—185   |
| Kolophonium . . . . .       | 140—185   | 145—195   | 5—35      | —         |
| Kopal, Kauri . . . . .      | 50—115    | 75—120    | 6—30      | 75—160 ?  |
|                             | (65—75)   | (75—85)   | (10—15)   | (46)      |
| Kongo . . . . .             | 100—150   | 110—160   | 10—25     | 120—160 ? |
|                             | (120—140) | (195 ?)   | (40 ?)    | (60)      |
| Manila, hart . . . . .      | 110—150   | 130—180   | 10—60     | 50—100    |
|                             |           |           | (über 30) |           |
| Schellack . . . . .         | 40—70     | 185—225   | 135—190   | 5—25      |
|                             | (55—65)   | (155—210) | (150—170) | (über 10) |
| Terpentin, feiner . . . . . | 65—100    | 85—130    | 0—55      | —         |
|                             | (um 75)   | (110/130) | (über 35) |           |

Alkohol, Eisessig u. a. leicht löslich ist. Auf die gleiche Weise kann aber ein ebenso aussehendes Pulver gewonnen werden, das in den gleichen Lösungsmitteln, auch in siedendem Alkohol, unlöslich ist. Wahrscheinlich handelt es sich hier um Änderungen des Verteilungsgrades. Das Verhalten des Schellacks in der Wärme, das für die Bildung von plastischen Massen wichtig ist, wurde am Reinharz von Gardener und Whitmore<sup>1</sup> und Stäger<sup>2</sup> untersucht. Bei 90° C beginnt das Reinharz unter Aufblähen zu schmelzen, ohne Zersetzung erfolgt Wasserabgabe; bei 200° C geht das Harz aus dem flüssigen Zustand in einen zähen über und wird beim Erkalten steinhart. Das Harz ist dann auch bei 300° C nicht wieder schmelzbar und unlöslich. Wie sich Schellack bei dauernder Erwärmung verändert, ist aus Abb. 47<sup>3</sup> zu erkennen. Es tritt ein Gewichtsverlust ein, die Alkohollöslichkeit nimmt ab, der Schmelzpunkt steigt. Tabelle 18<sup>4</sup> enthält eine Zusammenstellung der Löslichkeit, Tabelle 19<sup>4</sup> der Kennzahlen der wichtigen Naturharze.

## 6. Bernstein.

Bernstein ist ein fossiles Harz, aus den versunkenen großen Waldungen der Bernsteinfichte stammend, das an der Ostsee teils durch Bernsteinfischerei, teils durch Sammeln der Anschwemmungen, zum größten Teil aber im Bergbaubetrieb in Palmnicken gewonnen wird. Dort liegt etwa 7 m unter dem Meeresspiegel ein toniger, dunkelblau-grüner Sand, die blaue Erde, die im Tagebau abgebaut wird. In 1 cbm Erde sind etwa 2 kg Bernstein, Succinit,  $C_{10}H_6O$  enthalten. Die großen Stücke werden hauptsächlich für Schmuckzwecke verwendet, die kleineren, soweit sie rein sind, zu Preßbernstein verarbeitet. Die Stücke werden mit scharfen Messern von der Verwitterungskruste befreit, gemahlen und unter Anwendung von Druck und Wärme ohne andere Zusätze zu Stangen, Platten und Formkörpern verpreßt. Preßbernstein besitzt die helle, honiggelbe Farbe des Naturbernsteins, hat ein spezifisches Gewicht von 1,05–1,1, eine Härte nach Mohs von 2–2,5 und läßt sich gut bearbeiten. Der Schmelzpunkt liegt bei 287° C. Bernstein brennt mit

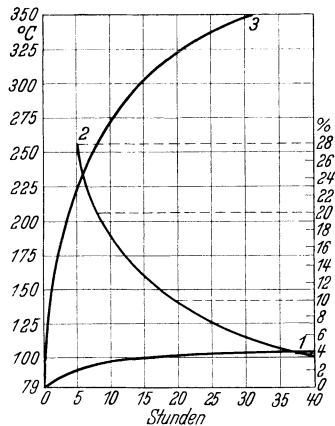


Abb. 47. Veränderung des Schellacks bei Dauererwärmung. 1 Gewichtsabnahme bei 100°. 2 Abnahme der Alkohollöslichkeit. 3 Ansteigen der Schmelztemperatur.

<sup>1</sup> Gardener u. Whitmore: Ind. Engng. Chem. Bd. 21 (1929) S. 226.

<sup>2</sup> Stäger: Kolloidchem. Technologie, S. 502/3.

<sup>3</sup> Stäger: Kolloidchem. Technologie, Abb. 257.

<sup>4</sup> Aus Dr. H. Wolff: Die natürlichen Harze, S. 356 f.

heller Flamme und mit angenehmem Geruch. Wegen der sehr geringen dielektrischen Verluste, der hohen Durchschlagsfestigkeit und des vorzüglichen Oberflächenwiderstandes, eignet sich Preßbernstein zur Isolierung von Präzisionsmeßgeräten und Apparaten in der Elektrotechnik, besonders für Hochfrequenzapparate. Der dielektrische Verlustfaktor  $\text{tg } \delta$ , gemessen an einer 8 mm starken Platte unter Öl mit der Schering'schen Anordnung (S. 335) beträgt bei einer Frequenz von 50 Herz und einer Spannung

|                     |        |        |        |            |
|---------------------|--------|--------|--------|------------|
| von                 | 20000  | 30000  | 40000  | 50000 Volt |
| $\text{tg } \delta$ | 0,0005 | 0,0005 | 0,0008 | 0,001      |

bei einer Spannung von 300 Volt und einer Frequenz von 800 Herz  $\text{tg } \delta = 0,001$ , bei 1910 Herz  $\text{tg } \delta = 0,0018$ . Der Wert der Dielektrizitätskonstante errechnet sich zu  $\epsilon = 2,8^1$ .

## 7. Isolierpreßstoffe aus Naturharzen.

Mit Kopal als Bindemittel werden für verschiedene Zwecke der Stark- und Schwachstromtechnik Isolierpreßkörper hergestellt, die sich für Niederspannung ausgezeichnet bewähren, wetterfest und verhältnismäßig wohlfeil sind. Diese Preßmassen gehören zu den ältesten ihrer Art, sie sind schon vor mehr als 30 Jahren von den Vereinigten Isolatorenwerken A.-G., Berlin-Pankow, unter dem Namen Ambroin hergestellt worden.

Diese Massen enthalten außer dem Kopal als Bindemittel Asbest als Faser und meist nur wenig oder gar keine Füllmittel. Zur Erleichterung des Niederschmelzens des Kopals werden Asphalte oder Steinkohlenteerpeche in geringen Mengen beigegeben. Die Mischung kann auf zwei Arten hergestellt werden. Der Kopal wird im geheizten Mastikator niedergeschmolzen. Die Fasern und Füllmittel werden in das heiße Bindemittel eingemischt. Bei der zweiten Art des Mischens wird der Kopal in einem Lösungsmittel gelöst oder gequollen, die anderen Mischungsbestandteile in die Lösung gegeben und kalt vermischt. In beiden Fällen verläßt die Mischung den Mastikator in groben, in der Kälte recht harten Stücken, die entweder durch Walzen oder durch Zusammenpressen flach gedrückt, gemahlen und als grobes Pulver verpreßt werden. Die groben Platten werden aber auch in passende Stücke zerteilt und so verarbeitet.

Die Mindesteigenschaften von Isolierpreßstoffen mit Kopal als Bindemittel sind für Type 7 der gummifreien Isolierstoffe festgelegt (s. Zusammenstellung S. 265). Diese Werte lassen sich durch geschickte Auswahl der Bestandteile und der Verarbeitung wesentlich erhöhen. So kann die Biegefestigkeit im Stabe bis auf 400 kg/qcm und mehr gesteigert werden.

<sup>1</sup> Nach G. Pfestorf, Bernstein und seine Eigenschaften, Helios 1930, 157.

Abb. 48 zeigt eine Anzahl von Preßstücken aus einem Isolierpreßstoff Type 7 der Süddeutschen Isolatorenwerke, G. m. b. H. Freiburg i. Br.

Mit Schellack wurden anfangs ähnliche Isolierpreßmassen für die Elektrotechnik hergestellt wie mit Kopal. Den Massen wurde als Faser Asbest oder Zellulose in Form von gemahlener Jute und gemahlenem Papier und als Füllmittel ein Steinmehl, meist Schwerspat zugesetzt. Verwendet wurde z. B. Rubinschellack, durch Zusatz einer roten Farbe erhielt die Masse einen kräftigen roten Farbton. Sie wurde in England und den Vereinigten Staaten als roter Schellack-Compound viel verwendet. Die Wärmebeständigkeit und Feuersicherheit derartiger Preßmassen war nur gering, ihre Feuchtigkeitssicherheit nicht gut.

Heute wird Schellack in der Elektrotechnik hauptsächlich als Klebstoff für die Herstellung geschichteter Isolierstoffe, wie Hartpapier und Mikanit verwendet, auch als Lack findet er seine Verwendung.

## 8. Schallplatten.

Der größte Teil der Schellackerzeugung und zwar etwa 60%, werden zur Herstellung von Schallplatten, etwa 20% in der Elektrotechnik ver-

wendet. Die Menge der in Deutschland im Jahre 1927 gepreßten Platten wurde auf 10 Millionen geschätzt. Die Rohmasse der Schallplatten besteht aus Schellack z. B. Sorte TN und einem Zusatz von Kolophonium als Bindemittel, Baumwollflocken als Faser und weichen



Abb. 48. Isolierpreßteile aus Ricolit Type 7. Teile für die Oberleitung elektrischer Bahnen.



Abb. 49. Schallplatten-Presserei.  
Carl Lindström A.-G., Berlin.

Steinmehlen wie Kaolin als Füllmittel, dazu ein reichlicher Farbzusatz. Die Masse muß gut aufbereitet sein, um rauhe Stellen oder vorstehende Fasern zu vermeiden. Sie soll auch nicht zu hart sein, um die Schallnadel nicht zu schnell abzunutzen. Die Masse wird in flache Platten vorgepreßt, abgeteilt und erwärmt in die geheizten Formen gefüllt, die auf hydraulischen Pressen zusammengedrückt werden (Abb. 49). Die Preßform wird unter Druck abgekühlt und die Platte verläßt glänzend, entsprechend der Politur des vernickelten Preßwerkzeuges, die Presse.

### 9. Schellackpreise.

Schellack unterlag im Laufe der Jahre außerordentlichen Preisschwankungen. So kostete TN orange am Londoner Terminmarkt

| Je 50 kg | 1881 | 1888 | 1903 | 1914 | 1918 | 1920 | 1926 | 1927 | 1930 | 1932               |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|
| engl. sh | 140  | 30   | 240  | 40   | 600  | 850  | 115  | 285  | 60   | Jan. 76<br>Okt. 50 |

Das Ansteigen der Preise war für die Erfinder der große Anreiz, nach billigeren Ersatzmitteln zu suchen. Sie entfalteten eine emsige Tätigkeit, um den Schellack in der Lackindustrie und in der Elektrotechnik zu ersetzen. Diesem Bemühen verdankt die Industrie der Kunstharze ihre Entwicklung. Aber auch für die Herstellung von Schallplatten sucht man nach Ersatzmitteln, die heute unter anderem von der Industrie der Zelluloseester bereits in großen Mengen geliefert werden.

## III. Trocknende Öle.

### 1. Leinöl und Holzöl.

Die trocknenden Öle, Leinöl und Holzöl werden hauptsächlich als Farbenbindemittel in der Anstrichtechnik gebraucht, beide Öle dienen aber auch zur Herstellung von Kunststoffen und plastischen Massen. Leinöl bildet das Bindemittel des Linoleums, Holzöl dasjenige für Isolierkörper der Elektrotechnik.

Leinöl wird aus dem Samen des Flachses durch Auspressen gewonnen. Flachs wird hauptsächlich in den Vereinigten Staaten, in Kanada, Indien, Rußland und den Randstaaten angebaut. Der Samen ist heute fast wichtiger geworden als die Leinenfasern. Kaltgepreßtes Leinöl ist ein hellgelbes Öl, das unbehandelt beim Stehen einen wolkigen Schleim absondert. Das Entschleimen erfolgt durch Erhitzen und zwar am besten ohne Rühren. Die Kennzahlen von unbehandelten Leinölen in handelsüblicher Reinheit sind<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nach Dr. H. Wolff: Chem.-Ztg. 1923 S. 142f.

Spezifisches Gewicht bei 20° C 0,927—0,931,

Brechungsindex bei 20° C 1,4785—1,4815,

Jodzahl nach Hübl-Waller 170—192,

Verseifungszahl 187—196,

Hexabromidausbeute 50—59.

Leinöl ist kein einheitlicher Körper, sondern ein Gemenge verschiedener Glyceride. Je nach Herkunft und Klima des Gewinnungslandes schwankt die Zusammensetzung. Im Leinöl sind enthalten: Linolensäure, Isolinolensäure, Linolsäure, Ölsäure und Glycerin. Wird Leinöl als Zusatz zum Bindemittel plastischer Massen verwendet, so wird es meist, wie auch in der Anstrichtechnik, als Standöl oder eingedicktes Leinöl gebraucht. Das Eindicken erfolgt durch Erwärmen auf 250° C im Kohlensäurestrom.

Das chinesische Holzöl, auch Tungöl, wird aus dem Samen des Tungaumes gewonnen, einer Wolfsmilchart, die in China und Japan heimisch ist: *Aleuritis fordii*, *Aleurites montana*, *Aleurites cordata*. Die Hauptanbaugebiete liegen am Yangtsefluß in den chinesischen Provinzen Szetchuan, Hunan, Hupei und Shensi mit dem Hafen Hankow. Der Export aus Kanton ist wesentlich zurückgegangen<sup>1</sup>. Das kaltgepreßte Öl ist hellgelb und von eigentümlich stechendem Geruch. Dieses Öl kommt hauptsächlich nach Europa, während die dunkleren Öle warmer und zweiter Pressung im Erzeugungsland verbraucht werden. Holzöl ist einfacher zusammengesetzt als Leinöl, es besteht in der Hauptsache aus Elaeostearin.

Das Festwerden beider Öle ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen; der Trockenvorgang ist aber noch nicht eindeutig aufgeklärt. Beim Erhitzen von Leinöl und Holzöl bilden sich Körper von höherem Molekulargewicht in kolloidem Zustand aus den Elementarkörpern, wahrscheinlich durch Polymerisation. Hierbei steigt das spezifische Gewicht und die Viskosität.

Tabelle 20<sup>2</sup>.

| Temperatur<br>° C | Dauer<br>des Er-<br>hitzens<br>Stunden | Säure-<br>zahl | Ver-<br>seifungs-<br>zahl | Viskosi-<br>tät<br>Engler | Jodzahl | Bre-<br>chungs-<br>exponent | Spez.<br>Gew. |
|-------------------|----------------------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------|---------------|
| Leinöl.           |                                        |                |                           |                           |         |                             |               |
|                   | 0                                      | 1,1            | 194,5                     | 1,00                      | 175,02  | 1,479                       | 0,924         |
| 200               | 20                                     | 1,6            | 193,9                     | 1,13                      | 168,7   | 1,480                       | 0,926         |
| 200               | 40                                     | 3,4            | 194,8                     | 1,35                      | 160,1   | 1,482                       | 0,929         |
| 260               | 15                                     | 5,8            | 192,0                     | 2,35                      | 145,6   | 1,486                       | 0,933         |
| 260               | 30                                     | 7,4            | 191,1                     | 7,96                      | 108,0   | 1,489                       | 0,946         |
| 300               | 10                                     | 17,8           | 193,1                     | 115,0                     | 120,4   | 1,492                       | 0,916         |
| 300               | 20                                     | 40,0           | 191,2                     | —                         | 76,3    | 1,496                       | 0,970         |

<sup>1</sup> Chem.-Ztg. 1927 S. 265.

<sup>2</sup> Nach Krumbhaar: Chem.-Ztg. 1916 S. 37.



Tabelle 20 (Fortsetzung).

| Temperatur<br>° C | Dauer<br>des Er-<br>hitzens<br>Stunden | Säure-<br>zahl                                        | Ver-<br>seifungs-<br>zahl | Viskosi-<br>tät<br>Engler | Jodzahl | Bre-<br>chungs-<br>exponent | Spez.<br>Gew. |
|-------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------|---------------|
| Holzöl.           |                                        |                                                       |                           |                           |         |                             |               |
|                   | 0                                      | 2,0                                                   | 193,2                     | 2,5                       | 16,3    | 1,515                       | 0,942         |
| 200               | 2                                      | 1,9                                                   | 191,8                     | 4,0                       | 149,7   | 1,488                       | 0,949         |
| 200               | 4                                      | 1,9                                                   | 190,1                     | 80,5                      | 134,5   | 1,446                       | 0,954         |
| 200               | 10 Min.                                | 1,9                                                   | 190,5                     | 4,5                       | 156,8   | 1,511                       | 0,946         |
| 260               | 20 „                                   | 1,9                                                   | 189,1                     | 112,0                     | 145,2   | 1,504                       | 0,957         |
| 300               | 5 „                                    | Gelatiniiert mit Temperatursteigerung und Zersetzung. |                           |                           |         |                             |               |

Das Holzöl besitzt von allen bekannten Ölen die größte natürliche Neigung zur Polymerisation. Oberflächlich trocknet es bei Zimmertemperatur unter Hautbildung und Runzeln an, ehe es durchgetrocknet ist; das Durchtrocknen findet infolge Sauerstoffaufnahme durch die Haut hindurch statt<sup>1</sup>.

Zur Herstellung plastischer Massen wird auch das Holzöl in eingedicktem Zustand verwendet. Je nach seinem Verteilungsgrad gelatinisiert es bei Temperaturen über 200° und wird schließlich fest.

## 2. Isolierpreßstoffe, ähnlich Type 4.

Die Isolierpreßstoffe der Elektrotechnik, die mit eingedicktem Holzöl als Bindemittel hergestellt wurden, sind vor dem Krieg in großen Mengen für Isolierkörper von Installationsmaterial, wie Abzweigklemmen und Kappen, Handlampengriffe und Ringe, Abzweigdosen, Handgriffe, u. ä. verwendet worden; zwei Werke haben einige Jahre hindurch den größten Teil ihrer Isolierpreßstücke aus derartigen Massen angefertigt. Die Rohmasse enthält als Bindemittel eingedicktes Holzöl, bisweilen unter Zugabe von kleinen Mengen Kopals, als Faser Asbest und als Füllmittel Steinmehle. Ohne Farbzusatz wird der Preßstoff graubraun, er läßt sich in dunklen Tönen von braun, blau, grün und rot außer schwarz gut färben. Die Masse wird kalt gemischt und verpreßt. Dann werden die Preßstücke langsam angewärmt und einige Stunden auf etwa 250° C gehalten, am besten unter Kohlensäuredruck, wodurch auch der Blasenbildung entgegengewirkt wird. Beim Nachheizen in Luft kann es bei Überschreitung der Grenztemperatur zur Selbstentzündung der Preßkörper infolge der plötzlichen großen Sauerstoffaufnahme kommen, wodurch dann der ganze Ofeninhalt zerstört wird. Die ausgebrannten Preßteile haben zwar noch ihre Form behalten, aber ihre Festigkeit und Farbe verloren.

<sup>1</sup> Eibner: Das Öltrocknen ein kolloider Vorgang aus chemischen Ursachen.

Die Mindestwerte der Preßmassen mit Holzöl als Bindemittel entsprechen etwa denen der Type 4 der gummifreien Isolierstoffe (Zusammenstellung S. 265). Sie zeichnen sich durch ihr Verhalten im Lichtbogen vor fast allen andern ähnlichen Preßmassen dadurch aus, daß die im Lichtbogen entstandene Schlacke weder warm noch kalt leitend ist. Die leichte Formbarkeit dieser Massen im kalten Zustand war der Anlaß zur Ausbildung der fast vollautomatischen Pressen (s. Abb. 31), mit denen je Stunde 250—300 Preßstücke im Gewicht von einigen 100 g hergestellt werden konnten.

Die mit Holzöl hergestellten Massen wurden zum größten Teil durch die Kunstharz-Kaltpreßmassen verdrängt. Hierzu haben die sprunghaften Preisänderungen des Holzöls nicht wenig beigetragen, das z. B. je 50 kg im Januar 1927 mit 75 sh, im April des gleichen Jahres mit 148 sh bezahlt werden mußte. Der Hauptverbrauch von Holzöl findet heute in der Lackindustrie statt. Versuche, den Tungbaum in den Vereinigten Staaten und in Jugoslawien anzubauen, sollen aussichtsreich sein.

### 3. Linoleum<sup>1</sup>.

Der Erfinder des Linoleums, Frederick Walton, in der Nähe von Manchester 1834 geboren, beabsichtigte einen Ersatzstoff für den Kamptulicon genannten Fußbodenbelag herzustellen, der aus einem Gemisch von Kautschuk, Guttapercha und Korkpulver auf einem Gewebe bestand, der aber durch das Steigen der Kautschukpreise zu teuer wurde. Die Hauptpatente nahm Walton in den Jahren 1860 und 1863. Er nannte seine Erfindung erst Kampticon, dann aber Linoleum zur besseren Unterscheidung von Kamptulicon. Der Name Linoleum ist von dem Hauptbestandteil abgeleitet, dem Leinöl = *linum oleum*. Im Jahre 1872 ließ sich Walton die besonderen Einrichtungen der Linoleumfabrikation schützen. Die erste englische Fabrik unter der Firma Walton, Taylor & Co. bei London wurde im Gründungsjahr 1864 in die Linoleum Mfg Co Ltd umgewandelt, an deren Spitze Walton trat. In Deutschland entstand im Jahre 1882 die erste Linoleumfabrik, die späteren Deutschen Linoleumwerke Hansa in Delmenhorst, dem Zentrum einer starken Korkindustrie. Heute ist die Mehrzahl der deutschen Hersteller in den Deutschen Linoleumwerken A.-G. Berlin vereinigt, die mit den Linoleumwerken in der Schweiz, in Schweden und in Holland zur Continentalen Linoleum-Union, Zürich, zusammengeschlossen sind.

Linoleum besteht aus einer 2—10 mm starken Schicht aus festgewordenem Leinöl, Harzen, Kork- und Holzmehl und Farben, die auf ein starkfädiges Gewebe aus Jute fest aufgebracht ist. Die Herstellung beruht im wesentlichen auch heute noch auf den Verfahren von Walton.

<sup>1</sup> Nach H. G. Bodenbender: Linoleum-Handbuch. Berlin-Steglitz: Chem.-techn. Verlag Dr. Bodenbender.

Das Leinöl wird durch Kochen unter Zusatz von Trockenstoffen eingedickt und dann in Linosyn übergeführt. Linosyn ist kein einheitlicher Körper, sondern ein Gemisch von oxydierten und nicht oxydierten Fettsäuren vom spezifischen Gewicht 1,07 und den Kennzahlen nach Eibner und Rieb:

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| Säurezahl . . . . .       | 70  |
| Verseifungszahl . . . . . | 294 |
| Jodzahl . . . . .         | 59  |
| Glyzeringehalt . . . . .  | 9.  |

Die Bildung des Linosyns nach dem Walton-Verfahren erfolgt durch Überrieseln von langen Nesselbahnen mit dem eingedickten Leinöl.

**Rohstoffe.** Korkmehl wird durch Zerkleinern der Rinde der Kork-eiche, *Quercus suber*, gewonnen. Die Kork-eiche wächst auf felsigen Böden in Spanien, Portugal, Marokko und Algier, auch in Italien, Griechenland und am Schwarzen Meer. Der Baum wird zum erstenmal geschält, nachdem er ein Alter von 25 Jahren erreicht hat, doch ist dieser erste Kork hart und wenig elastisch. Nach weiteren 15—20 Jahren wird der eigentliche Kork geerntet und der Baum dann etwa alle 10 Jahre geschält, bis nach etwa 200 Jahren die Korkbildung nachläßt. Ein Baum liefert bei einer Schälung 50—100 kg Kork. Kork besitzt ein sehr geringes spezifisches Gewicht 0,12—0,24. Von starken Säuren und Laugen wird Kork zerstört, er ist sehr elastisch und geschmeidig und ist ein schlechter Leiter von Wärme und Schall. Kork enthält Gerbsäure, so daß die Linoleummasse von löslichen Eisensalzen frei sein muß, da sie sich sonst schwarz färbt. Außer der Korkrinde werden auch die Abfälle der Korkstopfenherstellung vermahlen, und zwar auf Schlagkreuzmühlen, Excelsiormühlen und Mahlgängen. Da der Korkmehlstaub sich leicht entzündet und explodiert, ist es erforderlich, den Staub abzusaugen; er kann in Elektrofilteranlagen niedergeschlagen werden.

Wegen des hohen Korkpreises dient das billigere Holzmehl als Ersatz, namentlich für hellere oder härtere Linoleumsorten.

Als Bindemittel werden dem Linosyn Kolophonium und Kopal, und zwar Kauri beigelegt. Als Füllmittel dienen Kreide, gebrannter Gips, Schwerspat, als Farben Erd- oder Mineralfarben.

**Jute** ist die Bastfaser einer 3—5 m hohen Pflanze, *Corchorus capsularis* oder *Corchorus olitorius*, die hauptsächlich in Britisch-Indien wächst und ähnlich wie Flachs geröstet wird, um die Fasern abtrennen zu können. Die Jutefaser ist gelblich bis silbergrau und hat eine Länge von 1—2 m bei einer Dicke von 80  $\mu$ . Das spezifische Gewicht bei 7% Feuchtigkeit ist 1,436. Die Jutefaser ist stärker verholzt als Leinen, Nessel und Ramie; ihre Reißlänge ist 34,5 km, etwa die Hälfte der Reißlänge von Hanf.

Die Herstellung des Linoleums beginnt mit der Bereitung des Bindemittels aus eingedicktem Leinöl, das in Linosyn umgewandelt und mit

Naturharzen wie Kopal und Kolophonium verschmolzen wird. Dem Bindemittel wird auf Mischwalzen das Kork- und Holzmehl, Füllstoffe und Farbe zugemischt. Die so entstandene Linoleumgrundmasse wird auf Jutebahnen aufgewalzt, deren Rückseite mit Farbe grundiert wird. Die Jutebahnen werden getrocknet und beschnitten und sind dann gebrauchsfertig.

Die Umwandlung des eingedickten Leinöls in Linoxyn erfordert nach dem Walton-Verfahren große Räume und lange Zeit. In den geheizten Oxydierhäusern, die aus festem Mauerwerk bestehen und zwecks Lüftung mit seitlichen Fenstern versehen sind, werden etwa 2mal 400 Nesselbahnen von 6,5 m Länge und 0,85 m Breite in Abständen von 50 mm aufgehängt, das sind etwa 9000 qm Oberfläche, und mit Leinöl von oben aus einem auf Schienen laufenden Berieselungswagen mit Verteilungsrinnen berieselt, und zwar zuerst alle 2—3 Tage, damit die ersten Schichten gut von dem Nessel aufgesaugt werden, später ein- bis zweimal täglich. Nach 5—6 Monaten ist eine 15—20 mm dicke Schicht von goldbraunem durchscheinenden, elastischen Linoxyn entstanden, in deren Mitte die Nesselbahn liegt. Nach dem Abkühlen und Einrollen des Plattenlinoxyns und nach einer gewissen Lagerzeit wird es mit dem Gewebe zusammen auf einem geheizten Walzwerk zermahlen. Das zerkleinerte Linoxyn wird mit den gemahlenen Harzen in einem Rührwerk zusammengeschmolzen, aus dem es in rechteckige Behälter abgelassen wird, um zu Kuchen von etwa 20 kg Gewicht zu erstarren. Vor der weiteren Verarbeitung sollen diese Kuchen 2 Monate lagern.

Um die Herstellung des Linoxyns zu verbilligen, wird nach dem Taylor-Verfahren das vorgekochte und mit Trockenstoffen versehene Rohöl unter Einblasen von Druckluft einige Stunden auf 250°, danach bei etwa 300° erhitzt, zu einer schwarzbraunen, klebrigen Masse zum Gerinnen gebracht. Dieses Verfahren erfordert sehr viel weniger Raum und Zeit, liefert aber ein Linoxyn, das nur für dunklere und billigere Linoleumsorten verwendbar ist.

Dr. Alfr. Eisenstein<sup>1</sup> beschreibt ein neues Verfahren der Linoxynbildung nach D.R.P. 369194. Die Güte des nach dem Walton-Verfahren hergestellten Linoxyn beruht darauf, daß der Sauerstoff auf eine sehr dünne Leinölschicht wirkt und so die ganze Ölmasse gleichzeitig und gleichartig verändert. Um eine größere Oberfläche zu schaffen, wurde an Stelle der Nesselbahnen ein feinkörniger Schichtträger gewählt, und zwar zuerst Kochsalz, das nach Bildung des Linoxyns um die einzelnen kleinen Salzkörnchen ausgewaschen werden mußte. Später wurde als Schichtträger Linoxyn verwendet, das auf irgend eine Art hergestellt sein konnte.

Das mit Harz zusammengeschmolzene Linoxyn, das als eine feste kolloidale Lösung des Linoxyns in den Harzen bezeichnet werden kann,

<sup>1</sup> Eisenstein, Alfr.: Chem.-Ztg. 1932 S. 1023.

wird in der Mischerei mit Kork- und Holzmehl, Farbstoffen und Füllmitteln zuerst auf Trommelmischern vorgemischt, dann auf Mischwalzen und Mastikatoren kräftig durchgemischt und auf Desintegratoren oder Kratzwalzen gekörnt<sup>1</sup>.

Ein völlig abweichendes Verfahren zur Herstellung der Linoleum-Grundmasse wird von Eisenstein (a. a. O.) angegeben. Anstatt erst das feste, nahezu unschmelzbare und fast unlösliche Linoxyn zu bilden und unter großem Kraftaufwand mit den anderen Bestandteilen zu vereinigen, wird bereits das rohe Leinöl mit den zerkleinerten Harzen zusammen mäßig erwärmt und diese einheitliche Flüssigkeit mit Holzmehl und Korkmehl, Farben und anderen Bestandteilen vermischt. Der Wärmebedarf ist gering, da die zur Linoxynbildung nötige Wärme teilweise durch die bei der Oxydation auftretende Reaktionswärme geliefert wird. Der eine Mischvorgang tritt an die Stelle der zahlreichen anderen Vorgänge, wie Herstellen von Firnis, von Linoxyn, dessen Mahlen, das Kochen des Linoleumbindemittels aus Harz und Linoxyn, das Mischen mit Holz- und Korkmehl und Farben usw. Dadurch tritt eine wesentliche Zeit- und Raumpersarnis ein.

Die gekörnte Linoleumgrundmasse wird heiß auf grobmaschiges Jutegewebe aufgewalzt. Das Kalanderwalzwerk hat zwei Walzenpaare, von denen das eine Paar, die Arbeitswalzen, von etwa 1 m Durchmesser, eine spiegelglatte Preßwalze und eine schwach geriffelte Grundwalze besitzt, während das zweite Paar, die Glättwalzen, den halben Durchmesser der Arbeitswalzen haben.

Zum Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit wird die Rückseite der vom Kalander kommenden Linoleumbahn mit Ölfarbe auf einer Grundiermaschine bestrichen.

Die vom Kalander kommende Linoleumbahn ist noch weich und lappig und erhält die nötige Festigkeit erst im Trockenhaus, das in großen Betrieben gewaltige Abmessungen besitzt. In den Kammern des Trockenhauses wird die Linoleumbahn 3—4 Wochen lang weiter oxydiert. Nach erfolgter Verfestigung ist das aufgerollte und beschnittene Linoleum versandfertig.

Die üblichen Stärken des Linoleums sind 2,2, 3 und 3,6 mm, die normale Breite 2 m und die Rollenlänge 25 m. Linoleum nimmt etwas Feuchtigkeit auf, die Gewichtszunahme betrug bei einem Versuch mit gewöhnlichem Linoleum auf Jute 1,9% nach 7 Tagen Lagerung in einem Raum mit 90% Luftfeuchtigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit von Korklinoleum beträgt  $2,645 \cdot 10^{-4}$  CGS-Einheiten.

**Lincrusta** ist eine Wandbekleidung, die aus ähnlichen Rohstoffen in ähnlicher Weise hergestellt wird wie Linoleum, die Unterlage besteht aus Papier an Stelle des Jutegewebes.

<sup>1</sup> In dem Linoleum-Handbuch sind auf S. 84—86 verschiedene Mischungen angegeben.

**Wachstuch** kann als Vorläufer des Linoleum gelten; es besteht aus einem besonders hergerichteten Baumwollgewebe, das mit Leinölfirnis wiederholt einseitig bestrichen wird. Dem Firnis können Farbstoffe und Füllmittel zugesetzt werden. Die Oberfläche wird auch durch Bemalen, Bedrucken und Lackieren verschönt.

Für die Prüfung von Linoleum bestehen Normen bei der amerikanischen Marine (Bureau of Supplies and Accounts, Navy Department Washington DC). Untersucht wird unter anderem Gleichmäßigkeit von Farbe und Körnung im Schnitt, Verhalten der Deckschicht beim Biegen der Probe über einen Dorn, Drucktiefe (ähnlich der Brinellprobe), Wasseraufnahme, Stärke und Gewicht.

## IV. Kautschuk.

### 1. Geschichtliches<sup>1</sup>.

Kautschuk wird zum ersten Male im Jahre 1521 von P. M. d'Anghiera in seinen Schriften über die neue Welt erwähnt; den Bewohnern der Länder, in denen Kautschuk liefernde Pflanzen wachsen, war der Kautschuk aber lange vor dieser Zeit bekannt. Das beweisen die Funde, die Gann bei seinen Ausgrabungen zur Erforschung der Majakultur in Britisch-Honduras machte, wobei er Ballspielplätze und Bälle aus Kautschuk aufdeckte, die mindestens aus dem 11. Jahrhundert stammen. Die ersten Mitteilungen von wissenschaftlicher Bedeutung verdanken wir Ch. M. de la Condamine, der von einer im Auftrag der Pariser Akademie der Wissenschaften nach Ecuador unternommenen Reise im Jahre 1735 einige Klumpen einer dunklen, harzartigen Masse einsandte, über deren Herkunft er berichtete: „In der Provinz Esmeralda wächst ein von den Eingeborenen Hevé genannter Baum, der beim Anschneiden seiner Rinde einen weißen, milchähnlichen Saft ausscheidet. Dieser verfestigt sich allmählich an der Luft und nimmt eine dunkle Farbe an. In der Provinz Quito überzieht man mit dieser Masse Gewebe und macht sie so für Wasser undurchlässig. Der gleiche Baum wächst an den Ufern des Amazonenstromes und das von ihm gewonnene Produkt wird caahutschu von den Eingeborenen genannt. Sie fertigen daraus wasserdichte, aus einem Stück bestehende Schuhe und überziehen damit irdene Flaschenformen. Hat sich das Material verfestigt, so zerschlagen sie die irdene Form, entfernen die Trümmer durch den Flaschenhals und erhalten so unzerbrechliche, leichte Gefäße, die zur Aufnahme von Flüssigkeiten geeignet sind. — In dem Namen Caahutschu bedeutet caa Holz und o — chu Rinnen, Tränen, danach entstand die französische Bezeichnung caoutchuc. Die englische Bezeichnung india

<sup>1</sup> Nach Handbuch der Kautschukwissenschaft. Herausgeber K. Memmler, Einleitung von K. Memmler und E. Kindscher. S. 1.

rubber stammt von dem Chemiker Priestley, der im Jahre 1770 beobachtete, daß man mit Kautschuk Bleistiftstriche von der Papieroberfläche durch Reiben = rubb entfernen kann. Das deutsche Wort Gummi entsprang der irrigen Auffassung des Kautschuks als Pflanzengummi.

Am Ende des 18. Jahrhunderts wurde bekannt, daß sich Kautschuk in Terpentinöl, Äther und anderen Lösungsmitteln lösen ließ. Im Jahre 1823 gründete Charles Mackintosh die erste Kautschuk verarbeitende Fabrik in Glasgow, später in Manchester, in der wasserdichte Gewebe durch Auftragen einer Kautschuk-Benzollösung hergestellt wurden, wobei 2 Stoffbahnen mit den bestrichenen Seiten aufeinandergelegt und zu einem Stück zusammengepreßt werden. Diese Erzeugnisse, namentlich Regenmäntel, wurden bald unter dem heute noch gebrauchten Namen „Mackintosh“ bekannt. Kautschukwaren aus dem Beginn des 19. Jahrhunderts besaßen einen unangenehmen Geruch und waren gegen Wärme und Kälte empfindlich; in der Wärme wurden sie klebrig, in der Kälte steif. Daß diese Fehler sich durch Beimischen von Schwefel und Erhitzen über dessen Schmelzpunkt beseitigen lassen, wurde durch die Arbeiten von Charles Goodyear, Nathaniel Hayward und Thomas Hancock bekannt. Von letzterem stammt die Bezeichnung Vulkanisation. Hancock nahm 1843 ein Patent, die Vulkanisation durch längeres Eintauchen in ein Bad von geschmolzenem Schwefel oder durch Erhitzen des Kautschuks mit Schwefel in einem Hochdruck-Dampfautoklaven vorzunehmen. 1846 fand Alexander Parkes die Kaltvulkanisation durch Eintauchen geformter dünnwandiger Stücke in eine Lösung von Chlorschwefel in Schwefelkohlenstoff. Dem Sohn des Erfinders der Heißvulkanisation, Nelson Goodyear gelang 1851 die Herstellung von Hartgummi durch Verwendung größerer Schwefelmengen als bei Weichgummi.

Weich- und Hartgummifabrikate haben infolge ihrer guten elastischen Eigenschaften und wegen ihrer Undurchlässigkeit für Flüssigkeiten und Gase Verwendungsgebiete, die ihnen durch andere Stoffe nicht streitig gemacht werden können, z. B. für Fahrzeugreifen. Ihrer elektrisch isolierenden Eigenschaften wegen dienen Weichgummimischungen zur Umhüllung von Kabeln und Drähten.

## 2. Wildkautschuk.

Pflanzen, die wie Wolfsmilch bei Verwundung einen milchartigen weißen Saft ausscheiden, sind in allen Zonen verbreitet, aber nur die in den heißen Ländern wachsenden geben eine lohnende Ausbeute an dem nach dem Spanischen als Latex bezeichneten Milchsafte. Bis zum Beginn dieses Jahrhunderts lieferte der ausgedehnte tropische Urwald fast allen Kautschuk, seitdem hat der Plantagenkautschuk überwiegende Bedeutung erlangt.

Der Wildkautschuk Südamerikas wird im Gebiet des Amazonasstromes gewonnen und zwar zum größten Teil von *Hevea brasiliensis*, einer Euphorbiacea oder Wolfsmilchart, die Bäume bis zu 30 m, ja selbst 45 m Höhe und mit einem Umfang bis zu 2,5 m, in einzelnen Fällen bis zu 4,5 m bildet. Die dichte Belaubung fällt während einer kurzen Winterruhe ab.

Die Stadt Para an der Mündung des Amazonasstromes ist das Handelszentrum für den von verschiedenen Heveaarten gewonnenen Wildkautschuk, der als Parakautschuk im Handel bezeichnet wird. Die Bäume stehen vereinzelt im Urwald, selten mehr als 8 auf 1 ha. Ein Baum liefert 20 g, höchstens 200 g täglich, oder 2 kg, höchstens 12 kg im Zapfjahr.

Andere als Kautschuklieferanten wichtige Pflanzengattungen sind: *Castilloa Ulei*, in den Anden und in höheren Gebirgsgegenden zu ungefähr gleicher Größe wie *Hevea* wachsend, im Handel Cautscho in Form von Balls, Strips und Slaps.

*Manihot Glaziovii* aus derselben Familie wie *Hevea*, Handelsbezeichnung Cearakautschuk.

Guayulekautschuk wird von einem Strauch *Parthenium argentatum*, einer Compositenart, gewonnen, die große Flächen des wasserarmen Südmexiko bedeckt.

Die Stammpflanze des asiatischen Wildkautschuks ist *Ficus elastica*, die in Deutschland als Zimmerpflanze unter dem Namen Gummibaum gezüchtet wird, in den Tropen aber mächtige Bäume bildet, deren Luftwurzeln sich zu schenkeldicken Stützwurzeln entwickeln können.

### 3. Plantagen-Kautschuk.

Langjährige Versuche zeigten, daß *Hevea brasiliensis* zum Anbau am besten geeignet ist. Der größte Teil der Heveabäume auf den Plantagen Ostasiens stammt von Samen, die im Auftrage der englischen Regierung 1876 von H. A. Wickham in Brasilien gesammelt und im Botanischen Garten in Kew bei London ausgesät waren. Pflanzen aus diesem Samen wurden nach Ceylon und Singapore versandt. Der Ertrag der aus diesen Pflanzen gezüchteten Bäume ändert sich auch bei lange fortgesetzter Zapfung nicht wesentlich. Der Milchsaft ist in Zellen, Röhren oder Gefäßen enthalten. Die Stammpflanze des Guayulekautschuks, *Parthenium argentatum*, enthält z. B. den Kautschuk in Zellen, die zwischen den anderen Zellen eingestreut sind und untereinander keine Verbindung haben. Daher kann der Saft nur aus den angeschnittenen Zellen austreten und es ist nicht möglich, den Saft durch Anzapfen zu gewinnen. Die Pflanzen werden abgeschlagen und unter Wasserzusatz zermahlen. Beim Absetzen steigt aus diesem Brei der Milchsaft nach oben und wird abgeschöpft. Aus abgehauenen Pflanzen wird



auch von den Eingeborenen Brasiliens auf ähnliche Art der Kautschuk der Castilloarten gewonnen. Anders die Milchgefäße der Hevea, deren Zellen Längs- und Querverbindungen besitzen. Das Milchgefäßsystem bildet Zylinder zwischen Holz und Rinde, die durch Rindenstrahlen unterbrochen sind. Vom frischen Holz aus bildet ein Heveabaum jährliche 3 Milchgefäßzylinder. Bei den Heveaarten und auch bei Manihot wird der Latex durch Anzapfen gewonnen. In die Rinde werden V-förmige oder spiralige Rinnen eingeschnitten, die allmählich durch tägliches Abschaben von etwa 1,5 mm breiten Streifen vergrößert werden und zwar so, daß die darunter liegenden Milchgefäße verletzt werden. Die Schnitte führen über  $\frac{1}{3}$  des Stammumfanges, sie werden nach einem genau festgelegten System angebracht, z. B. werden die Bäume einer Pflanzung in 3 Gruppen geteilt, von denen während zweier Monate 2 Gruppen täglich gezapft werden, während die dritte ruht. Auf diese Weise wird die Ausbeute gesteigert und die Rinde möglichst schnell erneuert.

#### 4. Latex.

Der Latex tritt zuerst in Form kleiner Tröpfchen aus dem Stamm und fließt in kleine Aluminiumbecher zusammen, deren Inhalt von den Latexsammlern in Eimer zusammengeworfen wird. Hevealatex ist eine meist weißliche, milchige Flüssigkeit, die den Kautschukkohlenwasserstoff in verschieden feiner Verteilung in Wasser enthält, daneben Eiweiß, Harze, Zucker, Magnesium und Phosphorsalze. Die Begleitstoffe sind bei der Verarbeitung des Kautschuks von erheblicher Bedeutung. Die Größe der einzelnen Teilchen ist verschieden und schwankt von  $5\mu$  bis zur Grenze der Sichtbarkeit im Ultramikroskop, der Latex stellt also eine Verteilung im kolloiden Zustand dar. Die Tröpfchen haben Ei- oder Birnenform, auch die kleinsten Tröpfchen weichen von der Kugelgestalt ab. Die Tröpfchen bestehen aus einem Kern, dessen Zähflüssigkeit von innen nach außen zunimmt und der von einer nahezu festen elastischen Hülle umgeben ist. An dieser Hülle findet sich eine Serumschicht, in der Harz und Eiweiß angereichert ist. Wird Latex nach der Zapfung sich selbst überlassen, so führt in einigen Stunden eine starke Säurebildung, hauptsächlich durch Bakterien, zur Gerinnung. Die Gerinnung hängt weniger von dem Kautschuk selbst als von der ihn umgebenden Eiweißschicht ab.

Das Interesse an der Verwendung von Latex hat seit einigen Jahren zugenommen, z. B. in der Herstellung von Fahrzeugreifen in vulkanisiertem Zustand und für Gummisohlen unvulkanisiert. Soll Latex als Flüssigkeit erhalten bleiben, so muß die Gerinnung durch Zusätze wie Ammoniak verhindert werden. Aber auch der so behandelte Latex verdirbt leicht auf dem Transport, der in luftdicht verschlossenen Gefäßen oder Tankschiffen erfolgt. Dabei ist in Kauf zu nehmen, daß

bis zu 70% Wasser als für die Verarbeitung unnützer Ballast mitgeschleppt werden muß. Deshalb wird Latex im Gewinnungsland konzentriert, und zwar durch Verdampfung des Wassers unter Zufügung geeigneter Schutzkolloide. Der so erhaltene, als Revertex bezeichnete Latex enthält nur wenig Wasser und ist so dickflüssig, daß er in einfachen Holzkisten versandt wird. Revertex ist gut haltbar und ergibt, mit Wasser verdünnt, einen dem Ausgangsstoff sehr ähnlichen Latex.

Der größte Teil des Latex wird bald nach seiner Gewinnung in mehr oder weniger trocknen Rohkautschuk durch Gerinnenlassen umgewandelt.

Der in den Urwäldern Brasiliens gewonnene Wildkautschuk wurde und wird noch heute durch das Räucherverfahren in feste Form gebracht. Über ein Feuer aus harzreichem Holz, Palmkernen oder den Schalen von Paranüssen, dessen Rauch durch einen Trichter zusammengefaßt wird, gießt der Zapfer den Latex auf eine Holzscheibe an langem Stiel und dreht die Scheibe solange, bis der Milchsafft koaguliert und getrocknet ist. Darauf wird eine neue Milchsafft schicht über die Scheibe gegossen und geräuchert, und dies so oft wiederholt, bis ein Ballen im Gewicht von 10—30, ja bis 50 kg gebildet ist. Damit die Scheibe aus dem Ballen entfernt werden kann, wird der Ballen an einer Seite angeschnitten. Bei diesem Verfahren gerinnt der Milchsafft durch die im Rauch enthaltenen Stoffe wie Essigsäure, Kreosot und Spuren von Pyridinderivaten und durch die Wirkung der Wärme. Je nach der Sorgfalt bei der Aufbereitung werden verschiedene Sorten unterschieden: Hard fine Para, mit großer Sorgfalt geräuchert, außen dunkelbraun, innen bernsteingelb, aus vielen konzentrischen Schichten. Medium Para, mit weniger Sorgfalt hergestellt, schwammige Stellen enthaltend, und Coarse Para, auch Sernamby, Negroheads, Scraps, an der Rinde oder den Sammelgefäßen erstarrt und ohne Räuchern zusammengepreßt, meist sehr unrein.

Auf den Plantagen wird der Hevealatex gesiebt, um Verunreinigungen und Klumpen zu entfernen, in großen Mischtrögen gesammelt, mit Wasser verdünnt, so daß der Kautschukgehalt 15—20% beträgt, und mit Essigsäure, Ameisensäure oder Kieselfluorwasserstoffsäure zum Koagulieren gebracht. Etwa 20 Stunden nach dem Zusatz der Säure hat sich auf der Oberfläche ein weicher, leicht zerreißbarer Kuchen aus Kautschuk gebildet, der abgehoben wird, während das zurückbleibende Serum, das außer den löslichen Mineralsubstanzen auch einen großen Teil des Eiweiß und des Zuckers aus dem Latex enthält, abgelassen wird. Der koagulierte Kautschuk kann mit einem Badeschwamm verglichen werden, unterscheidet sich aber von diesem durch die größere Feinheit des Gerüsts und dadurch, daß die Gerüstteile bei inniger Berührung verschmelzen und die kapillaren Räume sich verkleinern, wobei das Gerüst an Festigkeit zunimmt. Die Räume zwischen dem Gerüst sind erfüllt mit dem Serum, das sich zwischen Walzen leicht auspressen läßt.

Auch die Gerüstsubstanz enthält eine gewisse Wassermenge. Unter Nervigkeit des Kautschuks wird ein gewisser Grad der Zähigkeit bei gleichzeitiger Elastizität verstanden. Die Nervigkeit eines Koagulates aus dem gleichen Latex wird um so größer, je weniger Wasser es enthält. Der vom Wasser befreite koagulierte Kautschuk kommt in Form von Sheets oder Crepes in den Handel.

Zur Herstellung von Sheets werden die Fladen unter Wasserspülung zu Platten möglichst gleicher Dicke ausgewalzt, ohne sie zu zerreißen. Das so entstandene Fell wird einige Male durch glatte Waschwalzen und schließlich durch Riffelwalzen geschickt, wodurch es zwecks schnellerer Trocknung eine geriffelte Oberfläche erhält. Danach folgt nochmaliges Waschen, Trocknen und schwaches Räuchern. Die Felle schnell zu trocknen, ist wegen des hohen Wassergehaltes nötig, bei dem sonst chemische Umsetzungen stattfinden können.

Zur Herstellung von Crepes wird der koagulierte Latex zwischen Walzen ungleicher Geschwindigkeit gewaschen, fein ausgewalzt und zerrissen. Nach mehrmaligem Durchgang durch die Walzen werden mehrere Felle zu einem Crepe von 1–2 mm Dicke (trocken) zusammengewalzt. Die Crepes haben keine glatte Oberfläche wie Sheets und werden selten geräuchert. Sie enthalten nach dem Walzen weniger Wasser und trocknen infolge ihrer größeren Oberfläche schneller als Sheets. Der Transport von Sheets ist billiger als der von Crepes, da eine Kiste, die 100 kg Sheets enthält, nur 75 kg Crepes aufnimmt. Standardgröße der Kisten ist  $19 \times 19 \times 24''$  außen =  $482 \times 482 \times 610$  mm. Die Felle des Crepe werden an der Luft oder in Trockenöfen vorgetrocknet und in gut gelüfteten Trockenhäusern, in denen sie 3–4 Wochen bleiben, weiter getrocknet. Sie kommen als First latex crepe von hellgelber Farbe in den Handel.

Ein anderes Verfahren ist die Latextrocknung durch warme Luft. Sprühkautschuk, sprayed rubber, entsteht dadurch, daß der Latex auf eine oben in einem Trockenturm schnell rotierende Scheibe fließt und von dieser in einem Heißluftstrom zerstäubt wird. Das Trockengut sammelt sich in Form eines feinen Schnees am Boden und ballt sich zusammen. Da Sprühkautschuk viel Luft einschließt, wird er vor dem Transport zusammengepreßt. Im Gegensatz zu Crepes und Sheets enthält Sprühkautschuk alle Serumbestandteile, er ergibt eine größere Ausbeute und vulkanisiert schneller. Die mechanischen Eigenschaften des vulkanisierten Sprühkautschuks und das Verhalten beim Altern sind vorzüglich. Da einige Serumbestandteile Elektrolyte sind, eignet sich Sprühkautschuk, ebenso wie Latex oder Latexkonzentrat, wenig zur Herstellung elektrisch isolierender Teile.

## 5. Konstitution des Kautschuks.

Über die Konstitution des Kautschuks liegen zahlreiche Arbeiten vor. Wird ein gereinigter Kautschuk an der Luft erhitzt, geht er bei einer Temperatur über  $120^{\circ}$  in ein dickes braunes Öl über, das nicht wieder fest und elastisch wird. Dabei entsteht ein Anteil, der bei  $37^{\circ}$  siedet, mit der Formel  $C_5H_8$  Isopren, und ein anderer Anteil, der zwischen  $170$ – $173^{\circ}$  siedet,  $C_{10}H_{16}$ , Diterpen. Bouchardat fand bereits 1879, daß sich Isopren beim Stehen durch Luftsauerstoff verändert und sich ganz langsam in eine kautschukähnliche Masse verwandelt. Der Zusammenhang zwischen Kautschuk und Isopren war durch Bildung bei der Destillation von Kautschuk und durch die gleiche Elementarzusammensetzung gegeben. Die Erkenntnis dieses Zusammenhanges regte unter Einwirkung des starken Steigens des Kautschukpreises an verschiedenen Stellen dazu an, die künstliche Herstellung von Kautschuk zu versuchen. Den Chemikern der Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co. unter Führung von Dr. Fritz Hofmann gelang 1909 die Herstellung einer dem Kautschuk ähnlichen Masse. Ein ähnliches Ergebnis erreichte Harries ein Jahr später. Während des Krieges wurde zur Linderung der drückenden Kautschukknappheit in Leverkusen eine Fabrik errichtet, in der die Polymerisationsfähigkeit des Isoprens und seiner Stammsubstanz, des Butadiens, zur Herstellung von Methylkautschuk in zwei Sorten für Weich- und Hartgummi ausgenutzt wurde. Für Hartgummi wurde ein Homologes des Isoprens 6–10 Wochen bei  $30^{\circ}$ , für Weichgummi ein solches 3–6 Monate bei  $70^{\circ}$  polymerisiert. Die Sauerstoffempfindlichkeit beider Sorten ist größer als bei Naturkautschuk, diese wird durch die Einwirkung des Lichtes noch vergrößert. Daher wurde eine Schutzfärbung nötig. Die elastischen Eigenschaften des aus Methylkautschuk hergestellten Weichgummis waren nicht befriedigend, dagegen hatte Hartgummi aus Methylkautschuk ausgezeichnete dielektrische Eigenschaften<sup>1</sup>. Trotz der geringen Aussichten für das Kunstprodukt, bei dem heutigen, außerordentlich niedrigen Preis des Naturkautschuks mit diesem in eine wirtschaftlich erfolgreiche Konkurrenz zu treten, sind in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Rußland während der letzten Jahre große Anlagen zur Erzeugung von künstlichem Kautschuk entstanden. In Amerika hat die E. J. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, bei Deepwater eine Anlage zur Erzeugung von „Duprene“ aus Azetylen erbaut<sup>2</sup>.

Über die Konstitution des Isoprens und des Kautschuks haben vor allem die Arbeiten von Harries, Gottlob, Hofmann, Pummerer und Staudinger wesentliche Aufklärungen gegeben. Alle Forscher

<sup>1</sup> Siehe Kurt Geisler: Künstlicher Kautschuk für elektrische Isolierzwecke. Berlin: Julius Springer 1922. Heft 250 der Forschungsarbeiten des VDI.

<sup>2</sup> Mitt. Chem.-Ztg. 1931 S. 957.

kommen zu der Auffassung, daß Kautschuk der Formel  $(C_5H_8)_x$  entspricht, über die Größe von  $x$  gehen aber die Meinungen auseinander. Jedenfalls gehört Kautschuk zu den hochmolekularen Stoffen. Nach

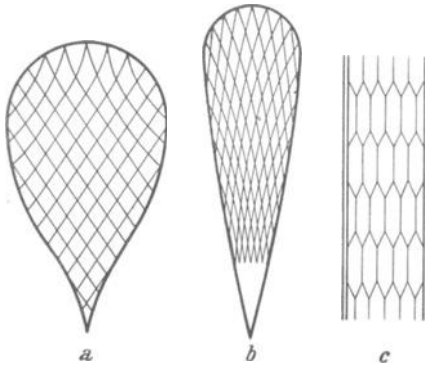


Abb. 50. Die Entstehung von Röntgeninterferenzen im Kautschuk nach Wo. Ostwald.

Staudinger führt die Isoprenpolymerisation zu außerordentlich langen Molekelketten, die aus mehr als 1000 Isoprenen aufgebaut sind, mit einem Molekulargewicht von über 100000. Pummerer und Koch gelang die Darstellung von kristallisiertem Kautschuk. Durch Katz und Bing wurde festgestellt, daß gedehnter Kautschuk bei 80 bis 100% Dehnung im Röntgenbild ein Faserdiagramm liefert, daß also im gedehnten Kautschuk eine gittermäßige Ordnung von Kautschukkristalliten herrscht. An Hand

des großen heute vorliegenden Zahlen- und Beobachtungsmaterials ist es möglich, den diese Kristallite aufbauenden Elementarkörper zu bestimmen. Rund 10000–20000 Elementarkörper haben in einem

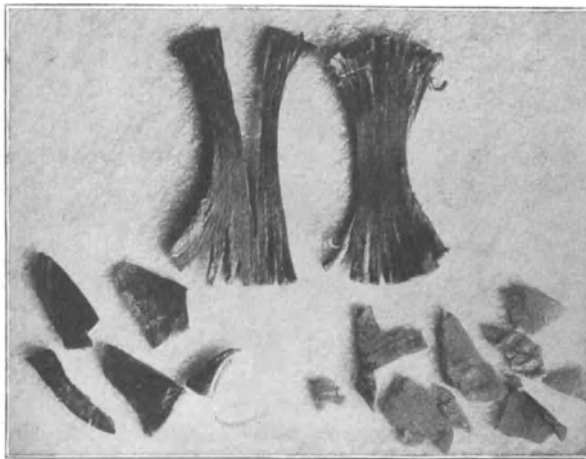


Abb. 51. Gedehnter, auf tiefe Temperatur abgekühlter Kautschuk nach L. Hock.

Kautschukkristalliten Platz. Die Struktur des Kautschuks stellt einen Sonderfall des Aufbaus von Faserstoffen dar. Ebenso wie Zellulose und andere Naturfasern aus in der Faserichtung zusammenhängenden Mizellen aufgebaut sind, sind auch im Kautschuk die Isoprenreste zu Ketten vereinigt, die sich bei der Dehnung in die Faserichtung

einstellen. Nach der Auffassung von Hauser und Mark liegen diese Ketten in ungedehntem Zustand bereits vorgeformt und in Form von Knäueln oder zusammengerollten Federn vor. Wo. Ostwald nimmt an, daß der gelartige Inhalt der Latexzellen eine regelmäßige Netzstruktur hat. Im ungedehnten Kautschuk sind die Netzmaschen zu weit, um Röntgeninterferenzen zu geben. Durch die Dehnung werden die Zellen in die Länge gezogen und dadurch die Maschen eng genug, um Röntgeninterferenzen bewirken zu können (Abb. 50<sup>1</sup>). Einen augenfälligen Nachweis der Faserstruktur des Kautschuk hat L. Hock erbracht, indem er gedehnten Rohkautschuk auf die Temperatur der flüssigen Luft abkühlte und durch Hammer- oder Meißelschläge aufspaltete (Abb. 51<sup>2</sup>). Die Fasern werden durch den Schlag fächerförmig auseinander getrieben, sie liegen in Bündeln in der Dehnungsrichtung. Im Gegensatz hierzu zerbricht ungedehnter, in flüssiger Luft gefrorener Kautschuk glasähnlich in unregelmäßigen Scherben.

Kautschuk wird bei langem Lagern in kalten Räumen hart und durchscheinend, kann aber durch Erwärmung aufgetaut werden. Die Veränderungen des spezifischen Gewichtes, der Härte und der Lichtabsorption sind bei der Auftautemperatur sprunghaft. Diese Erscheinungen werden durch die Annahme, daß der gefrorene Kautschuk kristalline Bestandteile enthält, befriedigend erklärt.

## 6. Vorbereitung des Rohkautschuks für die Weiterverarbeitung.

Der Rohkautschuk des Handels enthält außer dem Kautschukkohlenwasserstoff stark wechselnde Mengen von Feuchtigkeit, Harz, Eiweiß und mineralischen Bestandteilen. Der Plantagenkautschuk von den Heveabeständen der ostasiatischen Pflanzungen ist von einheitlicher Zusammensetzung. Dagegen enthält Wildkautschuk, auch Para, Verunreinigungen wie Sand, Holz- und Rindestückchen, Steine, selbst Metallteile, die zur Beschwerung absichtlich zugefügt wurden. Wildkautschuk muß deshalb vor der Weiterverarbeitung einer gründlichen Reinigung unterzogen werden. Die Rohblöcke werden auf Waschwalzen unter reichlicher Wasserzufuhr zerrissen, gründlich durchgearbeitet und zu dünnen Fellen ausgewalzt; dabei wird Harz, Eiweiß und andere Beimengungen ausgewaschen. Die Felle werden in Heißluft- oder Vakuumtrocknern getrocknet. Der Waschverlust, der Unterschied des Gewichtes vor und nach der Reinigung und Trocknung, beträgt bei Para fine Hard 16—18%. Plantagenkautschuk aus Ostindien ist so gut wie wasserfrei und sehr rein von Fremdkörpern. Nur für die Herstellung von Gegenständen, auf die auch sehr geringe Verunreinigungen

<sup>1</sup> Ostwald, Wo.: Welt der vernachlässigten Dimensionen, Abb. 41 a, b, c.

<sup>2</sup> Handbuch der Kautschukwissenschaft, Abb. 73.

schädlich wirken können, wie z. B. Automobilluftreifen, wird auch der Plantagenkautschuk gewaschen. Der Waschverlust bei Pale Crepe beträgt 0,5–1 %, bei smoked Sheets 1–1,3 %, bei braunem Crepe 4–6 %.

**Mischvorgang.** Die Kautschukfelle werden auf Mischwalzen oder in Knetmaschinen in den plastischen Zustand versetzt, um den für die Vulkanisation nötigen Schwefel, die Füllmittel und die Farben beimischen zu können. Diesen Vorgang hat Th. Hancock als Mastikation und die Knetmaschine als Mastikator bezeichnet. Beim Mastizieren wird der Kautschuk klebriger und seine elastischen Eigenschaften nehmen ab, er verliert an „Nerv“. Dies ist darauf zurückzuführen, daß beim Walzen die ursprüngliche Struktur des Kautschuks zum Teil zerstört und die klebrige Innenmasse der Latextröpfchen an die Oberfläche gebracht wird, während die zerrissenen Hüllen der Tröpfchen in der Masse verteilt werden. Wird der mastizierte Kautschuk in Ruhe gelassen, so erholt er sich wieder. Er gewinnt seinen Nerv zurück, wahrscheinlich dadurch, daß eine Art Rekristallisation stattfindet, wobei die anfängliche Ordnung der Kautschukmizellen teilweise wiederhergestellt wird. Wird Kautschuk totgewalzt, so ist die Zerstörung der ursprünglichen Ordnung so weit getrieben, daß eine Wiederumordnung nicht mehr möglich ist. Das Totwalzen tritt eher beim Arbeiten mit kalten Walzen ein, da in der Kälte die einzelnen Teilchen dem Druck durch Gleiten nicht ausweichen können, während bei Erwärmung die gleitende Verschiebung der Mizellen möglich ist.

Beim Auswalzen der Kautschukmischungen tritt eine Art Richtwirkung in der Walzrichtung auf, wodurch die Festigkeit in der Walzrichtung größer wird als quer dazu (s. Tabelle 5, S. 16).

Als anorganische Füllmittel dienen die „aktiven“ Füllstoffe Gasruß und Zinkoxyd, die eine beträchtliche Erhöhung der Zähigkeit und der elastischen Eigenschaften des fertigen Produktes bewirken, ferner Schwerspat, Kaolin, Kieselgur, Lithopone, Goldschwefel, Eisenoxyd, Bleiglätte, Mennige. Als organische Zusätze werden fein vermahlene Abfälle und Regenerat, mineralische und pflanzliche Fette und Öle, Bitumina und Peche teils zur Streckung des Bindemittels, teils zur Weichmachung gebraucht. Für manche Gummiwaren, z. B. für Radiergummi werden auch geschwefelte Öle, Faktis, zugemischt. Der braune Faktis entsteht durch Schwefeln von heißem Rüßöl, der weiße bei der Behandlung kalter fetter Öle mit Chlorschwefel.

Regenerat entsteht durch die Regeneration bereits vulkanisierter und gebrauchter Kautschukware. Unter Regeneration wird die Umwandlung solchen Kautschuks in einen rohgummiähnlichen Zustand verstanden, so daß er für sich oder mit ungebrauchtem Kautschuk wieder als Bindemittel dienen kann. Solange die Vulkanisation ausschließlich als chemische Reaktion aufgefaßt wurde, glaubte man, daß eine völlige

Entschwefelung und eine Rückgewinnung des Rohkautschuks möglich ist. Zahlreiche Versuche sind bisher fehlgeschlagen. Als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Regenerat dienen Gegenstände mit und ohne Gewebeeinlagen, z. B. Autoluftschläuche und Decken, Gummischuhe u. ä. Die Gewebeeinlagen werden entweder herausgelöst oder zerstört. Beim Alkaliverfahren werden die fein zerkleinerten Abfälle mit 8–10%iger Natronlauge oder anderen alkalischen Flüssigkeiten im Rührwerkskessel auf etwa 200° erhitzt und dabei die Gewebeteile zerstört. Aus dem Kessel gelangt das Gut in Schlämbottiche und Waschkolländer, dann in Zentrifugen und zur Trockenanlage. Zur Entfernung von Metallteilen und anderen harten Fremdkörpern werden hochwertige Regenerate durch Siebe gepreßt und zwar entweder durch Schlauchmaschinen oder durch hydraulische Pressen. Das Auswaschen des Alkalis ist sehr wichtig. Ein zweites Verfahren zur Gewinnung von Regenerat ist das Lösungsverfahren, bei dem das Altmaterial mit einem Lösungsmittel, z. B. mit Benzin erhitzt und die Kautschuklösung von den ungelösten Füll- und Faserstoffen abgetrennt wird. Danach wird die Lösung mit starker Natronlauge erhitzt und das Benzin mit Wasserdampf abgetrieben (Verfahren von P. Alexander).

Der Verbrauch an Regenerat war z. B. in den Vereinigten Staaten ein sehr erheblicher, und zwar 25–30% des Rohgummiverbrauches. Die mechanische Widerstandsfähigkeit der mit Regenerat hergestellten Waren verschlechtert sich ungefähr im Verhältnis der zugesetzten Regeneratmengen. In den letzten Jahren ist die Beschaffenheit des Regenerates wesentlich verbessert worden.

Einen anderen Zusatz bilden die Beschleuniger, die die Dauer der Vulkanisation abkürzen, zugleich aber auch die Eigenschaften der Fertigwaren verbessern sollen.

Nachdem der Rohkautschuk gereinigt und auf dem Mischwalzwerk mit den anderen Mischungsbestandteilen vereinigt ist, wird die Mischung auf dem Kalandar zu einem dünnen, glatten Bande ausgewalzt, das beim Verlassen des Kalandars noch warm und plastisch ist und möglichst schnell in Stoff eingewickelt wird, der sich mit dem Kautschukband zugleich einrollt. Fast für alle Gummiwaren mit hohem Kautschukgehalt stellt die auf dem Kalandar ausgewalzte Gummiplate das Ausgangsmaterial für die weitere Verarbeitung dar.

Sollen dagegen Kautschukmischungen mit einem besonders hohen Gehalt an Fasern und Füllmitteln hergestellt werden, so wird der Kautschuk, der vorher gereinigt oder gewaschen sein kann, mit einem Lösungsmittel im Rührwerk zur Quellung und Lösung gebracht und dieser Lösung dann in der Knetmaschine Fasern und Füllstoffe einverleibt. Derartige stark gefüllte Mischungen werden in der Elektroindustrie für Formstücke und Platten gebraucht, wo besondere Wärmebeständigkeit und Zähigkeit verlangt wird. Vulkanasbest, Gummi-asbest oder



Asbestonit enthält z. B. nur 10–20% Kautschuk. Auch Stabilit und Isolast sind stark gefüllte Abarten des Hartgummi.

## 7. Vulkanisation.

Durch die Vulkanisation geht der Kautschuk aus dem plastischen Zustand in den elastischen über. Er wird gegen Temperaturunterschiede unempfindlicher, seine Reißfestigkeit — und als Weichgummi — seine Dehnbarkeit steigt, die Löslichkeit nimmt ab. Vulkanisierter Kautschuk ist bei Zimmertemperatur nicht mehr in den Lösungsmitteln des Rohkautschuks lösbar, sondern nur noch mehr oder weniger quellbar. Außer den Crepeschuhsohlen, dem Kau- und Radiergummi und den Gummilösungen zum Bestreichen von Geweben oder zum Reparieren und Verkleben von Luftschläuchen sind wohl alle Gummiwaren vulkanisiert. Trotzdem die Heißvulkanisation von Ch. Goodyear bereits 1839 und die Kaltvulkanisation von A. Parkes 1846 gefunden wurde, hat man fast 50 Jahre diese Verfahren angewendet, ohne die sich dabei abspielenden Vorgänge aufzuklären. Trotz zahlreicher Arbeiten, die sich in den letzten 30 Jahren mit der Vulkanisation beschäftigen, ist eine endgültige Klärung noch nicht erfolgt.

Eine Vulkanisation kann bei jeder Temperatur stattfinden. Bei sehr tiefen Temperaturen, — 50° C, zeigt nach Le Blanc und Kröger Rohkautschuk ein ähnliches Verhalten wie vulkanisierter Kautschuk bei 20°. Die Kälte bewirkt eine Art Vulkanisation ohne Schwefel, ihr Einfluß verschwindet aber wieder bei Erwärmung. Die Heißvulkanisation setzt ebenso wie die Kaltvulkanisation das Vorhandensein von Schwefel in der Mischung voraus. Die Eigenschaften einer Kautschuk-Schwefelmischung hängen unter anderem von der Schwefelmenge, von der Temperatur und der Dauer der Vulkanisation ab. Weichgummi enthält wenige Prozent Schwefel, Hartgummi kann bis zu 32% Schwefel enthalten. Die Heißvulkanisation erfolgt durch Erhitzen der geformten Gummiwaren in Druckkesseln oder zwischen den geheizten Platten von hydraulischen Pressen. Die Kaltvulkanisation läßt sich nur für dünnwandige Gegenstände anwenden, die bei gewöhnlicher Temperatur in eine Lösung von Chlorschwefel in Schwefelkohlenstoff getaucht werden. Eine andere Art der Vulkanisation ist der Peachey-Prozeß; bei diesem wird die Kautschukmischung während kurzer Zeit der Einwirkung gasförmiger schwefliger Säure ausgesetzt und nach kurzem Lüften in Schwefelwasserstoffgas gebracht. Durch den bei der Reaktion der beiden Gase entstehenden Schwefel, der in statu nascendi, d. h. beim Entstehen besonders wirksam ist, tritt eine schnelle Kaltvulkanisation ein.

Die Vulkanisation ist eine chemische Reaktion und eine Art Polymerisation, die auf Anlagerung von Schwefel an Doppelbindungen von Kautschukkohlenwasserstoffen beruht. Daß es sich nicht allein um

eine chemische Reaktion handelt, kann daraus geschlossen werden, daß es bisher nicht gelungen ist, schwefelfreien Kautschuk aus vulkanisierten Kautschukmischungen zurückzugewinnen. Schon geringe Schwefelmengen genügen, um durch die Vulkanisation die Eigenschaften des Kautschuks weitgehend zu verändern. Beim Erhitzen löst sich zunächst der Schwefel im Kautschuk, dann tritt allmählich chemische Bindung ein. Gleichzeitig erfolgt aber eine teilweise Zerstörung der Struktur des Kautschuks durch die Wärme. Diese Zerstörung muß möglichst verhindert und die Schwefelbindung befördert werden, wenn die Fertigwaren gute Eigenschaften haben sollen. Der zunächst im Kautschuk gelöste Schwefel kann sich erst verbinden, wenn er in den atomaren wirksamen Zustand überführt ist. Dies geschieht vermutlich durch den Kautschukkohlenwasserstoff selbst, teils durch Eiweiß und Harze im Kautschuk. Wird der aktive Schwefel langsam gebildet, so kann die Wärme ihre störende Wirkung stärker entfalten. Entsteht er rasch, so wird auch seine Bindung beschleunigt, die Wärme kann die störende Wirkung nicht ausüben, es entsteht ein nervigeres Produkt. Auf diesen Vorgängen beruht wahrscheinlich die günstige Wirkung organischer Beschleuniger, da sich in ihrer Gegenwart der aktive Schwefel schnell bildet.

Die Kaltvulkanisation verläuft ähnlich, an Stelle der Wärme wirkt der Vorgang der Lösung.

Die organischen Beschleuniger sind von größter Bedeutung für die Kautschukverarbeitung geworden. Die Chemiker der Elberfelder Farbfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co. beobachteten bei der Vulkanisation von Methylkautschuk, dem sie zum Schutz gegen Zersetzung durch Luftsauerstoff geringe Mengen von organischen Basen wie Anilin, Dimethylamin und Piperidin zusetzten, daß schon 1% Piperidin die Aufnahme des 8fachen der erwarteten Schwefelmenge bewirkte. Auch auf Naturkautschuk wirkte Piperidin in ähnlicher Weise, aber nicht nur dieses und seine Homologen, sondern auch gewisse feste Additionsprodukte dieser Basen. Heute sind hunderte von Verbindungen als organische Beschleuniger bekannt, die sich nach Luff-Schmelkes<sup>1</sup> einteilen lassen in stickstoffhaltige und stickstofffreie Beschleuniger. Zu den ersten gehören die Ammoniakderivate von Aldehyden: Hexamethylenetetramin (HMT, Hexamin, Hexa), Anilin, Piperidin, Acceleren; zu den letzteren Xanthogenate, das sind Reaktionsprodukte von Schwefelkohlenstoff mit alkoholischen Alkalilösungen, Anthrachinon u. a.

Die organischen Beschleuniger sind schon in geringen Mengen wirksamer als die anorganischen in großen Mengen, von denen Kalk, Magnesia und Bleiverbindungen genannt seien. Die organischen Beschleuniger verkürzen die Vulkanisationszeit, vermindern die Vulkanisationstemperatur und lassen mit geringerem Schwefelgehalt bessere Fertigwaren erzielen. Sie wirken als Vulkanisationsveredler.

<sup>1</sup> Luff-Schmelkes: Chemie des Kautschuks, Berlin 1925.

## 8. Wirkung der Füllmittel.

Die Vorstellung, daß die Füllmittel nur Verdünnungs- und Verbilligungsmittel für den Kautschuk sind, ist verfehlt. Die Verdünnung des Kautschuks mit Füllmitteln bedingt durchaus nicht immer eine Verschlechterung seiner Eigenschaften. Bestimmte Füllmittel können der Mischung Eigenschaften verleihen, die diejenigen des reinen Kautschuks oft übertreffen und die reiner Kautschuk ohne diese Füllmittel nicht erlangen kann. Zu den aktiven Füllmitteln gehören in erster Linie der Ruß und zwar amerikanischer Gasruß, dann Zinkweiß. Hierzu gehören ferner basisches Magnesiumkarbonat und Kaolin. Mit zunehmender Feinheit steigt die Wirkung der Füllmittel. Die Teilchengröße ist aber nicht allein bestimmend, neben ihr wirken ganz spezifische Oberflächeneigenschaften. Zuerst hat D. F. Troiss darauf hingewiesen, daß mit

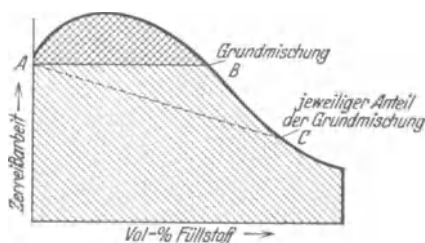


Abb. 52. Einfluß des Füllstoffzusatzes auf die Zerreißarbeit von Kautschuk nach W. B. Wiegand.

zunehmender Feinheit eines Füllstoffes die Festigkeit und Zähigkeit einer Kautschukmischung wächst. Dann hat W. B. Wiegand durch viele sorgfältig erdachte Versuche gezeigt, daß zwischen der Oberflächenentfaltung eines Füllmittels und seiner verstärkenden Wirkung enge Beziehungen bestehen, die auf Grenzflächenkräften zwischen Füllmittel und Kautschuk beruhen. Die Abhängigkeit der verstärkenden

Wirkung von der Konzentration wurde für verschiedene Füllmittel bestimmt. Wiegand hat als erster die verstärkende Wirkung in einem Arbeitsmaß ausgedrückt, indem er in einem Koordinatensystem als Ordinate die Kraft, die zum Zerreißen der Probe nötig ist, und als Abszisse die zugehörige Dehnung auftrug und durch Planimetrieren der von Abszisse und Kurve eingeschlossenen Fläche die geleistete Arbeit bestimmte, die er Widerstandsenergie, Proof resilience, nannte. In eine Grundmischung, deren Zerreißarbeit von der Vulkanisationszeit ziemlich unabhängig war, und die aus 100 Raumteilen Kautschuk, 3 Raumteilen Bleioxyd und 2,5 Raumteilen Schwefel bestand, wurden steigende Mengen des Füllmittels eingemischt und die Widerstandsenergie bestimmt. Die Volumprocente Füllstoff beziehen sich auf das Volumen des in der Mischung enthaltenen Kautschuks, stellen also die zu 100 Raumteilen Kautschuk gehörenden Raumteile Füllstoff dar. Wie Abb. 52<sup>1</sup> zeigt, die für das Füllmittel Zinkweiß gilt, steigt die Widerstandsenergie mit Zunahme der Füllmittelmenge bis zu 20% Raumteilen an und sinkt bei weiterer Steigerung der Füllmittelmenge wieder. Bezeichnet die

<sup>1</sup> Aus Handbuch der Kautschukwissenschaft, Abb. 101. Abschn. Physik des Kautschuks von L. Hock.

Horizontale AB im Bild die Zerreiẞarbeit der Grundmischung, so ist die von ihr und der Kurve eingeschlossene, doppelt schraffierte Fläche das Maẞ für die Verstärkerwirkung des Füllstoffs. Scheinbar wirkt schon ein Füllstoffzusatz, der größer ist als der dem Punkt B der Kurve entsprechende, bei Zinkweiẞ etwa 42%, nicht mehr verstärkend, sondern vermindern auf die Widerstandsenergie, aber nur deshalb, weil die

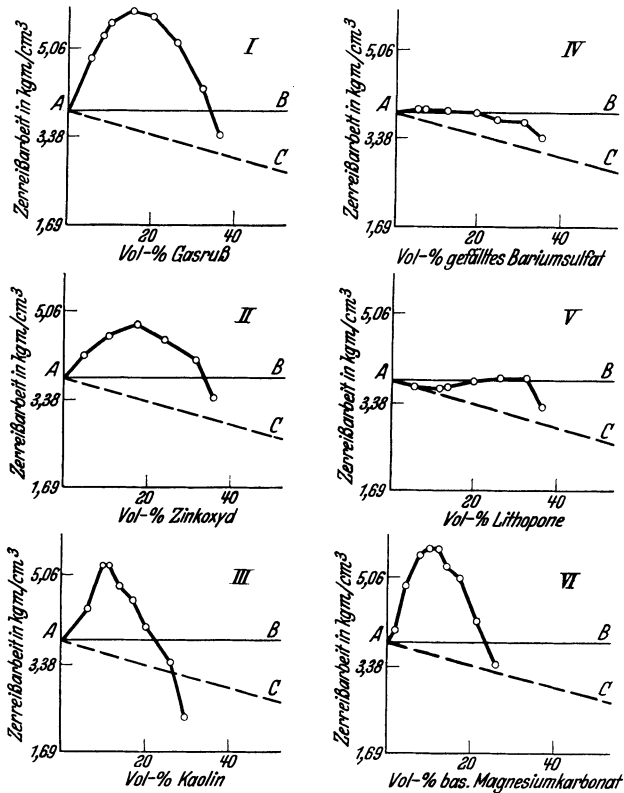


Abb. 53. Abhängigkeit der Zerreiẞarbeit von Kautschukvulkanisaten von ihrem Gehalt an Füllstoffen nach Wiegand und Greider.

Horizontale AB sich auf die Zerreiẞarbeit der 100%igen Ausgangsmischung bezieht. Wird aber die Zerreiẞarbeit der in jeder Mischung tatsächlich vorhandenen Menge Grundmischung, die durch die Gerade AB' dargestellt wird, zum Vergleich benutzt, so tritt die Verschlechterung durch den Füllstoffzusatz erst viel später ein, bei B', für Zinkweiẞ etwa 63%, und die Zunahme der Widerstandsenergie wird dann durch die doppelt und durch die einfach schraffierte Fläche dargestellt.

Die Beziehung zwischen Volumen- und Gewichtsprozenten ergibt sich nach Hartner aus den Gleichungen

$$f = \frac{100 F}{100 k - F (k - 1)}, \quad F = \frac{100 k}{\frac{f}{100 + (k - 1)}}$$

$$f = \text{Vol.-% Füllstoff}, \quad k = \frac{s_f}{s_k}$$

$$F = \text{Gew.-% Füllstoff},$$

$s_f$  = spezifisches Gewicht des Füllstoffes,  $s_k$  = spezifisches Gewicht des Grundstoffes, hier des Kautschuks. Ist  $V_m$  das Volumen von 100 Gewichtsteilen Mischung, so ist

$$V_m = \frac{F}{s_f} + \frac{100 - F}{s_k}, \quad \text{ferner ist } f = \frac{v_f \cdot 100}{V_m}$$

Daraus errechnen sich die beiden ersten Gleichungen.

Bei Betrachtung der Oberflächenenergie der Füllmittel sind die Rechnungen nach Volumprozenten auszuführen und nicht nach dem Gewicht, das in diesem Zusammenhang ohne Bedeutung ist. Einige der von Wiegand ermittelten Kurven für die Abhängigkeit der Zerreißarbeit vom Füllmittelgehalt sind in Abb. 53<sup>1</sup> wiedergegeben. Tabelle 21 enthält das Ergebnis von Vergleichsversuchen, die an Mischungen mit je 20 Volumprozenten der verschiedenen wichtigen Füllstoffe vorgenommen wurden. In der letzten Spalte ist die spezifische Oberfläche der Füllstoffe unter der Annahme der Kugelgestalt der kleinsten Teilchen errechnet.

Tabelle 21. Wirksamkeit verschiedener Füllstoffe in Kautschukmischungen.

| Zusammensetzung der Mischungen:<br>Grundmischung mit 20 Vol.-% des Füllmittels | Zerreißarbeit<br>(Widerstandsenergie) in |       | Unterschied der Zerreißarbeit        |                                                                      | Füllmittel-Oberfläche in qm je cem |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                | m kg<br>je cem                           | g-cal | von gefüllter und Grundmischung in % | auf gleiche Kautschukmengen bezogen, d. h. auf 84% der Grundmischung |                                    |
| Ohne Zusatz . .                                                                | 3,80                                     | 8,89  | —                                    | —                                                                    | —                                  |
| Gasruß . . .                                                                   | 5,40                                     | 12,65 | + 42                                 | + 69                                                                 | 485                                |
| Lampenruß . .                                                                  | 4,05                                     | 9,48  | + 6,6                                | + 27                                                                 | 386                                |
| Kaolin . . . .                                                                 | 3,42                                     | 8     | — 10                                 | + 7                                                                  | 77,3                               |
| Eisenoxyd . . .                                                                | 3                                        | 7,01  | — 21                                 | + 1                                                                  | 38,6                               |
| Zinkoxyd . . .                                                                 | 4,47                                     | 10,47 | + 18                                 | + 40                                                                 | 38,6                               |
| Kreide . . . .                                                                 | 3,46                                     | 8,10  | — 9                                  | + 8                                                                  | 15,4                               |
| Kieselgur . . .                                                                | 3,08                                     | 7,21  | — 19                                 | — 3                                                                  | 12,9                               |
| Schwerspat . .                                                                 | 3,04                                     | 7,11  | — 20                                 | — 4                                                                  | 7,6                                |

<sup>1</sup> Handbuch. der Kautschukwissenschaft, Abb. 103.

F. Hartner hat im Anschluß an die Arbeitens Wiegands und Bostroems die Verstärkerwirkung verschiedener Füllmittel in unvulkanisierten Kautschukmischungen untersucht<sup>1</sup> durch Messung 1. der Quellungswärme des rohen Kautschuks in Benzin, 2. der Benetzungswärme des Füllmittels in Benzin und 3. der Quellungswärme der Mischung in Benzin. Durch Vergleich von 1 + 2 mit 3 wurde die Energie ermittelt, die verbraucht wurde, um die Bindung zwischen Kautschuk und Füllmittel zu lösen. Diese Energie wurde auf 1 ccm Füllmittel umgerechnet. Bei Ruß ergab sich im Wärmemaß ausgedrückt z. B. die Benetzungswärme gleich 7,96 cal je ccm Ruß vom spezifischen Gewicht 1,75. Dann wurde an den gleichen Mischungen die Zerreiẞarbeit gemessen und entsprechend dem mechanischen Wärmeäquivalent 1 m kg = 2,34 g cal, in Wärmemaß umgerechnet. Tabelle 22 enthält die Zusammenstellung der Werte für mechanische Verstärkung und innere Benetzungswärme von unvulkanisierten Kautschukmischungen in g cal.

Tabelle 22.

| Zusammensetzung der Mischung | Zerreiẞarbeit je ccm Mischung gemessen | Um-gerechnete Verstärker-wirkung je ccm Mischung | Kalorimetrisch ermittelte Grenzflächenkräfte |                    |                  |
|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|------------------|
|                              |                                        |                                                  | je ccm Mischung                              | je ccm Füll-mittel | je g Füll-mittel |
| Rohkautschuk                 | 0,296                                  |                                                  |                                              |                    |                  |
| Füllmittel Ruß               |                                        |                                                  |                                              |                    |                  |
| 8,5 Vol.-%                   | 0,418                                  | 0,15                                             | 0,67                                         | 7,96               | 4,53             |
| 17 ..                        | 0,805                                  | 0,56                                             | 1,03                                         | 6,08               | 3,47             |
| 25,5 ..                      |                                        |                                                  | 1,35                                         | 5,25               | 3,03             |
| 34 ..                        |                                        |                                                  | 1,72                                         | 4,97               | 2,9              |
| Füllmittel Zinkoxyd          |                                        |                                                  |                                              |                    |                  |
| 8,5 Vol.-%                   | 0,493                                  | 0,22(?)                                          |                                              |                    |                  |
| 17 ..                        | 1,13                                   | 0,88                                             | 1,51                                         | 8,84               | 1,58             |
| 25,5 ..                      | 1,15                                   | 0,93                                             | 1,41                                         | 5,54               | 0,99             |
| 34 ..                        | 1,47                                   | 1,27                                             | 1,62                                         | 4,76               | 0,85             |

Zu diesen Werten bemerkt Hartner u. a. „An dem Absinken der Grenzflächenkräfte mit zunehmender Konzentration sieht man, daß ein Füllstoff um so schlechter ausgenutzt wird, in je größerer Menge er in Kautschuk eingemischt wird, d. h. daß bei höheren Konzentrationen ein großer Teil des Füllstoffs nur als Ballast wirkt“. Wichtig ist, daß die mechanischen und kalorimetrischen Werte bei gleichem Alterungsgrad der Mischungen und des Rohkautschuks ermittelt werden. Der Verlauf der von Wiegand empirisch ermittelten Kurven, in denen die Erhöhung

<sup>1</sup> Die Grenzflächenenergie zwischen Kautschuk und Füllstoffen. Diss. Fritz Hartner, Gießen. Kolloidchem. Beih. Bd. 30 (1929) Heft 1—3.

der Zerreißarbeit zur Füllstoffmenge in Beziehung gesetzt wird, stimmt mit den Beobachtungen Hartners gut überein.

## 9. Einteilung der Gummiwaren.

Das außerordentlich mannigfaltige Gebiet der Gummiwaren läßt sich an Hand der folgenden Aufstellung übersehen. Unvulkanisiert wird Kautschuk in den Gebrauch übergeführt: Durch Zerschneiden von Crepefellen in Sohlen oder von entsprechenden, meist auch Faktis enthaltenden Mischungen in Stücke von Radiergummi; durch Lösen und Bestreichen von Stoffbahnen zur Anfertigung von Kleidungsstücken.

Vulkanisiert kann Kautschuk je nach der zugesetzten Schwefelmenge als Weichgummi oder Hartgummi verarbeitet werden.

Weichgummi wird mit oder ohne Einlage von Geweben auf der Schlauchmaschine zu Schläuchen und vollen Profilen verformt. Auf gleiche Weise entstehen die Kautschukumhüllungen von Drähten und Kabeln. Aus den hohlen oder vollen Profilen, die meist frei in Talkum eingebettet vulkanisiert werden, entstehen durch Zerschneiden Gummiringe, Puffer u. ä. In Formen vulkanisiert werden Fahrzeugbereifungen, Spielsachen wie Bälle und Puppen, oder Walzenbezüge. Hier erfolgt die endgültige Formgebung in der Vulkanisierform. Bei Treibriemen, Gummimatten, Fliesen u. ä. bestimmt die Form der Platten der Pressen, zwischen denen die Vulkanisation erfolgt, die Gestalt der Fertigwaren.

Tauchwaren entstehen durch wiederholtes Eintauchen von Glasformen in Kautschuklösungen; diese dünnwandigen Gebilde wie Sauger, Fingerlinge, Handschuhe und chirurgische Artikel werden kalt vulkanisiert.

Hartgummi wird auch auf der Schlauchmaschine zu Stäben oder Rohren geformt, oder auf Pressen zu Platten oder mit Hilfe von Formen aus einer Bleilegierung zu Formstücken verarbeitet. Aus vorgeformten Platten werden große Stücke wie Akkumulatorenkästen oder Spulenkörper zunächst mit Gummilösung an den Stoßstellen verklebt und dann in Formen vulkanisiert. Die stark gefüllten Hartgummisorten wie Eisengummi, Stabilit oder Vulkanasbest werden in der Knetmaschine aufbereitet und als körnige oder wollige Mischungen zerteilt in Vor- und Nachpreßwerkzeugen geformt und in letzteren vulkanisiert. Das ganze Gebiet der Kautschukverarbeitung ist so groß und mannigfaltig, daß keine Fabrik alle Sorten von Gummiwaren herstellt, sondern daß eine Fabrik meist nur eine bestimmte Art, z. B. Weichgummi oder Hartgummi (in noch feinerer Unterteilung) erzeugt.

## 10. Herstellung von Weichgummiwaren.

Die folgenden Bilder zeigen einige Beispiele der Herstellung von Weichgummiwaren. Die Spritzmaschinen auf Abb. 54<sup>1</sup> dienen zur Her-

<sup>1</sup> Abb. 54—61 aus der A.-G. Metzeler & Co., München.

stellung von Schläuchen und Vollprofilen. Die Schläuche werden auf mit Talkum gefüllte Pfannen gelegt und in diesen in die Vulkanisierkessel

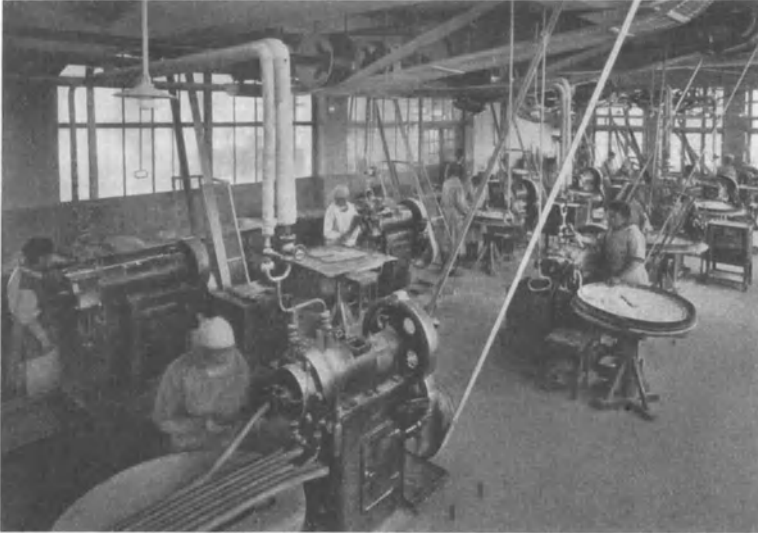


Abb. 54. Spritzmaschinensaal einer Weichgummifabrik.

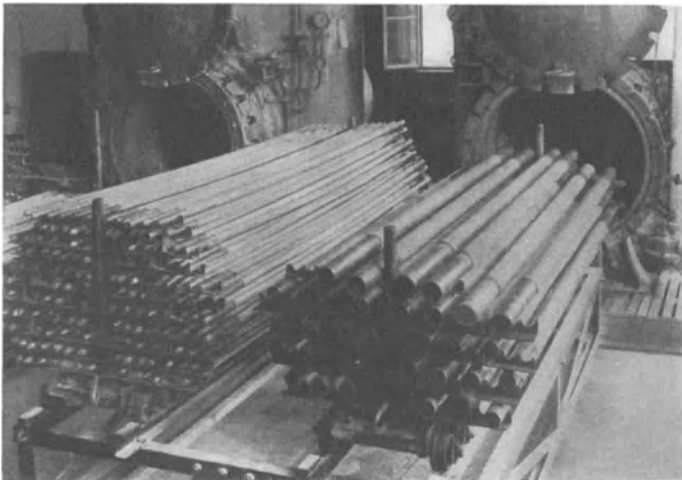


Abb. 55. Vulkanisieren von Fahrradschläuchen.

gebracht. Die vulkanisierten Schläuche oder Vollprofile werden auf Schneidmaschinen in Ringe, Scheiben und Puffer zerteilt. Ist zu befürchten, daß die Schläuche beim Vulkanisieren zusammenfallen,



so werden sie vorher auf Dorne oder Rohre aufgezogen und gelangen so in den Kessel (Abb. 55). Stärkere Schläuche für Autobereifung

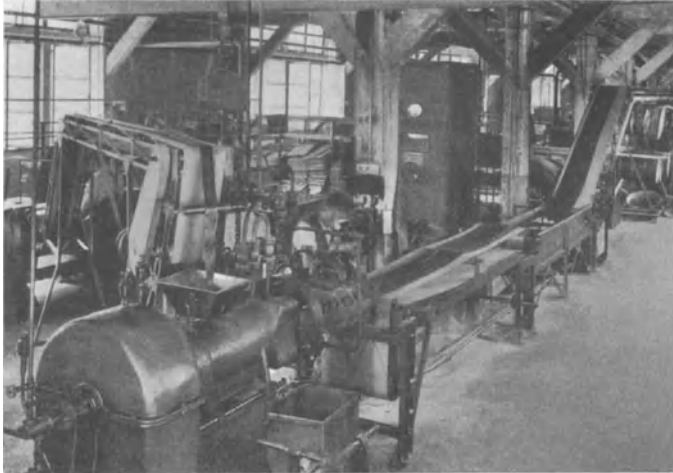


Abb. 56. Spritzen von Profildecken für Autoreifen.

werden auf gebogene Dorne aufgezogen. Je nach der Form des Mundstücks der Spritzmaschine lassen sich verschiedene Profile bilden. Abb. 56

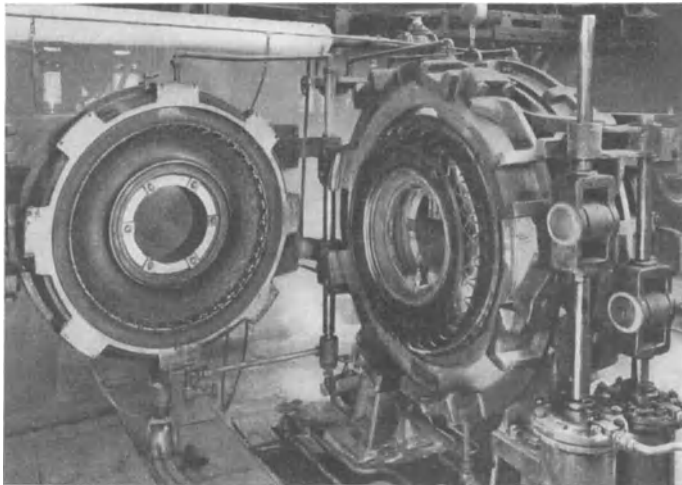


Abb. 57. Vulkanisierform für Autoreifendecke.

zeigt eine Spritzmaschine, in deren Fülltrichter die angewärmte Mischung in Form eines aus der kalandrierten Platte geschnittenen Bandes einläuft. Die Mischung verläßt das Mundstück der Maschine in einem

dreifachen Profil, das die Lauffläche eines Autoreifens bilden wird. Autoreifen bestehen aus vielen Lagen eines gummierten Kordgewebes, in das an den beiden Kanten mit Gummiband umwickelte Drahtseilringe eingebettet sind. Über die äußerste Lage des Kordgewebes wird die aus einer besonders gegen Zermürbung widerstandsfähigen Mischung bestehende Lauffläche gelegt. Der so aufgebaute Reifen bildet einen Zylinder mit einer Verstärkung für die Lauffläche in der Mitte. In diesen Zylinder werden elastische Formschläuche gebracht, die mit Druckluft aufgepumpt werden und infolge ihrer Ausdehnung den Reifen



Abb. 58. Ausschneiden von Wärmflaschen.

in seine endgültige Form bringen. Nach Entfernen des Formschlaches wird der Kernschlauch in den vorgeformten Reifen gebracht, die Wulstringe auf einer besonderen Presse aufgepreßt und der so vorbereitete Reifen in die Vulkanisierform gelegt (Abb. 57). In den Heizschlauch, der sich im Reifen befindet, dringt Dampf von hoher Spannung und preßt den Reifen gegen die Formwand, wobei das Muster des Gleitschutzes in die Lauffläche eingedrückt wird.

Für Wärmflaschen, Eisbeutel oder Badhauben werden die einzelnen Teile mittels Schablonen aus der rohen kalandrierten Platte ausgeschnitten (Abb. 58), in gravierte Formen gelegt (Abb. 59), und auf Etagenpressen vulkanisiert. Hohlkörper wie Gummibälle oder Bälle für Spritzen werden aus einzelnen Teilen der rohen Platte ausgeschnitten, vorgeformt und in Vulkanisierformen (Abb. 60) gebracht, nachdem vor dem Verkleben der letzten Naht ein Treibmittel eingelegt ist. Während der Heizung vergast das Treibmittel und preßt den Hohlkörper fest gegen

die Formwände. Für Eisbeutel und ähnliche Gegenstände wird an Stelle der rohen Gummiplatte auch sog. Patentgummi verwendet. Dieser

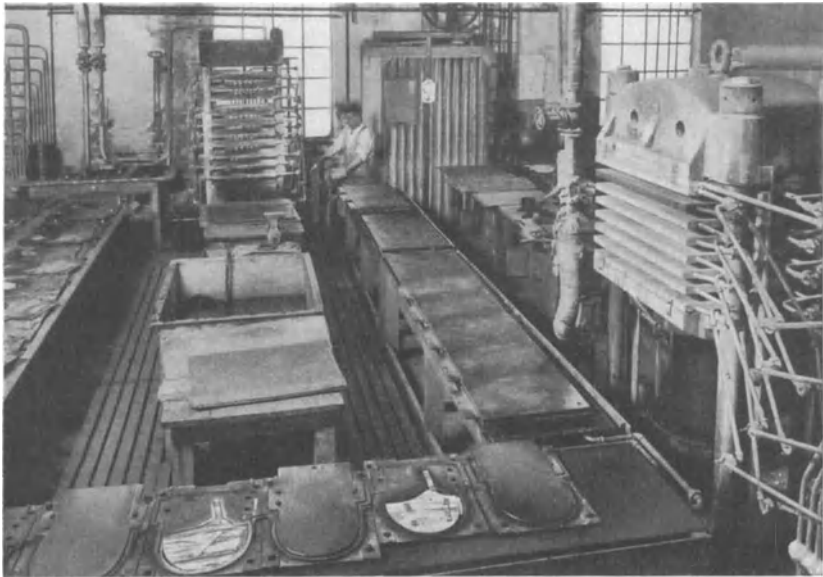


Abb. 59. Vulkanisierformen für Badehauben.



Abb. 60. Vulkanisierformen für Bälle.

wird gewonnen, indem Kautschuk warm aus dem Mastikator genommen und unter einer Presse in einem zylindrischen Aufnehmer zu einem

Ballen zusammengepreßt wird. Nach langsamer Abkühlung unter Druck wird der Ballen in ein Kältebad von  $-5^{\circ}\text{C}$  gebracht und dort einige Tage durchfrozen. Nachdem der Ballen möglichst einige Monate in einem trocknen, kühlen Raum gelagert ist, wird er auf einer Schneidemaschine spiralförmig in dünne Platten aufgeschnitten. Diese dünnen Platten werden weiter verarbeitet wie Kalanderplatten, die Vulkanisation erfolgt aber kalt.

**Tauchwaren** entstehen durch wiederholtes Eintauchen von Glasformen in Kautschuklösung. Abb. 61 zeigt einen mit Glasformen für Sauger gefüllten Tauchapparat. Die Tauchapparate sind vollkommen gasdicht geschlossen, damit das aus den geformten Stücken verdunstete Lösungsmittel nicht entweichen und wieder gewonnen werden kann. Aus dem Tauchapparat gelangen die Stücke nach dem Rändeln oder Einfassen in die Vulkanisieranlage, wo sie entweder in Chlorschwefeldämpfen oder Lösungen vulkanisiert werden. Tauchwaren lassen sich auch unter gewissen Bedingungen aus Latex herstellen.



Abb. 61. Tauchapparat für Gummisauger.

**Streichwaren** sind die mit Kautschuk bestrichenen und imprägnierten Gewebe. Das Gewebe wird über eine Streichmaschine geführt und auf dieser mit einer oder mehreren dünnen Lagen von Kautschuklösung durch ein Streichmesser bestrichen. Das Gewebe läuft über Heizplatten, damit das Lösungsmittel verdampft. Das getrocknete Gewebe wird aufgerollt und vulkanisiert. Statt der Kautschuklösung läßt sich auch Latex verwenden.

## 11. Herstellung von Hartgummiwaren.

Hartgummi unterscheidet sich von Weichgummi durch höheren Schwefelgehalt. Kautschuk kann bis zu 32 Gew.-% Schwefel binden.

Die Mischung wird auf geheizten Walzen und mit ähnlichen Füllmitteln hergestellt wie für Weichgummi. Hartgummistaub ist außer den auf S. 132 genannten Füllmitteln wichtig. Die Mischung wird auf Kalandern ausgewalzt, die vom Kalandar kommende Gummiplatte ist auch beim Hartgummi das Ausgangsmaterial für die weitere Verarbeitung. Röhren und Stäbe werden auf der Spritzmaschine geformt, Platten je nach Stärke bis zu 2 mm aus einer, für größere Stärken aus mehreren Lagen auf der Etagenpresse zusammengepreßt. Um eine glatte Oberfläche zu erzielen, werden die Platten zwischen zwei Zinnfolien gepreßt. Beim Zusammenfügen müssen Luftblasen zwischen den Lagen vermieden werden. Die Lagen werden deshalb vorsichtig mit Handwalzen zusammen-



Abb. 62. Schrumpfung von Hartgummimischungen nach H. Warren, Electrical Insulating Materials.

gedrückt. Beim Vulkanisieren werden die Platten in mit Wasser gefüllte Gefäße gelegt, damit die Erwärmung durch den eindringenden Dampf langsam und gleichmäßig erfolgt und Blasenbildung vermieden wird. Nach dem Vulkanisieren wird die Zinnfolie abgenommen, die Platte in einer geheizten Presse gerade gerichtet und schließlich von der dünnen Zinnglanzschicht durch Abbeizen mit Salzsäure befreit.

Formstücke werden in erwärmten Stahl- oder Hartbleiformen aus der vorgewärmten und abgeteilten kalandrierten Platte, die sich leicht in die Höhlung der Form drücken läßt, unter leichten Pressen vorgeformt und leicht anvulkanisiert. Die Formstücke sind noch nicht hart, wenn sie die Form verlassen, und können dann entgratet und frei oder in Talkum eingebettet nachvulkanisiert werden. Nach dem Vulkanisieren haben sie eine raue Oberfläche und sind nicht unerheblich geschrumpft. Die durchschnittliche Schrumpfung einer mittleren Hartgummisorte ist aus der Kurve Abb. 62 zu sehen. Sollen genaue Maße eingehalten werden, so müssen die entsprechenden Stellen durch Drehen oder Schleifen bearbeitet werden. Hartgummi läßt sich ausgezeichnet polieren.

Große Gegenstände wie Akkumulatorenkästen oder Rohre großer Abmessungen werden aus Kalandierplatten um eine Metallform z. B. aus Aluminium oder Gußeisen aufgebaut, die Stoßfugen mit Gummilösung bestrichen und durch Handwalzen zusammengepreßt. Die Stücke werden auf der Form vulkanisiert. Akkumulatorenkästen werden heute aus besonderen, schnell vulkanisierenden Mischungen bis zu beträchtlichen Abmessungen in Stahlformen hydraulisch gepreßt und vulkanisiert.

Andere Formstücke, die aus Hartgummi hergestellt werden, sind die mannigfachen Isolierteile in der Telefonie, im Meßinstrumenten- und

im Radioapparatebau, ferner Pumpen- und Leitungsteile und Armaturen für Säureförderung, dann zahlreiche Gegenstände des täglichen Gebrauchs wie Kämmе, Füllfederhalter oder chirurgische Instrumente verschiedener Art. Säurefeste Auskleidungen chemischer Apparate entstehen, indem die Metalloberfläche mit einer Gummilösung bestrichen, dann ein grobmaschiges Gewebe aufgeklebt und auf dieses die Hartgummiplatte aufgewalzt wird.

Die stark gefüllten Hartgummisorten sind zuerst zur Herstellung von Verteilerscheiben für die Zündapparate von Automobilen hergestellt worden, z. B. Stabilit der AEG oder Aeternit der SSW. Von diesen Sorten wurde verlangt, daß, wenn der elektrische Lichtbogen auf ihnen eine Kohlebrücke erzeugt, diese nicht leitet und daß die Wärmebeständigkeit höher ist, als bei den normalen Hartgummisorten.

Vulkanasbest, auch Gummiasbest oder Asbestonit genannt, ist eine auf kaltem Wege durch Mischen von Asbest mit gelöstem Kautschuk entstandene stark gefüllte Sorte, die größere Wärmebeständigkeit als Hartgummi besitzt. Die breiige Masse wird in Rahmen über ein Gewebe eingestrichen, um Platten zu erhalten, das Lösungsmittel in mäßiger Wärme abgesaugt, die Platten auf der geheizten Etagenpresse zusammengedrückt und vulkanisiert. Formstücke werden aus einer vorgetrockneten und flockigen bis körnigen Masse auf ähnliche Weise erzeugt wie aus Hartgummi, nur ist für die zähe Masse größerer Preßdruck und daher Verwendung von Stahlformen nötig.

Jt-Platten für Dichtungen von Dampf- und Wasserleitungen werden auf ähnliche Weise kalt hergestellt wie Vulkanasbest. Derartige Platten, die Asbest und etwas Schwefel enthalten, werden meist mit Eisenoxyd rot gefärbt. Die teigige Mischung wird auf einer geheizten Walze zu einem Zylinder aufgewalzt, bis die gewünschte Schichtdicke erreicht ist, dann wird der Zylinder, der die Walze umhüllt, aufgeschnitten und zur Platte gestreckt.

## 12. Direkte Latex-Verarbeitung.

Die Möglichkeit, Latex unmittelbar zu verarbeiten, hat zu zwei neuen Methoden geführt. Das eine Verfahren benutzt die Eigenschaft des Latex, sich durch den elektrischen Strom niederschlagen zu lassen. Die einzelnen Kautschukteilchen wandern im elektrischen Felde zur Anode und fallen dort aus. Die Anode oder ein ihr unmittelbar vorgeschaltetes Diaphragma erhält die Form des herzustellenden Gegenstandes. In kurzer Zeit wird durch die Einwirkung des elektrischen Feldes eine dünne, gleichmäßige Schicht niedergeschlagen, die nach dem Trocknen und Vulkanisieren von der Anode abgezogen wird und nun den fertigen Gegenstand darstellt. Nicht nur reiner Latex, sondern auch Latexmischungen lassen sich auf diese Weise niederschlagen,

wenn die Füllstoffe gleichen Ladungssinn aufweisen. Die elektrische Niederschlagung von Kautschuk aus Latex ist für den Elektrotechniker keine leichte Aufgabe.

Das zweite Verfahren erinnert an den Bericht de la Condamines, der die Verarbeitung von Kautschuk durch die Eingeborenen Brasiliens schildert. Durch Eintauchen von porösen Formen in Latex oder Latexmischungen lassen sich ähnliche Überzüge erzielen. Werden dem Latex Zusätze gemacht, die erst bei Überschreiten bestimmter Temperaturen eine spontane Koagulation bewirken, so lassen sich die Überzüge aus dem so vorbehandelten Latex auf geheizten Formen schnell bilden, die nach dem Trocknen und Vulkanisieren den fertigen Gegenstand ergeben.

### 13. Hartgummi als mikroporöse Zwischenlage in Bleiakkulatoren.

Um bei elektrischen Akkulatoren zu verhindern, daß sich zwischen den Platten durch herausgefallene Masseteilchen Kurzschlüsse bilden, werden Zwischenlagen zwischen die Platten gebracht, die dem Stromdurchgang möglichst geringen Widerstand bieten sollen. Hierzu dienten früher glatte oder gewellte dünne Hartgummiplättchen mit zahlreichen Löchern. Da aus Gründen der Herstellung die Löcher so groß waren, daß kleine Masseteilchen durch die Löcher zwischen die Platten gelangen konnten, gab es doch Kurzschlüsse innerhalb der Zellen. Dünne Holzbrettchen haben zwar sehr kleine Poren und bieten dem Strom geringeren Widerstand als die gelochten Hartgummizwischenlagen, auch lassen sie keine Masseteilchen durch, aber das Holz widersteht nicht den chemischen Angriffen namentlich bei über 50° C erhöhten Temperaturen. An dieser Stelle haben sich aus Latex hergestellte Zwischenlagen ausgezeichnet bewährt<sup>1</sup>. Diese sind dadurch von zahlreichen Poren durchsetzt, daß das vollständige Entweichen der im Latex vorhandenen Flüssigkeit zunächst bei der Vulkanisation entweder unter Wasser oder in nassem Dampf verhindert und die fein verteilte Flüssigkeit nachher vertrieben wird. Dadurch sollen in einem Quadratcentimeter der Zwischenlage etwa  $2 \times 10^7$  Poren in der Größe von 2—3  $\mu$  entstehen. Die Porosität des Körpers läßt sich bis zu einem gewissen Grad durch mehr oder weniger großen Wassergehalt des Latex ändern.

### 14. Chlorkautschuk.

Tornesit ist chlorierter Kautschuk, der von der New-York-Hamburger Gummiwaren-Company in Zusammenarbeit mit der Brennerei und Preßhefefabrik Tornesch G. m. b. H. nach langjährigen Versuchen hergestellt wird<sup>2</sup>. Tornesit ist ein weißes Pulver vom spezifischen

<sup>1</sup> Dr. Beckmann: Elektrotechn. Z. 1930 S. 1605.

<sup>2</sup> Dr.-Ing. Fritz Rosendahl, Bottrop in Chem.-Ztg. 1932 S. 729.

Gewicht 1,5, das bis 150° C beständig ist und sich dann bräunt. Der offenen Flamme ausgesetzt, verkohlt es, ohne zu brennen. Der Chlorgehalt hat den hohen Wert von 72%. Tornesit ist in Benzol, dessen Homologen, Azetylazetat, Azeton, Schwefelkohlenstoff, Tetrachlorkohlenstoff und Chloroform gut löslich, auch in verschiedenen Ölen wie Leinöl, Holzöl und Mohnöl. Eine Lösung mit 65% Tornesit bildet eine dickflüssige Masse, die beim Umrühren noch mehr Tornesit aufnehmen kann, so daß eine knetbare Masse entsteht. Tornesit ist praktisch unlöslich in Wasser, Benzin und Mineralölen und sehr beständig gegen zahlreiche chemische Einwirkungen, z. B. gegen Säuren und Alkalien jeder Art und Konzentration, gegen Wasser und wäßrige Salzlösungen, Gase und Dämpfe, soweit sie nicht vom Lösungsmittel herrühren. Tornesit ist nichtleitend für den elektrischen Strom, wird aber beim Reiben elektrisch. Mit Tornesit lassen sich Lacke und Anstrichfarben herstellen.

## 15. Die Eigenschaften des Kautschuks und ihre Prüfung.

Die elastischen Eigenschaften des Rohkautschuks werden durch die Vulkanisation verbessert. Sie sind es, die dem Kautschuk namentlich in der Form des Weichgummi ein Verwendungsgebiet gesichert haben, das ihm von keinem anderen Stoff streitig gemacht werden kann. Rohkautschuk und Weichgummi setzen einer von außen erzwungenen Lagenänderung nur geringen Widerstand entgegen, die Elastizität ist aber vollkommen nur innerhalb enger Grenzen. Die Gestaltänderung bedarf eines geringen Kraftaufwandes, im Gegensatz zur Volumenänderung, die einen großen Kraftaufwand voraussetzt. Wird Kautschuk gedehnt, so setzt er dem anfänglich größeren Widerstand entgegen als später. Wird die Dehnung nicht bis zum Bruch der Probe fortgesetzt, so entspricht beim Nachlassen der Dehnung nicht mehr die gleiche Dehnungsgröße dem gleichen Kraftaufwand. Wird die Dehnung wiederholt, so ist beim zweitenmal ein anderer, geringerer Kraftaufwand zum Erreichen der gleichen Dehnung nötig wie das erstmal. Auf dem Rückweg ist bei jeder Belastung und jedesmal die Dehnung größer als auf dem Hinweg, auch bei Aufhören der Belastung verschwindet die Dehnung nicht. Dieser Dehnungsrest wird dem Auftreten einer elastischen Nachwirkung zugeschrieben, die, in Anlehnung an die Remanenzerscheinung beim Magnetisieren von Eisen, als elastische Hysteresis bezeichnet wird. Zwei typische Fälle für das Verhalten von rohem und vulkanisiertem Kautschuk sind in Abb. 63 u. 64<sup>1</sup> nach Hock und Bostroem dargestellt. Als Abszisse ist die Dehnung, als Ordinate die Kraft dargestellt, Abb. 63, ist an einem aus glattem, rohen Sheet gestanzten Ring der üblichen Abmessungen 1,5 g schwer, gewonnen, Abb. 64, an einem

<sup>1</sup> Aus Handbuch der Kautschukwissenschaft, Abschnitt Physik des Kautschuks von L. Hock, Abb. 59 u. 60.



gleich großen vulkanisierten Ring, der aus demselben Kautschuk und einer Mischung mit 6% Schwefel und 1% Vulkacit hergestellt wurde und die gleiche Kautschukmenge enthält wie der erste Ring. Die Dehnung erfolgte auf einem Schopperschen Dynamometer, sie ist in Prozenten

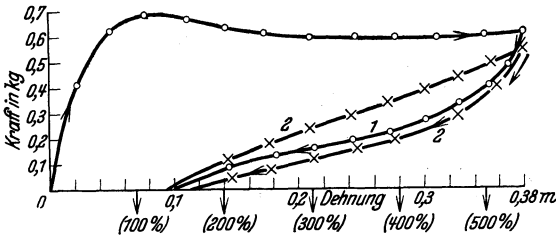


Abb. 63. Hysteresiskurven von Rohkautschuk nach L. Hock und S. Bostroem.

Maße von der Zeit, der Temperatur und dem Zustand der Probe ab; nach einigen Monaten an Proben aus demselben Material festgestellt, kann er beträchtlich von dem zuerst ermittelten abweichen. Bis zu

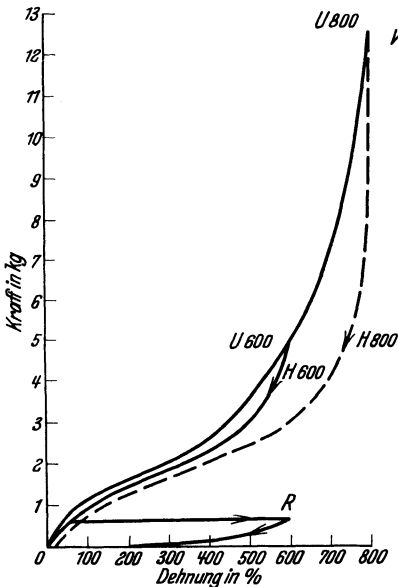


Abb. 64. Hysteresiskurven von vulkanisiertem Kautschuk nach L. Hock und S. Bostroem.

über die Kurve R. Beim ersten Versuch erfolgt Entspannung, wie beim Versuch R, nach einer Dehnung von 600%, beim zweiten Versuch nach einer Dehnung von 800%, der Verlauf der Entspannung ist gestrichelt. Die bei Dehnung der Ringe geleistete mechanische Arbeit entspricht der durch die Kurve und die Abszisse eingeschlossenen Fläche,

des anfänglichen inneren Ringumfanges von 14 cm vermerkt. In Abb. 63 ergab sich die große Schleife 1 bei dem ersten, die sehr viel kleinere Schleife 2 bei dem zweiten Versuch bei Zimmertemperatur. Der Dehnungsverlauf hängt in hohem

Maße von der Zeit, der Temperatur und dem Zustand der Probe ab; nach einigen Monaten an Proben aus demselben Material festgestellt, kann er beträchtlich von dem zuerst ermittelten abweichen. Bis zu einer Dehnung von 100% steigt die Kraft beim ersten Versuch schnell, um dann annähernd gleich zu bleiben. Nach der völligen Entspannung bleibt ein beträchtlicher Dehnungsrest, mit dem der zweite Versuch beginnt. Die beim zweiten Versuch entstehende Kurve unterscheidet sich wesentlich von der ersten, indem mit kleinen Werten beginnend die Kraft bis zum Umkehrpunkt fast stetig zunimmt. Für die zweite Entspannung liegt die Kurve dicht an der ersten. Bei weiteren Wiederholungen des Versuchs liegen die Hysteresisschleifen dicht am zweiten Kurvenzug. Abb. 64 zeigt den Verlauf des Versuchs an einem Ring aus vulkanisiertem Kautschuk, die Kurve R für den Ring aus rohem Kautschuk ist nochmals wiedergegeben. Die Kurve V für das Vulkanisat erhebt sich bei den beiden eingezeichneten Versuchen wesentlich

der hysteretische Arbeitsverlust entspricht dem Inhalt der von den Kurven bei Dehnung und Entspannung gebildeten Schleife. Der Arbeitsverlust erscheint als Erwärmung und dauernde Formänderung des Ringes wieder. Der Inhalt der Schleifen ist bei 600% Dehnung für Rohkautschuk und Vulkanisat fast gleich, die Dehnungsarbeit ist aber beim Vulkanisat das Vielfache wie beim Rohkautschuk. Der vulkanisierte Kautschuk zeigt also verhältnismäßig einen viel geringeren Energieverlust, der sich auch in der viel kleineren bleibenden Dehnung ausdrückt. Beim zweiten Versuch bis zu 800% Dehnung verläuft die Kurve zusammen mit der der ersten Dehnung, auch bei weiteren Wiederholungen besteht große Ähnlichkeit mit der ersten Schleife. Die Fähigkeit des Kautschuks, mechanische Arbeit zu speichern, wird durch die Vulkanisation außerordentlich gesteigert.

Welche Eigenschaften und auf welche Weise diese geprüft werden, ist im dritten Teil erläutert. Für Weichgummi werden die Prüfungen nach den Richtlinien des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik vorgenommen. Hartgummi wird nach den Prüfvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker für Isolierstoffe VDE 318 geprüft. Einige Werte, die bei solchen Prüfungen ermittelt wurden und die durch Angaben über das spezifische Gewicht, den Verwendungszweck und anderes ergänzt sind, finden sich in der Tabelle 71 auf S. 272 u. 273.

## 16. Die Wirtschaftsgeschichte des Kautschuks.

Die Wirtschaftsgeschichte des Kautschuks ist einer der interessantesten Abschnitte aus der Geschichte der Weltrohstoffe. Wie sich das Verhältnis des erzeugten Wildkautschuks zu dem Plantagenkautschuk seit Anfang des Jahrhunderts verschoben hat, zeigen die Zahlen der Tabelle 23.

Tabelle 23.

| Jahr | Plantagenkautschuk |       | Wildkautschuk |        | Zusammen<br>1000 t | Welt-<br>verbrauch<br>1000 t |
|------|--------------------|-------|---------------|--------|--------------------|------------------------------|
|      | 1000 t             | %     | 1000 t        | %      |                    |                              |
| 1901 | 0,005              | 0,001 | 54,89         | 99,999 | 54,9               | 50,4                         |
| 1905 | 0,15               | 0,025 | 61,95         | 99,975 | 62,1               | 65,1                         |
| 1910 | 8,2                | 11,6  | 62,3          | 88,4   | 70,5               | 71                           |
| 1915 | 108                | 68    | 50,7          | 32     | 158,7              | 158                          |
| 1920 | 330                | 89,7  | 38            | 10,3   | 368                | 290                          |
| 1925 | 482                |       |               |        |                    |                              |
| 1930 | 801                |       |               |        |                    |                              |

In den Jahren 1926—1929 entwickelte sich die Kautschukausfuhr aus den verschiedenen Erzeugerländern nach Tabelle 24.

Tabelle 24 <sup>1</sup>.

| Erzeugerland                             | Kautschuk-Ausfuhr in 1000 t |       |       |       |       |
|------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                          | 1926                        | 1927  | 1928  | 1929  | 1932  |
| Niederländisch-Indien . . . .            | 204                         | 229   | 229   | 255,2 | 143   |
| Malaya . . . . .                         | 286                         | 242   | 299   | 455,5 | 478,3 |
| Borneo-Sarawak . . . . .                 | 15,8                        | 17,6  | 18    | 18,7  | 11,8  |
| Britisch-Indien . . . . .                | 9,9                         | 11,3  | 11    | 11,7  | 4     |
| Französisch-Indochina . . . .            | 7,4                         | 8     | 9     | 8,7   | 13,3  |
| Ceylon . . . . .                         | 58,8                        | 55,4  | 58    | 80,3  | 51,2  |
| Siam usw. . . . .                        | 4                           | 4     | 5     | 5,1   | 3,4   |
| Plantagenkautschuk<br>zusammen . . . . . | 585,9                       | 567,3 | 629,0 | 835,2 | 705,0 |
| Brasilien und Südamerika . .             | 25                          | 29    | 21    | 20,1  | 3,5   |
| Übrige Länder . . . . .                  | 9                           | 10    | 7     | 4,9   | 1,3   |
| Wildkautschuk zusammen. . .              | 34                          | 39    | 28    | 25    | 4,8   |
| Gesamte Ausfuhr . . . . .                | 619,9                       | 606,3 | 657   | 860,2 | 709,8 |
| davon Plantagenkautschuk %               | 94,5                        | 93,6  | 95,7  | 97    | 99,3  |
| Wildkautschuk % . . . . .                | 5,5                         | 6,4   | 4,3   | 3     | 0,7   |

Im Jahre 1878 hatte Henry Wickham einige Samen der *Hevea brasiliensis* nach London gebracht, aus denen Keimlinge gewonnen und in Ceylon ausgepflanzt wurden. Von dort fanden die Samen ihren Weg nach Malaya, Birma, Niederländisch-Indien, Indochina und Siam. Das war der bescheidene Beginn der anfangs von den Wildkautschukproduzenten des Amazonastales gering geachteten Pflanzungskautschukkultur. Im Jahre 1900 noch nicht von Bedeutung, erreichte sie 1913 die gleiche erzeugte Menge wie Wildkautschuk, den sie seitdem aber auf etwa 3% der Welterzeugung zurückdrängte. Die Hauptmenge der Welterzeugung ist Heveakultur. Das nur in Malaya und Niederländisch-Indien in der Kautschukkultur angelegte Kapital wurde schon vor einigen Jahren auf mehr als 2 Milliarden GM geschätzt. Die Kautschukgewinnung der Eingeborenen ist in Niederländisch-Indien während der letzten Jahre so gestiegen, daß sie  $\frac{2}{3}$  der von den „europäischen“ Pflanzungen gewonnenen Menge erreichte. Damit sind die Eingeborenepflanzungen zu sehr ernstern Wettbewerbern der den Europäern gehörenden Pflanzungen geworden. Die Kautschukpreise schwankten im Lauf der Jahre in ganz ungewöhnlicher Weise. Der erste Aufschwung des Automobilwesens in den Jahren 1910/12 führte zu außerordentlich hohen Preisen, deren Sturz einen Valorisationsversuch Brasiliens veranlaßte. Da aber die nicht gebundene Erzeugung sprunghaft anwuchs, mißlang dieser Versuch. Der Krieg brachte nach jahrelangem Rückgang große

<sup>1</sup> Nach Angaben der Metzeler Gummiwerke A.-G. München.

Preissteigerungen: 1916 wurde Kautschuk in New York mit 1,05 \$ je lb bezahlt, Ende 1932 in London mit 2½ d, d. h. für 0,45 kg 1916 M 4,41 und 1932 M 0,15! Danach sanken die Preise erst langsam, dann schneller trotz Steigen des Weltverbrauchs. Ende 1920 versuchten viele Kautschukpflanzern zum erstenmal eine freiwillige Produktionsbeschränkung durchzuführen. Das war beim Zusammenbruch aller Weltmarktpreise aussichtslos und wurde schon im nächsten Jahr aufgegeben. Doch dann wurde von den britischen Pflanzern die Hilfe des Gesetzgebers angerufen und am 1. November 1922 wurde der nach seinem Urheber genannte Stephenson-Plan Gesetz. Die niederländische Regierung wurde zur Beteiligung aufgefordert, lehnte aber ab wegen des Widerstandes der Pflanzern in Niederländisch-Indien, die glaubten, daß sie als Außenseiter besser abschneiden würden. Der Grundgedanke des Planes war: Regulierung der Ausfuhr entsprechend dem im vorhergehenden Vierteljahr geltenden Preise, zunächst 60% Exportquote, dann Verringerung auf 50%, schrittweise Erhöhung auf 100% und wieder Senkung auf 60%. Das Gesetz wurde nach einem im April 1928 gefaßten Beschluß nach 6jähriger Wirksamkeit aufgehoben. Unter dem Einfluß des Stephenson-Planes entwickelten sich die Kautschukpreise

| Jahr . . . . .         | 1921 | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 | 1926 | 1927 | 1928 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Preis in d je lb . . . | 10½  | 9¼   | 14   | 14   | 35¾  | 23¾  | 18¾  | 10⅞  |

Trotz des richtigen Grundgedankens, die Ausfuhr der sich im Preis zeigenden Nachfrage anzupassen, scheiterte der Plan, weil er wichtige Pflanzungsgebiete, wie Niederländisch-Indien, nicht umfaßte. Von der Welterzeugung des Jahres 1922 entfielen 73,6% auf britisches Gebiet und 24,1% auf Niederländisch-Indien, im Jahre 1927: 57,3% und 40%. Seit dem Ende des Stephenson-Planes sank der Preis immer mehr, 1931 bis auf 3½ d und 1932 sogar unter 2 d, d. h. fast auf ein Zwanzigstel des Höchststandes von 1925. Jetzt gehen die Bestrebungen für eine die ganze Weltgewinnung umfassende Regelung der Erzeugung von den Pflanzern Niederländisch-Indiens aus, aber bis jetzt ist eine radikale Einschränkung unterblieben. Die größten Schwierigkeiten machen die Eingeborenenpflanzungen, für deren Heranziehung verschiedene Vorschläge gemacht wurden, z. B. Einführung eines Ausfuhrzolles mit gleitender Skala, oder Besteuerung der meist chinesischen Aufkäufer des Kautschuks. Die Selbstkosten wurden im Jahre 1931 von gut geleiteten und ausgerüsteten Pflanzungen auf 4—5 d geschätzt. Wenn die Preise weit unter diesen Satz gesunken sind, so liegt der Grund hierfür in der den Verbrauch weit übersteigenden Gewinnung. Kautschukbäume brauchen etwa 6 Jahre, ehe sie zapfreif werden. Die noch während des Stephenson-Planes bei günstigem Preisstand des Kautschuks gepflanzten Bäume steigern die erzeugte Menge noch weiter, während die Weltkrise einen erheblichen Rückgang des Verbrauches, namentlich für Fahrzeugreifen bewirkt hat. Die beiden größten

Vereinigungen der holländischen und britischen Pflanzer haben der von der Rubber Growers Association gegründeten Versuchsgesellschaft für Kautschukstraßenbau große Mittel zur Verfügung gestellt. Bei den niedrigen Kautschukpreisen kann Kautschuk vielleicht mit anderen Straßenbaustoffen in Wettbewerb treten. Da die Weltvorräte an Kautschuk noch wachsen, so ist zu wünschen, daß neue Verwendungsmöglichkeiten gefunden werden, wenn nicht die in der Kautschukgewinnung angelegten Milliardenbeträge ohne Ertrag bleiben sollen.

## V. Eiweiß.

### 1. Einfache und zusammengesetzte Eiweißkörper.

Proteine oder Eiweißstoffe dienen vorwiegend als Nahrungs- oder Futtermittel und neigen leicht zum Verderben durch Fäulnis. Sie sind in jeder Tier- oder Pflanzenzelle enthalten, in den Pflanzen nur in geringen Mengen. Dagegen bilden sie im Tierreich die Hauptmenge der festen Stoffe des Blutes und aller Gewebe. Proteine kommen vor als einfache Eiweißkörper, Albumine in Wasser löslich, wie Serumalbumin, oder Globuline, in Wasser unlöslich, Serumglobulin. Hierher gehören auch die meisten Pflanzenproteine. Ferner Gerüsteiweiße, Skleroproteine, das sind unlösliche Eiweißkörper z. B. Kollagen der Bindegewebe, aus dem beim Kochen Glutin oder Leim entsteht; Keratin der Haare, Elastin der Sehnen usw.

Zusammengesetzte Eiweißkörper oder Proteide sind vor allem das Kasein der Milch und Hämoglobin, der rote Farbstoff des Blutes.

Versuche zur Verarbeitung einfacher Eiweißkörper aus dem Pflanzenreich auf plastische Massen schienen anfänglich Erfolg zu haben.

### 2. Plastische Massen aus Hefe.

Das Ernolith war eine Erfindung<sup>1</sup>, um die Rückstände bei der Herstellung von fleischextraktähnlichen Erzeugnissen aus Hefe verwenden zu können. Später wurden eiweißhaltige Abfallstoffe der Bierbrauerei, wie Abfallhefe und Kühlschifftrub verwendet.

Als Zusatz zur Hefe kann gebraucht werden: Leim, Stärke, Öle, Teerprodukte, auch Steinmehle und Asbest, die besten Eigenschaften haben aber reine Hefeernolithe. Das Ausgangsmaterial wird der Einwirkung von Formaldehyd ausgesetzt und getrocknet. Das so gewonnene trockene grauweiße bis braune Pulver ist fast unbegrenzt haltbar, es kann durch Anwendung von Hitze und Druck zu beliebigen Körpern verformt werden, deren Farbe hellbraun, dunkelbraun oder schwarz ist. Bei der Pressung unter Erwärmung auf 100–140° C und unter einem Druck von 50 kg/qcm oder mehr wird die Härtung und Verdichtung

<sup>1</sup> Von H. Blücher und E. Krause.

der Masse zu Ende geführt, so daß eine Nachhärtung unnötig ist. Das spezifische Gewicht des Ernolith ist etwa 1,35; es ist nicht entflammbar und läßt sich nur schwer verkohlen, ist aber stark hygroskopisch. Aus Ernolith wurden Knöpfe, Griffe, Rahmen, Wandplatten u. ä. hergestellt. Das Rohmaterial, das zur Zeit der Erfindung ein lästiges Abfallprodukt war, ist im Krieg und später so stark im Preise gestiegen, daß dadurch die Ernolitherzeugung unmöglich wurde.

### 3. Plastische Massen aus Kasein.

Kaseinkunsthorn hat für mannigfache Zwecke weite Verbreitung gefunden.

Auf der Suche nach einer weißen Schultafel<sup>1</sup> kam der Chemiker Adolf Spitteler darauf, einen Kaseinüberzug auf Pappe zu versuchen. Diese Versuche führten zu einer zähen, hornartigen, unlöslichen Masse, deren Bedeutung Krische und Spitteler erkannten und durch das D.R.P. 127942 und andere im Jahre 1897 schützten. Nach zweijähriger Entwicklungsarbeit ging die Herstellung auf die Vereinigten Gummiwarenfabriken Harburg-Wien über, die ihre französischen Schutzrechte verkauften und der neuen Masse den Namen Galalith, aus dem Griechischen γάλα = Milch und λίθος = Stein, gaben. Später entstand aus der deutschen und der französischen Gesellschaft die Internationale Galalith-Gesellschaft Hoff & Co. Diese Gesellschaft hat Pionierarbeit auf dem Gebiete des Kaseinkunsthorns geleistet und war bis zum Erlöschen der Grundpatente einziger Hersteller von Kaseinkunsthorn. Galalith ist zu einem Stoffnamen geworden, wie Linoleum oder Zelluloid auf ähnlichen Gebieten. Nach dem Erlöschen der Hauptpatente entstanden in vielen Ländern Kunsthornfabriken, aber nur wenige waren erfolgreich, von denen einige genannt seien:

| Land                              | Firma                                                                                              | Handelsname                                 |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Deutschland                       | Deutsche Kunsthorn - Gesellschaft<br>Venditor-Kunststoff-Verkaufsgesellschaft<br>für Dynamit Nobel | Neolith                                     |
| England                           | Erinoid Ltd.<br>British Xylonite Co. Ltd.                                                          | Erinoid<br>Lactoid                          |
| Italien                           | Societa d'Esportazione                                                                             | Zoolite                                     |
| Holland                           | Hollandsche Casolithwerke                                                                          | Casolith                                    |
| Österreich                        | Akalith-Kunsthornwerke A.-G.                                                                       | Akalith                                     |
| Frankreich                        | Compagnie Générale d'Electricité<br>Soc. industrielle de Celluloid                                 | Lactolith<br>Sicalith                       |
| Vereinigte Staaten<br>von Amerika | Aladdin Co. Inc.<br>Erinoid Co of America<br>Karolith Corporation<br>Kyloid Corporation            | Aladdinite<br>Erinoid<br>Karolith<br>Kyloid |

<sup>1</sup> Im Auftrag der Firma Edler & Krische, Hannover.

Der Rohstoff für die Herstellung von Kaseinkunsthorn ist das aus der frischen Magermilch gewonnene Labkasein, dessen Haupterzeugungsland Frankreich ist. Kuhmilch enthält durchschnittlich 3% Kasein, außerdem etwa 87,3% Wasser, 3,6% Fett, 4,9% Milchzucker, 0,5% Albumin und 0,7% Asche. Die vom Fett möglichst vollständig befreite frische Magermilch wird durch Lab, einem aus Kälbermagen bereiteten Ferment, in großen mit einem Rührwerk versehenen Holzbottichen zum Gerinnen gebracht. Kasein ist ein Nebenerzeugnis der Milchwirtschaft, das gewöhnlich nur dann hergestellt wird, wenn der Überfluß an Magermilch keine Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittel findet. Das geronnene Gut wird zwischen Tüchern ausgepreßt, in mäßiger Wärme getrocknet und auf Mühlen wie z. B. der Excelsiormühle oder der Hammermühle gemahlen. Für Kasein zur Kunsthornherstellung wird ein Aschengehalt nicht unter 7,5%, ein Fettgehalt nicht über 0,5% und helle, möglichst weiße Farbe und Reinheit von allen Fremdkörpern wie Holz- oder Eisensplitter u. ä., ferner Geruch- und Geschmackslosigkeit verlangt. Der Feuchtigkeitsgehalt kann 7,5—9,5% betragen.

Die Entwicklung der Herstellungsverfahren geschah in einer Gummifabrik, daher werden die in der Gummifabrikation üblichen Maschinen wie Mischwalzwerk, Kalandr und Strang- oder Schneckenpresse angewendet. Das nicht allzu fein gemahlene Kasein wird mit Wasser angefeuchtet, wodurch es erheblich aufquillt, mit Zusätzen wie Farbe oder Weichmachungsmitteln versehen, in einer Mischvorrichtung durchgearbeitet, dann durch die Schneckenpresse getrieben, die es je nach der Form des Mundstückes als Stab oder Streifen oder als Rohr, noch heiß und weich, verläßt. Sollen Stäbe erzeugt werden, so wird die aus dem Mundstück der Strangpresse austretende Masse gleich auf die gewünschte Länge, meist 1 m geschnitten und zum Kühlen in Wasser gelegt. Sollen dagegen Platten erzeugt werden, so wird der noch formbare Strang in kurze Stücke geteilt und entweder in einer Blockpresse zu einem Block verdichtet, der später in Platten zerschnitten wird, oder gleich in Plattenform auf der hydraulischen Presse auf das richtige Maß gepreßt. Die Art des Plattenpressens entspricht der bei anderen plastischen Massen üblichen. Wenn nicht die Strangpressen, sondern das Walzwerk die Vorarbeit an der Masse übernimmt, so gelangt diese in Form von Streifen, aus der Mischmaschine anderer Art, z. B. aus dem Mastikator, in Form von Stücken in die Preßform. Als Plattenpressen werden heiz- und kühlbare Etagenpressen verwendet. Die Platten werden unter Druck geheizt und auch gekühlt. Das Verfahren, erst Blöcke zu pressen und dann in Platten zu zerschneiden, hat den Vorteil, daß die geschnittenen Platten in der Dicke viel genauer ausfallen als die gepreßten, dagegen sind die gepreßten Platten besser in gewolkter oder Schildpattfärbung und mit ähnlichen Mustern versehen herzustellen. Zu diesem Zweck werden der pulverförmigen Masse vor dem

Aufgeben auf das Walzwerk oder auf die Strangpresse kleine Stücke vorher zubereiteter Masse beigemischt, die die gewünschte Farbe der Wolken haben.

Die so hergestellten Stäbe, Rohre, Platten oder Blöcke müssen noch in Formaldehydbädern gehärtet oder gegerbt werden, um größere Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit zu erlangen. Die Formaldehydlösung von etwa 10% dringt nur sehr langsam in das Innere der zu härtenden Körper, die Härtezeit dauert deshalb viele Monate. Von einer englischen Fabrik werden als Beispiele angegeben:

Härtezeit für 20 mm starke Platten . . . . 280 Tage,

Härtezeit für Stäbe von 25 mm Durchmesser 300 Tage.

Die zahlreichen Versuche, die Härtedauer durch Anwendung stärkerer Bäder, höherer Badtemperaturen, Beimengung von anderen Stoffen zu kürzen, scheinen bisher keinen Erfolg zu haben. Nach dem Härten muß das Material vorsichtig getrocknet werden, Platten werden mäßig angewärmt und unter der hydraulischen Plattenpresse gerade gedrückt, da sie sich nach dem Härten stark werfen. Wenn die äußere Haut zu schnell getrocknet ist, so entstehen Spannungen, die das Material spröde machen. Sollen Stäbe oder Platten eine gewisse Genauigkeit haben, so müssen sie geschliffen werden. Ein Feuchtigkeitsgehalt von 8–10% muß in dem Kunsthorn gelassen werden, da es sonst zu spröde wird.

Kaseinkunsthorn ist schwer zu entflammen und verkohlt eher als es verbrennt, mit dem Geruch verbrannter Federn. Bei mäßiger Wärme, etwa bei 90–100° C erweicht das Kunsthorn etwas, so daß es sich biegen und prägen, aber nicht wie z. B. Zelluloid in andere Formen pressen läßt. Um z. B. Knöpfe zu prägen, werden die vorher aus dem Plattenmaterial gesägten oder gestanzten Stücke in Preßformen gelegt, langsam angewärmt und unter Druck abgekühlt. Das ungehärtete Kunsthorn zu verpressen hat sich nicht als vorteilhaft erwiesen, nur die französische Compagnie Générale d'Electricité erzeugt in Aluminiumformen auf diese Weise z. B. Lampenschirme für indirekte Beleuchtung in allen Größen. Die Naturfarbe des reinen Kunsthorns ist weißgelb oder creme, „blond“ genannt, also zur Färbung vorzüglich geeignet. Das Kaseinkunsthorn wird daher in einer großen Mannigfaltigkeit von Farben und Musterungen hergestellt, vom hellen Rot der Korallen und dem lichten Blau der Türkisen bis zum Schwarz, in einfachen Farben, in Tönungen, gewolkt wie Schildpatt, wolkiger Bernstein u. ä. Die Farben sind lichtecht.

Das spezifische Gewicht des durchscheinenden Kunsthorns ist 1,35. Andere Sorten sind je nach der Art des Farb- und Füllstoffes etwas schwerer. Die Biegefestigkeit am aus Platten geschnittenen Stab von 10 × 15 × 120 mm nach VDE 318 gemessen beträgt etwa 1400 kg/qcm, die Härte nach Brinell ist etwa 15 kg/qmm. Während aber Zelluloid nur etwa 1% Wasser aufnimmt, nimmt Kaseinkunsthorn nach 24 Stunden



in Wasser von Zimmertemperatur etwa 3% auf. Wegen seiner guten Polierfähigkeit und seiner schönen Farben, seiner Unentflammbarkeit und Zähigkeit hat sich das Kunsthorn da eingeführt, wo es mit Feuchtigkeit nicht in Berührung kommt. Paßstücke, die in anderen Teilen gleiten sollen, lassen sich daraus nicht herstellen, da das Kunsthorn mit der Änderung der Luftfeuchtigkeit auch seine Abmessungen ändert. Wird es abwechselnd naß und trocken, so überzieht sich die Oberfläche nach einiger Zeit mit einem Netz von feinen Sprüngen.

Die Hauptanwendung findet Kaseinkunsthorn zur Herstellung von Knöpfen aller Art, vom großen Phantasieknopf bis zum kleinen Schuhknopf.

Kaseinkunsthorn gehört zu den Stoffen, die zwar im plastischen Zustand zu Platten, Blöcken, Stangen oder Rohren vorgeformt werden, ihre endgültige Form aber durch spanabhebende Werkzeuge erhalten. Die Bearbeitung ist nicht so einfach wie die von Zelluloid oder Hartgummi, schon wegen der größeren Härte. Dazu kommt eine gewisse Sprödigkeit, wenn das Kunsthorn trocken ist. Einfachere Knöpfe werden auf Automaten von der Stange gedreht und in Trommeln poliert, größere Knöpfe werden aus Platten geschnitten, abgedreht oder auch gefräst und poliert. Die Prägung wird selten angewendet, weil ein geprägter Knopf beim Bügeln unter einem feuchten Tuch leicht die Wölbung verliert und außerdem an Aussehen dem gedrehten Knopf nachsteht. Spangen, Gürtelschnallen u. ä. werden mit Korundsteinen ausgeschnitten und sonst ebenso bearbeitet wie Knöpfe. Kämme aus Kunsthorn bewähren sich nur in einem Klima mit nicht zu großen Änderungen von Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Andere Anwendungen sind Perlen, Bürstenrücken, Messerschalen u. ä.

#### 4. Massen aus Bluteiweiß<sup>1</sup>.

Massen aus Bluteiweiß haben bisher nur untergeordnete Bedeutung. Die Entfärbung des Blutalbumins ist kostspielig, daher kann Blutalbumin nur für dunkelfarbige Stücke verarbeitet werden. Das einzige Anwendungsgebiet scheint die Knopffabrikation zu sein.

Das frische Schlachtblut von Schweinen, Kälbern und Schafen wird in Form von Blutwurst oder Blutsuppe zur menschlichen Ernährung gebraucht, dagegen dient das frische Blut von Pferden und zum Teil auch von Rindern zur Herstellung von Klebemitteln. Aus Trockenblut werden Futter- und Düngemittel, aber auch Klebstoffe und plastische Massen gewonnen.

Blut besteht aus einer klaren, fast farblosen bis hellgelben Flüssigkeit, aus dem Plasma, und aus festen Stoffen, den Blutkörperchen;

<sup>1</sup> Turck, K. G.: Schlachtblut- und Abfallstoffverwertung. Berlin: Allgemeiner Industrieverlag.

das Verhältnis von Plasma zu Feststoffen beträgt etwa 68 zu 32. Das spezifische Gewicht des Blutes ist etwa 1,05; das der Blutkörperchen ist größer als das des Plasmas, daher setzt sich beim Stehen das Plasma von den Blutkörperchen ab. Das Plasma enthält Fibrin und Serum: Fibrin ist der faserige Stoff, der sich aus dem Serum ausscheidet, er ist in Wasser unlöslich; trocken ist er spröde und pulverisierbar.

Das Serum, der nicht gerinnende Teil der Blutflüssigkeit, enthält die Eiweißkörper Globulin und Albumin. Albumin ist löslich in salzfreiem Wasser und koaguliert bei 50° C in destilliertem Wasser, in salzhaltigem Wasser erst bei höherer Temperatur.

Außer den Blutplättchen enthält das Blut als feste Bestandteile die roten und weißen Blutkörperchen. In den roten Blutkörperchen befindet sich der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin. Dieser zusammengesetzte Eiweißkörper ist in Wasser löslich; beim Erhitzen gerinnt er unter Zersetzung.

Im Rinderblut ist etwa 80 %, im Pferdeblut etwa 75 % Wasser enthalten. Das Blut gerinnt nach dem Erkalten durch das Ausscheiden des Fibrins. Nach etwa 20 Stunden setzt sich das Serum ab, in dem Eiweißstoffe, Salze, Fette, Traubenzucker und andere Stoffe gelöst sind, während ein fester Blutkuchen zurückbleibt. Dieser Kuchen enthält die Blutkörperchen und das ausgeschiedene Fibrin.

Durch Schlagen und Rühren des Blutes kurz nach der Entnahme, auch durch mechanische Rührwerke, kann das Fibrin beschleunigt zur Ausscheidung gebracht werden. Dann tritt keine natürliche Gerinnung des Blutes mehr ein. Soll das Gerinnen ohne Fibrinausscheidung verhindert werden, so sind Zusätze von Kochsalz, Magnesiumsulfat, Oxalsäure u. ä. notwendig. Blut verdirbt leicht, die Eiweißstoffe faulen; dem soll durch Zusätze von Formaldehyd zum Blut vorgebeugt werden. Beim Erhitzen gerinnt das Frischblut und auch das defibrinierte Blut.

Für die Herstellung plastischer Massen wird das Blut in Zerstäubungstrocknern möglichst unter Einhaltung einer Temperatur von nicht mehr als etwa 70° C in Pulver verwandelt. Das Blut wird in einem Trockenturm durch Düsen oder Schleuderscheiben als Nebel fein verteilt, das darin enthaltene Wasser im Heißluftstrom verdampft und der getrocknete Blutstaub in Saugschlauchfiltern abgeschieden. Das so gewonnene völlig trockene mehlfeine Pulver besitzt alle Bestandteile des Frischblutes bis auf den Wassergehalt. Wenn 191 g dieses Pulvers in 809 g Wasser gelöst werden, so wird das ursprüngliche Vollblut fast wiederhergestellt.

Die Verwendung von plastischen Massen, die Blutmehl als Bindemittel enthalten, beschränkt sich hauptsächlich auf Herstellung von Knöpfen. Dieses Blutmehl wird aber nicht aus Vollblut, sondern aus Blutkuchen oder defibriniertem Blut gewonnen. Die so hergestellten Knöpfe haben tiefschwarze Farbe und gute Polierfähigkeit.

Der Plasma A.-G., München, soll es gelungen sein Messerschalen, Stock- und Schirmgriffe, Kämmе auch in helleren Farben bis zu weiß herzustellen. Wahrscheinlich dient hierzu aus Serum gewonnenes Blutmehl. Blutmehl verträgt nur geringe Mengen Füllmittel. Es scheint, daß den Mischungen auch Leim in Form von Knochenmehl oder ähnliche Bindemittel zugesetzt werden müssen. Das von Turck genannte Rezept lautet: 4—5 Teile wasserlösliches Blutmehl, 1—2 Teile Knochenmehl, 2—3 Teile Schwerspat. Die preßfertige Mischung wird unter hydraulischen Pressen bei einem spezifischen Druck von 200—250 kg/qcm heiß verpreßt. Bei einer Temperatur von 140—150° C unter gleichzeitiger Anwendung von Druck und Hitze tritt Verhornung ein und die Masse wird wasserunlöslich. Die Preßlinge werden in der üblichen Weise entgratet, gebohrt und gegläntzt.

Schwarzalbumin ist das getrocknete, von Fibrin befreite und durch Hämoglobin dunkel gefärbte Blutserum, das als Leim in der Kunstleder- und Holzindustrie gebraucht wird. Serumalbumin ist heller, es wird in der Buntpapier- und Textilindustrie gebraucht. Die Bindefähigkeit von derartigen Leimen soll durch Zusatz von Ammoniak und Kalkmilch gesteigert werden. Daher wird in dem Zerstäubungstrockner dem geronnenen oder defibrinierten Blut bereits Kalkmilch beigegeben, um ein Blutalbumin für Klebezwecke zu erzeugen. Blutleim und besonders der aus Schwarzalbumin hergestellte Leim sind gegen Wasser widerstandsfähiger als Haut-, Knochen- oder Kaseinleime.

## VI. Kieselsäure, Kalk, Tonerde.

### 1. Glas, Keramik, Zemente.

Die drei großen Stoffgruppen, die aus den Bestandteilen Kieselsäure, Kalk und Tonerde in wechselnden Mengen bestehen, sind Glas, keramische Werkstoffe wie Porzellan und die Zemente. Diese Gruppen gehören zu den schon im Altertum bekannten Kunststoffen. Wenn es auch nicht üblich ist, sie als plastische Massen zu bezeichnen, so gehören sie doch nach ihren Eigenschaften und ihrer Verarbeitung zu diesen.

Über die Mengenverhältnisse, die in jeder dieser drei Werkstoffgruppen auftreten, unterrichtet Abb. 65<sup>1</sup>, das in Dreieckskoordinaten innerhalb eines gleichseitigen Dreiecks alle aus den drei Bestandteilen bestehenden Gemische oder Verbindungen enthält, während auf jeder der Dreiecksseiten die Zweistoffgemische liegen. Die Zusammensetzung des Portlandzementes läßt sich z. B. aus dem Bild ablesen: Kalk 56—68%, Kieselsäure 18—27%, Tonerde (und Eisenoxyd) 6—17%. Von einer Ecke aus bis zur gegenüberliegenden Dreiecksseite nimmt der Gehalt

<sup>1</sup> Dorsch, K. E.: Chemie der Zemente, Julius Springer, Berlin 1932, S. 13 Abb. 1.

an dem an der Ecke genannten Stoff von 100 auf 0% ab, z. B. liegen auf der der mit Kieselsäure bezeichneten Spitze nächstgelegenen Waagerechten alle Gemische mit 90% Kieselsäure, auf der der Grundlinie nächsten Waagerechten, also auf der längsten Parallele zur Grundlinie, alle Gemische mit 10% Kieselsäure.

Wenn die drei Stoffgruppen auch aus den gleichen Grundstoffen bestehen, so ist die Art ihrer Herstellung doch verschieden.

Glas wird aus den in der Hitze geschmolzenen Rohstoffen heiß verformt. Keramische Werkstoffe werden kalt aufbereitet und verformt

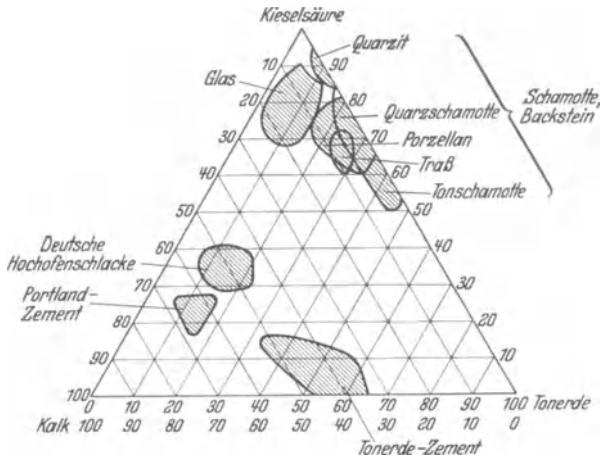


Abb. 65. Das System Kieselsäure, Kalk, Tonerde.

und erhalten ihre Festigkeit durch die bei hohen Temperaturen auftretende Sinterung. Zementkörper werden kalt verformt und erhärten auch ohne Wärmezufuhr. Technisches Glas entspricht etwa einem Warmpreßstoff, Porzellan einem Kaltpreßstoff, soweit beide Werkstoffe, wie andere Kunststoffe, durch Pressen verformt werden.

Am Ende dieses Abschnittes ist eine in Faserform auftretende Kieselsäureverbindung, der Asbest, besprochen, der in der Industrie der plastischen Massen ausgedehnte Verwendung findet.

## 2. Kieselsäure<sup>1</sup>.

Kieselsäure  $\text{SiO}_2$  ist ein hochmolekulares Gebilde und entsprechend dem jedenfalls sehr komplizierten Aufbau ist es schwer schmelzbar, kaum flüchtig und gegen chemische Agenzien sehr träge. Kieselsäure hat einen Schmelzpunkt von 1600 bzw. 1670°; sie tritt in drei Arten auf

<sup>1</sup> Nach Robert Dralle: Glasfabrikation, Bd. 1. R. Oldenbourg, München und Berlin 1926, Herausgeber Dr. Gustav Keppeler.

(Polymorphie) als Quarz, Tridymit und Christobalit, letztere mit einem Schmelzpunkt von  $1710^{\circ}\text{C}$ . Das spezifische Gewicht beträgt 2,65, die Härte nach Mohs 7. Kieselsäure und ihre Verbindungen nehmen den größten Anteil am Aufbau der Erdrinde, und zwar kristallisiert als Quarz, Tridymit und Christobalit; amorph als Opal; zwischen beiden Zuständen als Feuerstein (Flint) und Chalzedon. In großen Mengen steht Kieselsäure zur Verfügung als Quarzit, dem aus Quarz bestehenden Gestein, als Sand, Kieselgur und Feuerstein. Kieselgur-Infusorienerde ist in früheren Epochen der Erdgeschichte aus ungeheuren Ablagerungen von Panzern mikroskopisch kleiner Lebewesen, der Diatomeen und Radiolarien, entstanden und findet sich in den Ablagerungen der Meere und Seen. — Feuerstein besteht aus teils feinkristallinischer, teils amorpher Kieselsäure und kommt in gelbgrauen bis gelbbraunen und schwarzen unregelmäßigen Knollen vor und zwar besonders in der weißen Kreide von Nordfrankreich und Südengland, auf den dänischen Inseln und auf Rügen.

Quarzit wird mit sehr verschiedener Reinheit im Ural, in Norwegen, im Erzgebirge, Taunus und Harz gefunden, ganze Berge bildend oder Spalten und Gänge füllend. Er tritt wegen verhältnismäßig hoher Reinigungskosten gegenüber Sand als Rohstoff für die Glasherstellung zurück, da er zerkleinert und hierzu meist erhitzt und in Wasser plötzlich abgekühlt, dann gemahlen wird nach Ausscheiden grober Verunreinigungen. Durch die Mühlen kann Eisen in das Quarzmehl gelangen.

Sand ist im allgemeinen jedes harte, von der Natur fein zerkleinerte Gestein. Sand im Sinne des Glasschmelzers ist von Natur zerkleinerter Quarzit. Sand entsteht durch Verwitterung quarzreicher Gesteine, die dann durch dauernde Bewegung im Wasser feingemahlen werden. Hierbei erfolgt auch eine chemische Veränderung, indem die leichter zersetzlichen Gemengeteile zerstört und fortgeführt werden und nur das beständige Mineral, der Quarz zurückbleibt. Auf diese Weise sind Sande entstanden, die praktisch reine Kieselsäure darstellen. Solche Vorkommen sind in Dörentrup, Herzogenrath bei Aachen, Hohenbocka, in Frankreich bei Fontainebleau, Maintenon, Nemours, in England auf der Insel Wight.

Tabelle 25. A. Reinste Glasschmelzsande<sup>1</sup>.

| Herkunft           | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | NaKO | MgO | Glühverlust |
|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|------|-----|-------------|
| Herzogenrath . . . | 99,89            | 0,008                          | 0,01                           | —   | 0,01 | —   | 0,04        |
| Dörentrup . . . .  | 99,75            | 0,011                          | 0,02                           | —   | 0,06 | —   | 0,11        |
| Hohenbocka . . .   | 99,85            | 0,015                          | 0,04                           | —   | 0,02 | —   | 0,05        |

<sup>1</sup> Nach Analysen von Dr. G. Keppeler. Glasfabrikation, Bd. I, S. 151.

Derartig reine Sande sind selten, meist enthalten sie noch Eisen, Tonerde, Kalk und Teile des Ursprungsgesteins. Bei der Ablagerung haben sich tonige Beimengungen mit abgesetzt, die aber durch Waschen des Sandes entfernt werden können.

Tabelle 26. B. Sande, noch geeignet für Fenster- und Weißhohlglas.

| Herkunft                            | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | NaKO | MgO  | Glühverlust |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------|
| Küßnacht, Schweiz                   | 96,76            | 0,26                           | 1,84                           | 0,7  | —    | 0,04 | —           |
| Odersand . . . . .                  | 98,78            | 0,31                           | —                              | —    | —    | —    | —           |
| Norderney, Dünen-sand . . . . .     | 98,0             | 0,34                           | 0,66                           | 0,7  | —    | 0,36 | —           |
| Pola für venezianische Mosaikgläser | 97,5             | 0,37                           | 0,93                           | 1,07 | —    | —    | —           |

Tabelle 27. C. Kaolinhaltige Sande.

|                                    |       |      |      |      |      |                   |      |
|------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------------------|------|
| Weißbrunn bei Kronach,             |       |      |      |      |      |                   |      |
| Porzellansand . . . . .            | 88,76 | 0,16 | 7,41 | —    | 2,60 | 0,32 <sup>1</sup> | 0,70 |
| Porzellansand gewaschen . . . . .  | 93,57 | 0,23 | 4,01 | —    | 1,40 | 0,60 <sup>1</sup> | 0,20 |
| Fürstenwalde, Glasursand . . . . . | 87,07 | 1,52 | 6,50 | 0,34 | 2,30 | 0,20              | 2,07 |

### 3. Kalk.

Kalk, Kalziumoxyd CaO, Molekulargewicht 56,1 besitzt als gebrannter Kalk einen sehr hohen Schmelzpunkt, 2570° C. Seine wichtigsten Verbindungen sind: Kohlensaurer Kalk, CaCO<sub>3</sub>, Marmor, Kalkspat. Gips CaSO<sub>4</sub> = Kalziumsulfat. Flußspat CaF<sub>2</sub> Kalziumfluorid. Kohlensaurer Kalk ist in der Natur sehr verbreitet; in großen rhomboedrischen Kristallen bildet er den Kalkspat, aus undeutlichen verwachsenen Kriställchen den Marmor, Kalkstein, Tropfstein, Kreide. Kalkspat, wegen seiner starken Doppelbrechung auch Doppelspat genannt, kommt in Erz- und Mineralgängen, in Höhlungen der Eruptionsgesteine und Kalksteine vor, in Deutschland: in Andreasberg, Freiberg, Tharandt, Auerbach. Isländischer Doppelspat ist wegen seiner Reinheit berühmt. Marmor ist oft durch Beimengungen gefärbt, weißer Marmor ist sehr rein. Kalkstein hat sehr feinkörniges bis dichtes Gefüge, kommt in fast vollkommener Reinheit, aber auch mit vielen fremden Bestandteilen vor. Ist der Gehalt an kohlensaurer Magnesia beträchtlich, so spricht man von dolomitischem Kalkstein. Kalkstein mit Tonbeimengungen unter 20% heißt mergelig, mit über 20% Kalkmergel. Kreide, ein erdiges, abfärbendes Gestein, setzt sich aus den mikroskopisch kleinen Schalen abgestorbener Kleintiere zusammen.

Tabelle 28.

| Herkunft                             | CaO   | MgO    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Glüh-<br>verlust ein-<br>schließl.<br>organischer<br>Substanz,<br>Feuchtig-<br>keit, SO <sub>3</sub> |
|--------------------------------------|-------|--------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A. Sehr reine Kalksteine.            |       |        |                                |                                |                  |                                                                                                      |
| Stolberg, Rhld. . .                  | 55,10 | 0,21   | 0,09                           | —                              | 0,24             | 44,36                                                                                                |
| Limburg, Lahn . .                    | 55,32 | 0,47   | 0,02                           | —                              | —                | 44,17                                                                                                |
| Groß Strehlitz . .                   | 55,76 | 0,13   | 0,03                           | 0,12                           | —                | 43,96                                                                                                |
| B. Mäßig reine Kalksteine.           |       |        |                                |                                |                  |                                                                                                      |
| Waldheim b.                          |       |        |                                |                                |                  |                                                                                                      |
| Aachen . . . .                       | 53,61 | Spuren | 0,39                           | —                              | 3,75             | 42,25                                                                                                |
| Rüdersdorf b. Bln.                   | 49,40 | 0,77   | 0,50                           | 2,50                           | 4,65             | 42,18                                                                                                |
| Malsch-Wiesloch<br>b. Heidelberg . . | 43,15 | 0,91   | 1,33                           | 3,97                           | 13,68            | 36,96                                                                                                |
| C. Kalkmergel.                       |       |        |                                |                                |                  |                                                                                                      |
| Düren, Rhld. . . .                   | 31,4  | 1,3    | —                              | 3,9                            | —                | 71,7                                                                                                 |
| Lüneburg . . . .                     | 22,7  | 15,1   | 3,6                            | 7,1                            | 19,6             | 31,9                                                                                                 |
| Neckarelz-<br>Diedesheim . . .       | 33,56 | 2,0    | 3,4                            | 7,8                            | 23,1             | 30,1                                                                                                 |

#### 4. Tonerde.

Tonerde, Aluminiumoxyd Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Schmelzpunkt etwa 2000° C, Molekulargewicht 102,2. Tonerde ist zwar rein im Handel zu erhalten, sie steht aber für die meisten Zwecke in der billigeren Form des Kaolins, Tons oder des Feldspats zur Verfügung.

Feldspate gehören zu den verbreitetsten Tonerdesilikaten, sie bilden neben dem Quarz die wichtigsten Anteile der Eruptivgesteine. Kalifeldspate K<sub>2</sub>OAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6 SiO<sub>2</sub> sind unter anderem Orthoklas. Natronfeldspat Na<sub>2</sub>OAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6 SiO<sub>2</sub> Albit, Kalkfeldspat CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2 SiO<sub>2</sub> Anorthit.

Tabelle 29. Analysen einiger Feldspate.

| Herkunft          | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------|
| Norwegen . . . .  | 64,44            | 18,75                          | 0,65                           | 0,27 | —    | 13,82            | 2,40              |
| Wunsiedel . . . . | 65,30            | 20,93                          | 0,22                           | 0,32 | —    | 8,61             | 3,67              |
| Tirschenreuth . . | 64,08            | 21,73                          | 0,93                           | 0,53 | 0,78 | 1,48             | 10,08             |

In Böhmen, Bayern und Thüringen befinden sich ziemlich reine Vorkommen. Der beste Feldspat ist der in großen Mengen aus Norwegen importierte.

Kaolin entsteht durch Verwitterung aus Feldspat unter gleichzeitiger Enteisung und liegt häufig auf dem Ursprungsgestein, vermengt mit dessen unverwitterten Teilen, wie Feldspat, Quarz und

Glimmer. Aus diesem Rohkaolin wird der eigentliche Kaolin durch Ausschlämmen erhalten, der die reine Tonsubstanz der Keramiker darstellt  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Das Wasser wird beim Glühen über  $600^\circ$  ausgetrieben. Kaolinit ist ein Mineral von ausgesprochener Kristallform und von der Zusammensetzung der reinen Tonsubstanz. Im Kaolin können die Tonsubstanzteilchen eine Größe von einigen Zehntel Millimeter haben. Der Unterschied von Kaolin und Ton ist durch die Verschiedenheit der Teilchengröße bedingt. Bei den Tönen sinkt die Teilchengröße bis zur ultramikroskopischen Größe, also in das Gebiet der Kolloide.

Als Ton bezeichnet man durch Verwitterung von Gesteinen verschiedener Art entstandene, weitgehend zerkleinerte weiche Gesteine, die reich an Aluminiumsilikat und in feuchtem Zustand bildsam sind. Die Arten der Tone sind sehr mannigfaltig.

Auch die geschlämmten Kaoline enthalten Reste von Quarz und anderen Beimengungen. In der Tonindustrie werden diese Beimengungen mit Hilfe der rationellen Analyse festgestellt, wobei Ton und Kaolin als Gemenge von Tonsubstanz, Quarz und Feldspat angenommen werden. In Tabelle 30 sind die Ergebnisse der rationellen Analyse und die der Elementaranalyse für einige rohe und geschlammte Kaoline angegeben.

Tabelle 30.

| Herkunft                      | Elementar-Analyse       |                |                         |              |              |                                            |               | Rationelle Analyse |       |           |
|-------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------|---------------|--------------------|-------|-----------|
|                               | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ | Glüh-ver-lust | Ton-sub-stanz      | Quarz | Feld-spat |
| Rohkaolin<br>Engelmansreuth   | 8,62                    | 86,28          | 0,56                    | 0,12         | 0,17         | 2,42                                       | 2,10          | 15,5               | 69,6  | 14,9      |
| Rohkaolin<br>Hirschau . . . . | —                       | —              | —                       | —            | —            | —                                          | —             | 22                 | 60    | 18        |
| Geschlammter<br>Kaolin        |                         |                |                         |              |              |                                            |               |                    |       |           |
| Hirschau . . . .              | 38,19                   | 47,84          | 0,70                    | 0,65         | —            | 0,66                                       | 12,2          | 95,25              | 1,75  | 3,0       |
| Kemmlitz . . . .              | 32,9                    | 54,2           | 0,29                    | 0,17         | 0,13         | 0,49                                       | 11,82         | 84,7               | 14,8  | 0,5       |
| Zettlitz . . . .              | 38,67                   | 46,13          | 0,70                    | 0,08         | 0            | 0,11                                       | 14,29         | 99,4               | 0,1   | 0,5       |

## A. Glas.

### 1. Glas als unterkühlte Flüssigkeit<sup>1</sup>.

Glas ist ein aus seinem Schmelzfluß durchweg amorph erstarrter anorganischer Stoff. Amorph ist ein Stoff, der nach allen Richtungen die gleichen Eigenschaften hat. Hauptbestandteil ist die Kieselsäure, daneben Borsäure und die Oxyde vieler Elemente. Ton und Zement

<sup>1</sup> Nach Robert Dralle: Glasfabrikation, Bd. 1. R. Oldenbourg 1926, Herausgeber Dr. Gustav Keppeler.



bestehen aus den gleichen Rohstoffen, werden aber kalt gemischt und geformt und durch Erhitzen verfestigt. Manche Produkte der Glasindustrie haben große Ähnlichkeit mit denen der Porzellanindustrie, z. B. Milchglas und Weichporzellan. Beim Glase werden die geschmolzenen Rohstoffe gemischt und warm verformt, die Festigung erfolgt beim Erstarren. Durch Beimengungen wird der Schmelzpunkt und der Erstarrungspunkt der Kieselsäure erniedrigt. Quarz ist die verbreitetste Form der Kieselsäure, er tritt in der Natur als Bergkristall, Quarzitgestein und Quarzsand auf und ist in den Eruptivgesteinen Granit, Syenit und Porphyr, in Schiefen, Sandsteinen und Tonen enthalten. Eine Schmelze aus Quarz läßt sich stark unterkühlen und bildet dann ohne Kristallausscheidung Quarzglas. Wird Quarzglas über  $1000^{\circ}$  erhitzt, so beginnt Kristallbildung unter Ausscheidung von Christobalit.

Bei der Kieselsäure und ihren Abkömmlingen ist die Kristallisationsgeschwindigkeit und die Schmelzgeschwindigkeit sehr gering, die Zähflüssigkeit der Schmelze sehr groß. Diese Eigenschaften machen die Bildung des Glases möglich, die durch Abkühlung einer Schmelze ohne Kristallbildung erfolgt. Glas ist eine stark unterkühlte Schmelze, deren Zähigkeit infolge der starken Abkühlung einen der Starrheit entsprechenden Wert angenommen hat. Glas ist eine starre Flüssigkeit. — Glas besitzt keinen eigentlichen Schmelzpunkt, sondern erweicht unterhalb des Schmelzpunktes des kristallisierten Körpers. Quarzglas ist bei  $1400^{\circ}$  merklich weich, bei  $1500^{\circ}$  vollkommen biegsam; Kristallquarz schmilzt aber erst oberhalb  $1600^{\circ}$ . Der Zustand der unterkühlten Schmelze ist der labile, der Kristallzustand der stabile. Die Gläser werden deshalb das Bestreben zur Kristallbildung zeigen, sobald die Temperaturverhältnisse dies gestatten. Die Kristallbildung in Gläsern wird als Entglasung bezeichnet, die als nachträgliche Kristallisation einer unterkühlten Schmelze aufzufassen ist. Im Gleichgewichtszustand befindet sich nicht das Glas, sondern der kristallisierte Körper. Das Kristallisieren hängt ab von der Kristallisationsgeschwindigkeit und vom spontanen Kristallisationsvermögen. Entglasung, d. h. Kristallbildung im Glas, tritt auf bei sehr langsamer Abkühlung der Schmelze, z. B. in längeren Betriebspausen (an Sonntagen). Bei der Abkühlung können sich nur wenige Kristallkeime bilden, so daß nur an wenigen Stellen der Schmelze von einem Punkt aus nicht sehr weit reichende Kristallbildungen entstehen; z. B. in Form von Kugeln mit etwa 60 mm Durchmesser. Bei Flaschenglas entstehen noch größere kugelige Gebilde durch Entglasung.

In den meisten Gläsern sind sehr kleine Kristallkeime vorhanden, die sich bei der Abkühlung bilden und die sich unter bestimmten Bedingungen zu größeren Kristallen entwickeln. Diese Bedingungen sind beim Wiederanwärmen von Gläsern vorhanden, namentlich bei langer Dauer der Wiedererwärmung. Die dabei auftretende Kristallbildung ist dicht und klein und verleiht dem Glas ein milchiges, porzellan-

ähnliches Aussehen. Diese Art der Entglasung entdeckte Réaumur, als er Glaskörper 12 Stunden auf höhere Temperatur erhitzte: Réaumur-sches Porzellan. Derartige Erscheinungen werden bei der Herstellung bestimmter Arten von Trübglass oder Alabasterglas absichtlich hervorgerufen.

## 2. Hauptbestandteile.

In den glasigen Zustand lassen sich sehr viele, vielleicht alle Stoffe überführen, aber wenn die Bedingungen, die an „Glas als Gebrauchsgegenstand“ gestellt werden, erfüllt werden sollen, so kommen nur wenige Stoffe in Anwendung. Glas soll klar und durchsichtig, leicht zu verarbeiten sein und seine glasige Natur bewahren, es soll gegen Einflüsse der Witterung und der verschiedenen Chemikalien möglichst beständig sein. Hierfür dienen in der Hauptsache die 6 Oxyde

|                |                         |                       |                      |                           |
|----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| Kieselsäure    | Tonerde                 | Natron                | Kali                 | Kalk und Bleioxyd         |
| $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{CaO}$ $\text{PbO}$ |

Das Glasschmelzen als Wissenschaft beruht hauptsächlich auf den Arbeiten von Otto Schott, dem Gründer des Jenaer Glaswerkes Schott & Genossen. Seine Arbeiten begannen mit dem Studium der im Schmelzfluß gewinnbaren Verbindungen (1881) und umfaßten alle damals bekannten Grundstoffe, die auf ihre Eignung zur Glasbildung untersucht wurden. Seine Arbeiten weisen darauf hin, daß ein Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung und den Eigenschaften eines Glases besteht und daß man durch die Wahl der einzuschmelzenden Oxyde und ihrer Mengen die Eigenschaften in weiten Grenzen verändern kann.

Andere Bestandteile der heutigen Glasarten sind außer den bereits genannten sechs Oxyden: Borsäure, Baryt, Zinkoxyd, Antimon, Magnesia.

Stoffe zur Einführung saurer Oxyde in die Schmelze. Kieselsäure  $\text{SiO}_2$ , Molekulargewicht 60,4, ist der wichtigste Bestandteil der Gläser und kann nur in beschränktem Maße durch andere saure Oxyde ersetzt werden. Für die Verwendbarkeit der Sande in der Glasindustrie ist der Eisengehalt wesentlich. Kristall und optisches Glas verlangen vollkommene Eisenfreiheit. Spiegelglas, Fensterglas und Weißhohlglas sollte möglichst farblos erschmolzen werden; ebenso sollten Farbgläser wegen der Reinheit der Farben ohne Eisengehalt sein. Bei Flaschenglas und anderem Grobhohlglas dient Eisenoxyd als Farbe, der Sand kann bis zu 6%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  enthalten, derartige Gläser sind „naturfarben“.

Neben der chemischen Zusammensetzung spielt die Korngröße beim Einschmelzen eine Rolle. Je feiner der Sand, um so rascher wird er aufgeschlossen; wird eine gewisse Korngröße unterschritten, so wird das Schmelzen, wahrscheinlich wegen der größeren im Mehl verteilten Luftmenge verzögert. Einen Maßstab für die Korngröße bietet die

Oberfläche eines bestimmten Gewichtes des Mehls bzw. Sandes. Bei der Siebprobe werde angenommen, daß die einzelnen Körner Kugelform haben und ihr Durchmesser dem Mittel der Maschenweite der Siebe entspricht, zwischen denen das Ausgesiebte liegen bleibt. Dann läßt sich die Oberfläche von z. B. 100 g Sand berechnen aus dem Gewicht jeder Fraktion und dem spezifischen Gewicht des betreffenden Rohstoffes.

Keppeler hat für einige bekannte Glassande folgende Korngrößenverteilung errechnet:

Tabelle 31. Korngrößenverteilung in Glas-Schmelzsanden nach Dr. G. Keppeler.

|                                              |       |              |       |       |       |                                |                                                   |
|----------------------------------------------|-------|--------------|-------|-------|-------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Siebgröße, Maschenzahl<br>je qcm . . . . .   | 121   | 250          | 600   | 900   | 4900  | Durch<br>Sieb<br>4900<br>gehen | Relative<br>Oberfläche<br>in qcm je<br>100 g Sand |
| Tatsächliche Maschen-<br>öffnung mm. . . . . | 0,667 | 0,533        | 0,300 | 0,213 | 0,100 |                                |                                                   |
| Herkunft des Sandes                          |       | Anteile in % |       |       |       |                                |                                                   |
| Herzogenrath (Nieven-<br>stein I) . . . . .  | 0,1   | 1,6          | 67,5  | 6,2   | 23,5  | 1,0                            | 3950                                              |
| Dörentrup . . . . .                          | 0,2   | 3,4          | 40,0  | 12,1  | 43,0  | 1,4                            | 4950                                              |
| Hohenbocka . . . . .                         | —     | —            | 27,3  | 6,5   | 65,5  | 0,7                            | 5850                                              |

Tabelle 32. Borsäure  $B_2O_3$ , Molekulargewicht 70.

| Wichtigste<br>Anwendungsformen             | Chemische<br>Formel       | Mole-<br>kular-<br>gewicht | Ein-<br>schmelz-<br>Verlust<br>% | Gehalt<br>an $B_2O_3$<br>% | Schmelz-<br>punkt |
|--------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Kristallisiertes Bor-<br>säurehydrat . . . | $H_3BO_3$                 | 62                         | 45,2                             | 54,8                       | 747°              |
| Borax . . . . .                            | $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ | 382,3                      | 47,2                             | 36,6                       | —                 |

Die wichtigsten Vorkommen liegen in Kalifornien und Chile, ferner in der Türkei als Colemanit, Ulexit oder Borax. Die in vulkanischen Gegenden der Erde entströmenden Wasserdämpfe fördern Borsäure, z. B. in den Lagunen der Marannen von Toskana.

Borsäure ist in Wasser löslich und kristallisiert in schwach glänzenden, sich fettig anführenden biegsamen Schuppen aus. Beim Erhitzen verliert Borsäure das Wasser, schmilzt bei etwa 600° und erstarrt vollkommen glasig. Dieses Glas zieht aber Wasser an und löst sich unter starker Wärmeentwicklung. Gläser, die freie Borsäure enthalten, ziehen deshalb Wasser an. Die Menge der Borsäure im Glas muß daher beschränkt sein. Borsäure erleichtert die Schmelzbarkeit der Gläser und vermindert die Zähigkeit, so daß Gasblasen leichter entweichen können und die Läuterung begünstigt wird.

Als Rohstoff in der Glasindustrie dient entweder eines der genannten Mineralien oder kristallisierte Borsäure oder Borax.

Unter den basischen Oxyden für die Glasbildung ist eine größere Mannigfaltigkeit vorhanden. Die antiken Gläser waren Natrongläser. Die spätere Glasfabrikation verwendete die aus der Holzasche gewonnene Pottasche als Alkali, daher fand die Herstellung in der Nähe großer Wälder statt.

**Natron** (Natriumoxyd  $\text{Na}_2\text{O}$ ), Molekulargewicht 62,1, wird in Form von wasserfreiem Natriumsulfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oder kalzinierter Soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  zur Glasherstellung verwendet. Natriumsulfat, schwefelsaures Natron Glaubersalz.

**Kali**, Kaliumoxyd  $\text{K}_2\text{O}$ , Molekulargewicht 94,3 wird als Pottasche  $\text{K}_2\text{CO}_3$  entweder in der Form von roher Pottasche aus Holz- und Pflanzenaschen mit 80 % Gehalt oder als raffinierte Pottasche mit einem Gehalt von mehr als 95 % verwendet.

Kalk dient in der Form des Flußspats als Läuterungsmittel. Für die Eignung der Kalke als Glasschmelzmittel kommt besonders ihr Eisenoxydgehalt wegen der Färbung in Frage. Andere Beimengungen wie  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  sind auch glasbildend.

**Magnesiumoxyd**  $\text{MgO}$ , Molekulargewicht 40,32 ist ein lockeres weißes Pulver, dessen Dichte von der Art der Erhitzung bei der Herstellung abhängt. Der Handel unterscheidet 2 Arten: eine leichtere *Magnesia usta levis* des DAB und eine schwere, *Magnesia usta pondrosa*, deren Raumgewicht das  $3\frac{1}{2}$ -fache der leichteren Sorte beträgt. Kohlensäure *Magnesia* = *Magnesit*  $\text{MgCO}_3$  ist in der Zusammensetzung stark schwankend, ebenso die Dichte ähnlich wie bei  $\text{MgO}$ . Das Doppelsalz: Kohlensäure Kalk-Magnesia ist *Dolomit*  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ , in der Natur häufig vorkommend. Die Karbonatformen, auch der Dolomit, geben die Kohlensäure leichter ab als Kalziumkarbonat.

Magnesiumverbindungen kommen als Doppelsalze in Kalisalzlagern vor. Das reine Magnesiumkarbonat, der *Magnesit*, tritt in großen Massen gesteinsbildend auf in Euböa, Steiermark, Tirol, Schlesien.

Früher wurde  $\text{MgO}$  den Gläsern nicht absichtlich zugesetzt, sondern kam mit dem Kalkstein ins Glas. Da *Magnesia* aber dem Glas gute chemische und mechanische Eigenschaften verleiht, so wird sie seit einem Jahrzehnt, besonders in Amerika vielfach in der Glasindustrie verwendet.

Rohstoffe, die mehrere glasbildende Oxyde enthalten, sind Kaolin, Feldspat und die Eruptivgesteine. Kalifeldspat wird wegen seiner gleichmäßigen Zusammensetzung in der Glasindustrie bevorzugt.

Eruptivgesteine enthalten die Oxyde, aus denen auch die meisten gewöhnlichen Gläser bestehen. In der Glasindustrie werden die kiesel-säurereichen Gesteine bevorzugt, also in Deutschland:

Tiefengesteine: Granit (Kali und Feldspat, Quarz und Glimmer), Syenit (Kali und Feldspat, Hornblende ohne Quarz).

Ergußgesteine Quarzporphyr (Feldspat, Quarz), Trachyt (Kali und Feldspat, Hornblende), quarzfreie Porphyre.

Phonolith mit Nephelin ist ein sehr beliebtes Schmelzmaterial, in dem der Nephelin einen hohen Alkaligehalt besitzt.

Tabelle 33. Analysen einiger Eruptivgesteine.

|                                        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O |
|----------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|------|------|------------------|-------------------|------------------|
| Granit, frisch,<br>Passau . . . . .    | 73,13            | 10,50                          | 3,16                           | —    | —   | —    | 1,12 | 9,04             | 1,80              | 0,45             |
| Syenit, Plauenscher<br>Grund . . . . . | 59,83            | 16,85                          | —                              | 7,01 | —   | 4,43 | 2,61 | 6,57             | 2,44              | 1,29             |
| Phonolith mit<br>Nephelin, Zittau .    | 59,17            | 19,74                          | 3,39                           | —    | —   | 0,92 | 0,15 | 6,45             | 8,88              | 1,18             |

Aluminiumoxyd (Tonerde) erhöht die chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit der Gläser und vermindert die Neigung zum Entglasen; wegen ihrer schweren Schmelzbarkeit lassen sich große Anteile nicht dem Glase einverleiben. Der Schmelzpunkt wird durch andere Oxyde so stark erniedrigt, daß mäßige Gehalte bis zu 10% die Verarbeitung nicht wesentlich erschweren. Tonerde ist zwar rein im Handel zu erhalten, für alkalifreies Glas steht aber Kaolin, für alkalihaltiges Glas Feldspat zur Verfügung.

### 3. Vorgänge beim Schmelzen.

Die Aufbereitung der Rohstoffe erfolgt nach dem im allgemeinen Teil erörterten Verfahren mit den dort beschriebenen Maschinen. Sie besteht im Zerkleinern und Reinigen, z. B. Waschen von Sand oder Glühen.

Das Durchmischen soll herbeigeführt werden durch Einführung der Feuchtigkeit beim Rühren mit grünem Holz oder durch die heftig aufsteigenden Gasblasen beim Schmelzen und Zersetzen gewisser für diesen Zweck bestimmten Zusätze.

In dem groben mechanischen Gemenge der Rohstoffe, das bei niedriger Temperatur unverändert nebeneinander liegen bleiben würde, treten bei erhöhten Temperaturen Schmelzungen der Bestandteile, chemische Umsetzungen und auch Schmelzungen der bei den Umsetzungen neu entstandenen Verbindungen auf. Das Schmelzen der leicht schmelzbaren Anteile ist nicht der erste Vorgang, sondern es finden zwischen festen Körpern Diffusion und chemische Umsetzungen statt. Die Karbonate haben mit steigender Temperatur wachsende Neigung in Kohlensäure und Oxyd zu zerfallen. Die theoretischen und praktischen

Bedingungen des Schmelzvorganges sind von Keppeler ausführlich erläutert. In der Schmelze, die zunächst entsteht, sind die Bestandteile noch nicht gleichmäßig verteilt, weil sie zäh und schwer beweglich ist. Zur Erzielung einer größeren Dünflüssigkeit wird die Temperatur erhöht und Bewegung in die Schmelze gebracht, damit die Gase aus der Schmelze entweichen können. Dem Erhöhen der Temperatur sind dadurch Grenzen gesetzt, daß manche Oxyde zu verdampfen beginnen. (Für die Gleichmäßigkeit der Schmelze ist ein Durchrühren nötig, zum Entgasen Ruhe.) Namentlich bei optischen Gläsern ist das Läutern und Kaltschüren oder Erkaltenlassen eine schwierige Operation, die zur Vermeidung der Schlierenbildung notwendig ist. Dem Abkühlen der fertigen Glasteile kommt besondere Bedeutung zu wegen der Notwendigkeit, die hierbei entstehenden Spannungen auszugleichen.

#### 4. Wasserglas.

Wasserglas entsteht durch Zusammenschmelzen von Soda oder Pottasche mit Kieselsäure, Natron- oder Kaliwasserglas, und ähnelt nach dem Erstarren dem Glas. Das Wasserglas enthält meist einen beträchtlichen Überschuß an  $\text{SiO}_2$  gegenüber  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  oder  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  und gelangt als sirupähnliche Flüssigkeit von 30–35° Bé in den Handel. Diese Flüssigkeit stellt keine einfache Lösung des Wasserglases in Wasser dar, sondern das Wasser hat das ursprüngliche Salz gespalten, hydrolysiert. Es ist eine Art Quellung aufgetreten, die wasserreiche Kieselsäure wird von der Lauge in einer Art von Scheinlösung gehalten. Zur Herstellung des flüssigen Wasserglases muß dieses zerkleinert unter Druck mit Wasser mehrere Stunden lang gekocht werden. Das flüssige Wasserglas entsteht durch die sekundäre Wirkung des in Freiheit gesetzten Natrons auf die Kieselsäure. Bei Natronwasserglas kann durch reichliche Behandlung mit Wasser dem Wasserglas sein ganzer Gehalt an Natron entzogen werden. Kaliwasserglas ist unbeständiger als Natronwasserglas.

#### 5. Quellung.

Die beim Wasserglas auftretende Erscheinung der Quellung findet sich bei allen technischen Gläsern in verschiedenem, vermindertem Umfang. Jahrelange Untersuchungen an Akkumulatorengläser (Mylus-Groschuf) zeigen, daß minderwertiges Glas merklich ausgelaugt wird, indem Alkali aus- und Wasser in das Glas eintritt. Kern und Rinde des Glases zeigten unter anderem folgende Unterschiede:

|              | Kern | Rinde |
|--------------|------|-------|
| Natron . . . | 22,8 | 4,6   |
| Kali . . . . | 3,7  | 1,1   |
| Wasser . . . | 0    | 12,0  |

Das Glas erschien bei der Entnahme aus dem Wasser unverändert, verwittrte aber beim Liegen an der Luft unter Rißbildung an der Oberfläche.

Bei guten Gläsern ist Quellung sehr gering, jedoch nachweisbar, beim Jenenser Glas z. B. erst nach 2 Stunden Erhitzung unter Druck auf 200°.

Die gleichzeitig mit der Wasseraufnahme auftretende Auslaugung von Alkali aus dem Glas ist leichter nachweisbar. Ein Flaschenglas ließ bei Behandlung von 9 g mit 250 g Wasser 140 mg in Lösung gehen, das sind 1,56%, ein schwer schmelzbares böhmisches Glas mit sehr hohem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt aus 8 g mit 200 g Wasser nur 80,6 mg,  $\sim 1\%$ . Die Lösung enthält Anreicherung von Alkali und ist ärmer an  $\text{SiO}_2$  als das Glas. Die Menge des Gelösten steigt mit der Temperatur des angreifenden Wassers; z. B. wurde bei 4 gleichen Kolben je Quadratzentimeter Oberfläche gelöst

|                   |     |          |
|-------------------|-----|----------|
| in 24 Stunden bei | 0°  | 1,9 mg   |
| „ 24 „ „          | 18° | 6,4 mg   |
| „ 1 Stunde „      | 42° | 9,1 mg   |
| „ 1 „ „           | 80° | 153,0 mg |

Bei fortgesetzter Behandlung mit Wasser nimmt die Menge des Gelösten ab. Die Oberfläche guter Gläser wird bei dauernder Behandlung mit Wasser schließlich unveränderlich. Schwache Säuren greifen das Glas im allgemeinen weniger an als Wasser, da die gelösten Alkalien die Säure zum Teil neutralisieren. Verschiedene Alkalien wirken wie das Wasser, mit wachsender Konzentration nimmt die Wirkung stark zu. Phosphorsäure wirkt stark lösend, noch stärker Flußsäure. Eine abnorme Löslichkeit gegen Alkalien zeigen borsäurehaltige Gläser.

## 6. Arbeitsverfahren und Maschinen.

Die Fähigkeit des Glases durch Erwärmung in den zähflüssigen Zustand überzugehen, erlaubt die Anwendung der spanlosen Formung. Infolge des außerordentlich großen Verbrauches an gleichartigen Glaswaren und -gefäßen, wie Fensterglas, Glasflaschen, Glühlampenkolben u. ä., ist es gelungen, trotz der großen Empfindlichkeit des Glases gegen Schlag und Stoß Herstellungsverfahren und Einrichtungen zu schaffen, die vollkommen automatisch arbeiten. Die Ausbildung der Verfahren und Maschinen hat viele Jahre Arbeit und sehr hohe Kosten erfordert. Wenn hier einige derartige Maschinen kurz beschrieben werden, so geschieht dies, um auf die Möglichkeit hinzuweisen, die für andere plastische Massen bestehen. Viele dieser Massen lassen sich bei niedrigeren Temperaturen verarbeiten als Glas und besitzen größere Festigkeit. Die Voraussetzung für leistungsfähige Arbeitsverfahren ist der Bedarf an sehr großen Mengen gleicher Teile. Diese Voraussetzung ist aber auf den meisten Gebieten der plastischen Massen noch nicht gegeben, da trotz aller Normung und Vereinfachung die Hersteller noch immer an einer bunten Vielzahl der Formen auch für die einfachsten Apparate festhalten. Als Beispiel sei auf den in Millionen von Exemplaren verbreiteten

Wandstecker für elektrische Leitungen verwiesen, von dem es allein in Deutschland hunderte von Ausführungsformen gibt.

Aber noch aus einem anderen Grund sollen die automatischen Maschinen der Glasindustrie erwähnt werden. Hohlglas und Glasmosaiken wurden schon vor mehr als viereinhalb Jahrtausenden in Ägypten, Phönizien und China hergestellt, vielleicht ist die Glasmacherkunst noch viel älter. Die Herstellungsverfahren wurden als strenges Geheimnis gehütet. Als die aus Byzanz ausgewanderte Glasindustrie sich im Jahre 1289 in Murano niederließ, bestrafte die Republik Venedig den Verrat der Fabrikationsgeheimnisse mit Vermögensentziehung, sogar mit dem Tode<sup>1</sup>. Dieses Gesetz wurde noch im Jahre 1762 erneuert, das die bevorzugte Stellung der Glasbläser erhielt. Sie waren Vollbürger der Republik, denen eheliche Verbindungen mit adligen Familien erlaubt waren. Trotzdem die Glasindustrie zu den ältesten gehört, ist sie infolge der Geheimniskrämerei erstarrt und zeigt bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts keine wesentlichen Fortschritte. Diese beginnen erst mit den Arbeiten Schotts nach den Vorarbeiten P. L. Guinands, J. Fraunhofers und R. Steinheils. Die systematische Bearbeitung glastechnischer Fragen verschaffte der deutschen Glasindustrie eine führende Stellung in der Herstellung von Qualitätsgläsern. Der Weltkrieg zwang das Ausland die eigenen Glasindustrien zu entwickeln. Diese Entwicklung ging so schnell voran, daß fast alle automatischen Maschinen zur Verarbeitung von Glas aus Amerika stammen. Das Land, das als letztes in die Entwicklung eingetreten ist, hat auf dem Gebiet der Herstellungsverfahren und Maschinen den ersten Platz in wenigen Jahrzehnten erobert.

Die Formung des Glases erfolgt durch Gießen, durch Pressen und seine Abarten. Flache Teile wie Teller oder Linsen werden in Matrizen und auf Pressen geformt, die den in den anderen Industrien der plastischen Massen gebrauchten Werkzeugen und Maschinen entsprechen. Große flache Tafeln wie Fenster- und Spiegelglas werden durch Walzen hergestellt, Hohlgefäße wie Flaschen, Glühlampenkolben u. ä. durch den Druck, den die Preßluft auf die zum Kùbel vorgeformte Glasmasse beim Blasen ausübt. Diese Art des Verformens von Glas ist sehr alt; sie ist für die Herstellung von Körpern mit sich verengenden Öffnungen notwendig, die sich mit Matrize und Patrizie nicht formen lassen, weil die Patrizie sich nicht aus dem Innern des Gefäßes entfernen läßt.

Die Verarbeitung der Schmelze zu Hohlglas erfolgt in kleineren Hütten heute noch durch Einblasen von Luft mittels Pfeife, eines 1½ bis 2 m langen Rohres mit wulstförmigem Ende. Die Arbeit wird gewöhnlich von drei Personen ausgeführt, dem Jungen, dem Gehilfen und dem Meister und Glasmacher. Die notwendige Glasmasse wird durch Eintauchen der Pfeife, an deren Ende die Masse haftet, aus dem Hafen

<sup>1</sup> Schulz, Dr. Hans: Das Glas, 1923 S. 2.



genommen und durch wiederholtes Eintauchen vergrößert. Durch Einblasen von Luft, Wälzen, Drehen und Schwenken des weichen Glases wird ein „Kübel“ gebildet, das der Menge und Form nach annähernd dem herzustellenden Gefäß entspricht. Das Kübel wird schließlich unter weiterem Ausblasen in eine eiserne Form gehängt, bis es sich an deren Wände anschmiegt. Kühlt sich die Glasmasse während der Arbeit zu sehr ab, so wird sie im Ofen wieder angewärmt.

Die Arbeit des Glasblasens am heißen Ofen ist anstrengend und ungesund, daher setzten mit steigendem Verbrauch von Glaswaren

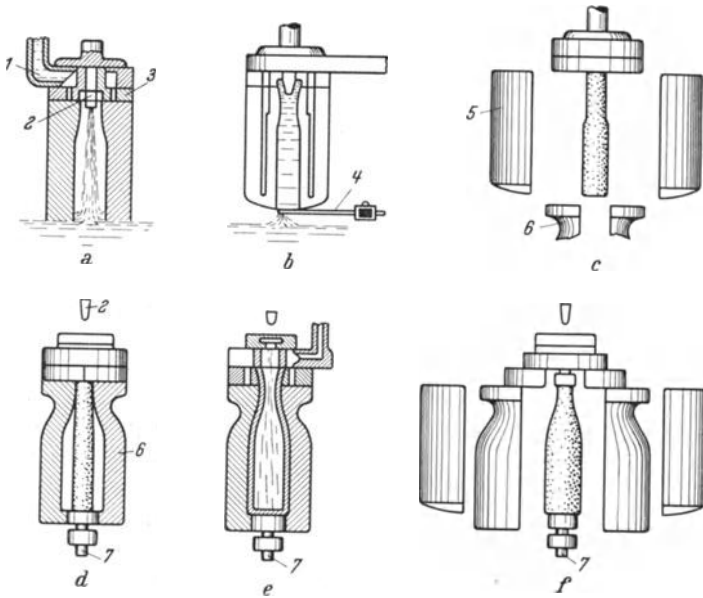


Abb. 66. Arbeitsgang des Flaschenblasens bei der Owens-Maschine<sup>1</sup>.

die Bemühungen ein, diese Arbeit durch Maschinen verrichten zu lassen. Jahrzehntelange Versuche und Mittel, die viele Millionen betragen, waren nötig, bis die automatischen Glasblasmaschinen sich als brauchbar erwiesen. Diese Entwicklung ist durch Michael J. Owens zur befriedigenden Lösung gefördert worden. Owens läßt als erster das Glas unmittelbar aus der Wanne in die Vorform saugen und zwar aus der Drehwanne. Den Arbeitsgang der Maschinen zur Herstellung von Flaschen zeigen Abb. 66a–f. a) Die Vorform taucht in das Glas der Wanne ein, wird durch Saugleitung 1 und Mündungsdorn 2, der in die Kopfform 3 hineinragt, luftleer gesaugt. b) Das Glas hat die Form gefüllt und wird durch Messer 4 abgeschnitten. c) Die Hälften der Vorform 5 öffnen sich, das vorgeformte Glas, das

<sup>1</sup> Dralle-Keppeler: Glasfabrikation, Bd. I S. 653 Abb. 571–576.

Kübel, hängt an der Kopfform, die geöffnete Fertigform 6 steigt hoch. d) Mündungsdorn 2 aus der Kopfform gezogen, Fertigform 6 geschlossen, Boden 7 eingesetzt. e) Blasekopf über die Kopfform geschoben, Flasche ausgeblasen. f) Fertig- und Kopfform geöffnet, Flasche steht frei auf Formboden 7. Die ersten Owens-Maschinen hatten sechs Satz Formen, die sich ständig um die Mittelachse drehten, die ganze Anordnung senkte und hob sich. Später senkten und hoben sich nur die Vorformen und ihre Tragkonstruktion, die Maschinen erhielten bis zu 15 Satz Formen und wurden für Gefäße von 3 cm bis zu 50 l Inhalt ausgeführt. Die Leistung dieser Maschinenungetüme<sup>1</sup> beträgt bis zu 60000 Bierflaschen in 24 Stunden oder bis zu 115000 weithalsigen Flaschen für eingemachte Früchte. Kleine Flaschen werden in Mehrfachformen mit zwei oder drei Höhlungen geblasen, und zwar bis zu 200 Stück je min, d. h. Stundenleistungen Bierflaschen 2500 Stück, weithalsige Flaschen 4800 Stück, kleine Flaschen 12000 Stück. Wenn diese Zahlen auch einen Ausschuß von 2–10% enthalten und Höchstleistungen sind, so geben sie doch ein anschauliches Bild von der Leistungsfähigkeit derartiger Maschinen. In den Vereinigten Staaten arbeiteten bis 1918 bereits 210 Owens-Maschinen der verschiedenen Größen, darunter sieben Maschinen mit 15 Armen.

Um die Maschine in Europa einzuführen, erbauten die Amerikaner eine vollständige Anlage in Manchester. Das Ergebnis der Prüfung dieser Anlage war die Syndizierung der europäischen Flaschenindustrie unter deutscher Führung und der Ankauf der Owens-Patente für die ganze Welt außer Amerika, für 12 Millionen Mark. Es ist zu bedauern, daß deutscher Erfindergeist nicht tatkräftig unterstützt wurde und nicht früher auf dem Plan war, daß z. B. die Severinsche automatische Maschine nicht früher bekanntgemacht wurde, aber niemand hätte in Europa geglaubt, daß die Lösung des so lange umworbenen Problems der automatischen Flaschenbläserei so nahe war.

Automatische Blasemaschinen für Glühlampenkolben u. ä. Weißhohlglas, Westlake-Maschinen.

Die automatische Herstellung eines dünnwandigen Glühlampenkolbens ist noch schwieriger als die von Flaschen oder anderen starkwandigen Gefäßen. Die Aufgabe war, aus Bleiglas oder aus Kalk-Magnesiaglas ein verhältnismäßig kleines Gefäß von weniger als 1 mm Wandstärke zu formen. Das bedeutet die Behandlung einer sehr kleinen Menge Glas. Die Formung muß schnell vor sich gehen, bevor die kleine in dem Glasklumpchen enthaltene Wärmemenge durch Berührung mit den Formteilen verbraucht ist. Da der Boden des Glaskolbens den Lichtstrahlen ungehindert Durchgang gewähren soll, so wird gerade an der Stelle größte Reinheit des Glases und Freiheit von Schlieren und Ansätzen gefordert, wo sonst eine vom Abschneiden des Glaspostens

<sup>1</sup> Dralle-Keppeler: Glasfabrikation, Bd. 1 Abb. 578.

herrührende Narbe sich verbirgt. Schließlich darf der Glaskolben bei der Wiedererwärmung zur Fertigstellung der Glühlampe nicht platzen, muß also von gleicher Wandstärke und spannungsfrei sein.

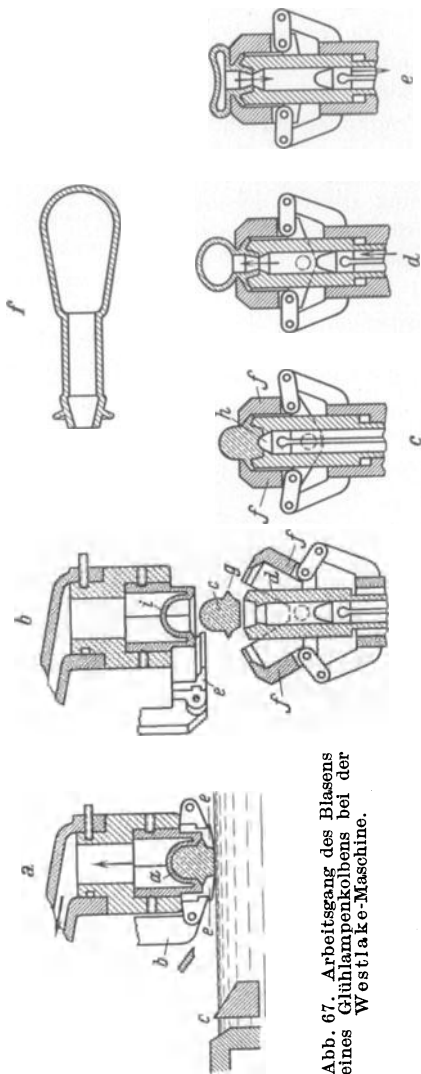


Abb. 67. Arbeitsgang des Blasens eines Glühlampenkolbens bei der Westlake-Maschine.

Die Westlake-Maschine enthält als Einheit eine Pfeife, die um eine waagerechte Achse drehbar ist. Das Mundstück der Pfeife kann unter die Vorform gebracht werden, die ebenso wie bei der Owens-Maschine in die Glaswanne des Ofens eintaucht und sich nach dem Vollsaugen mit Glasmasse über die Pfeife zurückbewegt. Abb. 67a—f<sup>1</sup> zeigt den Vorgang des Verformens bei der Westlake-Maschine: a) Saugform a in die Glasmasse eingetaucht und durch Absaugen der Luft gefüllt. Beim Zurückziehen der Saugform aus dem Ofen wird durch das Messer c der unten an dem vorgeformten Stück, dem Kübel, hängende Glasstrang abgeschnitten. b) Saugform über Pfeifenmundstück d zum Stillstand gekommen, der geteilte untere Formring wird geöffnet, der mit Dichtungsrand g versehene Glasposten c fällt auf das Mundstück. Da hierbei das Oberteil der Vorform nicht geöffnet wird, entsteht an der Stelle, die später den eigentlichen Lampenkolben ergibt, keine Formnaht. c) Backen f werden geschlossen und klemmen den Glasposten auf dem Mundstück fest; aus dem Pfeifeninnern stößt Dorn h vor zur Bildung einer Höhlung im Posten. d) Druckluft erweitert die Höhlung. e) Druckluft wird abgelassen, Kübel sinkt ein. Der Vorgang wird wiederholt und das Kübel weiter gedehnt. Die Pfeife schwingt

herum, zunächst bis zur Waagerechten, dann bis zur Senkrechten, das Mundstück mit dem vorgeblasenen Kübel befindet sich jetzt unten. Durch Auf- und Abbewegen der Pfeife wird das Kübel gestreckt, in die unter der Pfeife angebrachte Fertigform eingeführt, fertig geblasen.

<sup>1</sup> Dralle-Keppeler: Glasfabrikation, Bd. 1 Abb. 536a—f.

f) zeigt Form des Glaskolbens beim Verlassen der Fertigform. Abb. 68 zeigt eine Westlake-Maschine, bei der je zwei Pfeifen an einem

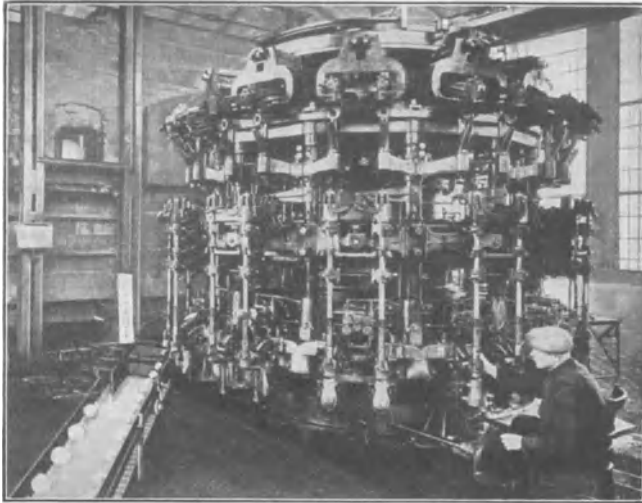


Abb. 68. Westlake-Maschine zur Herstellung von Glühlampenkolben mit 24 Pfeifen.

Schwenkarm arbeiten. Diese Maschine besitzt 24 Pfeifen und kann in 24 Stunden 45000 gute Glühlampenkolben herstellen. Die erste im Jahre 1911 von S. O. Richardson jr., dem langjährigen Generaldirektor der Libbey Glas Co und von August Kadow erbaute, mit 6 Pfeifen versehene Maschine soll noch heute arbeiten.

Von den zahlreichen anderen halb- oder ganz automatischen Glasblasemaschinen und Verfahren sei noch erwähnt die Severinsche automatische Maschine, bei der die Glasmasse durch eine Vorrichtung in die Vorform hochgedrückt wird, die der beim Metallspritzen gebrauchten ähnlich ist (Abb. 69)<sup>1</sup>.

Von P. Th. Sievert sind einfache Vorrichtungen geschaffen worden, um Hohlgefäße mit großer Öffnung und auch mit sehr großen Abmessungen herzustellen. Die Beobachtung, daß ein heißer auf den Hüttenboden gefallener Glasposten durch die verdampfende Feuchtigkeit des Bodens zu einer Blase aufgebläht wurde, führte ihn zur Erfindung der Blasapparate mit feuchter Asbestunterlage und auf die Glasschicht

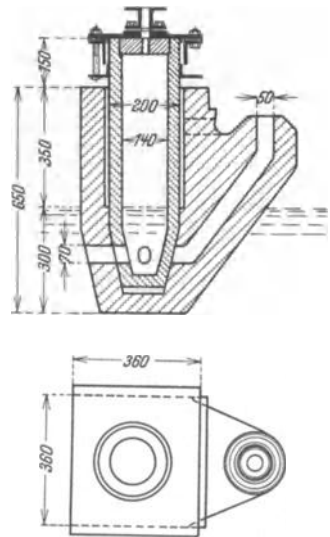


Abb. 69. Füllvorrichtung der Severinschen automatischen Maschine.

<sup>1</sup> Dralle-Keppeler: Glasfabrikation, Abb. 564—566.

aufgesetztem Rand. Die Spannung des Wasserdampfes, die zwischen dem Asbest und der darüber gegossenen Glasmasse durch deren Wärme entsteht, ersetzt die Preßluft. Die Glasmasse wird in einem Rand zu einem flachen Kuchen ausgegossen. Der Rand hat die äußere Form des herzustellenden Gefäßes. Bei großen Gefäßen tritt an Stelle der Dampfspannung die Preßluft. Mit derartigen Vorrichtungen lassen sich außerordentlich große Glasmassen verarbeiten, z. B. für Glasbadewannen.

Andere Verfahren spanloser Formung, die beim Glase ausgedehnte Anwendung finden, sind Ziehen und Walzen.

Der Ziehvorgang findet Anwendung bei der Herstellung von Glasröhren. Bei der Röhrenziehmaschine von Danner fließt die Glasmasse gleichmäßig auf die nach unten geneigte und mit einem Schamottemantel umgebene Pfeife, die sich dreht. Die Vorrichtung ist in einem Muffelofen untergebracht. Das Glasrohr ist in einer Entfernung von 3—5 m von der Blasvorrichtung genügend fest, um mit einer Ziehvorrichtung abgezogen und an den Kühlöfen gebracht zu werden. Die Ziehvorrichtung steht etwa 30 m von der Blasvorrichtung entfernt. Mit der Ziehvorrichtung ist eine Vorrichtung zum Abteilen der Rohre in bestimmte Längen verbunden. Die Ziehgeschwindigkeit kann zwischen 10 und 100 m je min betragen, je nach dem Rohrdurchmesser, der vom kapillaren bis zu 70 mm geht. Mit derselben Maschine lassen sich auch Glasstäbe von 2—30 mm herstellen.

## 7. Sicherheitsglas.

Im modernen Fahrzeugbau und besonders im Automobilbau werden erhöhte Anforderungen an die Festigkeit der Glasscheiben gestellt, denen man zunächst durch Vergrößerung der Glasdicke zu begegnen versuchte. Wenn eine solche starke Glasscheibe aber zerbricht, entstehen messerscharfe, für die Fahrzeuginsassen gefährliche Bruchstücke. Ein großer Teil der heutigen Welterzeugung an Sicherheitsglas beruht auf dem Gedanken, die beim Bruch entstehenden Teile festzuhalten, indem man 2 dünne Einzelscheiben durch Gelatineschichten auf ein zwischen ihnen liegendes Zelluloidblatt leimt und so eine innige Verbindung dieses „Sicherheitsverbundglases“ herbeiführt. Derartige Scheiben müssen an den Rändern sicher gegen Eindringen von Feuchtigkeit geschützt werden.

Die Arbeiten, um die Festigkeit des normalen Flachglases gegen Schlag, Druck, Erschütterungen und schroffe Temperaturwechsel zu verbessern, haben zu einem bemerkenswerten Erfolg geführt, da es gelungen ist, einem normalen Kristallspiegelglas durch plötzliche Abkühlung eine außerordentlich große Härte zu verleihen. Die sehr starken Spannungen im Gefüge bewirken, daß das Glas bei seiner Zerstörung in erbsengroße Stücke ohne scharfe Kanten zerspringt. Die Festigkeit

soll 5—10mal so groß sein wie bei gewöhnlichem Glas, eine aus 2,5 m Höhe auf eine derartige Glasplatte fallende Stahlkugel von 500 g Gewicht bewirkt keine Zerstörung. Das neue Glas besitzt große Elastizität, läßt sich aber wegen seiner großen Härte nur schwer bearbeiten<sup>1</sup>.

## 8. Mycalex.

Mycalex ist der Name eines aus Glas als Bindemittel bestehenden Isolierstoffes, in dem Glimmerabfälle als Füllmittel enthalten sind. Die Erfindung von P. B. Crossley wird durch das britische Patent 152780 geschützt. In Deutschland wird Mycalex von der AEG hergestellt.

Der Hauptzweck dieser Erfindung war wohl ursprünglich die Ausnutzung von Glimmerabfällen in Staub- oder Stückform; dabei ist ein Stoff mit außerordentlichen Eigenschaften entstanden, dessen elektrische Eigenschaften denen des Glimmers ähnlich sind, während die mechanischen Eigenschaften sich denen eines Metalles nähern.

Die Rohstoffe werden fein gemahlen und sehr innig in Knetmaschinen gemischt. In der Zusammenstellung der Typen von gummifreien Isolierstoffen (S. 265) wird als Zusammensetzung der Type Y, die dem Mycalex entspricht, angegeben: Bleiborat mit Asbest und mineralische Füllstoffe. Die Mischung wird auf eine Temperatur gebracht, die oberhalb des Sinterungspunktes des Glases liegt, und in heißen Formen unter hohem Druck verpreßt. Nach einer englischen Angabe<sup>2</sup> liegt die Verarbeitungstemperatur bei 700° C. Da die Mischung nicht sehr leichtflüssig, sondern nur mäßig plastisch wird, so eignet sie sich zunächst nur zur Herstellung verhältnismäßig flacher Körper. Metallteile können gut eingepreßt werden. Die Rohstoffe, aus denen Mycalex besteht, sind zwar nicht teuer, dafür aber die Verarbeitung bei hohen Temperaturen und die Preßwerkzeuge, die einen besonders widerstandsfähigen Stahl verlangen. Mycalex erscheint als silbergrauer, sehr harter Körper von metallischem Klang. Es besitzt eine außerordentlich hohe Biegefestigkeit, Wärmebeständigkeit und Glutsicherheit und vorzügliche elektrische Eigenschaften. Die für Type Y vorgeschriebenen Mindestwerte sind in der Zusammenstellung auf S. 265 angegeben.

Weitere Angaben sind<sup>3</sup>:

Spezifisches Gewicht 3,3.

Wärmeausdehnungskoeffizient 0,00001.

Härte nach Mohs 3—4.

Skleroskophärte 40.

Druckfestigkeit je nach Probenform 1200—3900 kg/qcm.

<sup>1</sup> S. a. L. von Reis: Vorgespanntes Spiegelglas, Z. VDI 1933 H. 23 S. 615.

<sup>2</sup> Warren, H.: Electrical Insulating Materials, S. 51.

<sup>3</sup> Nach AEG-Mitt. 1932 Heft 9 S. 314.

Zugfestigkeit 600—700 kg/qcm.

Durchschlagsfestigkeit etwa 15 kV/mm.

Dielektrische Verluste in Prozent der Ladeleistung 15—20.

Dielektrizitätskonstante 8.

Infolge des sehr kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten verträgt Mycalex auch sehr schroffe Temperaturwechsel, ohne zu springen oder zu reißen. Die Härte erlaubt noch Bearbeitung mit spanabhebenden Werkzeugen, vorzugsweise aus Widiametall. Die große Wärmebeständigkeit wird sonst nur von keramischen Stoffen erreicht. Vor anderen lichtbogensicheren Stoffen hat es den Vorteil, keine Feuchtigkeit aufzunehmen, nämlich weniger als 0,25% nach mehrtägiger Lagerung in Wasser. Die dielektrischen Verluste bei hohen Frequenzen sind sehr gering. Im Vergleich zu anderen Isolierstoffen ist Mycalex wenig empfindlich gegen chemische Angriffe. Mycalex wird verwendet beim Bau von Heizgeräten, z. B. für Gerätestecker, als Funkenlöcher, in der Hochfrequenztechnik und im Kondensatorbau, ferner für hochbeanspruchte Hänge- und Stützisolatoren.

## B. Keramik.

### 1. Übersicht.

Keramische Werkstoffe sind solche, die einen erheblichen Anteil an Tonsubstanz enthalten, nach dem Wort *Κέραμος*, der Töpfer-ton der Griechen. Diese Werkstoffe werden nach der Beschaffenheit des Scherbens unterschieden, wie die Übersicht Tabelle 35 zeigt: Poröse Werkstoffe, Irdenware und dichte Werkstoffe, Sinterzeug.

Die mechanischen Eigenschaften dieser Werkstoffe sind in Tabelle 34 zusammengestellt.

Die Erzeugnisse des Töpfers gehören zu den ältesten aus plastischen Stoffen geformten Gebilden. Die Töpferscheibe des Altertums ist auch heute noch im Gebrauch. Die Stoffe mit dichtem Scherben sind, wenigstens im Abendland, Erzeugnisse einer späteren Zeit. Die Chinesen kannten zwar die Herstellung des Porzellans schon vor mehr als 2000 Jahren, in Europa stellten Tschirnhaus und Böttger im Anfang des 18. Jahrhunderts das erste Porzellan her. Das Steinzeug ist vielleicht ebenso alt wie das Porzellan und hat auch in der Technik früh Anwendung gefunden, wie die Funde alter römischer Wasserleitungsrohre aus Steinzeug bewiesen haben. In der Elektrotechnik wird Steinzeug als Ersatz für Porzellan, z. B. für Hochspannungsisolatoren, erst seit einigen Jahren verwendet.

Alle keramischen Werkstoffe werden so verarbeitet, daß die Rohstoffe fein zerkleinert, vermischt und durch Anfeuchten mit Wasser bildsam gemacht werden. Die Verfestigung erfolgt durch Trocknen und Brennen.

Die verschiedenen Eigenschaften der keramischen Erzeugnisse beruhen hauptsächlich auf der Verwendung von Ton mit sehr verschiedenen Eigenschaften und auf der angewendeten Brenntemperatur. Die Hauptbestandteile sind Tonsubstanz, Quarz und Feldspat. Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Rohmassen z. B. von Steinzeug und Porzellan sind nicht erheblich:

|                 | Steinzeug | Porzellan |
|-----------------|-----------|-----------|
| Tonsubstanz . . | 30—70 %   | 42—66 %   |
| Quarz . . . .   | 30—60 %   | 12—30 %   |
| Feldspat . . .  | 5—25 %    | 17—27 %   |

## 2. Bildsamkeit des Tones.

Die Tonsubstanz der Keramiker  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2 \text{ SiO}_2$ ,  $2 \text{ H}_2\text{O}$  kommt in verschiedener Reinheit im Ton als Verwitterungsrest verschiedener Gesteine vor. Für die Verwendbarkeit eines Tones spielt nicht nur der Gehalt an reiner Tonsubstanz, die durch die rationelle Analyse festgestellt wird, eine Rolle, sondern auch die Teilchengröße und die Beimengungen.

Die Bildsamkeit des Tones beruht auf der kolloiden Teilchengröße. Mit Wasser versetzter Ton fühlt sich fettig an, daher nennt man sehr bildsame Tone „fette Tone“ und Tone von geringer Bildsamkeit mager, ohne daß Fett in den Tönen enthalten wäre. Mit der Bildsamkeit hängt das Bindevermögen zusammen, das den trockenen Ton zusammenhält und auch Beimengungen anderer Art festhält. Feinster Sand oder fein gemahlener gebrannter Ton lassen sich nach dem Anfeuchten auch verformen, besitzen aber nach dem Trocknen nur geringe Formbeständigkeit. Dagegen weist getrockneter, frischer „grüner“ Ton eine große Formbeständigkeit auf. Die Stoffe, die fetten Tönen zugesetzt werden, um die Eigenschaften der Masse zu verändern, werden Magermittel genannt. Ton mit sehr großer Trockenfestigkeit und großem Bindevermögen kann größere Mengen Magermittel aufnehmen, ohne wesentliche Verschlechterung mechanischer Eigenschaften.

Zwischen den einzelnen Tonteilchen liegen in feuchtem Zustand kleine Wasserhäutchen, die für die Bildsamkeit wesentlich sind, da sie die Verschiebung der Teilchen gegeneinander erleichtern. Durch das Trocknen werden die Wasserhäutchen entfernt und die einzelnen Tonteilchen einander genähert, der Ton schwindet daher beim Brennen. Geht die Trocknung gleichmäßig vor sich, so verkleinern sich die Einzelteile eines geformten Körpers nach allen Richtungen gleichmäßig. Das Wasser wird in den Kapillarräumen mit großer Kraft zurückgehalten und kann daher nur ungemein langsam bei mäßiger Temperatur an die Oberfläche steigen und dort verdunsten. Vorspringende Teile eines Körpers, Ecken und Kanten neigen dazu, rascher zu trocknen, als die übrigen Teile, weil der Weg vom Innern bis zur Oberfläche kürzer ist



Tabelle 34<sup>1</sup>. Mechanische Eigenschaften

| Masse               | Spez.<br>Gewicht | Raum-<br>gewicht | Poren-<br>raum<br>% | Wasser-<br>auf-<br>nahme-<br>vermögen<br>% | Druck-<br>festigkeit<br>kg/qcm |
|---------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Mauerziegel . . . . | 2,1—2,8          | 1,85             | —                   | —                                          | 150                            |
| Irdenware . . . .   | 2,58             | 1,87             | 28                  | 12—15                                      | —                              |
| Steingut . . . .    | 2,23—2,36        | —                | —                   | 19—21                                      | —                              |
| Fayencemasse . . .  | 2,59             | 1,93             | —                   | —                                          | —                              |
| Spezialhartsteingut | 2,62             | 1,96             | 25,3                | 7,8                                        | —                              |
| Steinzeug . . . .   | 2,53             | 2,08             | 18,1                | 3,2                                        | —                              |
| Feinsteinzeug . . . | 2,54             | 2,15             | 15,2                | 0,3                                        | —                              |
| D.T.S. Sillimanit . | 2,45             | 2,28             | 7,7                 | 0,2                                        | 5800                           |
| Geschirrporzellan . | 2,46             | 2,27             | 7,9                 | 0                                          | 2700—4200                      |
| Isolatorenporzellan | 2,3—2,5          | —                | —                   | —                                          | bis 5600                       |
| Steatit . . . . .   | 2,79             | 2,42             | 13                  | 0                                          | bis 7530                       |
| Bergkristall        |                  |                  |                     |                                            |                                |
| parallel zur Achse  | 2,65             | —                | —                   | —                                          | 25000                          |
| senkrecht zur Achse | 2,65             | —                | —                   | —                                          | 23000                          |
| Quarzglas . . . .   | 2,21             | 2,07             | 6,0                 | 0                                          | 19800                          |

als an anderen Stellen. Diese ungleichmäßige Trocknung bewirkt eine ungleichmäßige Schwindung und hierdurch ein Verziehen des zu trocknenden Körpers, das Spannungen bis zur Reißbildung oder bis zum Bruch hervorrufen kann. Wenn das Wasser aus der gesamten Oberfläche schneller entfernt wird, als es aus dem Innern nachwandern kann, so treten dieselben Erscheinungen auf.

Die Eigenschaften der Bidsamkeit, des Bindevermögens und der Trockenschwindung stehen in Beziehung, und zwar so, daß ein Ton, der große Bidsamkeit besitzt, auch starkes Bindevermögen und große Trockenschwindung zeigt.

Ein bis 120° erhitzter Ton enthält noch das chemisch und kolloid gebundene Wasser, das bei 450° langsam, bei 600° schneller entweicht und bei 800° vollkommen vertrieben ist. Dabei geht eine außerordentlich wichtige Veränderung des Tones vor, er verliert seine Bidsamkeit für immer, sobald alles gebundene Wasser vertrieben ist, also die Temperatur über 700° gesteigert war. Aus dem „grünen Ton“ ist der „gebrannte Ton“ oder die „Schamotte“ geworden, wenn auch die ungenügend gebrannte. Der grüne Ton quillt in Wasser, seine festen Teilchen werden durch das eindringende Wasser voneinander entfernt. Die Quellung wird durch Rühren und Erwärmen unterstützt. Der gebrannte Ton ist wasserbeständig und fest geworden; allerdings ist die Festigkeit nach der Erwärmung auf 700° noch gering, die Volumenveränderung ist

<sup>1</sup> Aus G. Gehlhoff: Lehrbuch der technischen Physik, Bd. 3, Physik der Stoffe. Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1929.

## einiger keramischer Massen.

| Zug-<br>festigkeit<br>kg/qcm | Biege-<br>festigkeit<br>kg/qcm | Elastizitäts-<br>modul<br>kg/qmm | Torsions-<br>festigkeit<br>kg/qcm | Kugel-<br>druck-<br>festigkeit<br>kg | Schlag-<br>biege-<br>festigkeit<br>cm kg<br>qcm | Härte, Sand-<br>strahlabnutz-<br>barkeit, Ver-<br>lust in ccm<br>2 min 3 atü |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| —                            | —                              | —                                | —                                 | —                                    | —                                               | —                                                                            |
| 44—80                        | 100—180                        | —                                | 84                                | 405                                  | 1,22                                            | —                                                                            |
| 20—50                        | 50—135                         | —                                | —                                 | —                                    | —                                               | —                                                                            |
| 60—70                        | 230                            | —                                | 169                               | 526                                  | 1,6                                             | 7,2                                                                          |
| 118                          | —                              | —                                | 232                               | —                                    | 1,5                                             | 5,9                                                                          |
| 63                           | 280                            | —                                | 150                               | —                                    | 1,3—1,9                                         | —                                                                            |
| 160—170                      | 420—580                        | 5100—6500                        | 230—320                           | 975                                  | 1,7—1,8                                         | 5,6                                                                          |
| 163                          | 580                            | 6475                             | —                                 | 982                                  | 1,7                                             | 3,9                                                                          |
| 160—270                      | 590—780                        | —                                | —                                 | 674                                  | 1,2—1,8                                         | —                                                                            |
| 260—420                      | bis 670                        | 7000—8400                        | 480—600                           | —                                    | 1,9—2,3                                         | 3,0                                                                          |
| —                            | 850                            | —                                | —                                 | —                                    | 2,2                                             | 2,1                                                                          |
| 1160                         | 1400                           | } 6900                           | —                                 | —                                    | —                                               | —                                                                            |
| 850                          | 920                            |                                  | —                                 | —                                    | —                                               | —                                                                            |
| über 700                     | 920                            |                                  | 300                               | —                                    | —                                               | —                                                                            |

nicht sehr erheblich, da Poren an Stelle des Wassers getreten sind. Wird der Ton weiter erhitzt, so werden die Poren kleiner, das Stück wird dichter und schrumpft weiter; zur Trockenschwindung tritt die Feuer-  
schwindung. Eine vollkommene Verdichtung wird bei verschiedenen Tönen bei sehr verschiedenen Temperaturen erreicht, zwischen 1000° und 1450°. Bei einer weiteren Temperatursteigerung beginnt eine Erweichung, z. B. bei der reinen Tonsubstanz bei 1350°. Die Zähigkeit bleibt noch erheblich, bis bei S.K. 35 (Seeger-Kegel) 1750° ein aus reiner Tonsubstanz geformter Kegel umsinkt. Zwischen dem Beginn der Erweichung und dem Schmelzpunkt liegt ein großer Temperaturunterschied.

Die anderen Rohstoffe der Keramik, wie der die Kieselsäure darstellende Quarz und das Tonerdesilikat, der Feldspat sind vorher bei Schilderung der Rohstoffe des Glases beschrieben.

### 3. Herstellung des Porzellans.

Die Herstellung des Porzellans soll als kennzeichnendes Beispiel auch für die anderen keramischen Werkstoffe dienen.

Im Porzellan dient der Ton oder Kaolin als Bindemittel, der Feldspat als Flußmittel und Kieselsäure teils als Binde-, teils als Füllmittel. Ein hoher Tongehalt bedingt große Temperaturbeständigkeit, hoher Quarzgehalt große mechanische Festigkeit und hoher Feldspatgehalt gute elektrische Werte<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Gilchrist u. Klinefelter: Experimental Investigation of Porcelain Mixes. Electric Journal, März 1918.

Tabelle 35. Übersicht über die keramischen Werkstoffe<sup>1</sup>.

| Beschaffenheit und Farbe<br>des Scherbens                         |               | Nicht<br>weißbrennend                                                                                    | Weißbrennend                                                                      | Nicht<br>weißbrennend                                                                    | Weißbrennend                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Porös und nicht durch-<br>scheinend                               | A. Irdengut   | Baumaterial                                                                                              |                                                                                   | Geschirr                                                                                 |                                                                                                                                    |
|                                                                   |               | 1. Ziegelei-<br>Erzeugnisse                                                                              | 2. Feuerfeste<br>Erzeugnisse                                                      | 3. Töpferei-<br>Erzeugnisse                                                              | 4. Steingut                                                                                                                        |
|                                                                   |               | Ziegel,<br>Verblender,<br>Bauterrakotten,<br>Hohlziegel,<br>poröse Steine,<br>Drainröhren,<br>Dachziegel | Schamottesteine<br>und Werkstücke,<br>feuerfeste Hohl-<br>ware                    | Antike Geschirre,<br>Töpfergeschirr,<br>Blumentöpfe,<br>ordinäre Fayence,<br>Ofenkacheln | Tonsteingut,<br>Tonzellen,<br>Tonpfefen,<br>Kalksteingut,<br>Feldspat- oder<br>Hartsteingut,<br>Sanitätsgeschirr,<br>Feuertonwaren |
| Dicht, nicht oder nur an der<br>Kante durchscheinend              | B. Sinterzeug | 5. Steinzeug                                                                                             |                                                                                   |                                                                                          |                                                                                                                                    |
|                                                                   |               | Klinker,<br>Fliesen,<br>Kanalisa-<br>tions-<br>röhren                                                    | Säurefeste Steine,<br>Isolatoren                                                  | Wannen,<br>Tröge,<br>chemische Gefäße                                                    | Steinzeug,<br>auch künstlich ge-<br>färbt,<br>Feinterrakotten,<br>Wedgwoodware                                                     |
|                                                                   |               | 6. Porzellan                                                                                             |                                                                                   |                                                                                          |                                                                                                                                    |
| Dicht und weiß, schwach<br>durchscheinend, Oberfläche<br>hellgelb | C. Steatit    | Wandplatten                                                                                              | Futtersteine für Trommelmühlen aus<br>Hartporzellan,<br>elektrotechnische Artikel |                                                                                          | Hartporzellan,<br>Weichporzellan,<br>Spezialitäten der<br>Porzellantechnik                                                         |

<sup>1</sup> Nach Singer: Elektrotechn. Z. 1927 Heft 44 S. 1627.

Zur Herstellung der Porzellanrohmasse werden Quarz und Feldspat in einem Brecher vorzerkleinert, in einer Trommelmühle feingemahlen und in einem Mischer mit dem Kaolin innig vermenget; diese Mischung wird zur Absonderung von Eisenteilen über einen Magnetscheider geführt und durch ein Rüttelsieb in das Pendelrührwerk gebracht, in dem die Masse unter reichlichem Wasserzusatz durchgearbeitet wird. Der dünne Brei wird durch Pumpen in die Filterpressen gedrückt. Die in der Filterpresse vom überschüssigen Wasser befreite Masse wird zum „Reifen“ abgelagert. Die Reifung erfolgt durch kleine Pilze, die die Masse allmählich durchsetzen und ihre Verformbarkeit verbessern sollen. Für Kunstporzellane wird die Masse bisweilen bis zu einem Jahr und noch länger gelagert.

Die Verformung kann durch Pressen, Drehen oder Gießen erfolgen. Zur Herstellung der Preßmasse wird das Filtergut vorgetrocknet und feinkörnig gemahlen, dann in einem Mischer mit Wasser und Öl angefeuchtet und je nach Form und Größe des Preßstückes unter Hand- oder Spindelpressen verformt. Sehr kleine Körper, wie Porzellanknöpfe und Perlen werden in Vielfachpreßwerkzeugen geformt, die bis zu 1500 Einsätze haben. Die auf der Drehscheibe zu verarbeitende Masse wird nach Verlassen der Filterpresse noch auf einer Schlagmaschine durchgearbeitet. Die Masse befindet sich dann im Zustand wie etwa weicher Kitt, sie wird vom Töpfer auf die Scheibe geworfen und mit nassen Fingern vorgeformt. Das vorgeformte Stück wird angetrocknet und auf einer Drehbank fertig gedreht. Ein anderes Verfahren zur Herstellung von Drehkörpern besteht darin, daß die feuchte Porzellanmasse in eine auf der Scheibe sich schnell drehende Gipsform gebracht wird, wo sie die Wände und den Boden ausfüllt, während das Innere des Formstücks mit einem Werkzeug geformt wird, das, ähnlich dem Bohrer auf der Bohrmaschine, in ein Futter eingespannt und in das Innere des sich drehenden Stückes geführt wird.

Ein drittes Verfahren ist das Gießen. Hierfür wird die Rohmasse nach dem Verlassen der Siebpresse nicht durch Zusatz von Wasser, sondern von Alkalien verflüssigt. Die Gießformen bestehen aus Gips, der die Feuchtigkeit aus der anliegenden Porzellanmasse absaugt, so daß sich eine allmählich wachsende Schicht von erhärteter Masse bildet. Hat diese Schicht genügende Dicke erlangt, kann die im inneren Teil der Form noch flüssige Masse abgegossen werden.

Die aus der Presserei, Dreherei oder Gießerei kommenden Formlinge besitzen noch geringe Festigkeit und müssen sehr vorsichtig behandelt werden. Sie werden in Schamottekapseln gesetzt, langsam vorgetrocknet und vorgebrannt bei etwa 900° C. Sollen die Teile eine glänzende Oberfläche erhalten, so werden sie durch Tauchen oder Spritzen mit einer Glasur überzogen, die entweder eine ähnliche Zusammensetzung hat

wie die Porzellanmasse, oder aus Kaolin und einem großen Teil Feldspat besteht. Beim Brennen von Steinzeug wird die Glasur gegen Ende des Garbrandes dadurch erzeugt, daß Kochsalz in der Feuerung verdampft wird, dessen Zersetzung den ganzen Ofen mit Natriumoxyddämpfen erfüllt. Die Salzglasur entsteht aus dem Scherben heraus und ist daher sehr fest mit diesem verbunden.

Das Brennen des Porzellans im Glattofen erfolgt bei 1200—1400° C und dauert je nach Größe und Form der Stücke 40 Stunden und mehr. Da die Güte des Fertigstückes in hohem Maße vom Verlauf des Brennens abhängt, so werden Brenntemperaturen und Brenndauer mit Kontrollapparaten sorgfältig überwacht. Vielfach sind Tunnelöfen im Gebrauch, an deren kühlem Ende ein mit den Schamottekapseln beladener Wagen in das Innere eintritt; die höchste Temperatur herrscht ungefähr in der Mitte, beim Verlassen des Tunnels ist eine Abkühlung eingetreten. Die Sinterung ist begleitet von einer Schrumpfung der Porzellankörper, die je nach dem Feuchtigkeitsgehalt 20—25% betragen kann.

Bei dem Garbrand erweichen die Stücke, daher müssen sie an den Stellen durch besondere Untersätze unterstützt werden, an denen ein Verziehen oder Zusammensinken unter dem Eigengewicht eintreten kann. Diese Untersätze werden aus der gleichen Masse angefertigt, aus der die zu brennenden Körper bestehen, um eine möglichst gleichmäßige Schwindung zu erreichen.

#### 4. Untersuchungs- und Prüfmethoden.

Für die Untersuchungs- und Prüfmethoden keramischer Rohstoffe und Erzeugnisse sind Richtlinien durch den Materialprüfungsausschuß der Deutschen Keramischen Gesellschaft aufgestellt worden<sup>1</sup>. Diese Richtlinien sehen Festigkeitsprüfungen an besonders hergestellten Prüfkörpern vor. Die Prüfung der Druckfestigkeit erfolgt bei feinkeramischen Massen an Zylindern von 16 mm Durchmesser und Höhe, bei grobkeramischen Massen an solchen von 50 mm Durchmesser und Höhe. Die Prüfung der Kugeldruckfestigkeit an Scheiben von 80 mm Durchmesser und 10 mm Dicke entspricht nicht der sonst üblichen Anordnung, bei der eine Kugel in die Oberfläche des Prüflings gedrückt wird, sondern der Prüfling wird zwischen zwei Stahlkugeln von 32 mm Durchmesser zerdrückt und die Belastung beim Druck in Kilogramm als Maß der Kugeldruckfestigkeit betrachtet. Diese Prüfung soll auch an fertigen Erzeugnissen, z. B. an Tellern vorgenommen werden. Der Prüfkörper für die Bestimmung der Zugfestigkeit ähnelt dem für die Zementprüfung (s. S. 297, Abb. 123). Ferner ist vorgesehen

<sup>1</sup> Ber. dtsh. keram. Ges. Bd. 8 (1927) Heft 1 S. 44.

| Prüfung von           | Form des Probekörpers                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Torsionsfestigkeit    | Stab mit quadratischem Querschnitt $16 \times 16 \times 120$ mm |
| Biegefestigkeit       | $16 \times 16 \times 500$ mm, Auflagenabstand 400 mm            |
| Elastizitätsmodul     | $16 \times 16 \times 500$ mm —                                  |
| Schlagbiegefestigkeit | $16 \times 16 \times 120$ mm —                                  |
| Abnutzbarkeit durch   |                                                                 |
| die Trommelprobe      | Würfel von 40 mm Kantenlänge                                    |
| Schleifprobe          | Quadratische Platte mit 50 qcm Oberfläche                       |
| Sandstrahlprobe       | Platten oder Würfel von wenigstens 60 mm Kantenlänge.           |

Die Abnutzbarkeit aufgeschmolzener Glasuren wird durch den Materialverlust bestimmt, den eine glasierte Fläche erleidet, wenn ein aus bestimmter Höhe herabrieselnder Sandstrahl eine bestimmte Zeit auf sie einwirkt. Als Probekörper dienen Scheiben von 100 mm Durchmesser.

Für die Prüfung der thermischen Eigenschaften von keramischen Werkstoffen werden Richtlinien gegeben für Messung von Wärmeausdehnung, spezifische Wärme, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen plötzlichen Temperaturwechsel.

Zahlenwerte für die mechanischen Eigenschaften verschiedener keramischer Werkstoffe sind in Tabelle 34 angegeben.

## 5. Steatit.

Steatit ist ein Kunststoff, dem der hauptsächlich in Deutschland gefundene Speckstein oder Talk als Rohstoff dient. Talk in Pulver- oder Blättchenform wird an vielen Stellen gefunden, in größeren festen Stücken aber hauptsächlich bei Wunsiedel im Fichtelgebirge. Der Abbau erfolgt teils im Tage-, teils im Tiefbau. Die Einwirkung heißer Wasser, die Kiesel- und Kohlensäure sowie Magnesia enthalten, auf Kalk führten wohl zur Bildung des technisch brauchbaren Specksteins. Dieser ist ein Magnesiumsilikat ( $3 \text{ MgO}, 4 \text{ SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$ ) und enthält im Gegensatz zu anderen keramischen Werkstoffen keinen Ton, verdient also streng genommen nicht die Bezeichnung keramisch. Der Naturspeckstein besitzt geringe Härte, Härtegrad 1 nach Mohs, und läßt sich daher leicht bearbeiten. Durch Brennen im Ofen erreicht Speckstein den Härtegrad 6. Ausgedehnte Verwendung fand gehärteter Speckstein zunächst in der Gastechnik für Brennermundstücke, dann für Zündkerzen an Explosionsmotoren. Der rohe Stein wird getrocknet, zersägt, gedreht, gefräst und gebohrt, auch ganz feine Gewinde können hergestellt werden. Die fertig bearbeiteten Teile werden bei  $800\text{--}1000^\circ$  gebrannt, sie besitzen große mechanische und Wärmefestigkeit sowie Säurebeständigkeit. In der Elektrotechnik wird Naturspeckstein im Widerstands- und Heizkörperbau und für Kleinteile wie Buchsen, Scheiben und Perlen benutzt. Der rohe Stein fühlt sich speckig, d. h. fettig an, er nimmt auch in gebranntem Zustand keine Feuchtigkeit an und besitzt eine glatte Oberfläche. Die Farbe ist rötlich. Die Schwindung

beim Brennen beträgt 0,25%. Die Größe der Stücke, die aus Naturspeckstein hergestellt werden können, ist durch die Abmessungen der gewonnenen Rohstücke beschränkt. Zur Herstellung von Teilen größerer Abmessung wird das rohe Gestein zusammen mit den Abfällen aus der Specksteinbearbeitung fein vermahlen und diese Masse in Stahlpreßwerkzeugen entweder trocken oder für große Stücke, über 300 mm Durchmesser feucht verpreßt, vorgetrocknet und bei etwa 1400° nachgebrannt. Der so aus dem gemahlenen Speckstein erzeugte Werkstoff heißt Steatit. Die Schwindung der trocken verarbeiteten Steatitmasse ist etwa die Hälfte der anderen keramischen Massen und beträgt 7–10%. Die Aufbereitung der feuchten Preßmasse erfolgt ähnlich wie beim Porzellan. Steatit läßt sich glasieren, die Glasur ist aber nicht notwendig, da der Scherben so dicht ist, daß er Feuchtigkeit nicht aufsaugt. Steatit besitzt im Vergleich mit anderen ähnlichen Werkstoffen ausgezeichnete mechanische Eigenschaften (s. Tabelle 34, S. 178). Diese Angaben seien noch durch folgende Zahlen ergänzt<sup>1</sup>:

Thermische Eigenschaften zwischen 20° und 100° C.

|                                                                  |                             |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Wärmeleitfähigkeit $k$ cal/mh . . . . .                          | 2,3 bis 2,4                 |
| Spezifische Wärme cal/g° C . . . . .                             | 0,19 „ 0,20                 |
| Lineare Wärmeausdehnung ° C . . . . .                            | 4,1 „ 8,3 · 10 <sup>6</sup> |
| Temperaturwechselbeständigkeit nach VDE Tauchversuchen . . . . . | 10 „ 95° C                  |

Elektrische Eigenschaften.

|                                                       |                                                             |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Oberflächenwiderstand bei 30% Luftfeuchtigkeit. . . . | 20 · 10 <sup>12</sup> bis 40 · 10 <sup>12</sup> $\Omega$ cm |
| Durchgangswiderstand . . . . .                        | 10 <sup>14</sup> „ 10 <sup>15</sup> $\Omega$ cm             |
| Dielektrizitätskonstante . . . . .                    | 4,1 „ 5                                                     |
| Dielektrische Verluste bei 800 Hz . . . . .           | 0,005 „ 0,01                                                |

Mechanische Eigenschaften.

|                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| Härte nach Mohs . . . . .      | 7 bis 8          |
| Zugfestigkeit . . . . .        | 550 „ 750 kg/qcm |
| Kugeldruckfestigkeit . . . . . | 1300 „ 1800 kg   |
| Torsionsfestigkeit . . . . .   | 500 kg/qcm.      |

Steatit widersteht dem Angriff aller Laugen und Säuren, mit Ausnahme von Flußsäure. Die Zahlenwerte sind an Probekörpern nach den erwähnten Vorschriften und Richtlinien gemessen.

Die Besitzerin des Specksteinvorkommens im Fichtelgebirge ist die Steatit-Magnesia A.-G. in Berlin-Pankow. In ihren Händen liegt fast ausschließlich die Herstellung von Steatitzerzeugnissen.

**Melalith**, ein Erzeugnis der Steatit-Magnesia A.-G., Berlin-Pankow, ist eine aus Steatit und Porzellan bestehende Mischung, deren Eigenschaften zwischen denen der beiden Werkstoffe liegen. Aus Melalith lassen sich Werkstücke von sehr großen Abmessungen einteilig her-

<sup>1</sup> Nach W. Demuth: Speckstein als Werkstoff für den Isolatorenbau. Elektrotechn. Z. 1927 S. 1629.

stellen, z. B. Hochspannungsisolatoren für Durchführungen von 4 m Höhe<sup>1</sup>.

## 6. Sinterkorund.

Sinterkorund ist ein neuer hochfeuerfester Werkstoff, der fast nur aus reiner Tonerde besteht, nämlich zu 99,8%<sup>2</sup>. Er wird nach einem im Forschungslaboratorium des Siemenskonzerns von Gerdien und Reichmann ausgearbeiteten Verfahren erzeugt und ähnlich wie Porzellan verarbeitet. Sinterkorund erlaubt die Herstellung aller Gegenstände, die aus technischem Porzellan oder Steatit angefertigt werden können. Im Gegensatz zu anderen keramischen Massen besteht Sinterkorund nur aus kristallisierten Körnern ohne jede glasige Zwischenmasse, die wohl die Hauptursache des Absinkens der mechanischen und elektrischen Eigenschaften von keramischen Massen beim Erreichen hoher Temperaturen ist. Dieser kristallinen Struktur entspricht die hohe Druckfestigkeit, Dichte und Härte, 9 nach Mohs, die der des natürlichen Korunds gleicht. Der Werkstoff läßt sich ohne Glasur gasdicht herstellen. Er besitzt bei 20° sehr hohe Wärmeleitfähigkeit, die bereits der Wärmeleitfähigkeit von Metallen, und zwar von Neusilber entspricht, 16,8 kcal/mh° C. Sie sinkt mit wachsender Temperatur und beträgt bei 900° C noch ein Drittel der Wärmeleitfähigkeit bei 20°. Die elektrische Leitfähigkeit ist bei niederen und mittleren Temperaturen bis 800° sehr gering. Weitere Eigenschaften sind:

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| Spezifisches Gewicht . . . . .     | 3,78            |
| Schmelzpunkt . . . . .             | 2050°           |
| Druckfestigkeit an Zylindern . . . | 6190 kg/qcm     |
| „ an Würfeln . . . . .             | 5140 „          |
| Zugfestigkeit an Stäben . . . . .  | 350 „           |
| Biegefestigkeit . . . . .          | 1210 „          |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . .    | 3,12 cm kg/qcm. |

Der elektrische Widerstand behält bei hohen Temperaturen sehr große Werte.

Sinterkorund findet Verwendung für Zündkerzen von Verbrennungsmotoren, für chemische Geräte wegen seiner guten Widerstandsfähigkeit gegen kochende Natronlauge (bis 30%), gegen hochgespannten Wasserdampf und gegen geschmolzene Metalle wie Aluminium, Eisen, Mangan und viele Legierungen. Er widersteht dem Abrauchen mit Flußsäure, so daß Tiegel aus Sinterkorund für diesen Zweck als Ersatz von Platin dienen können. Geschmolzene Salze und Mineralien greifen unterhalb 1200° C wenig an; oberhalb 1200° C besteht noch eine bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit gegen Silikatschmelzen. Außer Zündkerzen, Tiegeln und Schalen werden Pyrometerrohre, Fadenführer für die Textilindustrie,

<sup>1</sup> Elektrotechn. Z. Bd. 9 (1927) S. 1631.

<sup>2</sup> Nach Angaben von H. Gerdien, Berlin-Siemensstadt. Ref. Chem.-Ztg. 1932 S. 803; Helios, Lpz. 1933 Heft 4 S. 30.



Abziehsteine und Isolierteile für elektrische Apparate aus Sinterkorund hergestellt.

## C. Zement.

### 1. Übersicht, Normenzemente.

**Zement** ist in der Bauindustrie zunächst die Bezeichnung für hydraulischen Mörtel, das ist ein Bindemittel, das nicht nur in der Luft, sondern auch unter Wasser erhärtet, im Gegensatz zu den Luftmörteln: Kalk, Gips, Magnesiazement (Sorelzement).

Die wichtigsten hydraulischen Mörtel oder Zemente entstehen beim Brennen von tonhaltigem Kalk, zu ihnen gehören Romanzemente, aus tonreichem Mergel, die Puzzuolane, aus Puzzuoli am Meerbusen von Bajä, schon von den alten Römern zu Hafenbauten benutzt, und die Portlandzemente. In den Puzzuolanen haben sich vulkanische Massen dem Kalk beigemischt. Diesen nahe steht der Traß aus der Eifel und die Santorinerde von den griechischen Inseln Santorin und Theresia, ebenso die Hochofenschlacken, die mit Kalk zusammen Wassermörtel liefern.

Alle Zemente bestehen aus Kalk, Kieselsäure und Tonerde. Je nach dem Zustand, ob gesintert oder geschmolzen, in dem sich die Rohstoffe vor der Mahlung befinden, lassen sich die Zemente einteilen<sup>1</sup>:

|                                                            |                      |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| gesinterte Rohstoffe. . . . .                              | Portlandzement       |
| teils gesinterte, teils geschmolzene Rohstoffe . . . . .   | Hüttenzement         |
| geschmolzene Rohstoffe . . . . .                           | Tonerdezement        |
| teils ungesinterte, teils geschmolzene Rohstoffe . . . . . | Schlackenzement      |
| teils ungesinterte, teils gesinterte Rohstoffe . . . . .   | Traß-Portlandzement. |

Die Kennzeichnung und die Eigenschaften der deutschen Zemente sind durch die deutschen Normen<sup>2</sup> festgelegt. Die Normen unterscheiden:

Portlandzement (PZ),  
Eisenportlandzement (EPZ) und  
Hochofenzement (HOZ),  
hochwertigen Pz, EPZ und HOZ.

Die hochwertigen Zemente unterscheiden sich von den Zementen hauptsächlich durch ihre hohe Anfangsfestigkeit. Die Begriffsbestimmung für die verschiedenen Zemente lautet: Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel, das in einem durch Brennen erzeugten Mineralgefüge auf 1,7 Gewichtsteile Kalk ( $\text{CaO}$ ) höchstens 1 Gewichtsteil der Summe von löslicher Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) + Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) enthält.

**Portlandzement** wird hergestellt durch Feinmahlen und inniges Mischen der Rohstoffe, Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen des Brenngutes (Klinkers). Der Glühverlust des Portland-

<sup>1</sup> Grün, R.: Zement, S. 3. Berlin: Julius Springer 1927. Eine andere Einteilung siehe Dorsch: Chemie der Zemente, S. 11. Berlin: Julius Springer 1932.

<sup>2</sup> Deutsche Normen für Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement. Charlottenburg 2: Zementverlag G. m. b. H.

zementes darf zur Zeit der Anlieferung durch das Werk höchstens 5% betragen. Der Gehalt an Magnesia ( $\text{MgO}$ ) darf 5%, der an Schwefelsäureanhydrid ( $\text{SO}_3$ ) 2,5%, — alles auf den geglühten Portlandzement bezogen —, nicht überschreiten. Dem Portlandzement dürfen höchstens 3% fremde Stoffe zugesetzt werden.

Portlandzement unterscheidet sich von den anderen genormten Zementen durch die Einheitlichkeit seiner Masse, von den Tonerdezementen durch das Verhältnis von Kalk zu Tonerde und von Naturzementen durch die künstliche Aufbereitung der Rohmischung.

**Eisenportlandzement** ist ein hydraulisches Bindemittel, das aus mindestens 70% Gewichtsteilen Portlandzement und höchstens 30% Gewichtsteilen granulierter basischer Hochofenschlacke besteht. Der Portlandzement und die Hochofenschlacke werden im Fabrikbetrieb miteinander fein gemahlen und hierbei innig gemischt. Der Portlandzement wird gemäß der Begriffsbestimmung für Portlandzement hergestellt. Die als Zusatz dienenden Hochofenschlacken sind Kalktonerdesilikate, die beim Eisenhochofenbetrieb gewonnen werden. Sie dürfen auf 1 Gewichtsteil der Summe von Kalk ( $\text{CaO}$ ) + Magnesia ( $\text{MgO}$ ) +  $\frac{1}{3}$  Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) höchstens ein Gewichtsteil der Summe von löslicher Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) +  $\frac{2}{3}$  Tonerde enthalten. Dem Eisenportlandzement dürfen höchstens 3% fremde Stoffe zugesetzt werden.

**Hochofenzement** ist ein hydraulisches Bindemittel, das aus 15–69% Gewichtsteilen Portlandzement und entsprechend 85–31% Gewichtsteilen granulierter basischer Hochofenschlacke besteht. Die übrigen Bestimmungen lauten wie beim Eisenportlandzement.

Der Name Portlandzement stammt von dem Engländer Joseph Aspdin, der sich im Jahre 1824 ein Verfahren zur Herstellung von Zement durch Brennen einer Mischung von Ton und Kalkstein patentieren ließ. Wegen einer gewissen Ähnlichkeit seiner Erzeugnisse mit dem in Portland, England, gewonnenen und von den englischen Bau-meistern viel verwendeten Kalkstein, nannte er sie Portlandzement<sup>1</sup>.

## 2. Rohstoffe und Herstellung.

Als Rohstoff werden Kalksteine und Tone oder Mergel verwendet, zu denen noch geringe Mengen eines Stoffes treten können, wenn die beiden Grundbestandteile nicht die gewünschten Eigenschaften ergeben, z. B. Gips in Normenzementen bis zu 3% zur Regelung der Abbindezeit. Die durchschnittliche Zusammensetzung von Portlandzement<sup>2</sup> in Gewichtsprozenten ist

|                           |                             |                                     |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| $\text{CaO}$ . . . 57—68% | $\text{SiO}_2$ . . . 18—27% | $\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . 5—18% |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|

<sup>1</sup> Weitere geschichtliche Angaben siehe Dorsch: Chemie der Zemente, S. 8. Berlin: Julius Springer 1932.

<sup>2</sup> Dorsch: Chemie der Zemente, S. 14. Berlin: Julius Springer 1932.

Die Güte eines Zementes wird vorwiegend durch seine chemische Zusammensetzung bestimmt, aber gute Aufbereitung, sorgfältiger Brand und vorteilhafte Mahlung müssen mitwirken. Je nach der Aufbereitungsart der Rohmasse wird das „Trocken“- oder das „Dickschlammverfahren“ angewendet. Beim Trockenverfahren werden die Rohstoffe im richtigen Verhältnis zusammengeworfen, in Steinbrechern vorgebrochen, in Trommeltrocknern getrocknet und auf Mühlen auf die nötige Feinheit gemahlen. Um die Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung der Rohstoffe auszugleichen, wird das Steinmehl in großen Behältern gesammelt und durchmischt. Zum Brennen im Schachtofenbetrieb wird das Steinmehl mit etwa 10% Kohle- oder Koksgries vermischt und in Ziegelpressen zu Steinen von etwa halber Bauziegelgröße geformt. Diese Steine gleiten in senkrechten Öfen von etwa 12 m Höhe und 2–3 m Durchmesser langsam abwärts. Das gebrannte Gut, die Klinker, kommen in Zementmühlen, die sie als fertige Ware verlassen. Erfolgt das Brennen in Drehrohröfen, die 30 bis 70 m lang sind bei 2–3 m Durchmesser, so wird das Rohmehl ohne Vorpressung durch eine der Bewegung des Rohmehls entgegen geblasene Flamme bis zur Sinterung erhitzt, in Kühltrommeln angefeuchtet und gekühlt und wie Schachtofenklinker weiterbehandelt. Beim Dickschlammverfahren werden die Rohstoffe ohne Vortrocknung zu einem Brei mit 40% Wassergehalt vermahlen und in großen Behältern durch Einblasen von Luft durchmischt. Aus den Mischbehältern fließt der Schlamm in die Drehrohröfen. Die Bedingungen für das Erreichen einer gleichmäßigen Zusammensetzung der Rohmasse sind bei diesem Verfahren einfacher als beim trockenen, auch ist die Mahlarbeit geringer. Dafür ist aber der Wärmearaufwand größer, da das Wasser vor dem Brande verdampft werden muß. Beim Brennen spielen sich zahlreiche physikalisch-chemische Vorgänge ab, die noch nicht mit Sicherheit erkannt sind. Die verschiedenen Klinkermineralien werden nach dem Vorbild des Schweden Törnebohm als Alit, Belit, Celit und Felit bezeichnet. Alit besteht wahrscheinlich aus einer Mischung von Trikalziumsilikat und Trikalziumaluminat.

### 3. Das Abbinden.

Die Festigkeit eines Zementkörpers ist um so höher, je dichter er ist, d. h. je geringer seine inneren Hohlräume sind. Dabei ist es gleichgültig, ob die einzelnen Körner groß oder klein sind, sie müssen nur verschieden groß sein. Mit steigender Feinheit wächst die Reaktionsfähigkeit des Zements, dadurch wird nicht nur die Erhärtungszeit, sondern auch die Abbindezeit abgekürzt. Zu schnell abbindender Zement ist aber für viele Zwecke wertlos. Deshalb schreiben die Normen eine bestimmte Feinheit vor. Der Zement muß so fein gemahlen sein, daß auf dem Sieb

Nr. 30 höchstens 2% und auf dem Sieb Nr. 70 höchstens 25% Rückstand bleibt, da eine sehr feine Mahlung den Zement verbessert; sie läßt jedoch allein keinen Schluß auf seine Güte zu. Siebmessungen sind nur für Pulver mit einer Korngröße über  $60\mu$  möglich. Über das Windsichtverfahren von Gonell ist auf S. 288 berichtet, dort finden sich auch Abbildungen verschiedener Fraktionen von Portlandzement, (Abb. 114—119). Die Normen fordern zwar keine bestimmte Bindezeit, aber eine Mindestzeit von einer Stunde für den Erstarrungsbeginn des nach bestimmten Vorschriften angemachten Zementbreies. Normaler Zement wird im allgemeinen nach 12 Stunden abgebunden sein. Das Abbinden des Zementes ist nicht nur ein chemischer, sondern auch ein kolloider Vorgang. Chemisch handelt es sich bei allen Mörteln um Reaktionen zwischen Kalk und Kieselsäure unter gleichzeitiger Bindung ansehnlicher Wassermengen; beim Zement treten noch Aluminium- und Eisenhydroxyd dazu. Bei der mikroskopischen Beobachtung des Abbindens zeigt sich, daß bei der Vermischung von Zement und

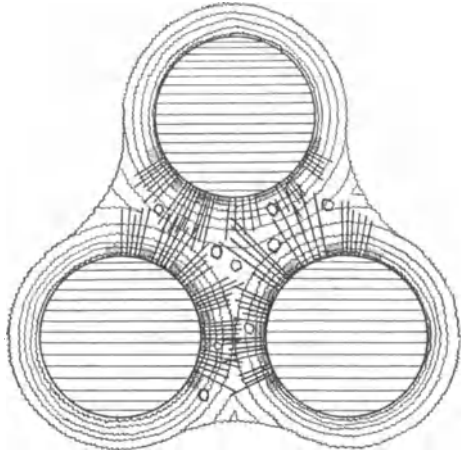


Abb. 70. Schema der Vorgänge beim Abbinden des Zements nach W. Michaelis.

Wasser um jedes Zementkörnchen zahlreiche nadelförmige Kristalle entstehen, während kleine und große hexagonale Kriställchen in den Zwischenräumen auftreten. Weiterhin bildet sich um jedes Zementkörnchen eine Gallerte von Kalksilikat, deren Volumen während der Abbindung immer mehr zunimmt, und die schließlich nicht nur die Zwischenräume zwischen den Kristallnadeln, sondern auch zwischen den einzelnen Zementkörnchen ausfüllt. Das Gel, die Gallerte wirkt wie eine Kittsubstanz zwischen den Kristallnadeln und Kristallen; sie stecken gleichsam in einer gemeinschaftlichen Scheide aus gallertartiger Substanz (Abb. 70<sup>1</sup>). Die gekräuselten Linien geben die Umrisse der Gallerte an. Diese Tatsache erklärt die abnorme Festigkeit des Zements, die z. B. durch eine einfache Verfilzung von Kristallnadeln nicht genügend erklärt ist. Erhöht wird die Festigkeit noch dadurch, daß dem Gel durch die fortschreitende Wasserbindung in den inneren Schichten der Zementkörnchen, die Michaelis „innere Austrocknung“ nennt, andauernd Wasser entzogen oder gleichsam abgesaugt wird. Ein ultramikroskopisches

<sup>1</sup> Aus W. O. Ostwald: Welt der vernachlässigten Dimensionen, S. 236 Abb. 39.

Bild (Abb. 71<sup>1</sup>) zeigt einen solchen Abbindungsprozeß, auf dem die feinen in dunkelgefärbter Gallerthülle steckenden Kristallnadeln deutlich zu sehen sind. Die Entstehung dieser Gelhülle erklärt eine Reihe technischer Einzelheiten, z. B. daß zum möglichst guten Erhärten ein Überschuß von Wasser notwendig ist. Ein geringer Wasserzusatz

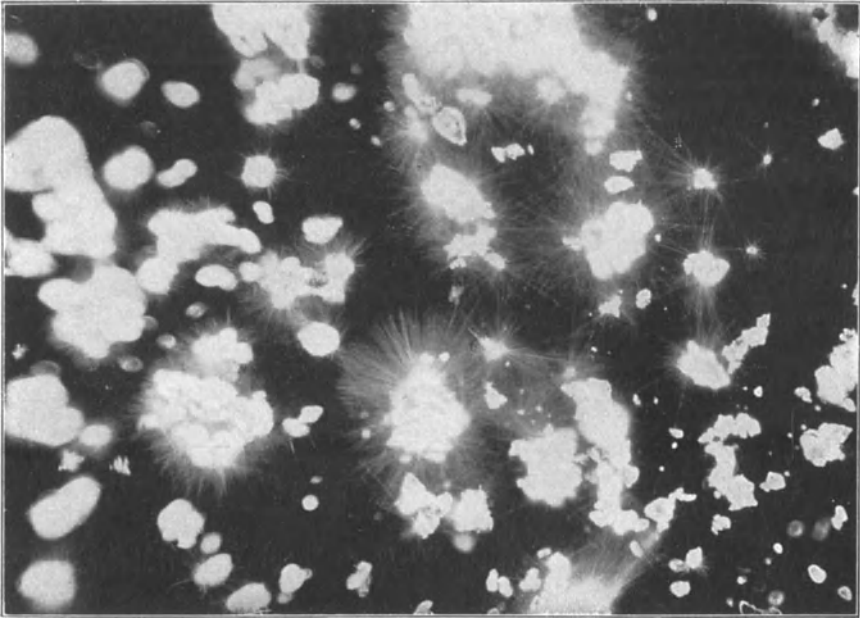


Abb. 71. Ultra-Mikrophotographie des abbindenden Zements nach H. Ambronn.

zu frisch vermahlenem Zement verlängert die Abbindezeit dadurch, daß sich um jedes Körnchen eine Gelhaut bildet, die später vom Anmachewasser erst durchdrungen werden muß.

#### 4. Prüfverfahren der deutschen Zementnormen.

Die deutschen Zementnormen enthalten Prüfverfahren. Die Probenahme wird geregelt, Bestimmungen über eine vorläufige Prüfung der Bindezeit mit dem Fingernagel, der Raumbeständigkeit durch einen Kochversuch getroffen. Bei der endgültigen Prüfung wird die Mahlfineinheit mit Normensieben geprüft, die Abbindeverhältnisse an einem Zementbrei von Normensteife untersucht, und zwar Erstarrungsbeginn und Bindezeit, ferner Raumbeständigkeit und Festigkeit; wie die hierfür bestimmten Probekörper, Würfel für den Druck- und Achterformlinge

<sup>1</sup> Ostwald, Wo.: Welt der vernachlässigten Dimensionen, Abb. 40.

für den Zugversuch, hergestellt und bemessen sein sollen, ist sorgfältig festgelegt (s. auch S. 296 Prüfungen).

## 5. Anwendung im Beton.

Die ausgedehnteste Anwendung findet Zement bei der Herstellung von Bauten als Bindemittel in Mischung mit Sand als Beton. Betonformstücke, wie Deckenträger, Fensterbänke und Rahmen, Stufen, Schornsteinaufsätze oder Rohrstücke werden fabrikmäßig in Guß- oder Preßformen hergestellt. Für die Anwendung von Beton bei Bauwerken wird oft die Zusammensetzung in einfachen Verhältniszahlen vorgeschrieben, z. B. 1:5, d. h. der Beton soll aus einem Raumteil Zement und 5 Raumteilen Sand und Kies oder Schotter bestehen. Das Raumgewicht des Zementes ist aber von seiner Vorbehandlung, der Art des Einfüllens in die Meßgefäße, von deren Größe u. a. m. abhängig, es schwankt zwischen 0,9 und 1,4 kg für 1 l. Das Raumgewicht des Sandes ist veränderlich mit dem Wassergehalt, 1 l Kiessand mit 0,4% Wasser wiegt 1,84 kg, mit 5–8% Wasser nur 1,55 kg. Die Mischung 1:5 kann danach bestehen aus 0,9 Gewichtsteilen lockerem Zement und  $5 \times 1,84 = 9,2$  Gewichtsteilen lufttrockenem Kiessand, dann werden etwa 190 kg Zement für 1 cbm Beton verbraucht. Die Mischung kann aber auch aus 1,4 Gewichtsteilen Zement aus abgelagerten, in Stapeln gepreßten Säcken und  $5 \times 1,55 = 7,75$  Gewichtsteilen Sand mit 5–8% Wasser bestehen, dann enthält 1 cbm Beton etwa 325 kg Zement.

## 6. Zementasbest.

Als Kunststoff und plastische Masse hat der Zementasbest, auch Asbestschiefer oder Eternit genannt, sowohl für Dachdeckung und Wandbekleidung, als auch für elektrotechnische Zwecke als Funken-schutz, Auskleidung von Schaltzellen und für ähnliche Zwecke ausgedehnte Anwendung gefunden.

Der Erfinder des Asbestzementes, Ludwig Hatscheck aus Vöcklabruck (Oberösterreich) hatte um sein im Jahre 1900 angemeldetes deutsches Grundpatent einen mehr als 10jährigen Kampf zu bestehen. Die Erfindung beruhte auf der Anwendung sehr großer Wassermengen, um die Mischung von Zement und Asbest zu einer gewissen Quellung zu bringen, ferner auf der Anwendung der in der Pappenfabrikation gebräuchlichen Maschinen. Das Patent 162329 wurde im Jahre 1905 erteilt, aber bis zum Jahre 1910 durch verschiedene Nichtigkeitsklagen bedroht, ohne daß es den Angreifern gelang, das Patent zu Fall zu bringen. Hatscheck gibt seine Erzeugung für Österreich im Jahre 1900 mit 34600 qm, im Jahre 1913 mit 11500000 qm an.

Als Bindemittel dient guter Normenzement, als Faser kanadischer, rhodesischer und russischer Serpentin-asbest. Da der Asbest, wie er

von den Gruben geliefert wird, noch nicht genügend aufgeschlossen ist und noch dicht zusammenhängende Faserbündelchen enthält, so wird er zuerst in Kollergängen aufgeschlossen, von dort durch Saugluft den Stiftmühlen oder Öffnern zugeführt und soweit gemahlen, daß eine Fasermenge in der Art der Baumwollwatte entsteht. Die Mischung von Asbest, Zement und etwaigem Farbstoff findet im Holländer statt, im Verhältnis von 1 Teil Asbest zu 7 Teilen Zement. Durch die vereinigte Misch- und Mahlwirkung des Holländers werden die Bestandteile gut aufgeschlossen und erhalten die Flüssigkeit eines leichtflüssigen

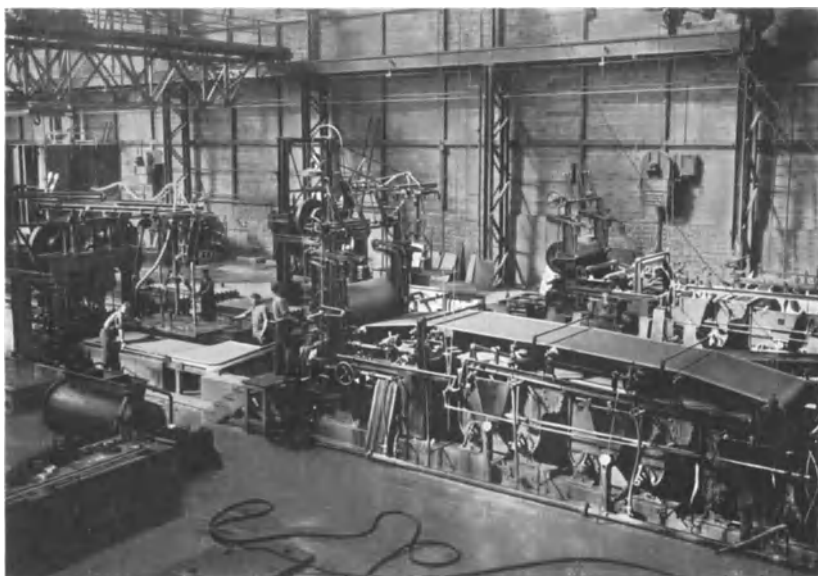


Abb. 72. Asbestzement-Plattenmaschine. Deutsche Asbestzement-Aktiengesellschaft Berlin-Rudow.

Betons. Das so bearbeitete Gemisch fließt tiefer gelegenen Rührbottichen zu, in denen der Stoff nochmals gründlich durchgerührt und soviel Wasser zugegeben wird, daß er nunmehr sehr dünnflüssig auf die Siebe der wie eine Pappenmaschine gebauten Asbestzementmaschine gelangt. Hatte die bisherige Behandlung den Zweck, die Rohstoffe durch reiche Wasserzufuhr für die Pappenmaschine vorzubereiten, so soll auf dieser Maschine selbst und auf den dann angewendeten hydraulischen Pressen alles überflüssige Wasser wieder entfernt werden. Das Gemisch wird mit Schöpfrädern auf die Asbestzementmaschine gegeben, deren Rundsiebe in den Stoffbehälter eintauchen und einen dünnen Flor auf endlose Filzbänder heben, wobei schon ein Teil des Wassers durch die Öffnungen des Rundsiebes abläuft. Die Filzbänder führen die dünne Asbestzement-schicht an Saugern vorbei, die einen weiteren Teil des Wassers absaugen.

Von dem Transportfilzband gelangt die etwa 0,2 mm dünne Schicht auf die Formatwalze, deren Durchmesser und Breite die Abmessungen der erzeugten Platten bestimmt. Die übliche Plattengröße beträgt  $1,2 \times 2,4$  m oder Teile davon. Auf diese Formatwalze wird nun Schicht auf Schicht des dünnen Asbestzementflores aufgewickelt, bis die gewünschte Plattenstärke erreicht ist. Dann wird der entstandene Zylinder aufgeschnitten, gestreckt und gestapelt. Die Stapel werden auf einer schweren hydraulischen Presse zusammengepreßt. Bei dem Weg über die Maschine findet ein Ausrichten der Fasern im dünnen Faserbrei statt, wodurch die Festigkeit der Platten in der Bewegungsrichtung größer wird als quer dazu. Abb. 72 zeigt die Asbestzementmaschine mit dem endlosen Filzband und der Formatwalze, hinter der Maschine die Transportvorrichtung, Abb. 73 die große hydraulische Presse, mit Plattenstapeln beladen. Die fertiggepreßten Platten lagern 2—4 Monate in Abbinde-räumen bis zur völligen Erhärtung der Masse.

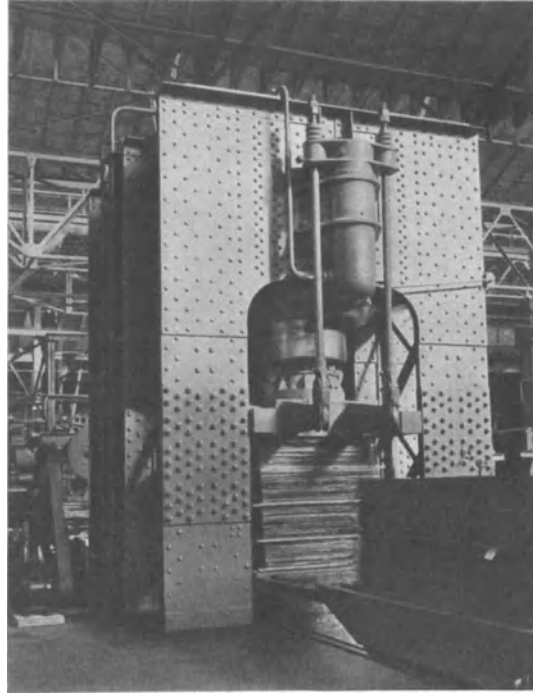


Abb. 73. Hydraulische Presse für Asbestzementplatten. Deutsche Asbestzement-Aktiengesellschaft Berlin-Rudow.

Die geringste Plattenstärke beträgt 3 mm, die größte Stärke 15, höchstens 20 mm. Stärkere Platten lassen sich nur schwer aus der Zylinderform strecken und trocknen auch nur langsam aus, so daß sehr lange Erhärtungszeiten nötig sind.

Das Hauptanwendungsgebiet für Asbestzement ist die Dachdeckung. Die Dachplatten haben meist eine Stärke von 4 mm, dadurch wird das Gewicht gegenüber der Deckung mit Ziegeln wesentlich geringer. Richtig hergestellter Asbestzement ist nicht nur feuer-, sondern auch regen- und frostsicher.

Über die Eigenschaften, die von Asbestzementplatten in der Elektrotechnik verlangt werden, sagen die Leitsätze des VDE 511: „Asbestzementplatten sind Preßmaterialien aus Zement, welche Asbestfasern



als verstärkendes Gerüst enthalten. — Sie werden vorwiegend als Funkenlöschmaterial verwendet. Zur Feststellung der mechanischen Eigenschaften wird die Schlagbiegefestigkeit mit dem Schopperschen Pendelschlagwerk von 40 cm kg verwendet. Als Mindestwert gilt 3 cmkg/qcm. — In die Platten bis 3 mm Dicke müssen Löcher gestanzt werden können und für alle Platten wird die Möglichkeit des Sägens, Feilens, Bohrens und Gewindeschneidens verlangt. Asbestzementplatten sollen lichtbogensicher nach VDE 318 sein und der Stufe 3 entsprechen. — Als Träger spannungsführender Teile dürfen Asbestzementplatten nur verwendet werden, wenn ein anderer in Reihe geschalteter

Isolator die volle Spannung aufnehmen kann.“

In diesem Zusammenhang ist auf die Type X der gummifreien Isolierstoffe zu verweisen, die dem Asbestzement entspricht (S. 265). Die Bestimmungen der Typisierung lassen sich zwar auch auf Plattenmaterial anwenden, sind aber vorwiegend für Formstücke aufgestellt.

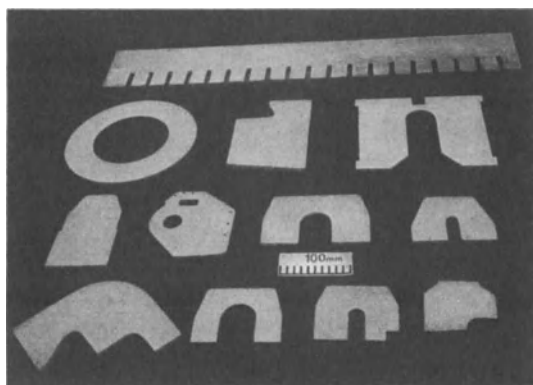


Abb. 74. Funkenlöcher und Trennwände aus Asbestzementplatten. Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. B.

Asbestzementplatten bis 6 mm Stärke lassen sich mit einer scharfen

Stahlspitze ritzen und über eine gerade Kante brechen. Mit einer richtig geschliffenen Schlagschere lassen sich Platten bis 10 mm schneiden. Das Stanzen ist auch bei Stärken über 3 mm möglich; wenn die Platten durch vollkommenes Austrocknen zu spröde geworden sind, kann man sie vor dem Stanzen leicht anfeuchten. Abb. 74 zeigt eine Anzahl Funkenlöcher, die aus Asbestzement durch Sägen, Schleifen, Bohren und Stanzen hergestellt sind.

Durch die im folgenden wiedergegebenen Festigkeitsuntersuchungen, die in einem Betriebslaboratorium vom Verfasser vorgenommen wurden, sollten einige für die Herstellung wichtige Fragen geprüft werden. Als Proben dienten aus den Platten geschnittene Stäbe  $15 \times 120$  mm. Die Stärke der Stäbe war aber nicht, wie in den Vorschriften angegeben, 10 mm, sondern entsprechend den üblichen Plattenstärken geringer. Geprüft wurde die Biegefestigkeit und Schlagbiegefestigkeit nach VDE 318 (s. S. 298 und 303).

Änderung der Festigkeit frischer Platten 4 mm stark vom 4. bis 35. Tag nach der Herstellung und Unterschied der Festigkeit in der Längs- und Querrichtung.

Tabelle 36.

| Nach Tagen. . . . .                  | 4    | 9    | 16   | 35   |
|--------------------------------------|------|------|------|------|
| Biegefestigkeit kg/qcm . . . . längs | 131  | 189  | 229  | 260  |
| quer                                 | 121  | 171  | 193  | 212  |
| Schlagbiegefestigkeit cmkg/qcm längs | 2,98 | 2,52 | 2,30 | 2,41 |
| quer                                 | 2,59 | 2,10 | 1,99 | 2,17 |

Die Biegefestigkeit ist 4 Tage nach der Herstellung noch gering und steigt nach 35 Tagen auf den doppelten Wert; bei längerem Lagern tritt eine weitere Steigerung ein. Dagegen ist die Schlagbiegefestigkeit der frischen Platten am größten; sie nimmt mit fortschreitender Austrocknung ab, weil die Platten um so spröder werden, je trockner sie sind. Die kleine Zunahme der Schlagbiegefestigkeit nach 35 Tagen erklärt sich durch eine starke Zunahme der Luftfeuchtigkeit. Die Versuche müßten durch Messung der Platten und der Luftfeuchtigkeit ergänzt werden. Wie auch dieser Versuch zeigt, ist es nicht zweckmäßig, Zementasbestplatten vor 6 Wochen nach der Herstellung zu versenden oder zu verbrauchen, eine längere Lagerdauer ist aber vorzuziehen.

Bei diesem Versuch wurden die Stäbe den Platten teils längs, teils quer zur Maschinenlängsrichtung entnommen. Sowohl die Biegefestigkeit, als auch die Schlagbiegefestigkeit ist in der Längsrichtung größer als quer dazu. Dieser Unterschied beruht auf dem Einfluß des Strömungsvorganges, durch den ein großer Teil der Asbestfasern in die Bewegungsrichtung gestellt wird. In der Längsrichtung ist die Biegefestigkeit 17%, die Schlagbiegefestigkeit 11% größer als quer dazu, gemessen an ungefärbten Platten 4 mm stark nach 35 Tagen.

Für Dachbedeckungen werden die Platten häufig in roter Farbe verlangt. Bei der Verarbeitung der gefärbten Platten zeigt sich, daß der Farbzusatz die Festigkeit beeinträchtigt. Die an gefärbten und ungefärbten Platten von 4 mm Stärke vorgenommenen Vergleichsversuche ergeben eine nicht unbeträchtliche Festigkeitsminderung durch die Farbe. Die Versuche wurden mit zwei verschiedenen Zementsorten A und B durchgeführt. Die Festigkeitsminderung durch den Farbzusatz betragen:

|                                         |            |       |        |
|-----------------------------------------|------------|-------|--------|
|                                         | Bei Zement | A     | B      |
| für die Biegefestigkeit . . . . .       |            | 31%   | 11,1%  |
| für die Schlagbiegefestigkeit . . . . . |            | 22,5% | 14,3%. |

Zemente verschiedener Herkunft können sehr verschiedene Eigenschaften haben, wie auch die Untersuchung von ungefärbten Platten, 4 mm stark, zeigte, die mit drei verschiedenen Zementsorten A, B und C nach dem gleichen Verfahren auf derselben Maschine hergestellt wurden.

Tabelle 37.

| Zement                         | A        |      | B        |    | C        |     |
|--------------------------------|----------|------|----------|----|----------|-----|
| Biegefestigkeit, längs . . .   | kg/qcm   | %    | kg/qcm   | %  | kg/qcm   | %   |
|                                | 260      | 63,5 | 299      | 73 | 410      | 100 |
| Schlagbiegefestigkeit, längs . | cmkg/qcm | %    | cmkg/qcm | %  | cmkg/qcm | %   |
|                                | 2,41     | 79,5 | 3,02     | 98 | 3,07     | 100 |

Bei Verwendung von Zement A beträgt die Biegefestigkeit der Asbestzementplatten kaum  $\frac{2}{3}$  von der bei Verwendung von Zement C. Diese Zahlen liefern auch einen Beitrag zur Beurteilung der Wichtigkeit von Rezepten. Bei gleichem Rezept, aber bei Rohstoffen zwar gleichen Namens, aber verschiedener Eigenschaften, können sehr verschiedene Ergebnisse erzielt werden.

Ein anderer Versuch sollte die Änderung der spezifischen Festigkeit der Platten mit ihrer Stärke feststellen. Untersucht wurden Stäbe

Tabelle 38.

| Plattenstärke mm . .                        | 4    | 6,5  | 8    | 10   |
|---------------------------------------------|------|------|------|------|
| Biegefestigkeit kg/qcm                      | 355  | 300  | 240  | 195  |
| Schlagbiegefestigkeit<br>cmkg/qcm . . . . . | 3,04 | 3,16 | 2,75 | 2,46 |

aus Platten von 4, 6,5, 8 und 10 mm Stärke. Danach nimmt die spezifische Festigkeit der Platten mit abnehmender Stärke zu.

Wenn auch heute die meisten Werke, die Asbestzementplatten herstellen, nach sehr ähnlichen Verfahren arbeiten, so können Verschiedenheiten in der Auswahl und Aufbereitung der Rohstoffe doch sehr verschiedene Ergebnisse zeitigen, wie die Untersuchung von 6,5 mm starken ungefärbten Platten aus drei verschiedenen Fabriken zeigt.

Tabelle 39.

| Aus Fabrik . . . . .                        | 1    | 2    | 3    |
|---------------------------------------------|------|------|------|
| Biegefestigkeit kg/qcm .                    | 300  | 442  | 428  |
| Schlagbiegefestigkeit<br>cmkg/qcm . . . . . | 3,16 | 4,36 | 5,05 |

Die hier mitgeteilten Zahlen sind deshalb nur als Näherungswerte zu betrachten, weil sie die Mittel aus nur je drei Versuchen darstellen. Um den Einfluß der bei Versuchen an der-

artigen Kunststoffen unvermeidlichen Streuungen besser auszuschließen, wäre eine größere Zahl von Versuchen notwendig gewesen. Aber auch so waren mehr als 600 Stäbe für die Ermittlung der mitgeteilten Zahlen nötig. Versuche, wie die hier mitgeteilten, sind in jeder Fabrik erforderlich, aber wenn manche Hersteller glauben, die Kosten der Einrichtung des Fabriklaboratoriums und der Versuche auf die Dauer sparen zu können, so werden sie durch ihre weitsichtigeren Mitbewerber eines besseren belehrt werden.

Der Asbestzement, wie er von dem Filz des Transportbandes kommt, läßt sich nicht nur zu ebenen Platten, sondern auch zu Wellplatten verarbeiten, die als Ersatz für Wellblech dienen können. Derartige Wellplatten werden z. B. in 6 mm Stärke  $930 \times 2500$  mm mit  $5\frac{1}{2}$  Wellen bei 177 mm Wellenlänge und 51 mm Wellentiefe von der Deutschen Asbestzement-A.-G., Berlin-Rudow hergestellt.

Der auf der Formatwalze der Asbestzementmaschine durch Aufwickeln des dünnen Florbandes entstehende Körper entspricht bereits einem Rohr, daher war der Gedanke naheliegend, auf einer ähnlichen Maschine Asbestzementrohre zu erzeugen. Die Rohrwickelmaschine unterscheidet sich von der Plattenmaschine dadurch, daß die Formatwalze ausschwenkbar ist und nach dem Rohrrinnendurchmesser, der erzeugt werden soll, ausgewechselt werden kann. Die in der Deutschen Asbestzement-A.-G., Berlin-Rudow arbeitende Maschine hat eine Walze von 4 m Länge, auf der Rohre von 50–300 mm Innendurchmesser hergestellt werden können. Je nach dem Innendruck, den die Rohre aushalten sollen, beträgt die Wandstärke bei 50–90 mm Durchmesser 8–11 mm, Innendruck 3–15 atü; bei 200 mm Durchmesser Wandstärke 10–23 mm und bei 300 mm Durchmesser Wandstärke 12–34 mm für die gleichen Innendrucke.

Das frische Rohr wird nach dem Ausschwenken von dem Dorn abgezogen und auf einen Holzkern gesteckt. Nach kurzer Lufttrocknung kommt es zum endgültigen Abbinden und Erhärten unter Wasser. Das fertige Rohr ist wasserdicht und leicht im Verhältnis zu Gußeisenrohren, da sein spezifisches Gewicht etwa 2 beträgt. Die Rohre sind innen sehr glatt, so daß der Druckverlust durch Reibung an den Rohrwandungen geringer ist als bei anderen Rohren. Asbestzementrohre sind widerstandsfähig gegen gewisse chemische Einflüsse, sie werden z. B. zur Fortleitung von Seewasser benutzt. In Italien sind bereits seit etwa 10 Jahren Trinkwasserleitungen aus solchen Rohren in Gebrauch. Die Baulänge beträgt entsprechend der Länge des Maschinendornes 4 m. Die Frage der Rohrverbindung ist so gelöst, daß eine über die Rohrenden geschobene Muffe aus dem gleichen Material in einer Ausparung zwei Kautschukringe gegen die Außenwand jedes Rohrendes preßt.

Eine große Anlage zur Erzeugung von Platten und Rohren aus Zementasbest wurde von der Deutschen Asbestzement-A.-G., Berlin-Rudow am Teltowkanal auf einem Gelände von etwa 75000 qm errichtet. Abb. 75 zeigt eine Luftaufnahme des Werkes während des Baues. Die mit den Rohstoffen beladenen Kanalschiffe können bis unter die Krananlage fahren. Der Zement wird aus dem Schiff ohne Umladung auf die Lagerbühne gefördert, die auch Mischbühne ist, der Asbest in die langgestreckte Halle gesetzt. Dächer und auch Seitenwände der großen Hallenbauten bestehen aus Zementasbestplatten. Die auf der Abbildung

rechts sichtbare bis zum Wasser reichende Halle, von der zur Zeit der Aufnahme erst der Firstaufsatz gedeckt war, ist später mit Platten verkleidet worden, die im Werk selbst hergestellt wurden.

Eine Vereinigung von Sperrholz- und dünnen Asbestzementplatten wird als feuersicheres Baumaterial verwendet. Eine dünne Schicht von Asbestzement wird auf die Sperrholzplatte aufgeleimt.

Formstücke aus Zementasbest werden in der Elektrotechnik hauptsächlich als Funkenschutzwände gebraucht. Abb. 76 zeigt eine Reihe



Abb. 75. Die Deutschen Asbestzementwerke Berlin-Rudow während des Baues.

derartiger Preßstücke, die zum Teil mit eingepreßten Metallteilen versehen sind.

Die Mischung von Zement und Asbest erfolgt in einer der üblichen Mischvorrichtungen. Die schwach angefeuchtete Mischung wird in Stahlformen verpreßt, die Preßlinge vorgetrocknet, in Wasserglas getränkt und nachgeheizt. Eine ähnliche Mischung kann auch durch Verarbeiten von Asbest und Wasserglas unter Hinzufügen verschiedener Steinmehle hergestellt werden. Da die Verformbarkeit der Mischung nur mäßig ist, so lassen sich nur Preßteile mit geringer Profilierung, also vorwiegend flache Körper pressen. Auf der Abbildung sind auch größere Preßstücke zu erkennen, die als Träger der Stromzuleitungen an Karbidöfen oder als Walzenbeläge an den Transportwalzen von Metallblechglühöfen oder für andere Zwecke dienen, bei denen eine große Wärmebeständigkeit verlangt wird. Hierzu gehören auch Funken-schachtteile für schwere Schaltapparate.

Die Mindestwerte der Eigenschaften des jetzt als Type X der gummi-freien Isolierstoffe bezeichneten Preßstoffes sind auf S. 265 angegeben.

Asbestzement hat die Eigenschaft etwas Feuchtigkeit aufzunehmen. Fast alle mit Zement hergestellten Körper sind etwas hygroskopisch. Dem kann bis zu einem gewissen Grade durch Tränkung mit einem wasserdicht machenden Mittel abgeholfen werden, z. B. mit Paraffin oder mit Kunstharz. Die wasserlöslichen Kunstharze dringen tiefer ein als die spritlöslichen.

Eine Dichtung der Oberfläche von Körpern, die mit Zement als Bindemittel hergestellt sind, läßt sich durch die Anwendung von Fluaten erreichen. Dadurch werden die Körper nicht nur undurchlässiger für Wasser, sondern auch härter. Bei Zementasbestplatten und Formstücken kann z. B. durch Tränken in Magnesiumfluat eine Zunahme

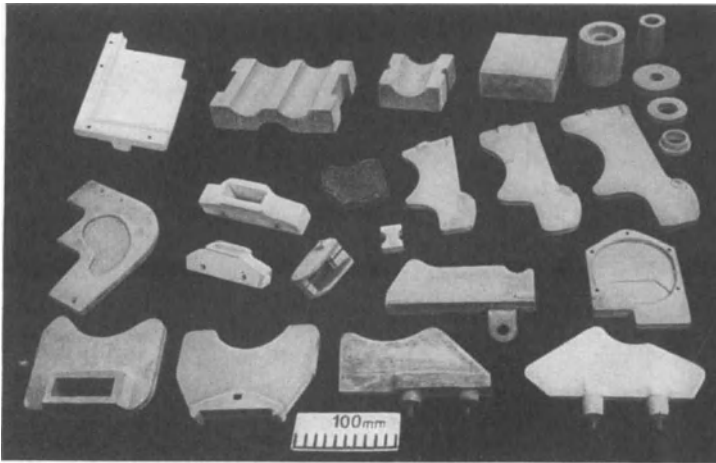


Abb. 76. Formstücke aus Asbestzement Ricolit X.  
Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. B.

der Brinellhärte um etwa 15% erreicht werden. Fluате sind die wasserlöslichen Verbindungen der Kieselfluorwasserstoffsäure mit Magnesium, Zink, Aluminium, Blei. Sie haben die Eigenschaft, sich mit dem in den Körpern enthaltenen Kalk zu zersetzen und dabei Fluorkalzium oder Flußspat und Kieselsäure zu bilden, neben Magnesium- oder den anderen Oxyden. Sämtliche bei der Zersetzung entstehenden Stoffe sind wasserunlöslich, Flußspat und Kieselsäure besitzen auch noch eine beträchtliche Härte. Das am meisten gebrauchte und auch billigste Magnesiumfluat oder Magnesium-Silicofluorid wird da angewendet, wo es besonders auf das Härten ankommt, also z. B. auf Zementfußböden<sup>1</sup>.

Eine besondere Ausführungsform der Zementasbestplatten, die Glanzplatten, werden in der Innenarchitektur, z. B. zum Verkleiden

<sup>1</sup> Nach „Fluate zum Zementhärten“ J. D. Riedel und E. de Haen, A.-G. Werk E. de Haen, Seelze bei Hannover.

von Wänden hinter Waschtischen, in Baderäumen und für viele ähnliche Zwecke verwendet. Die Glanzplatten lassen sich in verschiedenen Farben mit gutem und beständigem Glanz und mit marmorähnlicher Zeichnung herstellen. Die Grundlage der Herstellung bildet das Patent von A. Maier D.R.P. 397030. Die gebräuchliche Stärke dieser Platten beträgt 6 mm.

## 7. Steinholz, Xylolith.

Ähnliche Eigenschaften, wie sie Zementasbest aufweist, besitzt das Steinholz, der Sorelzement, auch Xylolith genannt. Hier handelt es sich nicht um einen Zement im Sinne des hydraulischen Mörtels, sondern um einen nur an der Luft erstarrten Mörtel.

Steinholz besteht aus Magnesit, Holzmehl und Chlormagnesium. Für Steinholzfußböden sind in DIN 272 Begriff, Dicke, Eigenschaften und Prüfverfahren festgelegt. Die Definition von Steinholz lautet nach den Normen: „Steinholz ist ein Baustoff, der aus einem innigen anfänglich weichen, formbaren, später erhärtenden Gemenge aus gemahlener kaustischer Magnesia (Magnesit) Magnesiumchloridlauge und organischen und anorganischen Füllstoffen entsteht.“

Steinholz wird nicht nur als Fußbodenbelag, sondern auch in Plattenform hergestellt, indem die mit Chlormagnesiumlauge angefeuchtete Mischung unter hohem Druck auf großen hydraulischen Pressen verdichtet wird. Je nach den Abmessungen der Pressenplatten wird Steinholz in den Größen  $1 \times 1$  m bzw.  $1 \times 1,2$  m, auch  $0,83 \times 1,67$  m in Stärken von 7–26 mm hergestellt.

Steinholz zeigt gelbliche Farbe und hat ein spezifisches Gewicht von 1,55. Zugfestigkeit<sup>1</sup> etwa 270 kg/qcm, Druckfestigkeit 900 kg/qcm, Feuchtaufnahme etwa 2,5% nach 12 Stunden. Xylolith ist frost- und feuersicher, es läßt sich ähnlich wie Holz bearbeiten, z. B. Sägen, Raspeln, Bohren. Es ist ein schlechter Wärmeleiter. Xylolithplatten werden als Zwischenwände in Schaltzellen, als Funkenschutzmaterial und für ähnliche Zwecke verwendet.

## D. Asbest<sup>2</sup>.

### 1. Geschichtliches.

Asbest, aus dem Griechischen *ἀσβεστος* = unauslöschlich, verdankt seinen Namen der Verwendung als Docht in den Lampen der Vestalinnen der alten Griechen, in denen die ewige Flamme unterhalten wurde, wie Plutarch erwähnt. Diese Döchte wurden aus dem Asbest hergestellt, der auf der Insel Zypern gefunden wurde. In Frankreich, Italien,

<sup>1</sup> Nach Angaben der Deutschen Xylolithplattenfabrik Otto Senig & Co. G. m. b. H., Potschappel-Dresden.

<sup>2</sup> S. Asbest. Herausgegeben von Becker und Haag. Berlin 1927.

Griechenland und im Orient ist die Bezeichnung Amiant für Asbest üblich. Die Römer benutzten im Altertum den Asbest aus Zypern zur Herstellung von Leichentüchern, um die Asche der Verbrannten zu sammeln. Marco Polo berichtet um 1250 aus dem großen Tatarenreich, das heute einen Teil Ostsibiriens bildet, von Geweben, die der Macht des Feuers widerstanden, und beschreibt die Gewinnung und Verarbeitung der mineralischen Asbestfasern. Später ist die Kenntnis des Asbestes wieder verloren gegangen, bis in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Auffindung der gewaltigen kanadischen Asbestlager den Anlaß gab, daß sich die Technik mit diesem Faserstoff beschäftigte.

## 2. Faserstruktur.

Asbest ist eine mineralische Faser. Ein Gestein hat die vollkommene Faserform angenommen und zeigt das Aussehen von Baumwolle oder Seide. Die Bündel von parallelen Asbestfasern, aus denen das Asbestgestein besteht, lassen sich in Einzelfasern aufschließen, die viel feiner sind als irgend eine Pflanzen- oder Tierfaser. Asbestfasern sind glatt und ohne Hohlräume im Innern im Gegensatz zu anderen Fasern, die hohl und außen mehr oder weniger rauh sind. Daher läßt sich Asbest nicht so leicht verspinnen und verweben wie andere Fasern. Ihrer mineralischen Herkunft gemäß besitzt die Asbestfaser große Wärmebeständigkeit, eine gewisse Feuerbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen nicht zu starke Säuren. Wegen des Fehlens der kapillaren Hohlräume und wegen der Glätte der Fasern ist die Wasseraufnahme der Asbestfasern geringer als die der andern Fasern. Die Asbestfaser läßt sich aber aus demselben Grund auch weniger leicht tränken. Asbestfasern lassen sich mit allen in der Industrie der plastischen Massen gebräuchlichen Bindemitteln vorzüglich vereinigen und ergeben Kunststoffe, die teils wegen ihrer großen Wärme- und Feuchtigkeitsbeständigkeit wie beim Asbestzement, teils wegen ihrer vorzüglichen mechanischen Festigkeit und elektrischen Isolierfähigkeit in großem Maßstab verwendet werden.

## 3. Vorkommen.

Das Asbestgestein wird in Form von Adern oder Nestern im Muttergestein gefunden. Je nach der Art des Muttergesteins unterscheidet man zwei große, auch chemisch verschiedene Gruppen: Serpentin-asbeste und Hornblende- oder Amphibolasbeste.

Die Asbeste aller Fundstätten sind Magnesiumsilikate, die sich hauptsächlich durch ihren Gehalt an Kalk und Eisenoxyd unterscheiden. Die großen Vorkommen von Asbest sind in Kanada, Rußland und Südafrika. Andere Fundstätten sind Arizona in den Vereinigten Staaten, das schon erwähnte und im Altertum bekannte Zypern, Finnland, Australien, China, sowie die alpinen Vorkommen in Italien, Nieder-



österreich und an vielen anderen Orten, z. B. in der Schweiz. Deutsche Asbestfunde wurden erst im Weltkrieg bekannt, z. B. in Thüringen, im Vogtland und bei Hof in Bayern. Die Eigenschaften der Asbestfasern der verschiedenen Vorkommen sind außerordentlich verschieden. Wenn der Asbest nach der Festigkeit und der Länge der Fasern bewertet wird, so kommen die wertvollsten Fasern aus den drei zuerst genannten Gebieten.

Eine Übersicht über die Hauptarten der beiden Asbestgruppen und ihre Fundorte gibt die folgende Zusammenstellung.

Tabelle 40.

| Gruppe                                                 | Art          | Wichtigste Fundorte                        | Farbe                                        | Eigenschaften                                                                         | Chemische Zusammensetzung                                                            |
|--------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Serpentin-<br>(Olivin)<br>Asbest<br>monoklin           | Chrysotil    | Kanada<br>Sibirien<br>Rhodesia             | Weiß bis<br>Grau<br>Gelblich<br>Gelblich     | Große Geschmeidigkeit, Wärmebeständigkeit u. Festigkeit<br>Geringe Säurebeständigkeit | Wasserhaltiges Magnesiumsilikat<br>$3\text{MgO}, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Hornblende<br>oder<br>Amphibol-<br>Asbest<br>rhombisch | Anthophyllit | Ver. St<br>Massachusetts                   | Bräunlich                                    | Spröde                                                                                | Magnesiumsilikat<br>$(\text{MgFe})\text{OSiO}_3$                                     |
|                                                        | Tremolit     | Italien,<br>Afrika,<br>Balkan,<br>Ver. St. | Weißgrau<br>Gelblich<br>Grünlich<br>bis Blau | Spröde, mäßige Wärmebeständigkeit, aber gute Säurefestigkeit                          | Magnesium-Kalzium-Silikat<br>$\text{CaMg}_3, (\text{SiO}_3)_4$                       |
| monoklin                                               | Crocidolit   | Kapland                                    | Blau                                         | Geschmeidig u. fest, gute Säurefestigkeit<br>Mäßige Wärmebeständigkeit                | $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$<br>$\text{FeSiO}_3\text{H}_2\text{O}$                  |
|                                                        | Amosit       | Transvaal                                  | Blau                                         | Langfaserig, gut spinnbar                                                             | Magnesiumsilikat mit hohem Eisen-gehalt, außerdem Tonerde, Kalzium-Natrium           |

#### 4. Aufbereitung.

Die Gewinnung des Asbestgesteins erfolgt im offenen Tagebau, z. B. in den kanadischen Gruben, die bis auf 100 m Tiefe reichen, oder in flachen Gruben mit Terrassen in Sibirien, oder am Berghang in Stufen wie in Rhodesien. Das Gestein wird wegen der Härte des Muttergesteins gesprengt. Der Gehalt an langen Fasern, Crude, der wertvollste Bestandteil, wird von Hand aus den Trümmern geklaubt, er beträgt bei der kanadischen Förderung 2—5%. Die übrigen asbest-

haltigen Stücke gehen nach der Aussonderung des tauben Gesteins über Steinbrecher in die Mühlen, um vollkommen aufgeschlossen zu werden. Da das aus der Grube kommende Gestein viel Feuchtigkeit enthält und da diese das Absaugen der Fasern verhindern würde, so muß das Gestein vor der Zerkleinerung getrocknet werden. Nach dem Vorbrechen und Trocknen folgt wiederholtes Feinmahlen und Sieben. Als Vorbrecher dienen Steinbrecher, mit Maulöffnungen bis zu  $48 \times 60'' = 1220 \times 1524$  mm, auf denen das Gestein in Stücke von etwa 50 mm Größe zerkleinert wird. Für das Feinmahlen finden Hammermühlen, für das weitere Aufschließen Öffner, wie beim Öffnen der Baumwollfasern, Verwendung. Wesentlich ist, daß die Länge der Fasern möglichst wenig geschädigt wird. Für das Aussieben der steinigen Anteile und für das Klassieren der verschiedenen Faserlängen dienen Schüttelsiebe.

Asbestfasern werden außer nach ihrer Herkunft, die für die Eigenschaften maßgebend ist, nach der Länge der Fasern unterschieden und gehandelt. Auf Anregung der kanadischen Regierung sind für kanadische Asbeste einheitliche Bezeichnungen und Klassierungen festgelegt worden.

Die Klassierung erfolgt auf einer Schüttelvorrichtung mit drei Siebeinsätzen und einem Auffangkasten. Die Siebbewegung beträgt etwa 40 mm bei 300 Umdrehungen je min des Antriebsexzenters. Siebmenge 1 lb = 16 ounces  $\sim$  0,45 kg (1 ounce = 28,3 g). Lichte Maße der Siebkästen  $89 \times 374 \times 622$  mm. Siebzeit 2 min. Abmessungen der Siebe:

Die Siebe werden sorgfältig geprüft, es sind nur sehr kleine Toleranzen zugelassen. Nach 2 min wird der Rückstand auf den drei Sieben und im Bodenkasten gewogen und in ounces angegeben. Die Summe

Tabelle 41.

|         | Maschenweite |      | Draht-Durchmesser |      |
|---------|--------------|------|-------------------|------|
|         | "            | mm   | "                 | mm   |
| 1. Sieb | 0,5          | 12,7 | 0,105             | 2,68 |
| 2. „    | 0,187        | 4,75 | 0,063             | 1,60 |
| 3. „    | 0,053        | 1,34 | 0,047             | 1,19 |

der Zahlen ergibt wieder 16, die Ausgangsmenge. Die Angabe 4—7—4—1 bedeutet: Auf dem obersten Sieb sind 4 ounces = 25 % liegen geblieben, also durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 12,7 mm nicht durchgefallen; danach kann man annehmen, diese Fasern sind länger als 12,7 mm. Auf dem zweiten Sieb  $> 4,75$  mm liegen 7 ounces = 43,8 %, auf dem dritten Sieb  $> 1,34$  mm wieder 4 ounces = 25 %, der Rest ist kürzer als 1,34 mm, 1 ounce = 6,2 %; d. h.:

$$\begin{array}{ll} 25 \% > 12,7 \text{ mm} & 25 \% > 1,34 \text{ mm} \\ 43,8 \% > 4,75 \text{ mm} & 6,2 \% < 1,34 \text{ mm.} \end{array}$$

Von den festgelegten Gruppen und Klassen sind die wichtigsten im folgenden genannt. Die beiden ersten der 9 Hauptgruppen sind dem Crudeasbest, der handgeklauten Faser im Gewinnungszustand vorbehalten. Die 7 übrigen Gruppen umfassen alle mechanisch aufbereiteten

Fasern. Die Gruppe wird in der neuen Benennung durch eine Zahl, die Untergruppe oder Klasse durch einen Buchstaben bezeichnet.

Tabelle 42.

| Gruppen-Nr. | Bezeichnung                           | Faserlänge<br>bzw.<br>Siebprobe                                      | Beispiele                                                     |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1           | Crude Nr. 1                           | $\frac{3}{4}'' = 19 \text{ mm}$<br>oder mehr                         |                                                               |
| 2           | „ Nr. 2                               | $\frac{3}{8}-\frac{3}{4}'' =$<br>9,5—19 mm<br>mindestens             |                                                               |
| 3           | Lange Spinnfaser 3 K                  | 4—7— 4—1                                                             | Kings 2 B, Bells A                                            |
|             | Mittlere „ 3 R                        | 2—8— 4—2                                                             | Johnson Thetford 1 A                                          |
|             | Kurze „ 3 T                           | 1—9— 4—2                                                             | Kings X, Bells B<br>Johnson Thetford 2 A<br>Beaver X          |
| 4           | Asbestzementfaser 4 K                 | 0—4— 9—3                                                             | Johnson Thetford S                                            |
|             | „ 4 T                                 | 0—2—10—4                                                             | „ „ Z                                                         |
| 5           | Pappenfaser 5 D                       | 0— $\frac{1}{2}$ —10 $\frac{1}{2}$ —5                                | Kings shingle fiber<br>Johnson Thetford 3 B<br>Reg. f.        |
|             | „ 5 R                                 | 0—0—10—6                                                             | Kings S, Beaver S<br>Johnson Thetford XX<br>Bells C, Kings XX |
| 6           | Abfall-, Stuck- oder<br>Gipsfaser 6 D | 0—0— 7—9<br>0—0— $6\frac{1}{2}$ —9 $\frac{1}{2}$                     |                                                               |
| 7           | Kurze Faser bis 7 D                   | 0—0— 5—11                                                            | Johnson Thetford C fiber<br>Kings C                           |
|             | „ „ „ 7 M                             | 0—0— 1—15                                                            | Bells E                                                       |
| 8           | Sand 8—40                             | 40 lbs je cubicfoot, d. i. 650 kg/cbm lose<br>gemessen               |                                                               |
|             | bis 8—75                              | 75 lbs je cubicfoot, d. i. 1200 kg/cbm lose<br>gemessen              |                                                               |
| 9           | Grober Sand u. Steine 9               | 75 lbs je cubicfoot, d. i. 1200 kg/cbm lose<br>gemessen und darüber. |                                                               |

Soll der Gehalt an Asbeststaub bestimmt werden, so wird zunächst der Inhalt aus dem Auffangkasten (4) nochmals eine Minute gesiebt. Die dann im Kasten befindliche Menge wird als Siebung 5 bezeichnet. Diese Menge wird nochmals 5 min gesiebt, der Inhalt auf Sieb 1, 2 und 3 zusammengeschüttet und die Menge jetzt im Kasten 4 als Sand, Staub oder Abfall bezeichnet.

Die gleiche Siebmethode und Siebmenge wird auch für den Asbest aus Zypern verwendet. Für Asbest aus Rhodesia und Rußland ist wohl die Methode und Vorrichtung die gleiche, die Siebmenge beträgt aber 500 g statt 1 lb = 453 g.

Die Prüfung der mechanischen Festigkeit der nicht verarbeiteten Fasern auf exakte Weise bereitet Schwierigkeiten. Eine einfache, aber rohe Methode besteht darin, einige Fasern zusammenzuballen und zwischen den Fingern zu zerreiben. Dabei zerfallen manche Sorten, wie z. B. die finnischen Fasern, zu Staub, während andere sich in der Faserlänge bei dieser Behandlung nicht verändern.

Für Asbestwaren sind vom deutschen Reichsausschuß für Lieferbedingungen (RAL) unter Nr. 545A allgemeine Gütevorschriften und Prüfverfahren festgelegt worden, die sich aber nicht auf die unverarbeiteten Fasern anwenden lassen, mit Ausnahme der Prüfung auf Säurefestigkeit. Es heißt unter D: Wird Säurebeständigkeit verlangt, so soll nur Hornblendeasbest verwendet werden. Dieser Asbest darf nach dem unter H 4 angegebenen Prüfverfahren nicht mehr als 5% in Säure lösliche Bestandteile enthalten.

Die Prüfvorschrift H 4 verlangt das Übergießen von 10 g bis zur Gewichtskonstanz getrocknetem Asbest mit 25%iger Salzsäure. Der Asbest wird gut durchgerührt und bleibt 24 Stunden stehen. Darauf wird die Säure abgossen, der Asbest gewaschen und nach abermaligem Trocknen bis zur Gewichtskonstanz der Gewichtsunterschied bestimmt.

## 5. Untersuchung der Säurebeständigkeit verschiedener Asbestarten.

Aus dem Laboratorium der Asbest- und Gummiwerke Alfred Calmon, Hamburg<sup>1</sup> sind Untersuchungen veröffentlicht worden, die zur Beurteilung der erwähnten RAL-Vorschriften dienen sollten. Untersucht wurden Serpentinasbeste aus:

Kanada: Bells C, Kings C, Bells E  
Rhodesia: C G II  
Rußland: Nr IV.

Hornblendeasbeste aus:

Transvaal: Amosit kurz  
Kapland: Blauer Kapasbest.

Die Prüfung erfolgte nach der RAL-Vorschrift, jedoch wurde der Versuch weiter fortgesetzt in der Weise, daß der Rückstand nochmals mit der gleichen Menge frischer Salzsäure übergossen und nach drei Tagen der Gewichtsverlust bestimmt und der Versuch solange wiederholt wurde, bis nichts mehr durch die Säure herausgelöst wurde. In Tabelle 43 sind die Ergebnisse zahlenmäßig dargestellt.

Eine weitere Versuchsreihe sollte das Verhalten der verschiedenen Asbestsorten gegen kochende Salzsäure prüfen. Dabei wurden 10 g Asbestfasern mit 300 ccm Salzsäure 25% übergossen und unter Rückfluß

<sup>1</sup> Gummi-Ztg. 1927, 1861.

Tabelle 43. Verhalten von Asbest gegen Salzsäure 25% bei Zimmertemperatur.

| Asbestsorte              | Bells C               | King C | Bells E | Rhodesia C S II | Russisch IV | Amosit kurz | Kapasbest Blau |
|--------------------------|-----------------------|--------|---------|-----------------|-------------|-------------|----------------|
| Versuchsdauer je 24 Std. | Gewichtsverluste in % |        |         |                 |             |             |                |
| 1mal                     | 25,2                  | 26,3   | 28,8    | 10,3            | 15,6        | 5,9         | 3,4            |
| 4mal                     | 50,5                  | 50,8   | 52,7    | 25,7            | 26          | 8,8         | 4,1            |
| 7mal                     | 55                    | 55,5   | 56,7    | 40,4            | 46,6        | 9,6         | 4,4            |
| 10mal                    | 56                    | 57     | 57,5    | 50              | 54          | 10          | 5              |
| 13mal                    | —                     | —      | —       | 56,3            | 58          | 10,8        | 5,5            |
| 16mal                    | —                     | —      | —       | —               | —           | 11,3        | —              |

2 Stunden lang gekocht und der Gewichtsunterschied, wie bereits beschrieben, festgestellt. Dabei erlitten die Serpentin-asbeste verschiedener Herkunft einen Gewichtsverlust von etwa 56%, Amosit 12%, blauer Kapasbest 7%. Die schwerer angreifbaren Hornblendeasbeste wurden immer wieder der gleichen Behandlung je 2 Stunden unterworfen und die Gewichtsabnahme gemessen.

Tabelle 44. Verhalten von Hornblendeasbest gegen kochende Salzsäure 25%.

| Asbestsorte           | Amosit kurz           | Blauer Kapasbest |
|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Versuchsdauer Stunden | Gewichtsverluste in % |                  |
| 2                     | 14,4                  | 7                |
| 4                     | 20,5                  | 8,4              |
| 6                     | 24,9                  | 10               |
| 8                     | 30,6                  | 13               |
| 10                    | 35,6                  | 14,5             |
| 12                    | 38,8                  | 16               |
| 14                    | 40                    | 18,2             |
| 16                    | —                     | 20,4             |

Bei Zimmertemperatur sind die Hornblendeasbeste gegen starke Mineralsäuren ziemlich beständig, vor allem der blaue Kapasbest, dann der gelbgraue Amosit. Nachdem 5—10% gelöst sind, geht die weitere Zerstörung sehr langsam vor sich.

Alle Serpentin-asbeste sind gegen Mineralsäuren sehr viel weniger widerstandsfähig, zwischen den kanadischen, russischen und afrikanischen Sorten bestehen aber erhebliche Unterschiede. Als Endverlust ergibt sich aber bei allen Serpentin-sorten eine Abnahme von 56 bis 58%. Heiße Mineralsäuren greifen die Asbeste schneller an, dabei verschwinden die Unterschiede zwischen den Serpentin-asbesten. Bereits nach 2 Stunden ist die

Zersetzung durch kochende Säuren beendet. Auch bei den Hornblendeasbesten ist der Angriff der Säure bei etwa 100°C viel stärker als bei Zimmertemperatur. Nach 14 Stunden hat der Amosit 40% und der Kapasbest 18,2% verloren, die Zersetzung ist aber bei beiden noch nicht beendet.

Da die faserige Struktur des Asbestes auch nach der Zerstörung der säurelöslichen Teile vollkommen erhalten bleibt, läßt sich außer-

lich die Einwirkung der Säure nicht wahrnehmen, auch nicht bei einer 450fachen Vergrößerung unter dem Mikroskop. Dagegen läßt die Probe auf mechanische Festigkeit durch Zerreiben zwischen den Fingern deutliche Unterschiede erkennen.

Tabelle 45.

| Asbestart  | Herkunft  | Säurebehandlung                |                                |                              |                      |
|------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------|
|            |           | bei Zimmertemperatur           |                                |                              | bei etwa 100°        |
|            |           |                                | nach 24 Std.                   | nach 96 Std.                 | nach 2 Std.          |
| Serpentin  |           | Läßt sich die Faser zerreiben? |                                |                              |                      |
|            | Kanada    | „                              | Nein, Faser fühlt sich rauh an | Ja                           | Ja, zu feinem Pulver |
|            | Rhodesia  | „                              |                                | Nein                         | „                    |
| Hornblende | Rußland   | „                              |                                | Nein                         | „                    |
|            |           | nach 13 Tagen                  |                                | nach 15 Tagen                |                      |
|            | Transvaal |                                |                                |                              |                      |
|            | Amosit    | „                              | sehr schwer                    |                              | Ja                   |
|            | Kapland   |                                |                                | Nein, Faser fast unverändert | Ja                   |

Bei Versuchen mit Essigsäure 25%, als Vertreter der schwächeren Mineralsäuren, wurde festgestellt, daß alle Asbestsorten gegen diese Säure viel widerstandsfähiger sind als gegen die starke Salzsäure. Nach einer Einwirkung während  $7 \times 24$  Stunden bei Zimmertemperatur hatte kanadischer Serpentinasbest 14,8%, russischer 7,6% und Amosit 0% verloren. Auch die Veränderung der mechanischen Festigkeit durch Essigsäure ist gering.

Durch weitere Prüfungen sollte versucht werden, darüber Aufschluß zu erhalten, worauf die verschiedene Widerstandsfähigkeit der Asbeste beruht und ob dies mit der Art des Metalles zusammenhängt, dessen kiesel-saures Salz am Aufbau des Asbestes beteiligt ist, da die beiden typischen säurebeständigen Asbeste einen hohen Anteil an Eisen enthalten. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Tabelle 46 zusammengestellt und zeigt, daß beim Amosit z. B. ungefähr gleiche prozentuale Teile von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{MgO}$  von der Säure gelöst werden. Das Eisensilikat ist also nicht schwerer durch die Säure angreifbar als das Magnesiumsilikat, wenn beide von der gleichen Kieselsäure stammen. Wahrscheinlich spielt die Art der Kieselsäure und die hierdurch bedingte Kristallstruktur eine wichtige Rolle. Die Analysenzahlen der Tabelle 46 geben

Tabelle 46. Analysen verschiedener Asbestsorten vor und nach der Behandlung mit Salzsäure 25%<sup>1</sup>.

|                     |                         | Säure-<br>verlust | Glüh-<br>verlust | Ab-<br>nahme | SiO <sub>2</sub> | Ab-<br>nahme | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ab-<br>nahme | MgO  | Ab-<br>nahme | CaO |
|---------------------|-------------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|------|--------------|-----|
| Bells C             | Unbehandelte Faser      |                   | 12,9             |              | 38,4             |              | 9,4                                                                |              | 39,9 |              | 0,1 |
| " E                 | 24 Stunden bei 20°      | 30                | 7,8              | 38,9         | 38,9             |              | 3,0                                                                | 68,1         | 19,9 | 50           |     |
|                     | 2 " " 100°              | 55,8              | 2,3              | 82,1         | 39,6             |              | 1,5                                                                | 84,1         | 0,9  | 97,8         |     |
| Canad. Z.           | Unbehandelte Faser      |                   | 14,4             |              | 38,4             |              | 10,3                                                               |              | 37,5 |              |     |
|                     | 24 Stunden bei 20°      | 30                | 6,3              | 56,3         | 40               |              | 6,5                                                                | 36,9         | 18,0 | 52           |     |
|                     | 2 " " 100°              | 56,3              | 2,4              | 83,5         | 39,8             |              | 1,5                                                                | 85,4         | 0,9  | 97,7         |     |
| Russisch IV         | Unbehandelte Faser      |                   | 11,5             |              | 41,4             |              | 7,2                                                                |              | 39,1 |              |     |
|                     | 96 Stunden bei 20°      | 37                | 6,2              | 46           | 39               |              | 1,2                                                                | 83,4         | 16,6 | 57,5         |     |
|                     | 2 " " 100°              | 56                | 2,8              | 75,7         | 40,7             |              | 0,4                                                                | 94,5         | 0,3  | 99,3         |     |
| Rhodesia CGII       | Unbehandelte Faser      |                   | 15,3             |              | 40,3             |              | 4                                                                  |              | 40,3 |              |     |
|                     | 96 Stunden bei 20°      | 29                | 7,9              | 48,2         | 42,3             |              | 1,6                                                                | 61           | 19,7 | 51           |     |
|                     | 2 " " 100°              | 54,5              | 2,5              | 83,7         | 42,6             |              | 0,3                                                                | 92,5         |      | 100          |     |
| Amosit              | Unbehandelte Faser      |                   | 4,7              |              | 45,8             |              | 46,9                                                               |              | 5,9  |              | 0,5 |
|                     | 16 × 24 Stunden bei 20° | 12                | 1,5              | 68           | 46,7             |              | 35,2                                                               | 25           | 4,5  | 23,6         |     |
|                     | 7 × 2 " " 100°          | 40                | 2,6              | 55,3         | 44,4             | 2,2          | 12,4                                                               | 73,5         | 1,5  | 74,7         |     |
| Blauer<br>Kapasbest | Unbehandelte Faser      |                   | 2,1              |              | 55,9             |              | 31,9                                                               |              | 5,6  |              |     |
|                     | 13 × 24 Stunden bei 20° | 5,5               |                  |              | 54,6             | 2,3          | 30,1                                                               | 5,6          | 4,4  | 21,4         |     |
|                     | 8 × 2 " " 100°          | 20                |                  |              | 48,3             | 13,6         | 25,5 <sup>2</sup>                                                  | 20,1         | 3,8  | 32,2         |     |

<sup>1</sup> Gummi-Ztg Nr. 33 vom 13. Mai 1927.<sup>2</sup> Der Verlust an Kieselsäure beim blauen Kapasbest hängt wohl mit dessen hohem Gehalt an Alkali (Na<sub>2</sub>O) zusammen.

zwar schon einige Beispiele, in Tabelle 47 sind die Durchschnittswerte der wichtigsten Asbestsorten zusammengestellt.

Der Magnesiumgehalt ist bei den Hornblendeasbesten viel geringer als bei den anderen Sorten, vielleicht hängt hiermit ihre sehr viel geringere Feuerbeständigkeit zusammen. Zwischen dem Gehalt an gebundenem Wasser und der Schmiegsamkeit des Asbestes besteht ein Zusammenhang.

Beim Erhitzen auf 100° verliert Asbest etwa 2 Gewichtsprocente. Weitere Erhitzung auf etwa 300—450° bewirkt keine Veränderung. Erst an dieser Temperaturgrenze beginnt das gebundene Wasser zu entweichen, und zwar bei den Serpentin-asbesten bei etwa 400°, bei den Hornblendeasbesten wie bei blauem Kapasbest bei 300°. Bei diesen Temperaturen beginnt auch die Faser ihre Festigkeit zu verlieren.

## 6. Weitere Anwendungen.

Auf dem Gebiet der Kunststoffe und plastischen Massen findet Asbest Verwendung für Isolierstoffe der Elektrotechnik und für Dichtungsplatten des Maschinenbaues und der Bauindustrie. Große Mengen von Asbest werden ferner gebraucht für die Herstellung von Asbestschnüren und Geweben, Packungsschnüren, Gießerhandschuhe und Schürzen, für Pappen und Papiere, als Filtermaterial, zur Wärmeisolierung, für Bremsbänder für Autos und manche andere Zwecke.

Neben den allgemeinen Gütevorschriften und Prüfverfahren für Asbestwaren RAL 545A hat der Verband deutscher Elektrotechniker, und zwar die Kommission für Isolierstoffe, Leitsätze für die Prüfung und Lieferung von Asbestfabrikaten aufgestellt, VDE 511.

Sommerfeld, Plastische Massen.

Tabelle 47. Zusammensetzung der verschiedenen Asbestsorten in Prozenten<sup>1</sup>.

| Herkunft            | Kanada<br>Thetford | Rußland<br>Ural | Rußland<br>Sibirien | Rhodesia       | Cypern | Kapland<br>blauer Asbest | Transvaal<br>Amosit |
|---------------------|--------------------|-----------------|---------------------|----------------|--------|--------------------------|---------------------|
| Kieselsäure . . . . | 39 — 43            | 42,5—43,5       | 41,5—42             | 40 — 43        | 40,6   | 50,5—51,5                | 49 — 53             |
| Magnesia . . . . .  | 40 — 41,5          | 41,8—42,6       | 35,1—36             | 38,2—39,6      | 39,0   | 0—3                      | 0,7— 6,2            |
| Tonerde . . . . .   | 1,5— 3,5           | Spuren bis 0,5  |                     | 0,6— 1,7       | 1,0    |                          | 5,7— 9,4            |
| Eisenoxyde . . . .  | 0,2— 2,5           | Spuren bis 0,15 | 6 — 7               | Spuren bis 4,5 | 4,9    | 35,5—36                  | 34 — 44             |
| Alkalien und Kalk . |                    |                 |                     |                |        | 7,5— 9                   | 0 — 2,5             |
| Kristallwasser . .  | 14 — 14,5          | 14,3—15,3       | 16 — 16,3           | 11,7—14        | 14,5   | 3,5— 4                   | 2,2— 3,0            |

<sup>1</sup> Nach Becker u. Haag: Asbest S. 12 u. 13.



## VII. Asphalte und Pech<sup>1</sup>.

### 1. Einteilung.

Als Asphalt, aus dem Griechischen *ἄσφαλτος* = das Erdpech, als unveränderlicher Körper wird nur die in der Natur vorkommende schwarze feste oder zähflüssige Masse bezeichnet, die in Wasser, verdünnten Säuren und Laugen unlöslich, in Äther teilweise, in Schwefelkohlenstoff, Benzol, Chloroform und Terpentinöl großenteils löslich ist. Die Bezeichnung Asphalt sollte nicht mehr für die durch Zersetzung aus Steinkohlen, Braunkohlen und Holz gebildeten Stoffe gebraucht werden, wenn diese auch äußerlich dem Naturasphalt ähneln. Diese Zersetzungsprodukte werden besser als Pech oder Teere bezeichnet. Für die Naturasphalte und die diesen nahestehenden Rückstände der Erdöldestillation wird jetzt die Bezeichnung Bitumina gebraucht.

Übliche Einteilung der Bitumina und Pech:

Bitumina

A. Asphalte:

- a) eigentliche Asphalte oder Erdpeche,
- b) Asphaltite oder Glanzpeche,
- c) Asphaltgesteine:
  - 1. Asphaltkalke,
  - 2. Asphaltsande.

B. Erdölrückstände.

Teere und Pech.

- A. Steinkohlenteer und Steinkohlenteerpech,
- B. Öl- und Wassergasteer,
- C. Braunkohlen- und Schieferteerpech,
- D. Kerzenteer- und Fettpech,
- E. Holzteer- und Holzteerpech.

### 2. Asphalte.

Die eigentlichen Asphalt- oder Erdpechfundstätten sind: Trinidad, die südlichste der kleinen Antillen, vor der Orinokomündung, nahe der Küste von Venezuela, Bermudez in Venezuela, am Golf von Mexiko Sota de la Marina und Tampico. Der in Ebano, etwa 60 km westlich von Tampico, hergestellte Eagle Asphalt ist kein Naturasphalt, sondern ein Petroleumpech, ebenso das Ebanobitumen.

Der wichtigste Asphalt ist der von Trinidad, der auf der Insel einen Pechsee, etwa 3 km von der Ostküste, mit einer Fläche von 40 ha bildet. Nach der Mitte des Sees zu wird der Asphalt weicher und bildet Stellen,

<sup>1</sup> Nach J. Marcusson: Die natürlichen und künstlichen Asphalte. Leipzig: Wilh. Engelmann 1931.

die in wallender Bewegung sind, jedoch ohne Dampf- oder Gasausbrüche. Die Gewinnung erfolgt mit Hacke oder Spaten seit fast 100 Jahren, und zwar 50000—100000 t jährlich, ohne daß sich eine Abnahme zeigt. Der aus dem See geförderte „Seeasphalt“, lake pitch, liefert den größten Anteil, er enthält mehr Wasser, aber weniger erdige Stoffe als der am Ufer gewonnene „Landasphalt“, land pitch. Der flüssige Trinidadasphalt oder Trinascol wird durch Bohrungen gewonnen und ist eine Vorstufe der eigentlichen Asphalte, ein dickflüssiges, schwarzes, sehr asphaltreiches Öl von hohem spezifischem Gewicht 0,960, mit unangenehmem Geruch nach Schwefelverbindungen, das an der Luft unter Entwicklung von  $\text{SH}_2$  allmählich erstarrt. Der Schwefelgehalt beträgt 3%.

Rohrer Trinidadasphalt enthält  $\frac{1}{3}$  Bitumen,  $\frac{1}{3}$  erdige Teile, wie Ton, Kieselsäure usw.,  $\frac{1}{3}$  Wasser. Vor dem Versand wird der Asphalt meist raffiniert durch Erhitzen in großen Kesseln mit Dampfschlangen, wobei das Wasser verdunstet, die erdigen Teile sich unten absetzen und leichtere Verunreinigungen, die abgeschöpft werden, an die Oberfläche steigen. Den noch warmen Asphalt füllt man in offene Fässer als Trinidad-épuré mit 50—60% Bitumen und 40—50% Mineralteilen, Schmelzpunkt  $85^\circ$ , spezifisches Gewicht 1,4. Die Mineralteile sind so fein und gleichmäßig im Bitumen verteilt, daß sie, wenn man den Asphalt löst, auch durch sehr feine Filter gehen und sich auch nicht durch längeres Ausschleudern entfernen lassen. Sie befinden sich im kolloiden Zustand. Der Wert der Trinidadasphalte in der Emulsionstechnik erklärt sich durch die starken Grenzflächenkräfte, die sich bei der kolloiden Verteilung der Mineralteile im Bitumen entwickeln können.

Der Asphaltsee in Venezuela, Provinz Bermudez, etwa 50 km von der Küste, hat eine noch größere Oberfläche, aber eine geringere Tiefe (2—3 m), als der von Trinidad. Die Mineralstoffe lassen sich leicht abtrennen. Der raffinierte Venezuelaasphalt enthält 95% Bitumen.

Ebenso wie in Trinidad hat man auch in Venezuela flüssigen Asphalt gefunden, der dem Trinascol entspricht.

Die Asphaltvorkommen in Mexiko, nahe dem Golf von Mexiko, bedecken bei Sota de la Marina eine Fläche von 52 qkm, weitere Lager befinden sich im Bezirk von Tuxpan und Tampico.

Asphaltite oder Glanzpeche sind die reinsten Naturasphalte.

Syrischer Asphalt aus dem Toten Meer ist das reinste und älteste Vorkommen. Er wird flüssig aus heißen Quellen ins Meer geleitet und die erstarrten Stücke schwimmen dann wegen des hohen spezifischen Gewichtes des Wassers des Toten Meeres an der Oberfläche. Die Gewinnung besteht im Abschöpfen und Trocknen. Raffination ist wegen Fehlens der Mineralbestandteile nicht nötig. Der syrische Asphalt ist sehr hart und spröde.

Amerikanische Asphaltite. Gilsonit im Umtabecken in einer Ausdehnung von 26000 qkm, in den Gängen und Trümmern des

Sandsteins wird bergmännisch mit Hacke und Schaufel gewonnen, ebenso Grahamit im Indianerterritorium, West-Virginia in Colorado, Albertit in Utah, Kuba und Mexiko, Manjak in Barbados. Die amerikanischen

Tabelle 48. Reinheitsgrad einiger Asphalte und Asphaltite.

| Substanz              | Bitumen<br>% | Wasser<br>% | Mineralstoffe<br>und sonstige<br>Verunreinigungen<br>% |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Asphalte:</b>      |              |             |                                                        |
| Trinidadsee, roh . .  | 39           | 27          | 34                                                     |
| „ raffiniert          | 56—57        | —           | 43—44                                                  |
| Trinidadland, roh . . | 38           | 27          | 35                                                     |
| „ raffiniert          | 52—56        | —           | 44—48                                                  |
| Bermudez, roh . . .   | 90—98        | 6—7         | 2—4                                                    |
| „ raffiniert .        | 93—97        | —           | 3—7                                                    |
| <b>Asphaltite:</b>    |              |             |                                                        |
| Syrischer Asphalt . . | 91—99        | —           | 1—9                                                    |
| Manjak, Barbados . .  | 95—99        | —           | 1—5                                                    |
| Gilsonit, Utah . . .  | 93—99        | —           | 1—4                                                    |

Asphaltite sind leicht löslich und schmelzbar. Asphaltgesteine, und zwar Asphaltkalk und Asphaltsande sind für den Straßenbau von großer Wichtigkeit. Vorkommen von Asphaltkalk befinden sich in Deutschland, in Limmer Prov. Hannover und in Vorwohle in Braunschweig, in der Schweiz, Val de Travers bei Neuchâtel, in Italien und Frankreich. Asphaltgesteine werden im Tagebau oder im Schacht- und Stollenbau gewonnen. Der Bitumengehalt bei den technisch wichtigsten Sorten beträgt 7—15 %. Asphaltsande werden hauptsächlich in Ungarn bei Tataros und Derna mit einem Bitumengehalt von 10—15 % gewonnen, ebenso in Rußland.

Alle Asphalte enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, zum Teil auch Sauerstoff und geringe Mengen Stickstoff.

Tabelle 49. Elementarzusammensetzung des Bitumens der Asphalte und Asphaltite.

| Bezeichnung            | C<br>% | H<br>% | S<br>% | N<br>% |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Trinidadasphalt, Land  | 83,7   | 10,8   | 5,1    | 0,5    |
| „ See .                | 82,3   | 10,7   | 6,2    | 0,8    |
| Bermudez . . . . .     | 82,9   | 10,8   | 5,9    | 0,8    |
| Syrischer Asphalt . .  | 80,5   | 9,1    | 10,1   | 0,4    |
| Manjak, Barbados . .   | 87,0   | 9,6    | 2,7    | —      |
| Gilsonit, Utah . . . . | 88,3   | 9,9    | 2,0    | —      |

Charakteristisch für Naturasphalt ist der nie fehlende Schwefelgehalt, der bei den Asphalten höher ist als bei den Asphaltiten. Bei letzteren ist der Schwefelgehalt auch fester gebunden als bei den Asphalten. Der Gehalt an Mineralstoffen ist bei den Asphalten viel größer als bei den Asphaltiten, ebenso der Ölgehalt. Asphaltite sind deshalb härter und spröder als Asphalte bis auf Manjak, der fast so großen Ölgehalt besitzt wie die Asphalte.

Die Farbe des Asphaltes ist mattes Braunschwarz bis Schwarz, das extrahierte Bitumen ist stets reinschwarz. Asphaltite sind glänzend

schwarz und liefern Pulver von brauner Farbe. Asphaltgesteine sind hell- bis dunkelbraun je nach dem Bitumengehalt. Asphalte sind von homogener Struktur, weisen meist muscheligen Bruch auf, Asphaltite besitzen glänzenden, unregelmäßigen, strahligen oder stengligen Bruch.

Das reine Bitumen der Asphalte und Asphaltite ist unlöslich in Wasser, verdünnten Mineralsäuren und Alkalien. Die besten Lösungsmittel sind Chloroform, Terpentinöl, dann

Schwefelkohlenstoff, Tetrachlorkohlenstoff, Benzol, Toluol, Solventnaphtha usw. Äther und Benzin lösen nur die weicheren Bestandteile. In Alkohol und Azeton sind Asphalte nur wenig löslich.

Verhalten in der Wärme. Asphalte erweichen beim Erwärmen und fließen zu einer teigigen Masse zusammen, sie werden wegen des Mineralgehaltes nicht flüssig, während Asphaltite in flüssigen Zustand übergehen, soweit sie nicht aufblähen. Asphaltgesteine werden höchstens weich und knetbar.

Die Bitumina schmelzen niedriger als die Rohasphalte.

Tabelle 50. Spezifisches Gewicht von rohen Asphalten, Asphaltiten und gereinigten Bitumina.

| Herkunft und Bezeichnung     | Sp. z. Gewicht bei 15° |              |
|------------------------------|------------------------|--------------|
|                              | des Rohmaterials       | des Bitumens |
| Asphalte:                    |                        |              |
| Trinidadsee, raffiniert . .  | 1,40                   | 1,11         |
| Trinidadland, raffiniert . . | 1,42                   | 1,05—1,07    |
| Bermudez, raffiniert . .     | 1,06—1,08              | 1,08         |
| Asphaltite:                  |                        |              |
| Syrischer Asphalt . . . .    | 1,10                   | —            |
| Manjak . . . . .             | 1,08                   | —            |
| Gilsonit . . . . .           | 1,04—1,05              | —            |

Tabelle 51. Erweichungs- und Fließpunkt von Asphalten und Asphaltiten.

| Herkunft und Bezeichnung | Erweicht<br>° C | Fließt<br>° C |
|--------------------------|-----------------|---------------|
| Asphalte:                |                 |               |
| Trinidadsee . . . . .    | 100             | 106           |
| Trinidadland . . . . .   | 106             | 110           |
| Bermudez, raffiniert . . | 75—78           | 95—106        |
| Asphaltite:              |                 |               |
| Syrischer Asphalt . . .  | 140             | 145           |
| Manjak . . . . .         | 130             | 140           |
| Gilsonit . . . . .       | 90              | 98            |
| „ . . . . .              | 147—155         | 170—180       |
| „ . . . . .              | 217             | 222           |

### 3. Teere und Pech.

Bei der trockenen Destillation entstehen als Nebenprodukte Steinkohlen-, Braunkohlen-, Holzteerpech und Holzteer, bei Destillation mit überhitztem Wasserdampf entstehen Erdölpech und Kerzenteerpech, wobei die Zersetzung geringer ist als bei trockener Destillation. Daher erhalten letztere neben Zersetzungsprodukten beträchtliche Mengen

des Ausgangsmaterials, während erstere fast nur aus Zersetzungsprodukten bestehen. Teere sind dickflüssige Pecher von eigentümlichem Geruch und braunschwarzer Farbe, teils leichter, teils schwerer als Wasser. Sie verbrennen mit stark rußender Flamme und ergeben aufgeblähte Kohle. Bei der Destillation liefern sie Öle und koksartigen Rückstand.

**Erdölrückstände** kommen in der Zusammensetzung und Verwendbarkeit den Naturasphalten am nächsten. Die zwei Arten dieser Rückstände sind:

1. Die Petrolpeche aus den Rückständen bei der Destillation des Rohöles auf Benzin, Petroleum und Schmieröl und
2. Säureharze, die sich beim Raffinieren der verschiedenen Destillate mit Schwefelsäure bilden. Petrolpeche sind braunschwarz bis schwarz, von wechselnder Konsistenz, je nachdem, ob viel oder wenig Öl abgetrieben wurde. Das Petrolpech besitzt eine geringe Härte, das spezifische Gewicht liegt zwischen 0,9 und 1,1.

Tabelle 52. Elementaranalyse.

| Herkunft des Erdölrückstandes | C<br>% | H<br>% | S<br>% | O<br>% | N<br>% |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pennsylvanien . . . . .       | 87,4   | 12,5   | —      | —      | —      |
| Großny . . . . .              | 86,0   | 12,6   | 0,1    | 1,2    | 0,1    |
| Nyeptjamaja-Rußland . . .     | 86,2   | 12,4   | 0,02   | 1,2    | 0,17   |
| Petrolgoudron (geblasen) .    | 86,2   | 10,9   | 0,3    | 2,4    | 0,18   |

Der Schwefelgehalt der Erdölrückstände ist geringer als der von Naturasphalten und ist viel fester gebunden als bei diesen.

Tabelle 53. Schwefelgehalt von Erdölbitumina.

| Bezeichnung                | Schwefel<br>% |
|----------------------------|---------------|
| Eaglebitumen . . . . .     | 3,5           |
| Ebanobitumen . . . . .     | 5,2           |
| Trinidad-Residualasphalt . | 3,8           |
| Galizisches Bitumen . . .  | 0,7           |
| Deutsches Petrolpech . . . | 0,96          |

Der Ölgehalt ist größer als bei Naturasphalten, selbst harte Petrolpeche enthalten bedeutende Mengen Öl, z. B. kalifornisches 48%. Weiches Petrolpech enthält bis zu 80% Öl und mehr.

**Steinkohlenteer und Steinkohlenteerpech.** Steinkohlenteer wird bei der Leuchtgasbereitung in den Kokereien gewonnen. Es ist eine

schwarze, ölige oder dickflüssige bis zähe Masse mit charakteristischem, kreosotartigen Geruch und einem spezifischen Gewicht von 1,1—1,28, jedoch meist zwischen 1,12—1,15. Teer enthält verkokte Stoffe — hierdurch die schwarze Farbe —, leichte und schwere Kohlenwasserstoffe vom Benzol bis zum Anthrazen, schwere aromatische Öle und asphaltartige Stoffe, ferner Phenole, stickstoff- und schwefelhaltige Körper. Rohrer Teer wird zunächst durch Erwärmen von seinem beträchtlichen

Wassergehalt befreit, dann destilliert und je nach Verwendung mehr oder weniger Öl abgetrieben. Man unterscheidet vier Sorten:

1. Entwässerter Teer, ohne Wasser mit Leichtöl (Benzol, Toluol usw.),
2. Weichpech, bis 300° abgetrieben, mit Hauptmenge des Anthrazens,
3. Mittelhartpech, nur mit der Hälfte des Anthrazens,
4. Hartpech, vollständig ohne Anthrazen.

Meist wird Hartpech hergestellt, um die wertvollen Bestandteile im Anthracenöl zu gewinnen und dann durch Zumischen von Schweröl die gewünschte Konsistenz hergestellt.

Tabelle 54. Elementaranalyse der drei Pecharten.

Der Schwefelgehalt des Steinkohlenteerpeches liegt meist zwischen 0,6—0,8%. Die besten Lösungsmittel sind Anilin-Pyridin, dann Schwefelkohlenstoff, Chloroform, Xylol und Benzol. Petroleum-

|           | Weichpech<br>% | Mittelhartes<br>Pech<br>% | Hartpech<br>% |
|-----------|----------------|---------------------------|---------------|
| C . . . . | 91,6           | 85 — 92                   | 75            |
| H. . . .  | 4,89           | 4,85 — 4,60               | 8,9           |
| O + N + S | 3,2            | 7,9 — 2,8                 | 16            |
| Asche . . | 0,3            | 2,5 — 0,04                | 0,4           |

benzin, das Naturasphalt gut löst, hat für Steinkohlenteerpech nur geringes Lösungsvermögen, Äther löst teilweise, Alkohol unbedeutend.

Das Pech verbrennt stark rußend und hinterläßt eine poröse koksartige Kohle. Infolge ihres hohen Gehaltes an ungesättigten Verbindungen sind Steinkohlenteere und Steinkohlenteerpeche gegen atmosphärische Einwirkungen weniger widerstandsfähig als die Naturasphalte. Durch Schwefelung oder durch Sauerstoffzufuhr mittels eingeblasener Luft wird die Beständigkeit verbessert.

**Braunkohlenteerpech.** Bei der trockenen Destillation der Braunkohle erhaltene Teere enthalten wenig Asphaltene, aber viel Paraffine und Öle. Erst bei weiterer Verarbeitung des Teers auf Paraffin und Öl werden Braunkohlenteerpeche erhalten und zwar auch Ölrückstandspeche und Säureharze. Diese Pecher stehen den Erdölpechen am nächsten. Charakteristisch ist ihr hoher Gehalt an hochmolekularen Phenolen. Weiche Braunkohlenteerpeche sind in Benzol völlig löslich, harte Pecher enthalten beträchtliche Mengen unlöslicher durch Zersetzung gebildeter Bestandteile.

Mit Asphalt als Bindemittel werden verschiedene Arten von Isolierteilen für die Elektrotechnik, ferner Platten für Isolier- und Bauzwecke und Gehwegbelege hergestellt.

Als Zusatz wird Asphalt oder Pech bei der Herstellung von Isolierteilen und Preßteilen aus Kautschuk und aus Naturharzen verwendet.

Die Farbe aller Preßstoffe, die Asphalt und Pech als Bindemittel enthalten, ist naturgemäß von der Farbe der Bindemittel abhängig und liegt zwischen Schwarz und Dunkelgrau.

## 4. Übersicht über Bitumina und Pech.

A. Bitumina, in der Natur vorgebildet.

| Verseifbar<br>(hauptsächlich Wachsester) |                       | Hauptmenge nicht verseifbar.<br>Hauptbestandteile: Kohlenwasserstoffe     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                      |
|------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sapropel-<br>wachs                       | Braunkohlen-<br>wachs | Erdöl                                                                     |                                                                                                                                                    | Feste oder zäh-<br>flüssige, ge-<br>schwefelte und<br>oxydierte Koh-<br>lenwasserstoffe<br>Naturasphalt<br>Bergteer                  |
| Bitumen (rohes Montanwachs)              |                       | Destillate                                                                | Rückstände                                                                                                                                         |                                                                                                                                      |
|                                          |                       | Öle,<br>Petroleum-<br>benzin,<br>Petroleumgasöl,<br>Mineral-<br>Schmieröl | Erdölparaffin<br>Flüssige Schmieröle<br>Zähflüssige Erdöl-<br>Goudron<br>Härteres<br>Erdölpech<br>Letzter Destillier-<br>rückstand: Erdöl-<br>koke | Erdwachs<br>(Ozokerit)<br>fest durch Raffina-<br>tion<br>Zeresin<br>durch Destillation<br>Paraffin und Öl<br>Rückstand<br>Kabelwachs |

B. Pech, künstlich durch Destillation (Schwelung) organischer Naturstoffe oder Rohbitumina gewonnen.

| Braunkohlenteer<br>reich an Paraffin, Phenolgehalt                                   |                                                                                                                                     | Steinkohlenteer<br>je nach Art der Vergasung<br>2—20% in Benzol unlös-<br>liche Stoffe von hohem<br>Kohlenstoffgehalt, Gehalt<br>an Phenolen und Anthra-<br>zen |                                                                            | Fettere (Fettpech)<br>Rückstand der De-<br>stillation von Fet-<br>ten (Palmfett, Woll-<br>fett, Fettsäure), Ge-<br>halt an freien Fett-<br>säuren und Neutral-<br>fett, Handelsbe-<br>zeichnung Stearin-<br>pech, Wollpech usw. | Harzpech<br>Rückstand<br>der Destilla-<br>tion von<br>Kolophonium |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Destillate                                                                           | Rück-<br>stände                                                                                                                     | Holzteer                                                                                                                                                        |                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |
| Öle,<br>Braunkoh-<br>lenteer-<br>benzin,<br>Solaröl,<br>Gasöl,<br>Paraffinöl<br>usw. | Braun-<br>kohl-<br>teer-<br>paraffin<br>Goudron<br>weich,<br>Braun-<br>kohl-<br>teerpech,<br>hart,<br>Braun-<br>kohlenteer-<br>koke | in Alkohol fast völlig lös-<br>lich, wenig oder kein freier<br>Kohlenstoff, Gehalt an<br>Phenolen und Essigsäure                                                | Rückstand<br>Holzteer-<br>pech<br>In Alkohol<br>zum großen<br>Teil löslich |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |
|                                                                                      |                                                                                                                                     | Destillate                                                                                                                                                      | Rückstand                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |
|                                                                                      |                                                                                                                                     | Leichtöl<br>(Benzol,<br>Toluol,<br>Xylol usw.)<br>Mittelöl,<br>Schweröl,<br>Anthrazenöl                                                                         | In Alkohol<br>leicht lös-<br>lich, völlig<br>sulfurierbar                  |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |

### 5. Isolierpreßstoff Type 8.

Dieser Preßstoff enthält als Bindemittel Pech und Asphalt, als Faser Asbest, bisweilen auch Baumwoll- und Seidenabfälle, als Füllmittel Steinmehle, wie Schiefermehl und Kaolin.

Die Herstellung von Mischungen erfolgt auf beheizten Mastikatoren, in die das vorgeschmolzene und von Wasser und Unreinigkeiten befreite Pech gegossen und dann Fasern und Füllmittel eingetragen werden. Wie groß die Menge der verschiedenen Bestandteile zu wählen ist, hängt von deren Beschaffenheit und den Eigenschaften ab, welche die fertige Mischung haben soll. Viele Pech- und Asphalte stehen zur Verfügung, die je nach Wärmebeständigkeit, Festigkeit und Reinheit ausgewählt werden können. Im großen Umfang wird Steinkohlenteerpech verwendet. Aber auch dieses Pech kann sehr verschieden ausfallen, nicht nur nach der Wärmebeständigkeit, die in gewissen Grenzen beliebig gewählt werden kann, sondern auch nach Festigkeit und Isolierfähigkeit. Ein Pech, in dem sich stark verkockte Anteile befinden, ist zur Herstellung von Isolierteilen ungeeignet.

Als Faser dient hauptsächlich Asbest kanadischer, russischer oder südafrikanischer Herkunft, durch den sich gute Wärmebeständigkeit und Feuersicherheit erzielen läßt. Kurze Fasern ergeben schon gute Erfolge. Die Asbestfasern müssen gut aufgeschlossen sein, um eine saubere Oberfläche der Preßstücke zu erzielen. Da sich Seiden- oder Baumwollfasern besser durchfärben lassen und auch weniger starr sind, so wählt man diese Fasern oder setzt sie zu, um eine tiefschwarze und glatte Oberfläche der Preßstücke zu erzielen, wobei man die größere Brennbarkeit und die geringere Widerstandsfähigkeit gegen Erwärmung in Kauf zu nehmen hat.

Die erkaltete Mischung, die aus dem Mastikator kommt, bildet grobe Stücke, die für die weitere Verarbeitung auf Hammer- oder Perplexmühlen zerkleinert und auf einem Trommelsieb nach Korngröße gesichtet wird. Die gekörnte Mischung wird vorgewärmt und warm in die geheizte Preßform gefüllt. Bei richtiger Wahl der Mischung, des Preßdruckes und der Preßtemperatur ist es möglich, die Preßstücke schon wenige Sekunden nach dem Zusammenpressen der Form zu entnehmen. Hierin liegt die große Wirtschaftlichkeit des Warmpreßverfahrens mit derartigen Mischungen, die es ermöglichen aus einfachen Preßwerkzeugen 100 Pressungen und mehr je Stunde herzustellen.

Aus vernickelten und polierten Formen lassen sich Preßstücke mit glänzender Oberfläche erzielen. Die Anwendung von Vorpressungen, die auch vorlackiert sein können, ist möglich.

Die Bearbeitung der Preßteile erfolgt mit den üblichen Mitteln: Bohren mit Marmorbohrern, Sägen mit Bandsägen aus gutem Tiegelsstahl oder Schleifen mit gutem Schmirgel, auch Fräsen mit grobzahnigen



Fräsen ist möglich. Mit Hilfe von Widiastählen kann derartige Preßstoff auch durch Drehen bearbeitet werden. Abschleifen, Entgraten

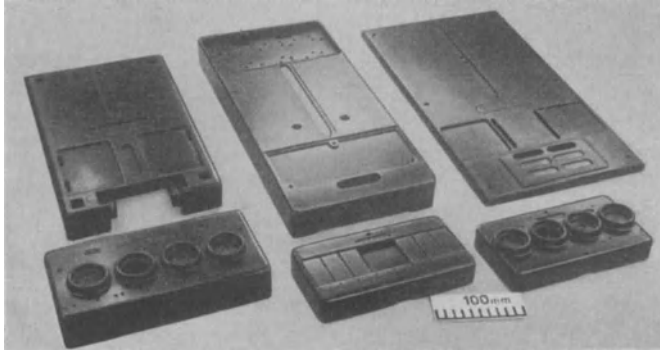


Abb. 77. Zählertafeln und Kappen aus Isolierpreßstoff Ricolit Type 8. Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. B.

erfolgt bequem mit Hilfe von endlosen Schmirgelbändern, das Glänzen am Tuschswabbel.

Viele Fachleute, die heute auf dem Gebiet der Preßstoffe tätig sind, haben dieses Gebiet erst betreten, als die Kunstharze bereits ausgedehnte

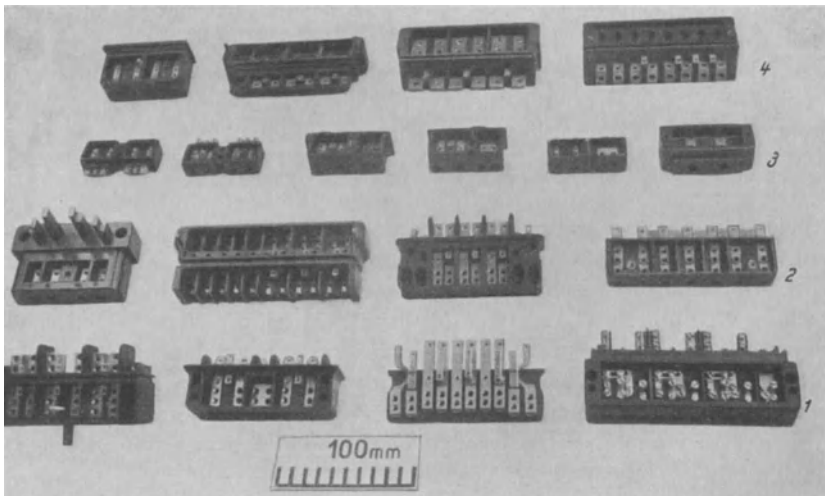


Abb. 78. Zähleranschlußklemmen aus Isolierpreßstoff Ricolit Type 8 mit eingepreßten Metallteilen. Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. B.

Anwendung fanden. Ihnen ist daher die Herstellung und Verarbeitung von Preßstoffen mit Asphalt oder Pech als Bindemittel nicht geläufig; sie sehen deshalb nicht die Möglichkeiten, die diese Preßstoffe bieten.

In der Elektrotechnik haben sich diese Preßstoffe für bestimmte Zwecke ihr Anwendungsgebiet erhalten, z. B. für Zählertafeln (Abb. 77), Zählerklemmen (Abb. 78) und zahlreiche andere Preßteile. Die Wärmebeständigkeit und die mechanische Festigkeit sind zwar geringer als bei den Kunstharzpreßstoffen, dagegen die Brand- und Feuersicherheit, sowie das Isoliervermögen und die Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit besser. Bei Auswahl geeigneter Rohstoffe und sorgfältiger Verarbeitung lassen sich mechanische Festigkeiten erzielen, die weit über den heute gültigen Mindestwerten der Typisierung liegen. Für Type 8 sind diese Werte im Abschnitt über Isolierstoffe auf S. 265 angegeben.

Für viele andere Verwendungsgebiete, z. B. für Ventilverschlüsse an Abläufen, Bedienungsgriffen an Büromaschinen und ähnliches kann der verbesserte Preßstoff mit dem Bindemittel Asphalt vorteilhaft Verwendung finden und auch überall da, wo die Beschränkung auf die schwarze Farbe nicht störend wirkt.

## 6. Isolierpreßstoff Type 4 (Gummon).

Diese Type hat ungefähr dieselbe Zusammensetzung wie der Preßstoff Type 8. Anstatt des Steinkohlenteerpeches werden auch andere Pecher und Asphaltite verwendet. Type 4 wird im Gegensatz zu Type 8 kalt verarbeitet. Das Bindemittel wird beider Herstellung der Mischung nicht einfach niedergeschmolzen, sondern in Benzol, Anthrazenöl oder ähnlichen Lösungsmitteln gelöst. Die heiße Lösung wird dann in die im Mastikator erwärmten Fasern und Steinmehle eingetragen. Zur Vertreibung der Lösungsmittel ist ein Nachheizen der Preßstücke notwendig.

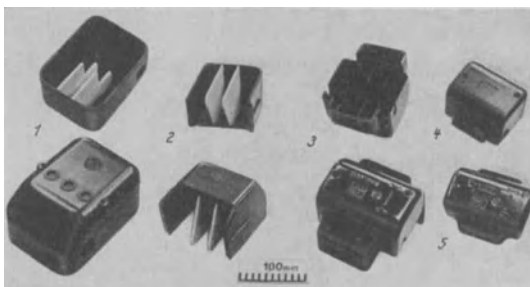


Abb. 79. Große Abdeckungen für Schaltgeräte aus Isolierpreßstoff Type 4 (Gummon). Kappen 1 und 2 mit eingepreßten Zwischenwänden aus Zementasbest. Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. G., Freiburg i. B.

Diese Art Preßstoffe wurden zuerst von den Isolatorenwerken München-Gräfelfing unter der Bezeichnung Gummon hergestellt. Sie wird auch heute noch fabriziert und zwar von den Süddeutschen Isolatorenwerken G. m. b. H., Freiburg i. Br. unter der Bezeichnung Ricolit Type 4. Diese Firma hat auch die Gummonherstellung von der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff-A.G., Troisdorf, übernommen.

Bei Preßstoffen Type 4 kommt man mit einem geringeren Anteil an Bindemitteln aus als bei Type 8. Beim Nachheizen, das unter

allmählicher Temperatursteigerung bis 220° C erfolgt, wird ein Anteil des Bindemittels, das einen niedrigen Erweichungspunkt hat, mit dem Lösungsmittel vertrieben. Jedenfalls lassen sich auf diese Weise Preßstoffe mit einer Wärmebeständigkeit nach Martens von mehr als 200° C herstellen. Die untere Grenze der Biegefestigkeit ist 150 kg/qcm. Eine Biegefestigkeit von 200 kg/qcm läßt sich unter bestimmten Vorsichtsmaßregeln erreichen.

Der wärmebeständige, wohlfeile Preßstoff Type 4 hat da seinen Platz, wo die mechanische Beanspruchung nicht zu groß ist und die Abmessungen entsprechend gewählt werden können. In der Glut- und Feuersicherheit und auch in der Wärmebeständigkeit ist er den Kunstharzpreßstoffen überlegen. Preßstoff Type 4 wird heute namentlich beim Bau größerer Schalter und anderer Geräte der Installationstechnik verwendet, z. B. für Griffe, Grundplatten und Kappen, Handlampengriffe u. ä. (Abb. 79).

## 7. Gehwegplatten.

Die Menge der Asphalte und Pech, die für Isolierpreßteile der Elektrotechnik verbraucht wird, stellt nur einen bescheidenen Anteil des Gesamtverbrauches dieser Stoffe dar. Die Hauptmenge findet im Straßenbau Verwendung. Große Mengen werden auch für die Brikettierung von feinkörnigen Kohlen verbraucht. Von eigentlichen Preßteilen im Gebiete des Straßenbaus kann man bei den Gehwegplatten sprechen, die bereits 1872 von Leon Malo aus Stampfasphalt hergestellt wurden. Malo ging von der Überlegung aus, daß eine gleichmäßige und große Verdichtung des Asphaltmehles auf der Verlegungsstelle nicht so gut möglich ist wie im Fabrikbetrieb, wo das Asphaltpulver kalt in eisernen Formen unter hohem Druck zusammengepreßt wurde. Dieses Verfahren wurde später von Delano durch Anwendung von Wärme verbessert, wobei sich eine bessere Verdichtung und eine bessere mechanische Festigkeit der Platte erreichen läßt.

Der Rohstoff für derartige Platten kann natürliches, nur durch Zerkleinerung des bituminösen Kalksteins gewonnenes Kalkmehl sein, wie es im Val de Travers, Seyssel, Lobsann oder auf Sizilien im Tage- oder Schachtbau gefunden wird. Dieser natürliche Asphaltstein zerfällt beim Erhitzen zu einem Pulver, das sich durch Druck wieder zu einem Körper von der Härte des Ursprungsgesteins verdichten läßt. Der Bitumengehalt des Asphaltmehles soll zwischen 8 und 10% liegen. Ein Gestein mit diesem Bitumengehalt hat die Farbe von Schokolade, zu mageres Asphaltmehl ist hellbraun bis gelb oder grau, zu fettes schwarzbraun. In gleicher Weise läßt sich das deutsche Asphaltmehl von Vorwohle in Hannover verarbeiten, das aus deutschem Asphaltgestein unter Hinzufügung von Goudron hergestellt wird. Das Gestein soll möglichst frei von Ton, Sand und Gips sein, um eine gute Wider-

standsfähigkeit gegen Abnutzung, namentlich bei Feuchtigkeit, zu erzielen. Als Vorteil gegenüber dem nur aus Naturgestein bestehenden Asphaltmehl wird angeführt, daß sich der Erweichungspunkt dem Verwendungszweck anpassen läßt, z. B., daß für die Tropen ein hochschmelzendes Bitumen gewählt wird. Ein Nachteil liegt wohl darin, daß die Verteilung der Gesteinsmasse im Bitumen künstlich nicht so gleichmäßig hergestellt werden kann, wie sie die Natur liefert.

Eine Anlage zur Herstellung von derartigen Gehwegplatten stellt Abb. 32 dar. Die Platten verlassen die Presse fertig zum Versand.

Das gleiche Rohmaterial wird für Stampfasphaltpflaster verwendet, wie es die Fahrdämme der Großstädte bedeckt. Die jahrzehntelang angewendete Handarbeit für das Auffüllen und Glattstreichen des Asphaltmehles und das dann folgende Zusammenpressen und Glattwalzen mit einer geheizten Dampfwalze wird jetzt durch die Arbeit von Straßenbaumaschinen ersetzt.

## 8. Adsorption zwischen Asphalten und Steinmehlen.

Durch die Versuchsanstalt für Straßenbau an der Technischen Hochschule Stuttgart sind Versuche angestellt worden<sup>1</sup>, um die Adsorption zwischen Asphalt und Steinmehlen zu messen. Veranlaßt waren diese Versuche durch die Beobachtung, daß sich im Straßenbau einzelne Gesteinsarten verschieden gegen Asphalte verhalten. Hierdurch entstand die Vermutung, der Grund hierfür sei in den Vorgängen an den Grenzflächen von Bindemitteln und Steinmehlen zu suchen.

Die an der Oberfläche eines Stoffteilchens wirksamen Kräfte sind andere als die im Innern, weil die Moleküle im Innern nach allen Richtungen abgesättigt sind, während an der Oberfläche die Absättigung nur nach innen erfolgt. Deshalb bleiben nach außen wirkende Kräfte an der Oberfläche frei. Die Oberflächenanziehungskraft wird als Adsorption bezeichnet, wobei der eine (absorbierte) Stoff an der Oberfläche des andern (absorbierenden) Stoffes haftet. Gewisse feste Körper ziehen gelöste Stoffe aus ihren Lösungen und halten sie auf ihrer Oberfläche fest. Diese Adsorption ist mit einer Konzentrationsänderung verbunden, indem die Konzentration des gelösten Stoffes an der Grenzfläche zwischen festem Stoff und Lösung erhöht wird.

Bei den Versuchen erfolgte die Messung des Adsorptionsvermögens kolorimetrisch, d. h. durch Vergleich der Farbenänderungen von Lösungen. Eine bestimmte Menge des Steinmehles wurde mit Hilfe der Binde-mittellösung durchgeschüttelt und dann die durch die Adsorption hervorgerufene Verminderung der Lösungskonzentration an der Veränderung der Farbe der Lösung vor und nach der Adsorption mit dem Leitzschen Kolorimeter bestimmt. Derartige Messungen können nur an Lösungen vorgenommen werden.

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Wilhelmi: Bitumen 1931 Heft 2 S. 25 u. Heft 4 S. 66.

Als Lösungsmittel für Asphalt wurde Benzol von möglichst heller Farbe verwendet. Der Höchstgehalt des Bindemittels war 1 g in 1 l Lösungsmittel. Die Konzentrationsabnahme der Probelösung nach dem Durchschütteln der Lösung mit dem Steinmehl wurde durch Vergleich der Farbtiefe mit der ursprünglichen Lösung im Kolorimeter gemessen. Von den untersuchten Stoffen seien folgende erwähnt:

Bindemittel — kalifornischer Asphalt  
 mexikanischer Asphalt  
 Trinidadbitumen.  
 Steinmehle — Basalt  
 Kalkspat  
 Kaolin  
 Quarz  
 Schiefer.

Der erwähnte Bericht enthält noch eine große Anzahl anderer Stoffe. Die Reihenfolge in der Güte des Adsorptionsvermögens der verschiedenen Steinmehle ist:

Schiefer,            Quarz und  
 Basalt,            Kalkspat.

Von den Bindemitteln wird am besten das Trinidadbitumen adsorbiert, während die gewöhnlichen durch Destillation gewonnenen Asphalte viel schwächer und untereinander ungefähr gleich adsorbiert werden. Bei diesen Versuchen wurden gleiche Gewichtsmengen der Steinmehle verwendet, ohne Rücksicht auf die Mahlfineinheit, d. h. die vorhandene Oberfläche zu nehmen. Da die Adsorption ein Oberflächenvorgang ist, so müssen die Versuche auf die Oberflächengröße bezogen werden. Zur Berechnung der Oberfläche der Steinmehle wurde die Formel von Pöpel<sup>1</sup> benutzt.

$$\text{Oberfläche} = \frac{\text{Konst.} \cdot \sqrt{f^3}}{\text{spez. Gewicht}}, \text{ wobei } f = \frac{\text{spez. Gewicht}}{\text{Raum-Gewicht}} - 1 \text{ ist.}$$

Die Größe der spezifischen Oberfläche entspricht bei den verwendeten

Tabelle 55.

| Steinmehl        | Spez. Gewicht | Feinheitsgrad f | Oberfläche n. Pöpel qcm/g |
|------------------|---------------|-----------------|---------------------------|
| Schiefermehl . . | 2,691         | 1,44            | 1650                      |
| Kaolin . . . .   | 2,643         | 1,033           | 1020                      |
| Basalt . . . .   | 2,937         | 0,887           | 730                       |
| Quarz . . . .    | 2,649         | 0,729           | 602                       |
| Kalkspat . . .   | 2,750         | 0,511           | 342                       |

Steinmehlen annähernd der oben festgestellten adsorbierten Bindemittelmenge.

Außer von der Oberfläche hängt die adsorbierte Menge auch von der Konzentration der Bindemittellösung ab. Einer bestimmten adsorbierten

<sup>1</sup> Pöpel: Der moderne Asphaltstraßenbau. Halle-S.: Straßenbauverlag M. Boerner. Über die Gültigkeit der Formel von Pöpel siehe C. Ziegs u. H. Nüssel: Über Kornzusammensetzung und Oberfläche mineralischer Füllstoffe. Bitumen 1932 Heft 7 S. 134, Heft 8 S. 156, Heft 9 S. 178.

Asphaltmenge entspricht eine bestimmte Endkonzentration der Asphaltlösung. Diese Beziehung ist durch die von Freundlich aufgestellte Gleichung der Adsorptionsisotherme ausgedrückt,  $a = k \cdot c^{1/n}$ ;  $a$  = adsorbierte Menge je Flächeneinheit,  $c$  = Konzentration der Lösung nach der Adsorption,  $k$  und  $1/n$  sind Konstanten des Bitumens und des Steinmehles. Diese Formel ist empirisch festgelegt. Die Versuchsanstalt hat durch Versuche eine größere Zahl von Adsorptionsisothermen aufgestellt, und zwar jede Kurve bei sechs verschiedenen Konzentrationen, je Liter 1000 mg, 900 mg, 700 mg, 500 mg, 300 mg, 200 mg. Bei weiteren Versuchen wurde nicht die gleiche Gewichtsmenge der Feinmehle verwendet, sondern die Menge entsprechend ihrer Oberfläche gewählt.

Als Flächeneinheit wurde 6000 qcm festgelegt. Dieser Wert entspricht der Oberfläche, die durch Zerteilung eines Würfels von 1 cm Kantenlänge in  $10^9$  Würfel von 0,01 mm Kantenlänge entsteht. Die Flächeneinheit war vorhanden bei einer Gewichtsmenge von 10 g des verwendeten Quarzmehles, errechnet nach der schon erwähnten Pöpelschen Formel. Danach ergab sich für die verwendeten Steinmehle folgende Oberfläche je 10 g:

|                                         |                     |                   |
|-----------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Quarz 6000 qcm,                         | Schiefer 16500 qcm, | Kalkspat 3420 qcm |
| oder je 6000 qcm Oberfläche entsprechen |                     |                   |
| 10 g,                                   | 3,64 g,             | 17,8 g.           |

Die berechneten Werte werden zwar der Wirklichkeit nicht genau entsprechen, sich ihr aber nähern<sup>1</sup>.

Die Bestimmung der wirklichen Adsorptionswerte ist weniger wichtig als die des spezifischen Adsorptionsvermögens. Einige der ermittelten Adsorptionskurven siehe Abb. 80.

Trinidadbitumen wird am stärksten adsorbiert, dann folgen mexikanische und kalifornische Asphalte. Die Kurven sollten nach der Freundlichschen Gleichung Parabeln sein, weichen aber von dieser Form mehr oder weniger stark ab. Bei geringer Konzentration stimmt der parabolische Verlauf annähernd, bei höherer Konzentration streben

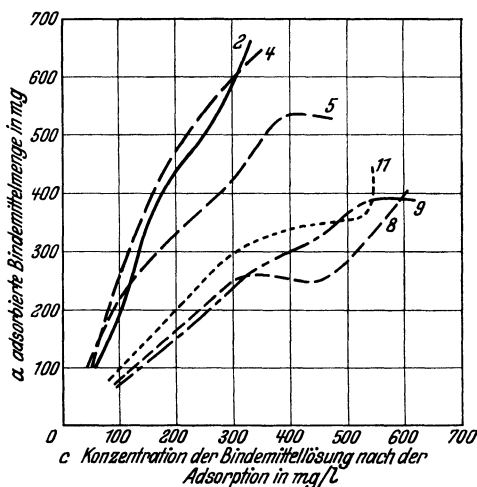


Abb. 80. Adsorptionsisothermen verschiedener Steinmehle. 2 Trinidadbitumen-Quarzmehl, 4 Mexik. Asphalt-Basaltmehl, 5 Mexik. Asphalt-Schiefermehl, 8 Mexik. Asphalt-Kalkspatmehl, 9 Mexik. Asphalt-Quarzmehl, 11 Kaliforn. Asphalt-Quarzmehl.

<sup>1</sup> Siehe Fußnote S. 222.

die Kurven einem Maximum zu, einer Sättigung, d. h. auch bei weitersteigender Konzentration nimmt die adsorbierte Menge nicht mehr zu. Bei einigen Kurven Nr. 5 und 9 tritt ein Abfall der adsorbierten Bindemittelmenge bei zunehmender Konzentration ein. Vielleicht verdrängt das Lösungsmittel wieder das Bindemittel von der Oberfläche der Steinmehle.

Das verschiedenartige Verhalten der Asphaltarten hat seinen Grund in dem verschiedenartigen Aufbau dieser Stoffe.

Tabelle 56.

| Asphaltart          | Erweichungspunkt<br>°C | Asphaltene<br>% | Erdölharz<br>% | Asphaltöle<br>% |
|---------------------|------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Kalifornische . . . | 50                     | 6,89            | 44,16          | 48,95           |
| Mexikanische . . .  | 56                     | 22,29           | 33,14          | 44,57           |
| Trinidadbitumen .   | —                      | 33,21           | 34,77          | 32,02           |

Die drei Hauptbestandteile der Asphalte sind: Asphaltene, Erdölharz, Asphaltöle. Wie diese Bestandteile in den verschiedenen Asphaltarten verteilt sind, zeigt Tabelle 56.

Die Untersuchung ergab Werte gemäß Abb. 81.

Die Asphaltene werden am stärksten adsorbiert, dann die Erdölharze, am wenigsten die Asphaltöle. Harte Asphalte, die einen hohen Asphaltgehalt besitzen, werden stärker adsorbiert als weiche, was auch mit den Adsorptionskurven der Abb. 80 übereinstimmt, in der das asphaltreiche Trinidadbitumen ein stärkeres Adsorptionsvermögen hat als der asphaltarme kalifornische Asphalt.

Zur Nachprüfung der Adsorptionsversuche wurde der Einfluß des Adsorptionsvermögens auf die mechanische Festigkeit von Asphalt-Steinmehlmischungen untersucht bei einer Schichtstärke des Bindemittels von  $1\ \mu$ . Die Errechnung der je Flächeneinheit nötigen Bindemittelmenge wurde wieder nach der Pöpelschen Formel vorgenommen. Als Probekörper diente ein Zylinder von 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe, der mit einer Pressung von 240 kg/qcm hergestellt wurde. Für die Untersuchung der Zerreißfestigkeit wurden ebenfalls bestimmte Probekörper angefertigt.

Im großen und ganzen entsprechen die mechanischen Eigenschaften dem Adsorptionsvermögen. Die Schiefermehlmischungen zeigen die besten Festigkeitswerte, Quarzmischungen die geringsten.

Wenn die Mischungen nach dem Prinzip der gleichen Schichtdicke je Steinmehlkorn zusammengesetzt werden, so werden die Mischungen mit groben Mehlen, d. h. mit kleiner Oberfläche viel magerer als solche

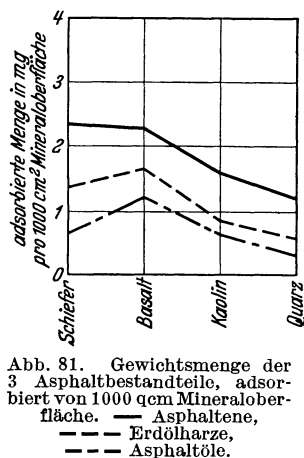


Abb. 81. Gewichts- und Flächenmenge der 3 Asphaltbestandteile, adsorbiert von 1000 qcm Mineraloberfläche. — Asphaltene, - - - Erdölharze, - - - Asphaltöle.

mit feinen Mehlen, bei denen das gleiche Gewicht des Steinmehles in eine viel größere Bindemittelmenge eingebettet ist. Um Mischungen zu erhalten, die in ihrem Aufbau besser zu vergleichen sind, wurde die Schichtdicke des Bindemittels von der Korngröße abhängig gemacht und Mischungen hergestellt mit gleichem Verhältnis von mittlerer Korngröße zu Bindemittelschichtdicke, also  $\frac{d_m}{D_s} = \text{Konstante}$ . Die Berechnung des mittleren Korndurchmessers erfolgte mit der Pöpelschen Formel, welche die Abhängigkeit des Korndurchmessers vom Feinheitsgrad des Mehles ausdrückt:

$$d_m = \frac{0,0234}{\sqrt{f^3}}, \quad f = \text{Feinheitsgrad.}$$

Für die Versuche wurden Mehle mit einem mittleren Korndurchmesser gemäß Tabelle 58 benutzt.

Als Vergleichsmaßstab wurde Basalt mit  $d_m = 28 \mu$  und ein Verhältnis von mittlerem Korndurchmesser zu Bindemittelschichtdicke von 28:1,5 gewählt. Probekörper wurden hergestellt und Prüfungen wurden vorgenommen wie bereits angegeben.

Für Mexphalt E ergaben sich Werte der Tabelle 59.

Tabelle 58.

| Gesteinsart  | Mittlerer<br>Korndurchmesser<br>$\mu$ |
|--------------|---------------------------------------|
| Schiefer . . | 13                                    |
| Basalt. . .  | 28                                    |
| Quarz. . .   | 37                                    |

Tabelle 59.

| Gesteinsart  | Druckfestigkeit<br>kg/qcm | ZerreiBfestigkeit<br>kg/qcm |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| Schiefer . . | 43 (55)                   | 7 (7,7)                     |
| Basalt . . . | 43 (23)                   | 6,4 (3,0)                   |
| Quarz . . .  | 27 (10)                   | 5,4 (2,3)                   |

Die bei den vorhergehenden Versuchen erzielten Festigkeiten sind in Klammern beigelegt. Die Versuche zeigen, daß die mechanischen Eigenschaften ähnlicher werden, wenn die räumlichen Verhältnisse der Mischung sich besser entsprechen. Immerhin bleibt die Reihenfolge der Güte bestehen.

Die Versuche sind deshalb so ausführlich wiedergegeben, weil hier ein neuer Weg gewiesen wird, um den Einfluß von Stoffart und Verteilung auf das Endprodukt vorher zu bestimmen. Die Versuche zeigen ferner für die Mischerei eine Reihe grundsätzlicher Überlegungen, die gegenüber der heute noch vielfach üblichen Arbeitsweise mit rohen Gewichtsrezepten eine erhebliche Verfeinerung der Vorstellungen darstellt.

Gegen die Versuche könnte eingewendet werden, daß sie bei sehr schwachen Bindemittelkonzentrationen vorgenommen worden sind, wie



1 g je Liter. Es scheint aber, daß die Adsorptionskurven einen guten Anhalt geben, weil die Adsorption bei höherer Konzentration nicht wesentlich anders verläuft als bei niederer. Erwünscht wäre eine Ergänzung derartiger Versuche mit den in anderen Industrien gebräuchlichen Rohstoffen und einer Prüfung der mechanischen Festigkeit gemäß den für viele Stoffe in der Elektroindustrie festgelegten Prüfverfahren und Probekörpern.

## VIII. Kunsthharze.

### A. Die verschiedenen Kunsthharze.

#### 1. Der Name Bakelite.

Die mit Kunsthharzen als Bindemittel hergestellten Kunststoffe beschäftigen seit einigen Jahren die Öffentlichkeit vieler Länder. Rührige Unternehmer haben es verstanden, die Aufmerksamkeit auf die aus Kunsthharz hergestellten Gegenstände zu lenken. Wenn auch der Verbrauch an Kunsthharz stark gestiegen ist, so steht der wirtschaftliche Erfolg der Industrie, die Kunsthharze verarbeitet, in einem gewissen Mißverhältnis zu den Anstrengungen der Erfinder und der Kaufleute.

Auch die aus Kunsthharzen hergestellten Kunststoffe verbergen sich unter hunderten von verschiedenen Bezeichnungen. Das bekannteste Kunsthharz ist das Bakelite, so genannt nach seinem Erfinder L. H. Baekeland. Bakelite ist eine der Bakelite-Gesellschaft geschützte Bezeichnung. Die Bakelite-Gesellschaft behauptete bis zum Ablauf des berühmten Druck- und Hitzepatentes eine Monopolstellung auf dem Gebiete der Kunsthharze. Weil Bakelite lange Zeit das einzige zur Verfügung stehende Kunsthharz war, so wird die Bezeichnung Bakelite oft auf Kunsthharze angewendet, auch wenn sie nicht von der Bakelite-Gesellschaft hergestellt sind. Jetzt werden ähnliche Kunsthharze auch von anderen Firmen auf den Markt gebracht. Häufig wird die Bezeichnung, die für das reine Kunsthharz richtig ist, auf die aus Kunsthharzen hergestellten Stoffe fälschlich angewendet. Z. B. wird die aus Kunsthharz und Holzmehl hergestellte Mischung, und zwar sowohl das Preßpulver, als auch die daraus gefertigten Gegenstände, als Bakelite bezeichnet, während richtiger, wenn auch umständlicher, von Kunsthharz-Holzmehlpreßpulver oder von Kunsthharz-Holzmehlpreßteilen oder Preßstoffen gesprochen werden sollte. Ebenso werden die durch Aufeinanderkleben von Papierschichten mit Kunsthharz hergestellten Hartpapiere als Bakelite bezeichnet, während die richtige Bezeichnung Kunsthharzhartpapier ist.

Kunsthharze sind in dem Bestreben entstanden, Naturharze zu ersetzen. Das erste Ziel der zahlreichen Chemiker, die sich mit Kunsthharzen beschäftigten, war der Ersatz von Schellack und Kopal. Die später hergestellten Kunsthharze, z. B. das Bakelite, besitzen aber eine

Eigenschaft, die bei Naturharzen nicht vorhanden ist, nämlich die Härthbarkeit. Die neuen Kunstharze können als Bindemittel von Schnellpreßmassen in Bruchteilen einer Minute aus dem leicht schmelzbaren Anfangszustand in den festen, unschmelzbaren Endzustand überführt werden.

## 2. Geschichtliches<sup>1</sup>.

Bereits 1872 erhielt A. v. Baeyer einen harzartigen Stoff durch Einwirkung von Phenol auf Formaldehyd in Gegenwart von Salzsäure. Bei dem damals sehr hohen Preis von Formaldehyd hatten diese Versuche aber keine wirtschaftliche Bedeutung. Erst als Ende der 80iger Jahre des vorigen Jahrhunderts Formaldehyd durch Oxydation von Methylalkohol im großen billig hergestellt werden konnte, fand der Vorgang der Harzbildung wieder die Aufmerksamkeit der Forscher, unter anderem von Kleeberg (1891), Tollens und Hosaeus, sowie von Abel (1892). Unter Verwendung von Formaldehyd im Überschuß und von verschiedenen Phenolkörpern wie Phenol, Resorzin und Pyrogallol in Anwesenheit starker Säuren, wie konzentrierter Salzsäure, Schwefelsäure usw. entstanden harzartige Stoffe, die in den gewöhnlichen Lösungsmitteln unlöslich waren und auch von Alkalien und Ammoniak nicht aufgenommen wurden, und die wahrscheinlich den heutigen Endprodukten der Härtung entsprachen. Anfang dieses Jahrhunderts wurden bereits zahlreiche Patente auf die Herstellung von Kunstharzen unter Verwendung von Säuren als Katalysatoren genommen, so durch Luft (1902), Blumer (1902). De Laire (1905) beschrieb die Darstellung von Phenolalkoholen und der aus ihnen im Vakuum entstehenden löslichen und schmelzenden Harze. L. H. Baekeland meldete seine grundlegenden Patente 1907 und 1908 an. In Deutschland waren dies Patent Nr. 281 454, das die Herstellung von Harzen durch Kondensation von Phenol und Formaldehyd unter Verwendung von Ammoniak und anderen basischen Kondensationsmitteln schützte, bis 1921 in Kraft; ferner das berühmte Druck- und Hitzepatent Nr. 233 803, durch dessen Erlöschen im Januar 1931 in Deutschland der Markt für härtbare Kunstharze erst frei wurde, ferner D.R.P. 237 790.

Dr. Leo H. Baekeland hat sich über die Entwicklung seiner Arbeiten auf dem Kunstharzgebiet selbst ausgesprochen<sup>2</sup>. Baekeland hatte nach seinen Erfahrungen bei Verwertung seiner ersten erfolgreichen Erfindung, des Velox-Gaslichtpapieres zum Kopieren von Photographien, beschlossen, nicht mehr selbst zu fabrizieren, sondern nur Lizenzen auf seine Erfindungen zu vergeben. Er mußte aber bald feststellen,

<sup>1</sup> Scheiber, J. u. K. Sändig: Die künstlichen Harze. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1929. Ferner O. Nonvel: Die Industrie der Phenol-Aldehyd-Harze, Halle, Wilh. Knapp 1931.

<sup>2</sup> Baekeland, Dr. Leo H.: J. chem. Education, Juni 1932, Auszug Plastics 1932 S. 348.

daß die Verarbeiter des Harzes, die an alte Verfahren gewöhnt waren, mit dem neuen Bindemittel nicht zu arbeiten verstanden. Er errichtete daher selbst eine Kunstharzfabrik, zunächst aus eigenen Mitteln und schuf sich, unabhängig von der Fabrik, ein Laboratorium mit 4 Assistenten. Das Laboratorium wurde im Laufe der Jahre zu einer fabrikähnlichen großen Anlage erweitert. Nach Baekelands Meinung findet von tausend erteilten Patenten eine erfolgreiche Anwendung. Ein Zeichen für den Wert eines Patentes ist der Versuch, es zu verletzen oder zu umgehen. Baekeland hatte zahlreiche Patentstreitigkeiten zu bestehen, die er zu den schlimmsten seiner unangenehmen und zeitraubenden Erfahrungen zählt. Aber er hatte Glück, denn er gewann alle Patentprozesse und manchen seiner Prozeßgegner zum Freund und Mitarbeiter.

Als sich Baekelands Unternehmen zu entwickeln begann, gingen unabhängig von ihm Aylsworth und Redman die Herstellung von Condensite und Redmanol an. Im Jahre 1916 stritten sich Baekeland und Redman mit seinen Mitarbeitern Weith und Brock, sowie Brown über das Verhältnis von Redmans Verfahren zu Baekelands Erfindungen<sup>1</sup>. Schließlich führte der Patentstreit zu einem Ausgleich der widerstreitenden Interessen, so daß jetzt alle drei Kunstharze in den Vereinigten Staaten unter der Führung der Bakelite Corporation hergestellt werden.

Bei der Besprechung der Naturharze wurde schon darauf hingewiesen, daß der Begriff Harz nicht eindeutig chemisch oder physikalisch zu bestimmen ist. Harz ist ein praktischer Begriff, der unter anderem auf Stoffe angewendet werden kann, die in der gekühlten Schmelze nicht kristallisieren und die aus Stoffgemischen organischer Herkunft bestehen.

### 3. Kondensation und Polymerisation.

Kunstharze können durch Kondensation oder durch Polymerisation entstehen. Unter Kondensation wird die chemische Vereinigung zweier verschiedener Körper nach Austritt einfacher Molekülbestandteile verstanden, die allein nicht bestehen können und zu einfachen Verbindungen, z. B. zu Wasser zusammentreten. Aus dem durch Kondensation gebildeten Stoff können die ursprünglichen Bestandteile gewöhnlich nicht wieder abgetrennt, abgeschieden oder zurückgebildet werden. Die gebräuchlichsten Kunstharze z. B. Phenol-Formaldehydharze und die Harnstoff-Formaldehydharze entstehen durch Kondensation.

Polymerisation ist die Zusammenlagerung gleichartiger Moleküle zu größeren Gruppen, die ohne Abspaltung z. B. von Wasser vor sich geht und die beim Erstarren von chinesischem Holzöl und anderen fetten Ölen erwähnt wurde. Voraussetzung für die Polymerisation ist, daß die Anfangsgruppe chemisch ungesättigt ist.

<sup>1</sup> Ellis, S. Carleton: *Synthetic Resins and their plastics*, S. 94. New York: The Chemical Catalog Co. 1923.

#### 4. Übersicht über die verschiedenen Kunstharzarten.

Die Kunstharze lassen sich nach den verwendeten Rohstoffen einteilen.

Wie die außerordentlich umfangreiche Patentliteratur zeigt, sind sehr verschiedene Rohstoffe zur Herstellung von Kunstharzen benutzt worden. Wirtschaftliche Bedeutung haben aber nur die Kunstharze erlangt, die Kondensationsprodukte von Phenol oder Kresol und Formaldehyd sind. In den letzten Jahren beginnen auch die aus Harnstoff oder Thioharnstoff und Formaldehyd hergestellten Harze größere Bedeutung, namentlich für hellfarbige Gegenstände, zu gewinnen.

Ein neuer Stoff ist ein Polymerisationsprodukt von Styrol, Polystyrol, er stellt ein glasklares Kunstharz mit ausgezeichneten isolierenden Eigenschaften dar.

Aus der Reihe der anderen Kunstharze seien noch die aus Furfurol und Formaldehyd kondensierten dunkelfarbigten Harze genannt, ferner das in den Vereinigten Staaten und in England entwickelte Glyptal, aus Glyzerin und Phthalsäure, schließlich das in Frankreich durch Polymerisation von Akrolein hergestellte Kunstharz Orca. Die Versuche, einen billigen Abfallstoff aus der Saccharinherstellung, das p-Toluolsulfochlorid, mit Salzen der Harzsäure, Weichpech, Anthrazenöl oder anderen phenolhaltigen Stoffen zur Kunstharzherstellung zu verwenden, scheinen noch nicht zu einer Herstellung im großen geführt zu haben.

#### 5. Phenol-Formaldehydharze.

**Rohstoffe.** Die wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung von Kunstharzen sind Phenol oder Kresol und Formaldehyd.

Reines Phenol, Karbolsäure,  $C_6H_5OH$ , ist eine farblose, aus langen Nadeln bestehende Kristallmasse, die bei  $39-41^\circ$  erstarrt und bei  $183$  bis  $184^\circ$  siedet. Spezifisches Gewicht bei  $15^\circ$  1,066. Reines Phenol hat einen charakteristischen Geruch, der früher die Atmosphäre der Krankenhäuser kennzeichnete, als Karbolsäurelösungen noch die wichtigsten Desinfektionsmittel waren. Phenol ist giftig und wirkt auf die Haut stark ätzend. Schon durch geringe Mengen Wasser läßt es sich bequem verflüssigen. Phenol ist ein Bestandteil des Steinkohlenteers.

Für die Herstellung von Kunstharzen werden hauptsächlich zwei Handelsorten gebraucht<sup>1</sup>:

100%ige flüssige Karbolsäure, hell (Cresolum crudum D.A.B. IV.) eine klare gelbliche bis gelbbraune ölige Flüssigkeit, die beim Stehen dunkler wird.

Reinkresol, eine wasserhelle Flüssigkeit, mit den Siedegrenzen  $185$  und  $205^\circ$ , frei von Kohlenwasserstoffen, nur Spuren von Phenol und höheren Homologen enthaltend.

<sup>1</sup> Scheiber, J. u. K. Sändig: Die künstlichen Harze.

Die in den Handelskresolen immer vorhandenen drei Isomeren Ortho-, Meta- und Parakresol haben folgende Kennzahlen:

Tabelle 60.

|          | Siede-<br>punkt ° C | Erweichungs-<br>punkt ° C | Spez.<br>Gewicht<br>bei 15° C |
|----------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| o-Kresol | 190,8               | 30,5                      | 1,0511                        |
| m- „     | 202,8               | nicht unter 10,6          | 1,039                         |
| p- „     | 201,8               | „ „ 35                    | 1,039                         |

Diese drei Arten von Kresol reagieren mit Formaldehyd verschieden leicht und ergeben verschiedenartige Harze. Für m-Kresol soll die Reaktionsgeschwindigkeit fünfmal so groß sein wie für

o- oder p-Kresol. Das Harz aus m-Kresol und Formaldehyd ist besonders hart und widerstandsfähig, Abb. 82<sup>1</sup> zeigt die höhere Geschwindigkeit der Harzbildung bei m-Kresol im Vergleich mit anderen Kresolen

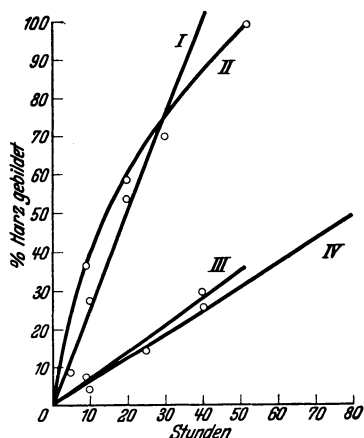


Abb. 82. Reaktion zwischen Phenolen und Formaldehyd.  
I m-Kresol, II technisches Kresol,  
III Kresolgemisch, IV Phenol.

nach Versuchen von Scheiber. Verwendet wurde außer dem m-Kresol ein technisches Kresol, ein dem technisch Kresol gleiches Gemisch aus 40% m-Kresol, 30% p- und 30% o-Kresol und reines Phenol mit je der gleichen molekularen Menge gereinigter 25% iger Formaldehydlösung und einem Zusatz von Alkohol, ohne Kondensationsmittel. Die Versuchsbedingungen wurden in allen Fällen sorgfältig gleichgehalten. Der beschleunigende Einfluß der in den technischen Produkten enthaltenen Verunreinigungen ist im Bild deutlich bemerkbar.

Formaldehyd HCHO ist ein stechend riechendes Gas, das im Handel ist als 30% ige (Gewichtsprocente) oder 40% ige wäßrige Lösung (Volumenprocente etwa 36,5 Gewichtsprocente, bei spezifischem

Gewicht 1,08). Die als Formol oder Formalin bezeichnete Lösung enthält als Verunreinigung geringe Mengen, bis zu 0,2% Ameisensäure und besonders in der stärkeren Lösung größere Mengen Methylalkohol. Die Bezeichnung Aldehyd ist nach Liebig entstanden aus Al(kohol)dehyd(rogenatus). Formaldehyd wird auch in polymerisiertem Zustand, z. B. als Trioxymethylen oder Paraformaldehyd, ferner in seiner Verbindung mit Ammoniak, dem Hexamethylentetramin,  $C_6H_{12}N_4$  verwendet. Formaldehyd entsteht durch Oxydation von Methylalkohol, indem dessen Dämpfe in Mischapparaten mit Luft vermischt und über Katalysatoren, z. B. über glühende Platinspiralen oder über erhitzte Kupferdrahtnetze geleitet werden. Die Formaldehyddämpfe gehen dann über einen Kühler und durch Waschflaschen. Methylalkohol ist ein Bestandteil des Holz-

<sup>1</sup> Die künstlichen Harze, Abb. 5.

teers, wird aber auch nach dem Verfahren der I. G. Farbenindustrie synthetisch aus Kohlenoxyd und Wasserstoff gewonnen. Formaldehyd wird auch direkt durch Oxydation von Äthylen hergestellt.

**Herstellung.** Die Bildung eines Phenol-Formaldehydharzes geht i. a. so vor sich<sup>1</sup>. Phenol und Formaldehydlösung werden in passenden Mengen und nach Zusatz von Katalysatoren in einem mit einem Mantel versehenen Kupferkessel allmählich durch Dampf erwärmt. Die Stoffe wirken bald unter erheblicher Wärmeentwicklung aufeinander ein, so daß die Heizung unterbrochen und gekühlt werden muß, um die Harzbildung nicht zu weit zu treiben und Überkochen zu verhindern. Nach mehrstündigem Erwärmen setzen sich im Kessel zwei Lagen ab, das dickflüssige, sirupartige Harz am Boden, darüber Wasser. Das Wasser wird abgezogen, die zurückbleibende dicke Flüssigkeit weiter erwärmt, oft auch im Vakuum, um weiteres Wasser durch Verdampfen zu vertreiben. Soll festes Harz gebildet werden, so wird der durchscheinende Sirup in flache Gefäße zum Abkühlen und Erstarren abgelassen. Je mehr das Harz eindickt, um so schwieriger wird die Überwachung der Temperatur, von der der Kondensationsgrad und damit die wichtigsten Eigenschaften des entstehenden Harzes abhängen. Beim Eindicken ändert sich auch die Wärmeleitfähigkeit des Harzes. Gewisse Schwierigkeiten bereitet auch die plötzliche starke Wärmeentwicklung am Anfang der Kondensation. Geht die Erwärmung und dadurch auch die Kondensation zu weit, so kann die ganze Harzmenge in einen kautschukähnlichen oder auch in einen harten, von Blasen durchsetzten, unlöslichen und unbrauchbaren Zustand übergehen, in dem sie sich überdies nur schwer aus dem Kessel entfernen läßt.

Um diese Schwierigkeiten besser zu überwinden, teilte Baekeland diesen Vorgang in zwei Stufen. Der erste Teil des Eindickens erfolgt ohne Katalysator, die Reaktion beginnt bei 140–165° unter Kühlung. Das Fortschreiten der Kondensation wird durch Messung der Viskosität und des Schmelzpunktes überwacht. Für den zweiten Teil der Harzbildung wird dem zuerst erhaltenen Sirup mehr Formaldehyd und auch der Katalysator zugesetzt und das verdünnte Harz weiter erhitzt.

Je nach der Natur des angewendeten Katalysators entstehen die wiederholt schmelzbaren oder die härtbaren Harze, und zwar i. a. die härtbaren durch Verwendung von basischen Kondensationsmitteln; so benutzte Baekeland als solches Ammoniak. An Stelle oder neben dem Ammoniak werden auch dessen Verbindungen gebraucht, z. B. Hexamethylenetetramin. Nach dem amerikanischen Patent Nr. 1242592 vom Jahre 1917 erhält Redman ein lösliches schmelzbares Harz aus Phenol oder Kresol und Hexa, das durch Behandlung mit mehr Hexa in den unlöslichen und unschmelzbaren Zustand übergeführt werden

<sup>1</sup> Barry, T. H., A. A. Drummond, R. S. Morrell: *The Chemistry of the Natural and Synthetic Resins*, S. 118. New York: D. van Nostrand Co. 1926.

kann; hierbei wird eine Mischung von 11 Mol Phenol oder 10 Mol Kresol und 1 Mol Hexa angewendet. Ein typischer Prozeß dieser Art wird so durchgeführt: 48 kg Phenol und 6,35 kg Hexa werden bis zu 130° erhitzt. Die Reaktion beginnt unter Wärmeentwicklung und steigert die Temperatur auf 180°, wobei Ammoniak frei wird. Nachdem die Ammoniakabgabe aufgehört hat, wird das Reaktionsprodukt bei 183° etwa 5 Stunden gekocht, um den Stickstoff bis auf geringe Reste zu vertreiben. Soll härthbares Harz entstehen, so wird die Kochung auf 105° abgekühlt und 6,8 kg Formaldehyd sowie 0,23 kg Hexa zugefügt; dann wird weiter auf 65–75° gekühlt, bis das Harz hart wird. Das klare, bernsteinartige Harz ist etwa so spröde wie Kolophonium, es ist leicht schmelzbar und leicht löslich in Alkohol und anderen Lösungsmitteln.

Dagegen entstehen mit Säuren als Kondensationsmittel die Harze, die auch durch wiederholtes Erwärmen nicht in den gehärteten Zustand übergehen, die also schmelzbar bleiben. Mit Säuren kondensierte Harze sind i. a. heller als mit Basen kondensierte, die eine rötlich-gelbe Farbe haben; sie sollen als Schellackersatz dienen.

Die von Baekeland zuerst erfolgreich durchgeführte technische Verwertung von härthbaren Phenol-Formaldehydharzen lenkte die allgemeine Aufmerksamkeit auf diese Kunstharze. Teils um die durch weitgehenden Patentschutz gesicherten Verfahren Baekelands zu umgehen, teils um sie zu verbessern, sind eine sehr große Zahl von Abänderungen der erwähnten Herstellungsverfahren vorgeschlagen worden. So ist eine gewaltige Patentliteratur auf dem Gebiete der Kunstharze entstanden<sup>1</sup> und die führenden Firmen, sowie zahlreiche Erfinder haben sehr große Mühe und Mittel auf die keineswegs leichte Lösung der Aufgabe verwendet, einwandfreie Kunstharze herzustellen. Gegenstand der Erfindungen waren: die Reaktionsführung im allgemeinen, Art, Menge und Anwendung der Kondensationsmittel, Reinigung der Reaktionsprodukte, Methode der Umwandlung, plastifizierende Zusätze, Füllstoffe, Farben usw.

Außer der Natur des Katalysators ist das Mengenverhältnis von Phenol und Formaldehyd bestimmend für die Art des entstehenden Harzes. Werden 2 Moleküle Phenol mit 1 Mol Formaldehyd kondensiert, so entstehen Harze, die beim Erhitzen flüssig werden und flüssig bleiben und nach dem Erkalten ihre Eigenschaften nicht verändert haben. Kondensiert man dagegen 1 Mol Phenol mit 1 Mol oder mehr Formaldehyd, oder fügt man den wiederholt schmelzbaren Harzen Formaldehyd zu, so geht das so gebildete Harz bei genügender Erwärmung

<sup>1</sup> Übersicht über die Deutsche Patentliteratur siehe W. Karo: Kunstharze. Berlin: Allgem. Industrie-Verlag G. m. b. H. 1932, mit kurzer Inhaltsangabe von 462 Patenten. Ferner O. Kausch: Handbuch der künstlichen plastischen Massen. München: J. F. Lehmann 1932. O. Nouvel: Die Industrie der Phenol-Aldehyd-Harze. Halle: Wilh. Knapp 1931.

in den unschmelzbaren Zustand über. Die Harze haben nach dem Erhitzen ihren Phenolcharakter verloren und lösen sich nicht mehr in wäßriger Natronlauge. Die nicht erhärteten Harze nannte Baekeland Novolake, während er die härtbaren Harze je nach dem Fortschritt der Erhärtung als Bakelite A, B und C bezeichnete. Lebach, der gleichzeitig mit Baekeland auf dem Gebiet der Kunstharze wertvolle Arbeit leistete, hat für die härtbaren Harze den Namen Resole, für die gehärteten Harze den Namen Resite eingeführt. Die drei Bezeichnungen für die verschiedenen Zustände der härtbaren Harze wählte Baekeland in der Erkenntnis, daß die Harzbildung sich auch in drei Stufen durchführen läßt. Das Harz im Zustand A, das Ergebnis der Anfangskondensation, kann bei Zimmertemperatur dünn- oder dickflüssig, salbenartig oder fest sein; es ist löslich in Alkohol, Azeton, Phenol und ähnlichen Lösungsmitteln, löslich auch in wäßriger Natronlauge. Das feste Harz A ist ziemlich spröde und schmilzt beim Erhitzen. Alle Arten des Harzes A gehen, wenn sie lange genug erhitzt werden, erst in den Zustand B, dann in den Zustand C über. Harz B ist bei allen Temperaturen fest, bei Zimmertemperatur noch spröde, aber etwas härter als festes A-Harz. Das Harz B ist nicht mehr löslich, es quillt aber z. B. in Azeton und Phenol. Beim Erhitzen erweicht es ohne zu schmelzen, wird nachgiebig und etwa kautschukähnlich, beim Abkühlen wird es wieder hart und spröde. Wenn das Harz im Zustand B beim Erhitzen auch nicht mehr schmilzt, so ist es doch erweichbar und kann unter Druck in einer heißen Form zu einer gleichmäßigen, festen Masse verdichtet werden unter Anwendung bestimmter Fasern und Füllmittel. Durch weiteres Erhitzen geht das Harz in den Zustand C über, es ist dann unschmelzbar und unlöslich in allen Lösungsmitteln, wird von Azeton und fast allen schwachen Säuren nicht angegriffen und widersteht dem Angriff alkalischer Lösungen viel besser. Durch kochende konzentrierte Schwefelsäure wird es zerstört, widersteht aber kochender verdünnter Schwefelsäure. Bei Temperaturen über  $300^{\circ}$  zersetzt es sich und verkohlt schließlich ohne zu schmelzen.

**Vorgang der Harzbildung.** Die Kunstharze, die aus Phenol oder Kresol und Formaldehyd oder aus Formaldehyd und Harnstoff oder Thioharnstoff entstehen, gehören zu den hochmolekularen Stoffen. Meyer und Mark sagen, daß bei diesen Stoffen die Möglichkeit zur Bildung sehr großer Moleküle gegeben ist. Da das Phenol drei Stellen hat, an denen es sich verknüpfen kann, so können nicht nur Ketten, sondern „vernähte Ketten“, Netze und dreidimensionale Gebilde entstehen. Mit dieser Auffassung stimmt das hohe spezifische Gewicht des auskondensierten Harzes überein, seine Hitzebeständigkeit, seine Unlöslichkeit und sein amorpher, gittermäßig nicht geordneter Zustand. Die Verschiedenheit der drei Zustände des Bakelites und der anderen ähnlichen Kunstharze wird darauf zurückgeführt, daß die durchschnittliche



Molekülgröße infolge der verschieden weit vorgeschrittenen Kondensation verschieden groß ist<sup>1</sup>.

Einer der Pioniere auf dem Gebiet der Edeldkunstharze, der langjährige Leiter des chemischen Laboratoriums der Firma F. Raschig, Ludwigshafen, Dr. Max Koebner teilt Beobachtungen und Versuche mit, die für die Erklärung der Harzbildung wichtig sind<sup>2</sup>. Baekeland selbst, und viele andere Chemiker wie Wohl, Mylo, Herzog und Kreidel nahmen an, daß zwischen den Novolaken, den schmelzbar bleibenden Harzen, und den Resiten, den unschmelzbar gewordenen Harzen, ein grundlegender Unterschied besteht, der durch Wasserabspaltung, durch Polymerisation oder Tautomerisation entstanden ist. Dem widerspricht Koebner auf Grund seiner Versuche. An Stelle von Phenol verwendete Koebner Parakresol, kondensierte dies mit Formaldehyd mittels Salzsäure und gelangte so zu zwei kristallisierbaren Körpern mit bestimmtem Schmelzpunkt, die, der Elementaranalyse unterworfen, fast gleichen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt zeigten, aber bei der Molekulargewichtsbestimmung für den einen bei 126° schmelzenden Körper ein Mol-Gewicht 228, für den anderen höher bei 215° schmelzenden, ein Mol-Gewicht 348 ergaben. Der erste Körper stellt eine zweigliedrige, der zweite eine dreigliedrige Kette dar, die Koebner Dikörper und Trikörper nennt. Aus 2 Mol Dikörper und Formaldehyd läßt sich der Tetrakörper, aus 2 Mol Trikörper und Formaldehyd der Hexakörper usw. aufbauen. Die für die Aufklärung des Bakelitprozesses wichtige Entdeckung besteht darin, daß diese Körper, je länger die Kette und je höher ihr Molekulargewicht wird, um so schwerer in wäßriger Natronlauge löslich und schließlich unlöslich werden. Diese Körper aus Parakresol und Formaldehyd sind in vieler Hinsicht den Resiten aus Phenol und Formaldehyd ähnlich, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, daß sie in alkoholischer Natronlauge löslich sind, während die Phenolresite sich auch in alkoholischer Natronlauge nicht lösen.

„Verwendet man ein Verhältnis von 1 Mol Phenol zu 1 Mol Formaldehyd, dann entstehen in einer Reaktion die langen Ketten der Resite, die in Natronlauge unlöslich sind. Verwendet man Mischungen von Novolaken mit genügenden Mengen Formaldehyd, so schieben sich bei erhöhter Temperatur Formaldehydreste zwischen die kurzen Ketten, aus denen die Novolake bestehen und bilden die für die Resite charakteristischen langen Ketten. Verwendet man statt des für obige Beispiele der Einfachheit wegen gewählten Parakresols das Phenol oder Metakresol, welche beide drei substituierbare Wasserstoffatome besitzen,

<sup>1</sup> Meyer, K. H. u. H. Mark: Aufbau der hochpolymeren organischen Naturstoffe. Leipzig: Akadem. Verlagsgesellschaft m. b. H. 1930 S. 75.

<sup>2</sup> Plastische Massen 1931 Heft 1 S. 1. Siehe auch M. Koebner: Aufbau der Phenoplaste. Z. angew. Chem. 1933 S. 251.

dann ist Gelegenheit gegeben, nicht nur zur Bildung so einfacher Ketten, wie das Parakresol sie zu bilden gezwungen ist, es können vielmehr verzweigte Ketten entstehen. Jedes Molekül kann demnach geradezu ein Netzwerk vorstellen, und jedes Molekül kann anders konstituiert sein, so daß für den nach kristallisierbaren Zwischenkörpern suchenden Chemiker kaum Aussicht besteht, dieses Wirrsal zu entmischen.“

## 6. Preßharze.

Der größte Teil der erzeugten Kunstharze wird nicht rein und im Zustand C verarbeitet, sondern dient im Zustand A als Bindemittel verschiedener Kunststoffe. Die erste Entwicklung dieser Preßstoffe erfolgte auf dem Gebiet der Elektrotechnik, wo die mit Kunstharzen hergestellten Mischungen zu Isolierpreßteilen verarbeitet wurden.

Die Herstellung von guten und gleichmäßigen Kunstharzen ist sehr schwierig. Sie setzt lange Erfahrungen und eine sorgfältige Überwachung voraus. Auch nach Ablauf der Grundpatente werden heute in Deutschland Kunstharze nur von wenigen Firmen hergestellt.

Da es möglich ist, daß in einer Harzmenge nicht alle Teile gleichmäßig weit kondensiert sind, so kann ein Gemenge von Harzen mit verschiedener Molekülgröße und daher auch mit verschiedenen Eigenschaften, wie Schmelzbarkeit oder Wärmebedarf für Überführung in den C-Zustand, vorliegen. Ist schon das in den Naturharzen vorliegende Gemenge sehr schwer chemisch zu definieren, so liegt beim Kunstharz zwar ein fast aschefreies, von Verunreinigungen fast reines Produkt vor, aber doch ein Gemenge von chemischen Individuen schwankenden Charakters. Hierdurch erklären sich wohl die Abweichungen in den verschiedenen Lieferungen der Kunstharzfabriken, auch wenn diese große Erfahrungen besitzen und den Herstellungsgang sorgfältig überwachen.

Die härtbaren Kunstharze werden als Lacke und Klebemittel verarbeitet, der größere Teil findet aber als Bindemittel für Preßmischungen Verwendung. Da die Zahl der Pressereien, die keine Mischeinrichtungen besitzen, ständig zunimmt und die Herstellung der Preßmischungen eine schwierige Aufgabe ist, so liefern die genannten Firmen die Harze auch zu preßfertigen Mischungen verarbeitet.

Die festen A-Harze sehen ähnlich aus wie Kolophonium, ihr Schmelz- und Erweichungspunkt liegt zwischen 50—70°, ihr spezifisches Gewicht bei 1,18—1,2. Beim Lagern behalten diese Harze ihre Löslichkeit längere Zeit, wenn auch eine gewisse Reifung eintritt, durch die der Schmelzpunkt auf 80—90° steigt. Dabei können sich in dem ursprünglich klaren Harz nesterartige Trübungen bilden, die infolge der fortschreitenden Kondensation durch kolloidale Ausscheidungen von Wasser entstehen, ohne die Brauchbarkeit des Harzes zu beeinträchtigen<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Scheiber, J. u. K. Sändig: Die künstlichen Harze.

Die flüssigen A-Harze sind gelbbraune bis dunkelbraune, sirupartige Flüssigkeiten mit einem spezifischen Gewicht zwischen 1,14—1,20. Bei mehrmonatlichem Stehen und vor allem bei dauernder Erwärmung neigen diese nur vorkondensierten Harze zum Verdicken, während bei vorübergehender mäßiger Erwärmung die Zähflüssigkeit sinkt. Beim Stehen scheidet sich an der Oberfläche Wasser ab, teils infolge der fortschreitenden Kondensation, teils infolge von synäretischen Vorgängen im kolloiden System Harz — Wasser. Durch Zusatz von geringen Mengen Spiritus kann diese Veränderung verzögert werden. Dagegen ist die Lösung des festen A-Harzes in Spiritus unter Verschuß lange Zeit unverändert haltbar. Die Phenol-Formaldehydharze im Zustand A lösen sich vollkommen in Spiritus, Butyl-, Amyl-Alkohol usw. in Glycerin, Phenolen, Äther, Azeton und Natronlauge, sie sind jedoch in Benzol und Benzinkohlenwasserstoffen, in Terpentinöl, fetten Ölen usw. unlöslich. Infolge eines geringen freien Phenolgehaltes haben die Harze meist den charakteristischen Geruch der Karbolsäure, auch freier Formaldehyd macht sich durch stechenden Geruch bemerkbar. Die Harze sind frei von Verunreinigungen, der Aschegehalt ist sehr gering, meist 0,1% und weniger.

Für die Beurteilung der Güte eines Harzes sind nicht nur die Eigenschaften der fertigen Preßstücke, sondern auch die Ergiebigkeit und vor allem der Verlauf der Härtung wichtig.

Die Ergiebigkeit des Harzes wird bestimmt durch den Gewichtsverlust, den das Harz beim Übergang vom Zustand A zum Endzustand C erleidet. Dieser Verlust beträgt bei vorkondensierten flüssigen Harzen etwa 30%, bei festen Harzen 10—15%. Der Verlust wird ermittelt nach einem von der Firma Dr. Kurt Albert G. m. b. H. angegebenen Verfahren, in dem 3—5 g des Harzes auf einem Blechschälchen von etwa 60 mm Durchmesser verteilt und in einen vorher bereits auf 150° geheizten Trockenschrank gebracht werden. Alle halbe Stunde wird gewogen, bis eine nennenswerte Gewichtsverminderung nicht mehr eintritt.

Wird ein Harz im Zustand A allmählich erwärmt, so wird es zunächst dünnflüssig und schmilzt. Bei weiterer Wärmezufuhr schreitet die Kondensation fort, wobei sich Wasser abspalten und Dämpfe entstehen können. Schließlich beginnt das Harz unter Volumenverkleinerung zu erstarren. Für die leichte Verformbarkeit ist günstig, wenn das Harz nach möglichst kurzer Wärmezufuhr schnell dünnflüssig wird. Um aber den Formungsvorgang wirtschaftlich zu gestalten und möglichst schnell den Endzustand zu erreichen, ist es nötig, die Vorkondensation möglichst weit zu treiben. Diese beiden Forderungen widersprechen sich. Erstarrt das Harz zu rasch, so kann es seine Formbarkeit verlieren, noch ehe die Verformung durchgeführt ist. Die Güte eines Harzes für eine Preßmischung wird unter anderem davon abhängen, wieweit

die Vorkondensation getrieben ist und wie sich das Harz beim Erstarren verhält.

## 7. Harnstoff-Kunstharze.

In den letzten Jahren haben die aus Harnstoff-Formaldehyd kondensierten Harze und die aus ihnen hergestellten Preßstoffe, die Aminoplaste, zunehmende Bedeutung dadurch erlangt, daß sie sich lichtecht in weiß, elfenbein und in anderen hellen Farben, auch durchscheinend färben lassen. Die zuerst mangelnde Wasserbeständigkeit ist dadurch verbessert worden, daß neben dem Harnstoff auch Schwefelharnstoff verwendet wurde.

Der Harnstoff, Carbamid  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  wird synthetisch aus Kohle, Luftstickstoff und Wasserstoff gewonnen. Wegen seines hohen Stickstoffgehaltes findet er hauptsächlich als hochwertiges Düngemittel Verwendung. Harnstoff und Schwefelharnstoff reagieren mit Formaldehyd ähnlich wie Phenol. F. Pollack ließ nach D.R.P. 418055 vom Jahre 1921 die Kondensation von 1 Mol Harnstoff mit 2 Mol Formaldehyd in Gegenwart von Basen wie Ammoniak oder Hexa durch Erhitzen erfolgen. Zuerst bildet sich eine farblose, wasserhelle Flüssigkeit, dann eine in Wasser unlösliche, kautschukartige Masse, bei weiterem Erhitzen ein fester, harter durchscheinender, glasähnlicher Körper, der unschmelzbar und unlöslich in Alkalien und Säuren ist. Pollack nannte diesen Stoff, der heute von der Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff-A.-G. bzw. von der Dynamit-A.-G. vorm. Alfr. Nobel & Co. in Troisdorf hergestellt wird, Pollopal. Ein ähnliches Produkt ist das von der Römmler A.-G. hergestellte Resopal. Zwischen beiden Gesellschaften wurde um das D.R.P. 484972 vom Jahre 1922 ein Prozeß durch drei Instanzen geführt, bei dem der Streitwert 1 Million Mark betrug. Daraus geht hervor, welche wirtschaftliche Bedeutung heute den Aminoplasten beigemessen wird. Die Herstellung von Aminoplasten hat in einem Werk im Laufe des Jahres 1932 die Menge von 100 t monatlich überschritten.

Über die Verarbeitung, die Eigenschaften und die Verwendung der Aminoplaste wird im Zusammenhang mit den Phenoplasten berichtet.

Von den unzähligen anderen, in der Patentliteratur zu findenden Kunstharzen seien hier nur noch die aus Furfurol-Formaldehyd kondensierten, die aus Akrolein polymerisierten, die aus Phthalsäure und Glycerin polymerisierten und das Polystyrol erwähnt.

## 8. Furfurol.

Furfurol,  $\alpha$ -Furaldehyd,  $\text{C}_4\text{H}_3\text{O}$ . CHO ist eine farblose, sich an der Luft rasch bräunende Flüssigkeit, die als technisches Furfurol mit einem Furfurolgehalt von 98–99% auf den Markt kommt. Das spezifische Gewicht bei 20° ist 1,159–1,160. Es entsteht durch Destillation

von Pentosen und Pentosanen mit verdünnten Säuren. Da die Pentosane in vielen Zellulose enthaltenden Pflanzenteile wie in Holz, Weizenkleie, Maiskolben, Getreidehülsen, Stroh u. a. vorkommen, so stehen die Ausgangsstoffe für die Furfurolgewinnung in großen Mengen und billig, z. B. als Abfälle der Getreideernte zur Verfügung. Die Gewinnung aus Haferhülsen ist durch die Miners Laboratories in Chicago entwickelt worden. Nach deren Verfahren werden von der Quaker Oats Co in Cedar Rapids, Ja., in den Vereinigten Staaten große Mengen von Furfurol hergestellt. Die mit 5% iger Schwefelsäure angefeuchteten Haferschalen werden mit Dampf von 4 Atm. Druck hydrolysiert und das Furfurol mit Dampf abdestilliert. Aus dem Furfurol-Dampfgemisch wird durch fraktionierte Destillation das Furfurol gewonnen. Der Betrieb ist fast automatisch, 6 Arbeiter genügen, um in 3 Schichten fast 2500 kg Furfurol herzustellen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Fabrikation findet sich in der Chemiker-Zeitung 1927, S. 241. Die Ausbeute beträgt etwa 6% vom Gewicht der Haferhülsen. Furfurol ist in Wasser löslich und ist selbst ein vorzügliches Lösungsmittel für die bei der Harzbildung entstehenden Zwischenstufen. Furfurol hat eine verschieden lösende Wirkung auf tierische und pflanzliche Öle. Leinöl ist in Furfurol nur wenig löslich, während Holzöl damit in jedem Verhältnis mischbar ist. Furfurol mischt sich mit Benzol, Alkohol, Äther, Azeton u. a. (Angaben der Quaker Oats Co., Rotterdam.)

Furfurol dient an Stelle von Formaldehyd zur Bildung von Kunstharzen mit Phenol, wobei 1,25 Mol Furfurol auf 1 Mol Phenol verwendet werden. Das so gebildete Kunstharz ist dunkelbraun bis schwarz, es ist geeignet als Bindemittel für Kaltpreßstoffe<sup>1</sup>.

## 9. Glyptal.

Glyptal ist ein aus Glyzerin und Phthalsäure gebildetes Kunstharz, das durch die Pionierarbeiten von Watson Smith im Jahre 1901 vorbereitet in den Laboratorien der General Electric Company in den Vereinigten Staaten zu einem Stoff von wirtschaftlicher Bedeutung entwickelt wurde. In Deutschland werden die maßgebenden Patente von der AEG ausgeübt, während in England die Entwicklung durch die British Thomson Houston Co Ltd in Rugby erfolgte.

Glyzerin, ein dreiwertiger Alkohol, ist eine süßliche, helle Flüssigkeit mit dem spezifischen Gewicht 1,26; Glyzerin ist in fast allen Fetten enthalten, es wird bei der Seifenfabrikation gewonnen. Phthalsäureanhydrid wird aus Naphthalin durch Oxydation hergestellt.

Das normale Glyptal, wie es jetzt in England ausschließlich durch die Imperial Chemical Industries Ltd hergestellt wird, ist ein fast wasser-

<sup>1</sup> Drummond, Barry u. Morrell: Chemistry of Natural and Synthetic Resins. New York: Van Nostrand Co 1926. S. 170.

helles, durchscheinendes Harz, das sich, ähnlich wie die Phenol-Formaldehydharze, aus dem löslichen und schmelzbaren Zustand durch Erhitzen in den unlöslichen und unschmelzbaren Zustand überführen läßt. Die Härtung erfordert höhere Temperaturen und zwar mindestens 210° und geht langsamer vor sich als bei Phenolharzen. Nach dem Härten wird das Harz bei höheren Temperaturen nicht spröde, sondern lederartig und biegsam<sup>1</sup>.

Gegenüber den Phenolharzen hat Glyptal drei Vorzüge: es neigt bei höheren Temperaturen nicht zum Verkohlen, es bleibt bei solchen Temperaturen biegsam und es ist zum Verkitten und Verkleben sehr glatter Oberflächen geeignet. Glyptal hat sich deshalb als bestes Klebemittel für Glimmer bewährt. Das bis jetzt hergestellte Glyptal erweicht und erhärtet zu langsam im Vergleich mit Phenolharzen, deshalb kann es als Preßharz mit den Phenolharzen noch nicht in Wettbewerb treten. Vielleicht lassen sich diese Nachteile beseitigen, dann wird Glyptal für die Verbesserung mancher Eigenschaften der Kunstharze von Bedeutung werden.

### 10. Akroleinharz, Orca.

Wird Glyzerin dehydriert, so entsteht Akrolein, eine unangenehm riechende Flüssigkeit, deren Dämpfe die Augen und die Schleimhäute angreifen. Der unangenehme Geruch von angebranntem Fett rührt von Akrolein her. Bei längerem Stehen geht Akrolein in einen weißen, amorphen, unlöslichen Stoff über, in Disacryl. Wird Akrolein einige Tage lang gekocht, so polymerisiert es zu einem braunen, wasserlöslichen Harz, das bei 60° schmilzt.

In Frankreich wurden von Moureu und Dufraisse während des Krieges Verfahren entwickelt, um Akrolein billig und haltbar herzustellen, das zur Grundlage für die Herstellung von Harzen dient. Sie setzten einer Lösung von Akrolein in kaltem Wasser geringe Mengen organischer oder anorganischer Basen zu, so daß ein weißer Niederschlag entstand, der in Wasser und in Lösungsmitteln der Kohlenwasserstoffe unlöslich, aber in Alkohol und Azeton löslich ist. Dieser Stoff schmilzt bei 90–100° und kann als Lackharz Verwendung finden, er ist von Bedeutung als Bindemittel für Isolierstoffe der Elektrotechnik, die in Frankreich unter der Bezeichnung Orca hergestellt werden.

Unter dem Einfluß starker Basen als Katalysatoren kondensiert Akrolein mit Phenolkörpern zu Harzen.

### 11. Polystyrol.

Unter dem Namen Trolitul wird von der Dynamit Nobel A.-G., Troisdorf, ein Harz hergestellt, das als Abkömmling des Benzols ein reiner Kohlenwasserstoff und zwar ein Polystyrol ist. Trolitul läßt sich durch

<sup>1</sup> Warren: Electrical Insulating Materials, S. 177.

Spritzen zu glasklaren Gegenständen verformen. (D.R.P. 540552, Posner.) Es läßt sich aus Steinkohlenteer und Erdöldestillaten gewinnen<sup>1</sup>. Trolitul besteht unverarbeitet und ungefärbt aus glasklaren, salzähnlichen Körnern. Es läßt sich schon bei mäßigen Temperaturen verspritzen, die Wärmebeständigkeit der Formteile ist gering. Vom Verfasser wurde als Wärmebeständigkeit nach Martens am Prüfstab eine Temperatur von 60° ermittelt. Trolitul zeichnet sich durch geringes spezifisches Gewicht, etwa 1, aus, es besitzt eine vorzügliche Schlagbiegefestigkeit und gute elastische Eigenschaften. Als Isolierstoff ist es für die Hochfrequenztechnik von besonderer Bedeutung und wird wahrscheinlich beim Bau von Fernsehapparaten eine Rolle spielen, da es die dielektrischen Eigenschaften des Preßbernsteins übertrifft, einen sehr geringen Verlustwinkel und einen sehr großen Oberflächen- und Innenwiderstand aufweist. Es ist vollkommen unempfindlich gegen Feuchtigkeit und wasserabweisend. Die Eigenschaften des Trolituls sind folgende<sup>2</sup>:

|                                          |                |
|------------------------------------------|----------------|
| Spezifisches Gewicht . . . . .           | 1,05           |
| Wasseraufnahme eines Stabes 10×15×120 mm |                |
| nach 24 Stunden . . . . .                | 0              |
| Biegefestigkeit . . . . .                | 610 kg/qcm     |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . .          | 17 cmkg/qcm    |
| Glutsicherheit . . . . .                 | Gütegrad 1     |
| Innerer Widerstand . . . . .             | ∞              |
| Oberflächenwiderstand . . . . .          | ∞              |
| Dielektrizitätskonstante . . . . .       | 2,5            |
| Verlustwinkel . . . . .                  | tg δ = 0,0002. |

## B. Die aus Kunstharzen hergestellten Kunststoffe.

### 1. Gußstoffe.

Lassen sich die Kunstharze nach den verwendeten Rohstoffen einteilen, so können die aus Kunstharzen hergestellten Stoffe nach der Art ihrer Verarbeitung unterschieden werden, und zwar Gußstoffe, Preßstoffe und Schichtstoffe.

Gußstücke oder Gießlinge werden aus härtbaren Edelkunstharzen oder Gießharzen ohne Füllmittel hergestellt. Chemisch unterscheiden sich die Gießharze nicht wesentlich von den für andere Zwecke verwendeten härtbaren Harzen. Sie werden in Formen gegossen und gehärtet. Die Gußstücke erhalten durch spanabhebende Bearbeitung, z. B. durch Drehseln, Sägen, Fräsen, Schleifen ihre endgültige Form. Die Naturfarbe der Gießharze gleicht dem hellen Gelb des Bernsteins. Sie werden deshalb zu dessen Nachahmung benutzt und lassen sich auch so herstellen, daß sie durch Reiben elektrisch werden. Wegen der hellen Grundfarbe lassen sich die Gießharze in vielen leuchtenden und hellen Farben

<sup>1</sup> Röhrs: Plastische Massen in der Technik. Z. VDI 1932 Heft 51 S. 1238.

<sup>2</sup> Nach Dr. Pabst: Elektrotechn. Z. 1931 S. 1190.

färben. Das reine ungefüllte Harz schwindet beim Abbinden stärker als das gefüllte Harz<sup>1</sup>.

Gießharze werden sowohl aus Phenol und Formaldehyd, als auch aus Harnstoff und Formaldehyd hergestellt.

Kristallisiertes Phenol wird mit einem Formaldehydüberschuß kondensiert und das Anfangsharz soweit eingedampft, daß es sich gerade noch in warmem Zustand in Formen aus Glas oder Metall, z. B. in Hartbleiformen, eingießen läßt. Dabei werden Zusätze wie Glyzerin verwendet. Sollen hellfarbige Harze hergestellt werden, so kann eine vorherige Destillation des Phenols nötig werden. Ohne Farbzusatz entstehen bernsteinfarbige Harze. Als Farben dienen Anilinfarben, auch Ruß; Transparenz wird durch geringe Mengen von Lösungsmitteln hervorgerufen. Elfenbein- und knochenartige Harze entstehen durch Zugabe kleiner Mengen fester Öle oder Metallsalze. Das in den Formen befindliche Harz wird durch vorsichtiges Erwärmen auf 80–100° gehärtet, und zwar zur Vermeidung von Blasen und Trübungen unter Druck. Da durch Oxydation leicht eine Verfärbung eintreten kann, wird beim Härten indifferentes Gas verwendet.

Wie bei den meisten Kunststoffen, werden auch für die Edelkunstharze von den Herstellern die verschiedensten Namen gebraucht. Die Bakelite-Gesellschaft nennt es z. B. gehärtetes Reinbakelite oder Bakelite C, die Firma Dr. F. Raschig Dekorit, Leukorit und Vigorit, die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff-A.-G., jetzt Dynamit-A.-G. Trolon. Trolon ist ein Phenol-Formaldehydharz, für das von der Herstellerin folgende Zahlen angegeben werden. Spezifisches Gewicht 1,25–1,3. An Prüfstäben 10 × 15 × 120 mm, zum Teil nach den VDE-Vorschriften 318, ermittelte Werte:

|                                                               |                          |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Zugfestigkeit . . . . .                                       | 660 kg/qcm               |
| Biegefestigkeit . . . . .                                     | 1000 „                   |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . .                               | 17 cmkg/qcm              |
| Kugeldruckhärte . . . . .                                     | 1770 kg/qcm              |
| Wärmebeständigkeit nach Martens . . . . .                     | 75° C                    |
| Glutsicherheit . . . . .                                      | Gütegrad 3               |
| Dielektrizitätskonstante . . . . .                            | $\epsilon = 8$           |
| Verlustwinkel . . . . .                                       | $\tan \delta = 0,1$      |
| Innerer Widerstand . . . . .                                  | 1,5 Millionen M $\Omega$ |
| Oberflächenwiderstand (trocken) . . . . .                     | 2 Millionen M $\Omega$   |
| Wasseraufnahme eines Probestabes nach<br>24 Stunden . . . . . | 0,085 Gewichtsprozente   |

Durch Wärme wird das Kunstharz weiter gehärtet, durch zu starke Erwärmung aber brüchig und spröde, so daß sich Risse bilden und die Farbe sich ändert. Durch schwache Säure wird das Kunstharz auch gehärtet, zu starke Säure, z. B. konzentrierte Salzsäure führt nach

<sup>1</sup> Von der Aug. Nowack A.-G., Bautzen, ist kürzlich unter der Bezeichnung Neoresit Preßharz ein preßbares, ungefülltes Harz auf den Markt gebracht worden.



2 Tagen bei Zimmertemperatur zur Rißbildung. Von Alkalien wird das Harz angegriffen und zwar um so rascher, je stärker und wärmer die Lauge ist. Gegen neutrale Salzlösungen und neutrale organische Lösungsmittel ist es beständig, es wird z. B. nicht angegriffen von 14% iger Schwefelsäure, von 4% Salmiakgeist, von 10% Schmierseife, dagegen stark angegriffen von 4% kaustischer Soda oder 4% Natriumsulfid.

Das Edelkunstharz wird unbearbeitet oder nur vorgearbeitet an die Bearbeiter geliefert. Für Zigaretten- und Zigarrenspitzen z. B. als Gießlinge, die schon Umrisse der fertigen Stücke aufweisen, für Billard-

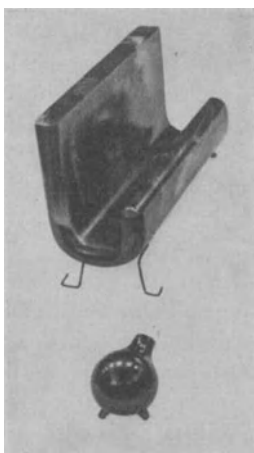


Abb. 83. Gießlinge aus Edelkunstharz für Schirmgriffe und Billardbälle. Dynamit A.-G. Troisdorf.

bälle oder Kegelkugeln in halbrunden Klötzen oder in Tropfenform, für Stock- und Schirmgriffe als lange Rundhakenblöcke, von denen die einzelnen Griffe abgesägt werden (Abb. 83). Andere Formen, in denen das Edelkunstharz geliefert wird, sind: Blöcke, Platten, runde und profilierte Stäbe und Rohre. Die Farbenskala und die Art der Färbung, die zur Verfügung steht, ist außerordentlich mannigfaltig und zwar klare und helle Farben, wolkige, getrübte, hornartige und andere Färbungen. Wie bei allen mit Phenol hergestellten Harzen ist die Lichtechtheit der Farben nicht vollständig. Im Laufe der Zeit tritt eine leichte Vergilbung ein. Die ersten farbigen Kunstharze hatten den Fehler, sich unter dem Einfluß von Luft und Licht an der Oberfläche allmählich braun zu färben, wenn sie auch vorher gelb, rot oder grün waren. Seit dem Jahre 1921 gelang es aber,

Phenolharze mit bemerkenswerter Lichtechtheit in hellen Farben und auch glasklar herzustellen, deren Festigkeit beträchtlich war. Aus diesen Harzen konnten zum erstenmal Billardkugeln hergestellt werden, deren Haltbarkeit und Elastizität sogar die natürlichen Elfenbeinkugeln übertraf.

Die Bearbeitung der Gießlinge kann erfolgen durch Sägen, Drehen, Bohren, Fräsen, Feilen und Hobeln. Durch leichtes Anwärmen kann das Harz erweicht werden, so daß es sich gut schneiden und stanzen, auch biegen und prägen läßt. Das Harz nimmt eine dauerhafte und sehr schöne Hochglanzpolitur an. Dünne Platten lassen sich mit Kasein-Kaltleim auf Sperrholz aufbringen. Das Anwendungsgebiet der Edelkunstharze ist sehr ausgedehnt: Galanteriewaren, wie Schreibzeuge, Aschenschalen, Briefbeschwerer, Federhalter oder Schirm- und Stockgriffe oder Möbel- und Baubeschläge, Messergriffe, Tischplatten, Wandbekleidungen, ferner Lampenfüße, Kannengriffe, Zigarettenspitzen, Knöpfe, Spangen, Schnallen; für Schmuckstücke wie Halsketten, Arm-

bänder und Ringe, als Nachahmungen von Bernstein, Amethyst und Smaragd; für Billardkugeln und für viele andere Zwecke.

## 2. Preßstoffe.

Der größte Teil der Kunstharze wird zur Herstellung von Preßstoffen verbraucht, aus denen durch Pressen homogene Körper bis zu recht erheblichen Abmessungen angefertigt werden. Für die Eigenschaften des Preßstoffes ist nicht nur die Natur des Bindemittels, des Kunstharzes, wichtig, sondern auch die Füllmittel, die Fasern und die Art ihrer Verteilung. In Deutschland ist die Entwicklung dieser Kunststoffe durch die Elektrotechnik bestimmt worden. Im Laufe der Jahre haben sich verschiedene Typen herausgebildet, für die von der Technischen Vereinigung von Fabrikanten gummi freier Isolierstoffe die Mindestwerte ihrer Eigenschaften und ihre Zusammensetzung grundsätzlich festgelegt wurden. Hierüber wird auf S. 264 bei Zusammenstellung der als Isolierstoffe der Elektrotechnik gebrauchten plastischen Massen berichtet.

**Herstellung der Mischungen.** Um die Kunstharze mit Fasern, Füllmitteln und Farben zu vermischen, können sie als feines Pulver in einer Mischtrommel mit den anderen Stoffen trocken vermengt werden. Da aber das sehr fein gemahlene Kunstharz zum Zusammenbacken neigt, namentlich bei etwas höheren Temperaturen, so wird diese Art des Mischens nur noch wenig angewendet. Eine innigere Mischung läßt sich erzielen, wenn das Harz in gelöster, flüssiger oder in nur vorkondensierter, halbflüssiger Form verwendet wird. Das Mischen erfolgt im Mastikator, danach wird die Mischung gewalzt, getrocknet, auch unter Wiedergewinnung der Lösungsmittel, und gemahlen.

Die meisten Preßwerke stellen die Kunstharzmischungen nicht selbst her, sondern beziehen die fertigen Mischungen.

Die mit Kunstharz als Bindemittel hergestellten gebräuchlichen Typen der Isolierpreßstoffe sind in Tabelle 61 zusammengestellt.

Die mit Phenol-Formaldehyd-Kunstharzen als Bindemittel hergestellten Preßstoffe können warm oder kalt verarbeitet werden: Warm- und Kaltpreßstoffe. Die Typen unterscheiden sich außer durch die Temperatur bei ihrer Verarbeitung, durch die verwendeten Fasern und auch dadurch, daß sie entweder beschleunigt erstarren, also Schnellpreßmassen sind, oder langsam erhärten.

Type S, die aus Kunstharz und Holzmehl oder Zellstoff gebildete Mischung gehört zu den verbreitetsten aller derartigen Kunststoffe. Die ausgezeichneten Eigenschaften dieser Mischung beruhen zum Teil darauf, daß Holzmehl eine Membran darstellt, die für Wasser, Phenole und Farben durchlässig, für Kunstharze aber undurchlässig ist (S. 71). Wenn die Holzfasern vollkommen von dem Kunstharz durchdrungen

Tabelle 61. Zusammensetzung und Verarbeitung der Typen der Kunstharzpreßmassen.

| Typen-Bezeichnung | Art des Kunstharzes                    | Faser                   | Füllmittel | Art der Verarbeitung | Mit oder ohne Beschleuniger |
|-------------------|----------------------------------------|-------------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| S                 | Phenol- oder Kresol-Formaldehyd        | Holzmehl oder Zellstoff | —          | Warm-pressung        | mit                         |
| O                 | „                                      | „                       | —          | „                    | ohne                        |
| 1                 | „                                      | Asbest                  | —          | „                    | mit                         |
| T                 | „                                      | Gewebeschnitzel         | —          | „                    | mit                         |
| 2                 | „                                      | Asbest                  | Steinmehl  | Kalt-pressung        | —                           |
| 3                 | „                                      | —                       | „          | „                    | —                           |
| K                 | Harnstoff- (Thioharnstoff) Formaldehyd | Zellstoff               | —          | Warm-pressung        | —                           |

würden, so würden sie ihre Aufgabe, dem Preßstoff die Sprödigkeit des reinen Harzes zu nehmen, nicht erfüllen können.

Type S ist eine Schnellpreßmasse.

Type O besteht ebenfalls aus Phenol-Formaldehyd-Kunsthharz und Holzmehl, enthält aber keinen Beschleuniger und erstarrt langsamer als Type S.

Die im Werkzeug nötige Erhärungszeit ist bei Type O etwa 2—3mal so groß wie bei den Schnellpreßmassen. Die isolierenden Eigenschaften sind bei Type O besser. Solange zwischen beiden Sorten ein großer Preisunterschied bestand, hatte Type O ein gewisses Anwendungsgebiet. Seit dem Erlöschen des Druck- und Hitzepatentes sind aber die Preise von Type S-Mischungen denen von Type O fast gleich, so daß diese Type nur noch eine Bedeutung in der Schwachstromindustrie hat.

Type 1 ist eine Schnellpreßmischung aus Phenol-Formaldehyd-Kunsthharz und Asbest. Sie besitzt, gemäß der Natur der Asbestfaser, größere Wärmebeständigkeit und Glutsicherheit. Von der amerikanischen Bakelite-Gesellschaft wird diese Type für Verwendung im Freien empfohlen.

Type T, das bedeutet Textil-Phenoplast, enthält die Zellulose- oder Leinenfaser nicht in Gestalt der Einzelfaser, sondern als Gewebeschnitzel. Diese Gewebeteile, die bis zur Größe von einigen qmm in der Preßmasse enthalten sind, verleihen dem Preßstoff eine ausgezeichnete Festigkeit gegen Stoß und Schlag, die sich in der hohen Schlagbiegefestigkeit ausdrückt.

Außer diesen Warmpreßstoffen aus Phenol-Formaldehyd-Kunsthharzen sind zwei Kaltpreßstoffe typisiert. Type 2 enthält außer Kunst-

harz und Asbest noch mineralische Füllstoffe, Type 3 nur Kunstharz und mineralische Füllstoffe.

Welches die Mindestwerte der Haupteigenschaften dieser Typen sind und wie diese überwacht werden, ist auf S. 264 angegeben. Die fertig gekaufte Mischung zu verarbeiten erscheint sehr einfach, es ist ja nur nötig, die Mischung in das geheizte Werkzeug zu füllen und das Werkzeug zusammenzudrücken. Dabei kann vielleicht ein Preßstück entstehen, das so aussieht, als ob es in Ordnung ist, das aber weder genügende mechanische Festigkeit noch genügende Widerstandsfähigkeit gegen den Einfluß der Feuchtigkeit oder des elektrischen Stromes besitzt. Um mit Sicherheit einwandfreie Preßstücke zu erzielen, bedarf es einer genauen Kenntnis der Einflüsse, von denen die Entstehung eines Preßstückes aus einer Kunstharmischung abhängt. Die Veränderlichen, die diesen Vorgang bestimmen, sind zahlreich, sie müssen sorgfältig überwacht werden. Diese Veränderlichen sind außer der Mischung und deren Fließvermögen: Preßdruck, Preßtemperatur, oder besser, zugeführte Wärmemenge, Preßzeit und schließlich Beschaffenheit des Werkzeuges.

**Warm- und Kaltpreßstoffe.** Die Kunstharmischungen werden teils warm, teils kalt verarbeitet. Die Warmpreßstoffe haben i. a. ein dichteres Gefüge als die Kaltpreßstoffe. Erstere werden formbar durch das anfängliche Erweichen des Kunstharmes bei Erwärmung, letztere durch den Gehalt an Flüssigkeit, die entweder aus der Harzlösung oder aus dem halbflüssigen Harz bestehen kann. Die Warmpreßstoffe verlassen das Preßwerkzeug in ziemlich hartem Zustand, die Kaltpreßstoffe sind beim Herausnehmen aus der Form noch ziemlich weich, sie lassen sich mit dem Fingernagel eindrücken. Die Oberfläche des Werkzeuges drückt sich auf den Warmpreßstoffen ebenso genau ab wie auf den Kaltpreßstoffen, nur ändert sich bei letzteren die Oberfläche beim freien Nachheizen im Ofen oder unter Druck, während die Oberfläche der Warmpreßstoffe bei in der Form genügend weit getriebener Kondensation den Abdruck der Formoberfläche bewahrt. Ist die Preßfläche der Form mit Hochglanz poliert, so erhält auch das Preßstück eine glänzende Oberfläche. Bei den Kaltpreßstoffen läßt sich eine glatte und blanke, wenn auch nicht hochglänzende Oberfläche durch Nachschleifen mit Schmirgel erzielen, vielfach wird auch die Oberfläche lackiert. Bei unlackierten Kaltpreßstoffen ist ebenso wie bei den Warmpreßstoffen ein Glänzen durch Schwabbeln zu empfehlen.

Die Warmpreßstoffe besitzen einen höheren Harzgehalt als die Kaltpreßstoffe, ihre Glut- und Feuersicherheit ist schon deshalb geringer als die der Kaltpreßstoffe. Der Harzgehalt der Warmpreßstoffe beträgt meist 40—50%, auf den festen Preßstoff bezogen. Bei geringerem Harzgehalt besteht die Gefahr, daß durch größere Wasseraufnahme, die sehr langsam erfolgen kann, die Isolierfähigkeit des Preßstoffes

stark vermindert wird. Auch können durch nachträgliches Quellen von nicht genügend mit Kunstharz umkleideten Holzmehlteilchen infolge Feuchtigkeitsaufnahme rauhe und blinde Stellen auf der sonst blanken und glatten Oberfläche des Preßstückes entstehen.

Der Harzgehalt der Kaltpreßstoffe beträgt 20–30%.

Die Preßtemperatur soll bei den Mischungen Type S und O etwa 170°, bei Type I etwa 180° betragen, wenn es sich um dunkelfarbige Mischungen handelt. Bei hellfarbigen und blauen Mischungen darf die Preßtemperatur nicht so hoch sein, da sonst eine Entfärbung eintritt. Bei hochwandigen oder sonst stark profilierten Preßstücken, bei denen die Preßmasse vom Boden bis zum höchsten Punkt des Preßwerkzeuges einen langen Weg zurückzulegen hat, soll mit etwas niedrigerer Temperatur gearbeitet werden, damit nicht das Harz schon in den festen Zustand übergegangen ist, noch ehe das Werkzeug schließt. Alle Teile der Formen sollen eine gleichmäßige Temperatur haben, sonst besteht die Gefahr, daß an den kühleren Stellen das Harz nicht genügend dünnflüssig wird und die Mischung nicht auspreßt. Ist aber z. B. der Boden des Werkzeuges zu heiß, so können bei lose eingefüllter Mischung die untersten Teile oder bei Tabletten etwa abgefallene kleine Stückchen schon erhärtet sein, ehe der Preßdruck den ganzen Forminhalt zusammenschweißt. Auch der Oberstempel des Werkzeuges muß die gleiche Temperatur haben. Die Preßtemperatur wird am besten durch Thermoelemente, z. B. aus Eisenkonstantan oder Kupferkonstantan, gemessen. Maßgebend ist die Temperatur an der Innenwand der Preßform. Zur Kontrolle genügen aber auch Messungen in bestimmter Entfernung von der Innenwand, die dann nicht die eigentliche Formtemperatur, sondern nur einen Vergleichswert ergeben. Um sparsam zu heizen, ist es erforderlich, die Wärme möglichst nahe an der Innenwand der Preßform einwirken zu lassen und den Wärmeabfluß nach außen möglichst zu verkleinern. Ersteres gelingt am besten bei Verwendung von Dampf oder überhitztem Druckwasser (Caliqua-System), auch bei elektrischer Heizung. Werden die Heizkanäle für Dampf in den Preßwerkzeugen richtig angelegt, so ist ein gleichmäßiges und wirtschaftliches Heizen möglich. Durch einfache Druckminderventile können enge Temperaturgrenzen eingehalten werden. Dampf erlaubt schnelles Anheizen. Zu hohe Temperaturen können durch Kühlwasser schnell herabgesetzt werden. Wenn Dampf nicht auch für andere Zwecke gebraucht wird, so kann die Caliqua-Heizung<sup>1</sup>, namentlich bei Neuanlagen, noch vorteilhafter sein. Dabei wird dem Heißwasserkessel, der sich sonst nicht von einem Dampfkessel unterscheidet, das heiße Druckwasser unterhalb des Wasserspiegels entnommen und durch eine Pumpe in Umlauf gehalten. Das Heizwasser wird nach geringem Wärmeverlust in den Kessel zurückgeführt.

<sup>1</sup> Caliqua, Wärmegesellschaft m. b. H. Berlin-Charlottenburg 2.

Bei elektrischer Heizung, die zwar sauber, aber kostspielig ist, besteht ein großer Temperaturunterschied zwischen dem Heizmittel und der beheizten Form, und zwar beträgt dieser 300—400°. Als mittlere Heizleistung ist 10 kW je Quadratmeter Plattenfläche zu rechnen<sup>1</sup>.

Weniger sparsam und schwerer zu regeln ist die Gasheizung, bei der das Wechseln des Gasdruckes, wenn man das Gas nicht im eigenen Werk herstellt, eine unerwünschte Veränderlichkeit der Heizung bewirken kann. Trotz des größeren Wärmeverbrauches kann aber die Heizung mit selbst hergestelltem Wassergas ebenso wirtschaftlich sein, wie die anderen Heizungsarten. Das Abfließen der Wärme nach außen kann durch wärmeisolierende Zwischenlagen aus Asbest zwischen Ober- und Unterteil der Preßform und der Presse, sowie durch Ummantelung der Preßform gehindert werden. Dabei ist darauf zu achten, daß keine Unfälle durch zu dicht aneinander stoßende Isoliermäntel beim Schließen der Preßform geschehen können. Auch muß für die Befestigung der Preßform am oberen und unteren Tisch der Presse eine genügend große, starre Spannfläche vorgesehen werden.

Für die automatische Temperaturregelung bei elektrischer Beheizung sind verschiedene Anordnungen im Gebrauch. Die meisten beruhen darauf, daß mit Hilfe eines durch einen Bimetallstreifen gesteuerten Relais der Heizstrom bei Überschreiten einer einstellbaren Temperatur ausgeschaltet, bei Unterschreiten dieser oder einer anderen Temperatur wieder eingeschaltet wird.

Während die Mischungen der Typen S, O, 1 und T in gewissen Grenzen gegen Temperaturschwankungen unempfindlich sind, und zwar spielen, je nach der Art der Vorkondensation und des Harzgehaltes 10—15° keine große Rolle, sind die Harnstoff-Harzmischungen schon gegen sehr viel kleinere Temperaturschwankungen empfindlich. Die Preßtemperatur dieser Mischungen, namentlich der hellfarbigen oder weißen Sorten, soll etwa 130° betragen. Die Schwankungen sollen nicht größer sein als  $\pm 2^\circ$ . Um so enge Grenzen einzuhalten, ist eine automatische, elektrische Regelung zu empfehlen, wenn nicht z. B. durch die Heißwasser-Druckheizung oder durch eine sehr gut geregelte Dampfheizung gleichmäßige Temperaturen erzeugt werden.

**Preßdruck.** Damit die Mischung in alle Teile der Preßform gedrückt wird, ist außer einer bestimmten Temperatur auch ein bestimmter Preßdruck nötig. Bei der gleichen Mischung und dem gleichen Preßstück ist bei niedrigerer Temperatur ein höherer Druck nötig. Flache Preßstücke gleicher Projektion erfordern einen geringeren Preßdruck als hochwandige und stark profilierte Preßstücke. Bei den angegebenen Temperaturen soll für Type S und O der Druck auf den Quadratzentimeter der Projektion des Oberstempels mindestens 150 kg und bei

<sup>1</sup> Nach Dr. Röhrs: Z. VDI 1932 S. 1235.

Type 1 und T mindestens 250 kg betragen. Bei hochwandigen Kästen, z. B. bei den Lautsprecher- und Radiogehäusen sind Drücke bis zu 600 kg/qcm nötig.

Kaltpreßmischungen erfordern höhere Drücke, die meist zwischen 350 und 500 kg/qcm liegen.

Ist der Preßdruck zu gering, so entstehen porige oder unganze Stellen am Preßstück. Ist aber der Preßdruck zu groß, so kann die Preßmasse an der Formwand festkleben. Der gleiche Fehler tritt auch durch zu hohe Temperaturen auf. Die Art der Druckeinwirkung ist für die Güte des erzeugten Preßstückes wesentlich.

Die Wärmezufuhr hat bei dem Verpressen der Kunsthharzmischungen zwei Aufgaben. Zuerst soll das Kunsthharz erweicht und plastisch gemacht werden, dann soll das mit der Mischung den Innenraum der Preßform ausfüllende Harz zum Erhärten gebracht werden.

Am günstigsten ist folgender Druckverlauf. Zuerst wird die noch teigige, schwerflüssige Mischung mit leichtem Druck zusammengepreßt, bei Erreichen der größten Fließfähigkeit mit dem größten Druck in der Preßform verteilt und unter diesem höchsten Druck erhärtet. Eine mit der Mischung gefüllte Form läßt sich nicht sofort, etwa mit einem Schlag schließen, vielmehr ist eine wenn auch kurze Zeit bis zum Flüssigwerden des Harzes nötig, die von der zugeführten Wärmemenge, von der Art der Vorkondensation und der Mischung, von der Gestalt und der Konstruktion des Preßwerkzeuges unter anderem abhängt. Am besten paßt sich die hydraulische Presse diesen Vorgängen an. Bei mechanischen Pressen macht es gewisse Schwierigkeiten, den Höchstdruck zu halten. Die Preßform darf nicht zu langsam geschlossen werden, sonst tritt die Härtung der Mischung vorzeitig ein, ehe die Preßform völlig ausgefüllt ist.

Die Preßzeit ist abhängig von der Schlußzeit, die meist nur wenige Sekunden dauert, in der Hauptsache aber von der Zeit, die vergeht, bis die Preßmasse soweit gehärtet ist, daß das Preßstück genügend hart ist und leicht und ohne Beschädigung aus dem Preßwerkzeug entfernt werden kann. Die Preßzeit kann ungefähr proportional der größten Wandstärke des herzustellenden Preßstückes gewählt werden. Daraus folgt, daß für eine wirtschaftliche Herstellung die Preßstücke möglichst gleiche Wandstärke haben sollen. Bei Schnellpreßmassen der Typen S, 1 und T sind für 1 mm Wandstärke etwa 20–30 Sekunden zu rechnen, bei der langsam härtenden Preßmasse Type O etwa das dreifache, bei einer Werkzeugtemperatur von 170–180°. Die Preßzeit muß um so länger sein, je niedriger die Preßtemperatur ist. Ist die Preßzeit zu kurz, so entstehen leicht Blasen an den Preßteilen, weil das Kunsthharz noch nicht genügend fest ist, um die eingepreßte Luft einzuschließen. Durch Verwendung von Vorpressungen kann der in der Mischung enthaltene Luftanteil wesentlich herabgesetzt werden. Blasen können

auch bei zu hoher Preßtemperatur entstehen, und zwar durch Zersetzung des Holzmehls oder Zellstoffs, aber auch durch die geringe Wasserabspaltung beim Übergang des Kunstharzes von dem A- in den C-Zustand, und durch etwaige in dem Preßpulver enthaltene Feuchtigkeit. Kann die Feuchtigkeit nicht aus der Preßform entweichen, so verursacht sie matte oder wellige Stellen auf der Oberfläche des Preßstückes.

Das Fließvermögen oder die Fließfähigkeit einer Kunstharzmischung bei einer bestimmten Temperatur hängt von der Art und dem Gehalt des Harzes und dessen Kondensationsstufe ab. Wichtig ist nicht nur Druck und Temperatur, sondern auch die Zeit zur Bildung eines Probekörpers.

Von M. Krahle ist in der Elektrotechn. Z. 1931 S. 439 und 850 ein Verfahren zur Bestimmung der Fließfähigkeit von Kunstharzschnellpreßmassen angegeben worden. Das Fließvermögen wird erklärt als der



Abb. 84. Oberer Querschnitt des Probestabs für Prüfung der Fließfähigkeit von Preßmischungen.

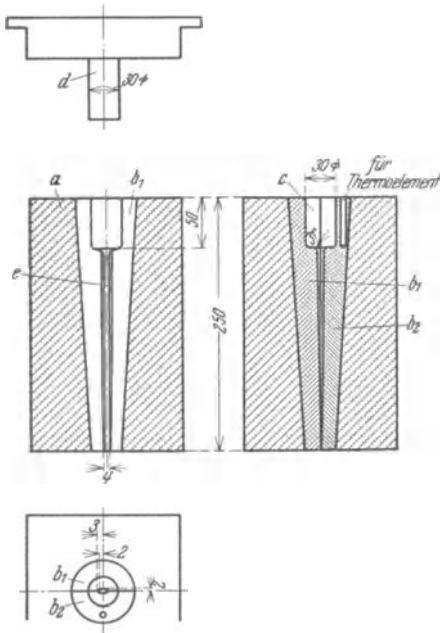


Abb. 85. Form zur Ermittlung des Fließvermögens von Preßmischungen.

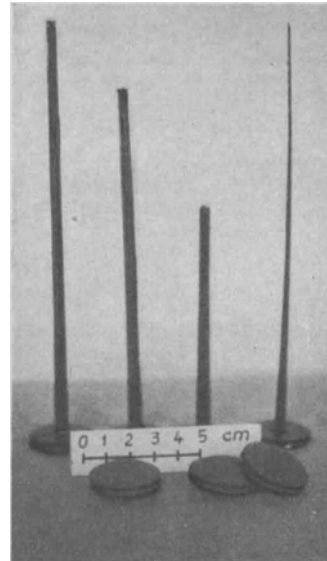


Abb. 86. Normaltabletten aus Preßmasse und gepreßte Prüfstäbchen.

Grad der Plastizität, den eine Preßmasse unter den Verarbeitungsbedingungen erhält. Das Fließvermögen der Kunstharzmassen im Sinne der Preßtechnik wird von folgenden Faktoren bestimmt:

1. durch innere Reibung; sie ergibt sich aus der Viskosität des Harzes bei der Prüftemperatur, aus Menge, Art und Teilchenbeschaffenheit der Füllstoffe und Fasern und aus der Menge und Art des Harzes;



2. durch äußere Reibung; aus der Adhäsion an der Formwand und aus deren Beschaffenheit;

3. durch die Härtungsgeschwindigkeit, die wieder von der Temperatur und dem „Chemismus“, d. h. wohl von der Art und der Kondensationsstufe des Harzes abhängt.

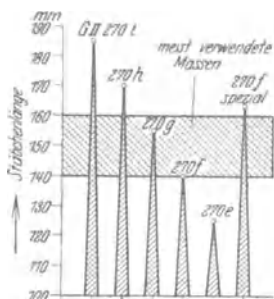


Abb. 87. Fließvermögen verschiedener Resinol-Schnellpreßpulver. Spez. Druck 360 kg/qcm. Temperatur 165°.

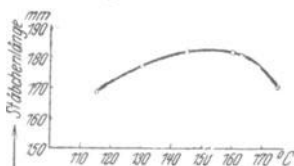


Abb. 88. Fließvermögen in Abhängigkeit von der Matrixtemperatur. Spez. Druck 360 kg/qcm.

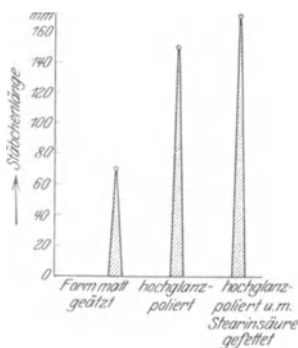


Abb. 89. Fließvermögen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Preßform.

Für die Versuche sollen konstant gehalten werden: Menge der zu prüfenden Masse, Temperatur der Form, Preßdruck und Preßgeschwindigkeit. Als Versuchskörper dient ein prismatisches 200 mm langes Stäbchen, das oben durch ein Sechseck von 4 mm Höhe und 6 mm ganzer Breite nach Abb. 84 begrenzt wird und unten in eine 4 mm breite scharfe Schneide zuläuft. Abb. 85<sup>1</sup> zeigt die Versuchsform, Abb. 86<sup>1</sup> einige Probekörper. Der zylindrische Teil c der Versuchsform dient zur Aufnahme der zu prüfenden Masse in Gestalt einer Vorpressung von 30 mm Durchmesser und einem Gewicht von 5 g für Massen vom spezifischen Gewicht 1,5. Die Versuche wurden auf einer hydraulischen Presse von 25 t Gesamtkraft bei einer Geschwindigkeit des Kolbens von 8,5 cm/sec ausgeführt, der spezifische Druck auf die Tablette betrug 360 kg/qcm. In Abb. 87<sup>1</sup> ist das so ermittelte Fließvermögen verschiedener Resinol-Schnellpreßmassen der Firma Dr. F. Raschig G. m. b. H. bei einer Werkzeugtemperatur von 165° dargestellt, in Abb. 88<sup>1</sup> die Änderung des Fließvermögens einer bestimmten Preßmasse mit der Werkzeugtemperatur. In Abb. 89<sup>2</sup> ist die Abhängigkeit des Fließvermögens von der Oberflächenbeschaffenheit der Preßformen wiedergegeben.

Der Verfasser hat eine Versuchseinrichtung zur Prüfung des Fließvermögens benutzt, die nach den Angaben von Krah<sup>1</sup> hergestellt wurde. Sie unterscheidet sich von der beschriebenen dadurch, daß die Form nicht einen unten scharf zulaufenden Stab ergibt, sondern einen solchen mit unten rechteckigem Querschnitt von 4 × 4 mm. Um beobachten zu können, ob vielleicht Massen mit besonders hohem Fließvermögen nicht nur die Form ausfüllen, sondern

<sup>1</sup> Elektrotechn. Z. 1931 Heft 14 S. 439 Abb. 2, 3, 4 u. 5.

<sup>2</sup> Elektrotechn. Z. 1931 Heft 26 S. 850 Abb. 1.

auch unten aus der Form ausfließen, ist unter dem Formeinsatz ein Hohlraum von 50 mm Höhe gelassen und der Rahmen unten mit Aussparungen versehen.

Die Länge des Stäbchens ist bei einer Preßmasse nicht nur von dieser abhängig, sondern auch von dem Druck und der Temperatur. Fast bei allen Preßmassen läßt sich ein Druck und eine zugehörige Temperatur finden, bei der die Stäbchen 200 mm Länge erhalten. Die Einhaltung einer bestimmten Preßgeschwindigkeit erscheint nicht wesentlich und auch kaum möglich, denn die Bildung des Stäbchens geht so vor sich. Die in das Werkzeug bei c gelegte Tablette wird zunächst zusammengedrückt um einen kleinen Betrag, der von dem spezifischen Druck bei Bildung der Vorpressung abhängt. Dann erweicht die Tablette allmählich, je nach der Temperatur der Vorpressung beim Einlegen. Erst nachdem die Vorpressung genügend weich geworden ist, wird sie von dem Preßstempel in die Stäbchenform gedrückt. Um die Verwendbarkeit einer Mischung beurteilen zu können, ist es wichtig, auch die Zeit zu beobachten, die für die Verformung gebraucht wird. Der Verfasser hat deshalb mit dem Preßstempel eine Schreibvorrichtung verbunden, die die Stempelbewegung auf eine von einem Uhrwerk angetriebene Trommel aufzeichnet. Der Trommelweg beträgt 4 mm je Sekunde. Mit der so ergänzten Einrichtung läßt sich die Zeit gut feststellen, welche die Preßmasse vom Beginn der Druckwirkung bis zum Ausfüllen der Preßform braucht. Die Zeit kann auch als Durchflußzeit durch die verhältnismäßig enge Öffnung der Stabform angesehen werden, wobei der Durchfluß noch durch die Verengung des Innenraumes der Form behindert ist. Einige Versuche mit dieser Vorrichtung, die bei einem Druck von 440 kg/qcm vorgenommen wurden, sind in Abb. 90 und 91 wiedergegeben. Die obere Kurve a für die Durchflußzeit ist an einer Mischung der gleichen Art und Herkunft ermittelt wie die darunterliegende Kurve b. Beide Versuche sind aber an Mischungen aus

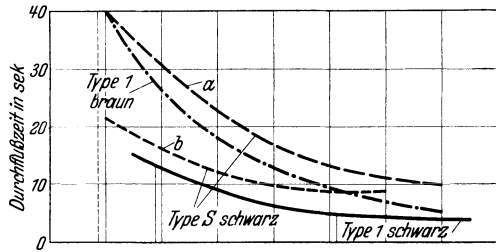


Abb. 90.

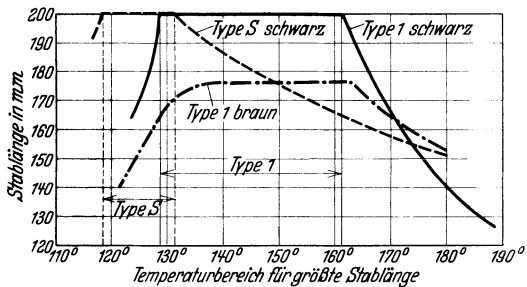


Abb. 91.

Abb. 90 und 91. Durchflußzeit und Stablänge in Abhängigkeit von der Temperatur, Type S und 1. Spez. Druck 440 kg/qcm.

verschiedenen Lieferungen vorgenommen. Bei einer Formtemperatur von  $120^{\circ}$  dauert bei der einen Mischung die Stabbildung 40 Sek., bei der anderen 21 Sek. Charakteristisch für jede Mischung ist der Temperaturbereich, in dem Stäbe von 200 mm Länge gebildet werden. Bei der untersuchten Type S geht dieser Bereich von  $119-132^{\circ}$ . Bei höheren Temperaturen nimmt die Stablänge ab, infolge der schnelleren Härtung. Die Füllzeiten nehmen in diesem Temperaturbereich von 21 auf 16 Sek. mit steigender Temperatur ab. Bei höheren Temperaturen ändern sich die Füllzeiten je Millimeter Stablänge nicht wesentlich. Die für diese Mischung günstigste Formtemperatur liegt etwa zwischen  $120$  und  $130^{\circ}$ . Die Abbildungen zeigen außerdem die Ergebnisse entsprechender Versuche mit einer Mischung der Type 1 = Kunsthharz und Asbest. Der Temperaturbereich für die größte Stablänge geht von  $129-162^{\circ}$ , die Füllzeit sinkt von 13 auf 5 Sek. Die Mischung ist also im Vergleich zu der vorher besprochenen Mischung Type S in einem viel größeren Bereich gegen Temperaturschwankungen unempfindlich und fließt viel schneller.

Zu den mitgeteilten Temperaturen ist zu bemerken, daß diese nicht an der Formoberfläche, sondern in einiger Entfernung von dieser gemessen wurden; es sind also nur Vergleichswerte.

Andere Prüfvorrichtungen sind in einem Aufsatz von Forrer in den *British Plastics* 1932 S. 19 und 51 erwähnt. Ein von Forrer angegebenes Verfahren beruht darauf, daß eine bestimmte Menge Mischung durch eine Düse in eine Form gespritzt wird, in der sich eine Spiralnute befindet, deren Querschnitt mit dem Fortschreiten der Windungen nach außen abnimmt. Das Fließvermögen wird danach beurteilt, wie weit die Preßmasse unter gegebenen Verhältnissen die Spirale ausfüllt. Die Herstellung derartiger Spiralnuten genau gleicher Abmessungen und Beschaffenheit, so daß an verschiedenen Vorrichtungen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können, ist schwierig. Die Krahlsche Vorrichtung ist leichter reproduzierbar herzustellen.

Das Grundsätzliche über Pressen, Vorpressungen und Preßwerkzeuge ist im allgemeinen Teil ausführlich behandelt.

Um die Erhärungszeit möglichst auszuschalten und die Pressenleistung zu steigern, werden bei der Verarbeitung von Kunsthharzen Mehrfachformen verwendet. Diese Werkzeuge enthalten entweder mehrere Gesenke für das gleiche Preßstück, oder es werden, wenn die herzustellenden Mengen nicht groß genug sind, die Gesenke für verschiedene, in Größe und Wandstärke nicht allzusehr voneinander abweichende Preßstücke vereinigt. Mehrfachformen der ersten Art, siehe Abb. 38, S. 57. Pressen, auf denen mit Mehrfachformen gearbeitet werden soll, müssen mit einer besonders sicheren Führung des beweglichen Pressentisches ausgerüstet sein.

**Schwindung.** Bei der Kondensation der Kunsthharze findet eine kleine Volumenverringering statt, die eine Schwindung der Preßstücke ver-

ursacht. Das Maß der Schwindung hängt von der Form und der Wandstärke des Preßstückes und von dem Harzgehalt der Mischungen ab. Bei dünnwandigen Körpern und bei normalen Mischungen der Type S beträgt die Schwindung 0,8% linear. Bei höherem Harzgehalt, z. B. bei 50% Harzgehalt ist die Schwindung größer als bei 40%. Sehr dickwandige Stücke schwinden weniger als dünnwandige. Die Schwindung erleichtert das Ablösen der Preßstücke von der Formwand, deshalb ist bei vielen Preßteilen die Schmierung der Preßform nicht nötig, sie beeinträchtigt auch den Glanz der Oberfläche. Die Kaltpreßstoffe schwinden beim Nachbrennen stärker als die Warmpreßstoffe, die Schwindung beträgt hier 1,2—2%; sie ist größer bei den aus gelöstem, festen A-Harz hergestellten Mischungen als bei denen aus vorkondensiertem, halbflüssigen A-Harz. Diese Unterschiede können bei größeren Preßstücken Längenabweichungen von mehreren Millimetern ergeben.

**Füllen und Abteilen.** Die Mischungen der Typen S, O und K sind mehr oder weniger feinkörnige Pulver, Type I ist körnig bis wollig, je nach Art und Länge des Asbests, Type T grobflockig. Das Abteilen der für jedes Preßstück nötigen Menge wird durch Abwiegen oder Abfüllen in Hohlmaße vorgenommen. Die Gewichte und Maße müssen häufig kontrolliert werden wegen Änderung der Körnung des Preßpulvers, wegen wechselnden Feuchtigkeitsgehaltes u. ä. Das Abteilen und Vorpressen durch automatisch wirkende Tablettiermaschinen (Abb. 12, S. 35) hat sich bei großen Mengen gleicher Preßstücke als günstig erwiesen. Durch das Vorpressen der Mischung kann an Füllhöhe der Preßform gespart werden, die vorgepreßte Mischung enthält weniger Luft, neigt also weniger zur Blasenbildung. Schließlich arbeitet die Maschine beim Abteilen genauer. Das Preßpulver wird unter hohem Druck, etwa 1000 kg/qcm zusammengepreßt. Die Leistung einer automatischen Tablettenmaschine ist hoch. Es können 3000—4000 Tabletten mittlerer Größe je Stunde hergestellt werden. Die Tabletten können entsprechend der Gestalt des Preßstückes bereits vorgeformt werden, z. B. können für einzupressende Metallteile Hohlräume vorgepreßt werden. Sollen mehrfarbige Preßstücke erzeugt werden, so lassen sich durch Verwendung mehrerer Tabletten aus verschiedenen Farben sehr schöne Wirkungen erzielen. Die Tablettiermaschinen werden bisher nur von Großbetrieben verwendet, sie sind kostspielig und leisten viel mehr, als dem Verbrauch der kleineren oder mittleren Pressereien entspricht. Von Dipl.-Ing. Herz ist deshalb das „Lohntablettieren“ angeregt worden<sup>1</sup>, wie es z. B. in England schon ausgeführt wird.

**Nachhärten.** Die Zeit, in der das Preßstück unter Druck im heißen Werkzeug bleibt, wird deshalb so kurz wie möglich bemessen, um eine möglichst große Anzahl von Preßstücken aus jedem Werkzeug herstellen zu können. Aus diesem Grunde werden die Preßstücke heiß

<sup>1</sup> Plastische Massen 1933 Heft 4 S. 72, Heft 6 S. 116.

aus dem Werkzeug genommen, wenn sie gerade soweit erhärtet sind, daß sie durch das Herausnehmen nicht beschädigt oder verformt werden. Hierin liegt eine gewisse Gefahr. Denn die heißen Preßteile sind noch nicht starr, und namentlich dünnwandige Körper großer Abmessungen verziehen sich unter der Wirkung ihres Eigengewichts. Deshalb ist für solche Körper, besonders, wenn sie mit kleinen Toleranzen auf andere Teile passen sollen, eine besondere Unterlage oder Stützung vorzusehen, durch die das Verziehen beim Erkalten vermieden wird. Eine andere Gefahr, wenn die Preßteile zu kurze Zeit geheizt werden, besteht darin, daß das Kunstharz nicht genügend weit kondensiert ist, also den Zustand C noch nicht erreicht hat. Da es schon aus wirtschaftlichen Gründen meist nicht möglich ist, ein Nachheizen im Preßwerkzeug vorzunehmen, so wird ein Nachheizen außerhalb der Preßform in einem mit indifferentem Gas gefüllten Druckkessel oder auch in einem Ofen ohne Druck empfohlen. Der Gasdruck im Nachheizkessel vermindert die Blasenbildung, diese ist aber auch beim freien Nachheizen zu vermeiden, wenn die Temperatursteigerung langsam genug erfolgt. Durch das Nachheizen werden die Wärmebeständigkeit und die isolierenden Eigenschaften der Kunstharzpreßstoffe zwar verbessert, tatsächlich werden aber die meisten Preßteile aus Kunstharz nicht nachgeheizt, um die Gefahr des Verziehens, der Verschlechterung der Oberfläche und der Entfärbung zu vermeiden. Dem sind jetzt auch die Prüfbedingungen angepaßt worden, indem die Prüfstäbe nicht mehr nachgeheizt werden sollen (S. 268). Eine Vorrichtung, die bei nicht zu großen Stückzahlen auf einfache Weise die Ausschaltung der Härtezeit im Preßwerkzeug auszuschalten gestattet, ist im allgemeinen Teil auf S. 57 beschrieben.

**Oberflächenbehandlung und Bearbeitung.** Bei richtiger Wahl aller Herstellungsbedingungen lassen sich aus den Preßmassen der Typen K, S und 1 Preßteile mit vorzüglichem Oberflächenglanz herstellen. Bei dem großen Fließvermögen dieser Mischungen können die Preßteile, unter der Voraussetzung richtiger Werkzeugkonstruktion und Instandhaltung, mit sehr dünnem Grat an den Teilungen gepreßt werden, so daß das Entfernen des Grates durch Schaben, Schleifen oder Feilen leicht möglich ist. Der Oberflächenglanz kann durch Glänzen oder Schwabbeln noch erhöht werden.

**Eigenschaften der Kunstharzpreßstoffe.** Die Mindestwerte der verschiedenen Eigenschaften von Kunstharzpreßstoffen, die von den Mitgliedern der Technischen Vereinigung von Fabrikanten gummifreier Isolierstoffe garantiert werden, sind in Tabelle 62 zusammengestellt, die auch die Zusammensetzung enthält.

Die Prüfung erfolgt an Probestäben  $10 \times 15 \times 120$  mm nach den VDE-Vorschriften 318. Die genannten Mindestwerte werden i. a. nicht unerheblich überschritten. Tabelle 62 lehnt sich an die Aufstellung der vom Zentralverband der deutschen elektrotechnischen Industrie ver-

öffentlichen Typisierung an, die auf S. 265 vollständig wiedergegeben ist. Tabelle 62 wird ergänzt durch Tabelle 63, die einige weitere Angaben enthält, wie spezifisches Gewicht, Farbe u. a.

Tabelle 62.

| Preßstoff Type | Zusammensetzung                     |                         | Warm oder kalt gepreßt | Biegefestigkeit kg/qcm | Schlagbiegefestigkeit cmkg/qcm | Wärmefestigkeit Martensgrade | Glutfestigkeit Gütegrad | Oberflächenwiderstand nach 24 Std. Liegen in Wasser. Vergleichszahl |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                | Art des Kunstharzes                 | Faser oder Füllmittel   |                        |                        |                                |                              |                         |                                                                     |
| S              | Phenol- oder Kresol-Formaldehydharz | Holzmehl oder Zellstoff | W                      | 700                    | 6                              | 125                          | 3                       | 3                                                                   |
| O<br>1<br>T    | „                                   | „                       | W                      | 600                    | 5                              | 100                          | 2                       | 3                                                                   |
|                | „                                   | Asbest                  | W                      | 500                    | 3,5                            | 150                          | 4                       | 3                                                                   |
|                | „                                   | Gewebschnittzel         | W                      | 600                    | 12                             | 125                          | 2                       | 3                                                                   |
| K              | Harnstoff-Thioharnstoff-Formaldehyd | Zellstoff               | W                      | 600                    | 5                              | 100                          | 2                       | 4                                                                   |
| 2              | Phenol- oder Kresol-Formaldehyd     | Asbest und Steinmehle   | K                      | 350                    | 2                              | 150                          | 4                       | 3                                                                   |
| 3              | „                                   | Steinmehle              | K                      | 200                    | 1,7                            | 150                          | 4                       | 3                                                                   |

Tabelle 63.

| Type | Spez. Gew. | Gebräuchliche Farben                                              | Kleinste Wandstärke mm | Verwendungsgebiet                                                      |
|------|------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| S    | etwa 1,4   | Mittlere, auch leuchtende Farben, Braun und Schwarz               | 1,5                    | Mechanisch stark beanspruchte Stücke, dünnwandige Stücke mit Hochglanz |
| O    | 1,4        | Braun und Schwarz                                                 | 1,5                    | Mechanisch stark beanspruchte Stücke                                   |
| 1    | 2          | „                                                                 | 1,5                    | Stark beanspruchte Stücke großer Glutfestigkeit                        |
| T    | 1,4        | Naturfarbe geflecktes Braun, dunklere Farben                      | 1,5                    | Durch Stoß und Schlag stark beanspruchte Stücke                        |
| K    | 1,6        | Helle, leuchtende Farben, auch weiß und elfenbein, durchscheinend | 1,5                    | Hellfarbige, lichtechte, stark beanspruchte Stücke                     |
| 2    | 2,1        | Naturfarbe braun, grauschwarz                                     | 2                      | Stark beanspruchte Stücke großer Glutfestigkeit                        |
| 3    | 2,1        | „                                                                 | 2,5                    | Mäßig beanspruchte Stücke größerer Wandstärke.                         |

Die aus Kunstharz und Holzmehl bestehende Schnellpreßmasse Type S ist wohl der Preßstoff, der durch seine ungewöhnliche mechanische Festigkeit und sein schönes Aussehen am meisten zur Verbreitung

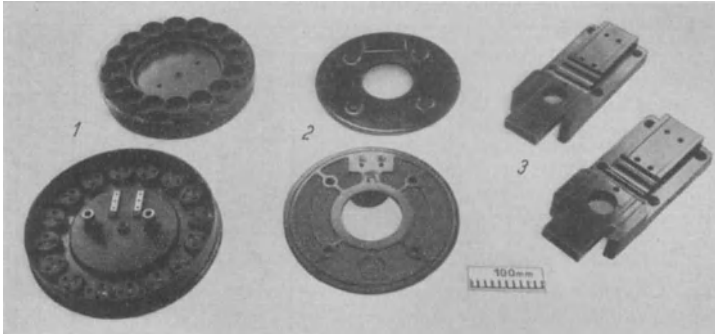


Abb. 92. Isolierteile aus Kunstharzmischungen Ricolit, Type S und 1. Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. B.

derartiger Kunststoffe beigetragen hat. Die Biegefestigkeit dieser Type wird von keinem anderen Preßstoff der Tabelle 62 übertroffen. Alle Kunstharz-Warmpreßstoffe haben etwa

die gleiche Biegefestigkeit, die gegenüber den garantierten Mindestwerten bis auf 900 kg/qcm und mehr gesteigert werden kann, wenn sowohl das Mischen, als auch das Pressen mit der nötigen Sorgfalt und unter richtigen Bedingungen erfolgt. Die Biegefestigkeit des Kaltpreßstoffes Type 2 läßt sich über 400 kg/qcm steigern. Dagegen ist die Schlagbiegefestigkeit der einzelnen Typen sehr verschieden. An der Spitze steht Type T, die die Fasern in Gestalt der Gewebeschnitzel, also in einer bestimmten Ord-

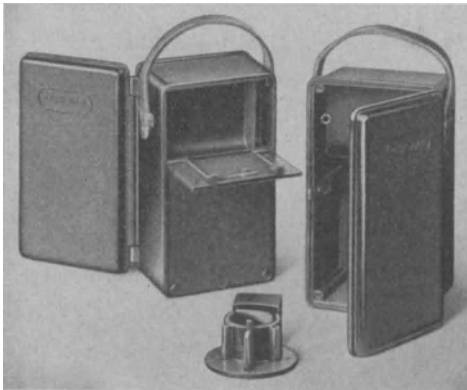


Abb. 93. Gehäuse für Meßinstrumente aus Kunstharz-Preßmasse Eshalit. Siemens-Schuckertwerke A.-G. Abt. V. G. Berlin-Gartenfeld.

nung enthält und einen Übergang zu den Schichtstoffen darstellt. Der Mindestwert der Schlagbiegefestigkeit ist bei Type T doppelt so groß wie bei der nächst besten Type S, 16 auch 20 cmkg/qcm können im besten Falle erreicht werden. Bei den Typen außer T sinkt die Schlagbiegefestigkeit bei sehr dünnen Wandstärken, sehr dünne Stücke werden recht spröde. Bei den Kaltpreßstoffen ist die Schlagbiegefestigkeit geringer als bei den Warmpreßstoffen. Die Wärmebeständigkeit nach Martens, also das

Verhalten unter einer Biegebeanspruchung in der Wärme ist bei den Kaltpreßstoffen besser als bei den anderen, die Mindestwerte liegen nicht sehr weit von den i. a. erzielten Werten entfernt. Bei den Warmpreßstoffen läßt sich durch Nachheizen eine Verbesserung dieser Eigenschaft erreichen. Die Glutfestigkeit, die durch Berührung mit einem glühenden Silitstab bei 950° geprüft wird, hängt von dem Gehalt an organischen, brennbaren Anteilen ab, also zuerst vom Harzgehalt, dann aber von der Art der Fasern. Die beste Glutfestigkeit zeigen die Kaltpreßstoffe und Type 1, Type S ist in dieser Eigenschaft besser als die Typen O, T und K. Der Einfluß der Feuchtigkeit wird sehr deutlich durch die Änderung des Oberflächenwiderstandes nach 24stündigem Liegen in Wasser dargestellt. Dabei verhält sich Type K am besten, d. h. Harnstoff-Harzpreßstoffe lassen sich mit besonders guter Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit herstellen. Bei den Typen S und 1 läßt sich die Vergleichszahl 3 des Oberflächenwiderstandes nicht immer leicht erzielen, die Mischungen müssen vor dem Pressen sorgfältig vor Feuchtigkeit geschützt werden. Der Oberflächen- und Innenwiderstand ist bei Type O besser als bei Type S. Über das Verhalten von verschiedenen Kunstharzpreßstoffen bei Dauerversuchen, die über ein Jahr ausgedehnt wurden, ist auf S. 277 berichtet.

Lichtechte und beständige helle Farben lassen sich mit Type K, den Harnstoff-Harzmischungen herstellen, auch die Farben Weiß und Elfenbein und durchscheinende Massen. Die Beständigkeit der hellen Phenol- oder Kresolharze ist zwar wesentlich verbessert worden, eine vollkommene Lichtechtigkeit ist aber noch nicht erreicht worden. In Tabelle 63 sind die wichtigsten Angaben über die Farben der Kunstharzpreßstoffe zusammengestellt. In dieser Tabelle ist auch angegeben, welches die kleinste Wandstärke ist, die zweckmäßig bei Konstruktionen gewählt wird. Fast alle Kunstharz-Warmpreßstoffe lassen sich in einen so leicht plastischen Zustand bringen, daß sie auch sehr viel dünnere Hohlräume der Preßform ausfüllen. Aus den schon besprochenen Gründen ist aber zu empfehlen, die Wandstärke nicht zu klein zu wählen.

**Anwendungsgebiete.** Das erste Verwendungsgebiet der Kunstharzpreßstoffe war die Elektrotechnik. In der Starkstrom- und in der Schwachstromtechnik werden alle möglichen Isolierteile aus diesen Stoffen hergestellt, siehe Abb. 92 und 93. In dem Radioapparatebau werden Preßstücke großer Abmessungen, wie Lautsprecher- und Radiogehäuse aus diesen Preßstoffen angefertigt. Es sind dies wohl die Preßstücke größter Abmessungen, für die in einigen Werken Pressen mit einer Druckkraft von 1500 t aufgestellt wurden (Abb. 94). Im Maschinen- und Automobilbau werden viele Teile aus Kunstharzpreßstoffen gebraucht, z. B. Steuerräder, Bremsbeläge, Handgriffe, Leisten und Gehäuse aller Art. Weitere Anwendungsgebiete sind die anderen Zweige der Technik, z. B. die Optik: Gehäuse, Ringe, Augenmuscheln; die Bauindustrie: Fenster-



und Türgriffe, Leisten und Haken; die Kunstseidenindustrie: Spinnköpfe und Düsen. Heute ist die Verbreitung von Preßteilen aus Kunstharzstoffen fast unbeschränkt: Schreibtischgarnituren, Ascher, Spielgeräte,

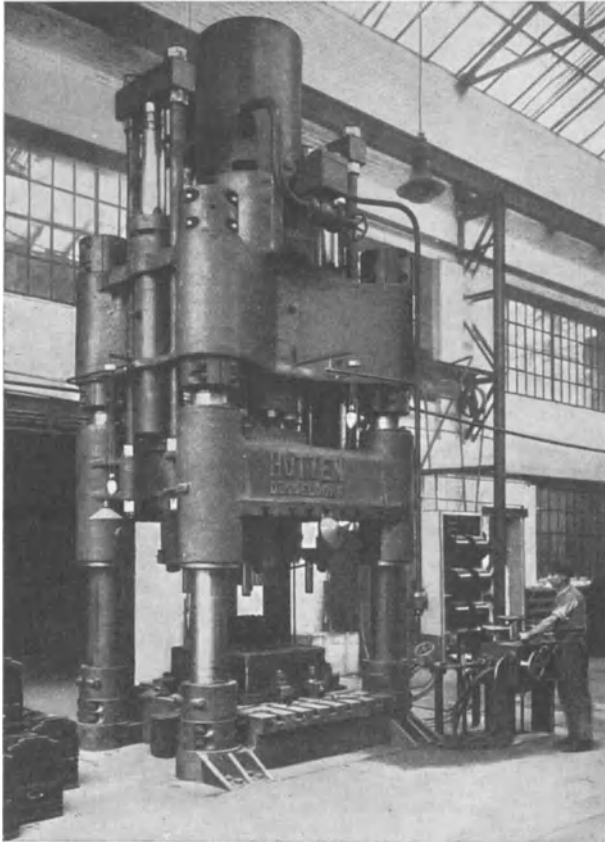


Abb. 94. Hydraulische Presse für 1500 t Preßdruck. I. L. Hütten G. m. b. H., Düsseldorf. Aufnahme aus dem Betrieb der Preßwerk A.-G. Essen.

Griffe von Messern, Gabeln und Werkzeugen, alle möglichen Geschirrtteile wie Teller, Tassen, Tablettts, Eierbecher. In der Schleifscheibenindustrie werden die Schleifmittel, z. B. Korund, mit Kunstharz gebunden. Der Verbrauch an Kunstharz für die Elektrotechnik beträgt heute nur noch einen Bruchteil des für andere Zwecke verwendeten.

### 3. Schichtstoffe.

Kunstharzschichtstoffe entstehen durch das Aufeinanderkleben von Papier- oder Stoffbahnen mit Kunstharz als Bindemittel. Die Papier

enthaltenden Schichtstoffe werden als Kunstharz-Hartpapiere, die aus Geweben aufgebauten Schichtstoffe werden als Kunstharzhartstoffe bezeichnet. (Mikanit ist ein aus Lagen von flachen, aneinander geklebten Glimmerstückchen bestehender Schichtstoff ähnlicher Art.)

Das Kunstharz im Zustand A wird meist in Spiritus gelöst und mit dieser Lösung werden die Papier- oder Stoffbahnen ein- oder zweiseitig auf besonderen Lackiermaschinen bestrichen. Abb. 95<sup>1</sup> zeigt das Schema einer solchen Maschine für einseitige Lackierung. Das in Rollen von etwa 2 m Breite gewickelte Papier läuft über eine Lackierwalze, der durch zwei Hilfswalzen die Harzlösung zugeführt wird. Dann wird die mit der Harzlösung bestrichene Bahn über Heizvorrichtungen geführt, die entweder waagrecht oder senkrecht angeordnet sein können. Durch die Wärme soll das Lösungsmittel vertrieben und das Harz soweit getrocknet werden, daß sich die lackierten Bahnen aufrollen lassen ohne festzukleben. Gleichzeitig soll auch die im Papier oder im Gewebe enthaltene Feuchtigkeit zum Verdunsten gebracht werden. Die Trockentemperatur liegt zwischen 80° und 130°, die Geschwindigkeit der lackierten Schicht beträgt je nach der Temperatur 3–6 m in der Minute. Soll die Schicht auf beiden Seiten lackiert werden, so wird sie durch die in einem Trog oder Kessel befindliche Harzlösung geführt.

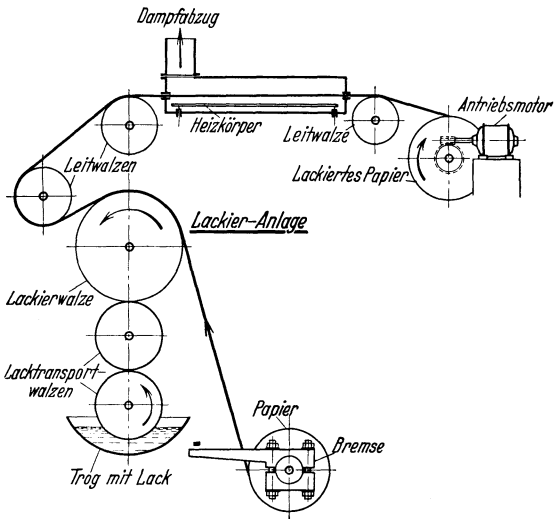


Abb. 95. Schema der Herstellung von Kunstharz-Hartpapier.

Die Weiterverarbeitung erfolgt auf zwei verschiedene Arten je nachdem, ob Platten oder Rohre, Stangen und ähnliche Formstücke hergestellt werden sollen. Hiernach richtet sich auch die Art der Behandlung der Bahn mit dem Kunstharzlack und die Art und Stärke des Papiers oder des Gewebes. Für Hartpapierplatten werden zweiseitig lackierte, schwere Papiere mit einem Gewicht von 60–120 g/qm verwendet, dagegen für Rohre und ähnliche Formstücke leichtere Papiere von 30–60 g/qm, einseitig lackiert. Das Papier darf nicht zu stark geleimt und satiniert sein und muß eine gewisse Saugfähigkeit besitzen.

Für die Hartpapierplatten werden entsprechende Stücke des lackierten Papiers abgeschnitten, aufeinander geschichtet und auf

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie, 1932, Stäger, S. 605 Abb. 259a.

hydraulischen Etagenpressen unter Einwirkung von Wärme bei etwa 150° zusammengepreßt, wobei das Kunstharz von dem Zustand A in den Zustand C übergehen soll. Nach dem Heizen wird meist unter Druck gekühlt, um höheren Glanz zu erzielen und das Verziehen zu vermeiden.

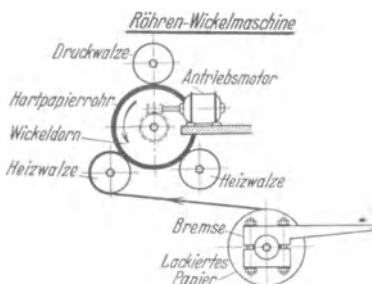


Abb. 96. Schema einer Röhrenwickelmaschine.

Der Glanz wird durch das Zwischenlegen von polierten Messing-, Kupfer- oder Nickelplatten, auch durch mit Nickel plattierte Stahlbleche, hervorgerufen. Sollen auf der Oberfläche der Platten Muster oder Verzierungen angebracht werden, so werden die entsprechenden Muster auf den Metallzwischenlagen vorgesehen. Die äußeren Papierbahnen können bedruckt sein, um edle Hölzer, Steine oder Tapeten nachzuahmen. Durch die nach dem Masa-Verfahren (Dt. Anm. M 108994 Kl 75 b 11) photomechanisch über-

tragenen Holzmaserungen oder Natursteinadern entstehen Platten, die den Naturstoffen täuschend ähnlich sehen. Zwischen oder auf die Papierlagen kann auch Pappe, Asbestpappe, Furnierholz und andere ähnliche Schichtstoffe gebracht werden.

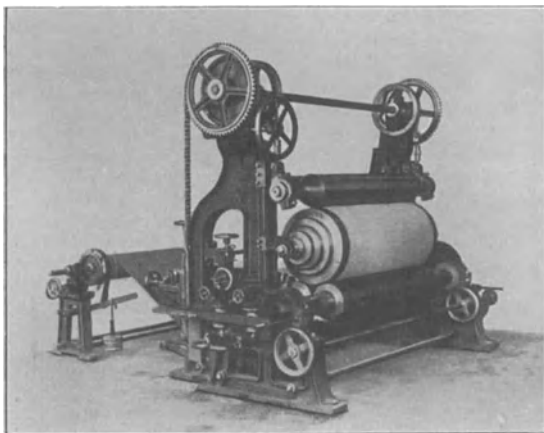


Abb. 97. Röhrenwickelmaschine für große Wickeldorne.

Um Hartpapierrohre oder Stangen herzustellen, werden Maschinen verwendet, deren Schema für das Rohrwickeln in Abb. 96<sup>1</sup> und deren Äußeres in Abb. 97<sup>2</sup> wiedergegeben ist. Das lackierte Papier läuft von der Vorratsrolle über Heizwalzen auf den Wickeldorn. Durch die Wärmezufuhr erweicht die Harzschicht zunächst, unter dem

Druck der Heizwalzen werden die Schichten dicht verklebt. Eine besondere Druck- und Glättwirkung der Heizwalzen. Die Wickeldorne oder Walzen sind entweder schwach konisch oder mehrteilig, um das fertige Stück abziehen zu können. Beim Wickeln

<sup>1</sup> Kolloidchem. Technologie, Abb. 259 b.

<sup>2</sup> Geller, J.: Verarbeitung von Kunstharzen. Brennstoff-Chem. 1932 S. 130 Abb. 2.

beginnt bereits die Härtung des Harzes, die zu Ende geführt wird, indem das auf dem Dorn befindliche Stück im Trockenschrank oder im Ölbad je nach der Stärke mehrere Stunden bei 130—150° nachgeheizt wird. Auf diese Weise können Rohre großer Durchmesser, z. B. 600 mm, in Längen von 2 m je nach der Maschinenbreite hergestellt werden.

Von der amerikanischen Bakelite Corporation wird mit Kunstharzlösung getränktes Papier, das das Harz im A-Zustand enthält, zur Herstellung dünner, flacher Formstücke einfachen Querschnitts geliefert. Das Papier wird nach dem Umriß des herzustellenden Formstücks ausgeschnitten oder ausgestanzt und in soviel Lagen aufeinander geschichtet, wie für die Dicke des Stückes notwendig ist. Beim Zusammenpressen werden die Lagen nur senkrecht zusammengedrückt, seitlich fließen oder steigen kann dieser Schichtstoff kaum. Es lassen sich kleine Ränder oder Erhöhungen ähnlich wie beim Ziehen von Pappe herstellen. Dieses getränkte Papier läßt sich auch zusammen mit den üblichen Preßpulvern verarbeiten. Durch das Zusammenpressen der noch nicht ausgehärteten, warmen Rundrohre lassen sich ovale, flache, quadratische und andere Profile herstellen. Diese Profilstücke werden in Stahl-Abquetschformen zusammengedrückt und gehärtet.

Stäbe werden entweder aus Platten geschnitten und gedreht oder wie Rohre über einen Draht gewickelt, der nachher herausgezogen wird. Die gewickelten Stäbe werden dann in Stahlformen nachgepreßt und gehärtet.

Werden an Stelle des Papiers Gewebebahnen, die meist aus Baumwolle bestehen, mit der Kunstharzlösung bestrichen, so können nach dem gleichen Verfahren Platten und Rohre hergestellt werden. Diese Hartstoffe oder Hartgewebe zeichnen sich durch außerordentliche Festigkeit und Zähigkeit aus.

Nach dem gleichen Verfahren lassen sich auch mit Naturharzen als Bindemittel, z. B. mit Schellack, Hartpapiere und Hartstoffe herstellen.

**Eigenschaften und Anwendung.** Hartpapiere und Hartstoffe haben vorzügliche mechanische Eigenschaften und lassen sich mit spanabhebenden Werkzeugen gut bearbeiten. Hartpapiere haben in trocknen Räumen ausgezeichnete isolierende Eigenschaften, sie werden deshalb seit etwa 20 Jahren in der Elektroindustrie und vor allem in der Hochspannungstechnik als Isolierbaustoff verwendet. Durch den Verband deutscher Elektrotechniker sind Leitsätze zur Prüfung von Hartpapierplatten aufgestellt worden<sup>1</sup>, die für solche Platten mit Kunstharz als Klebstoff von 0,25 mm Stärke an gelten sollen. Diese Leitsätze enthalten auch die Grenzwerte der verschiedenen Eigenschaften. Entsprechende Leitsätze sind für die Prüfung von Hartpapierrohren aufgestellt worden (VDE 509). Die Prüfungen sollen in Anlehnung an die VDE-Bestim-

<sup>1</sup> Elektrotechn. Z. 1931 S. 392; VDE 510.

mungen 318, 455 und 459 vorgenommen werden, die im Abschnitt Prüfungen behandelt sind.

Für Hartpapierplatten sind drei Klassen vorgesehen, für runde Hartpapierrohre eine Klasse. „Bis zu einer Dicke von 1,5 mm lassen sich Hartpapierplatten aller drei Klassen kalt gut stanzen. Bei dickeren Platten macht das Stanzen Schwierigkeiten. Es empfiehlt sich dann eine Anwärmung des Werkstoffes auf 80–100°.

Wesentlich für die Beurteilung der Güte von Hartpapierplatten ist die Größe des Widerstandes gegen Spalten. Da die Festigkeit einer Harzschicht in sich wesentlich größer als der Zusammenhang der Papierfasern innerhalb einer Papierschicht ist, erfolgt die Spaltung fast stets in einer Papierschicht und die Spaltflächen zeigen häufig beiderseits

undurchtränkt erscheinende Papierfasern, was keinesfalls, wie vielfach irrtümlich angenommen wird, als ein Mangel des Hartpapiers angesehen werden kann.

Als Wärmeprüfung wird nicht die Martens-Probe verwendet, sondern das Verhalten nach einer bestimmten Lagerdauer in einem heißen Ölbad beobachtet. Die Versuchsstücke dürfen nachher weder Risse noch Blasen noch sonstige, erhebliche Veränderungen zeigen. Bringt man das Versuchsstück plötzlich in ein Ölbad von wesentlich über 100°, so kann der

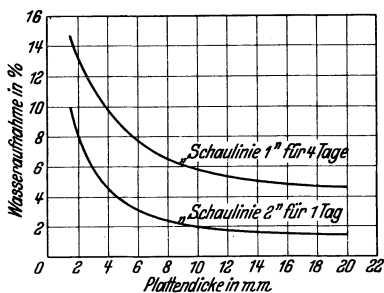


Abb. 98. Zulässige Wasseraufnahme von Hartpapier der Klasse I und II nach 1- und 4tägigem Liegen in Wasser. VDE 510.

Gasdruck so schnell ansteigen, daß die Gase die Schichten auseinandersprengen. — Da die Harzschichten quer zur Schichtung wenig Wasser durchlassen, dringt dieses in der Hauptsache in der Schichtrichtung ein.“ Die zulässige Wasseraufnahme zeigt Abb. 98<sup>1</sup>.

In Tabelle 64 sind die Grenzwerte der VDE-Leitsätze zusammengestellt mit einigen Angaben von Herstellern. Die von diesen genannten Zahlen sind wohl als Höchstwerte zu betrachten. Die Spannungsprüfung ist nur für Klasse I vorgeschrieben und besonders angeführt.

**Hartstoffe.** In Tabelle 65 sind einige Werte der Eigenschaften von Hartstoffen nach den Angaben der Hersteller enthalten.

Hartpapierplatten werden nicht nur in der Elektroindustrie, sondern auch in der Bau- und Möbelindustrie und im Karosseriebau als Wandverkleidungen, Tür- und Pultbeläge, als Büchereinbände und für viele andere Zwecke verwendet. Hartstoff bietet gegenüber Hartpapier elektrisch keine Vorteile, seine Hauptverwendung findet er als Werkstoff für Zahnräder. Hartstoffzahnräder laufen, auch im Eingriff mit Metallzahnradern, geräuschlos. Sie sind unempfindlich gegen Öl und Feuchtigkeit. Ihre Festigkeit ist so groß, daß bis zu Zahnbreiten von

<sup>1</sup> Elektrotechn. Z. 1931 S. 394 Abb. 3.

Tabelle 64. Grenzwerte für Hartpapierplatten nach den VDE-Leitsätzen.

|                                                 | *<br>Klasse I                         | *<br>Klasse II                        | *<br>Klasse III        | **<br>Trolitax<br>normal | **<br>Pollopas | **<br>Hares        |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|--------------------|
| Spezifisches Gewicht . . . . .                  | 1,42                                  | 1,42                                  | 1,42                   | 1,39                     | 1,45           | 1,4                |
| Biegefestigkeit . . . . . kg/qcm                | 1300                                  | 1300                                  | 1300                   | 1950                     | 1800           | 1800               |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . . cmkg/qcm        | 20                                    | 20                                    | 13                     | 31                       | 32             | 11 25              |
| Zugfestigkeit . . . . . kg/qcm                  | 1000                                  | 1000                                  | 1000                   | 1100                     | 900            | 1200               |
| Widerstand gegen Spalten . . . . . kg           | 125                                   | 125                                   | —                      | —                        | —              | —                  |
| Wärmebeständigkeit (Verhalten im Ölbad) . .     | 4 Stunden<br>bei 130°<br>nach Abb. 98 | 2 Stunden<br>bei 105°<br>nach Abb. 98 | 10 Minuten<br>bei 150° | —                        | —              | —                  |
| Wasseraufnahme . . . . . %                      | —                                     | —                                     | —                      | —                        | —              | 0,5                |
| Oberflächenwiderstand                           |                                       |                                       |                        |                          |                |                    |
| trocken } Vergleichszahl . . . . .              | 4                                     | 4                                     | —                      | —                        | —              | —                  |
| feucht } . . . . .                              | 3                                     | 3                                     | —                      | —                        | —              | —                  |
| Widerstand im Innern                            |                                       |                                       |                        |                          |                |                    |
| trocken } Megohm . . . . .                      | 10000                                 | 10000                                 | —                      | 200000                   | —              | —                  |
| feucht } . . . . .                              | 1000                                  | 100                                   | 1000                   | 3250                     | —              | —                  |
| Dielektrische Verluste tg δ bei 100 V, 800 Hz . | —                                     | —                                     | 0,1                    | —                        | —              | 60000<br>0,01—0,03 |

\* Nach den Leitsätzen des VDE einzuhaltende Grenzwerte von Hartpapierplatten und \*\* erreichte Werte.

Prüfspannungen für Hartpapierplatten der Klasse I nach den Leitsätzen des VDE.

| Für Klasse I                                           | Bei 20° |    | Bei 90° |      |
|--------------------------------------------------------|---------|----|---------|------|
| Plattenstärke mm . . . . .                             | 1       | 2  | 1       | 2    |
| Prüfspannung in kV senkrecht zu den Schichten, in Öl . | 23      | 42 | 11,5    | 21   |
|                                                        |         |    |         | 27,5 |

60 mm keine seitliche Armierung nötig ist. Derartige Zahnräder werden namentlich im Motoren- und Werkzeugmaschinenbau für schnelllaufende Triebe verwendet. Als Ausgangsstoff dienen entweder Platten,

Tabelle 65. Eigenschaften einiger Hartstoffe.

|                                                       | Resitex<br>grob | Resitex<br>fein | Harex<br>Leinen | Harex<br>Asbest |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Spezifisches Gewicht                                  | 1,35            | 1,35            | 1,4             |                 |
| Biegefestigkeit<br>senkrecht zur<br>Schichtung kg/qcm | 1600            | 2000            | 14—1600         | 1300            |
| parallel . kg/qcm                                     | 1500            | 1800            |                 |                 |
| Schlagbiegefestigkeit<br>cmkg/qcm                     | —               | —               | 30—40           | 25              |
| Widerstand gegen<br>Spalten . . . . kg                | 320             | 300             | —               | —               |

aus denen mit der Band- oder Kreissäge Stücke von der ungefähren Größe des Rades abgeschnitten und auf der Drehbank auf den richtigen Durchmesser abgedreht werden, oder vorgepreßte Radscheiben. Beim Pressen kann auch eine seitliche Profilierung vorgenommen werden, die bei der Verwendung von Platten-

material nicht möglich ist. Die Bearbeitung ist der von Messing oder Hartholz ähnlich.

## IX. Plastische Massen als Isolierstoffe der Elektrotechnik.

In dem II. Teil des Buches sind bisher die einzelnen Gruppen der plastischen Massen nach ihrer Zusammensetzung angeordnet. In jeder Gruppe ist auf die plastischen Massen hingewiesen, die als Isolierstoffe in der Elektrotechnik Verwendung finden. In diesem Abschnitt sind die Isolierstoffe besonders zusammengestellt. Ihre Eigenschaften und ihre Prüfung sind gemeinsam mit denen der anderen plastischen Massen im III. Teil des Buches erörtert.

### 1. Gummifreie Isolierstoffe.

Eine Gruppe der Preß- und Spritzmassen, die gummifreien Isolierstoffe<sup>1</sup> sind durch die Gemeinschaftsarbeit der deutschen elektrotechnischen Industrie und des Staatlichen Materialprüfungsamtes, Berlin-Dahlem, sowie der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin, zu Typen entwickelt und genormt worden. Die Hersteller und Verarbeiter dieser Massen sind in Fachgruppe 20, Preßstoffe, des Zentralverbandes der deutschen elektrotechnischen Industrie zusammengefaßt. Die letzte Veröffentlichung über die Typisierung gummifreier Isolierstoffe, die in der Elektrotechnischen Zeitschrift 1932 Heft 29 S. 708 erschien, ist im folgenden mit den zugehörigen Erläuterungen wiedergegeben.

<sup>1</sup> Sommerfeld, A.: Gummifreie Isolierstoffe. Berlin: Julius Springer 1927.

Tabelle 66. Typisierung der gummifreien Isolierpreßstoffe<sup>1</sup>.

| Type | Mechanische Eigenschaften                       |                                                         | Thermische Eigenschaften                              |                                                 | Elektrische Eigenschaften                                                                  |                                  | Zusammensetzung                                                                      | Verarbeitungsart |
|------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|      | Biegefestigkeit <sup>2, 4</sup><br>mind. kg/qcm | Schlagbiegefestigkeit <sup>2, 4</sup><br>mind. cmkg/qcm | Wärmefestigkeit <sup>2, 4</sup><br>mind. Martensgrade | Glutfestigkeit <sup>2, 4</sup><br>mind. Güegrad | Oberflächenwiderstand <sup>1, 4</sup> nach 24-st. Liegen in Wasser<br>mind. Vergleichszahl | Sonderanforderungen <sup>5</sup> |                                                                                      |                  |
| I    | 500                                             | 3,5                                                     | 150                                                   | 4                                               | 3                                                                                          |                                  | Phenoplastisches Kunstharz m. anorg. Füllstoff                                       | Warmpressung     |
| O    | 600                                             | 5,0                                                     | 100                                                   | 2                                               | 3                                                                                          |                                  | Phenoplastisches Kunstharz m. org. Füllstoff                                         | Warmpressung     |
| S    | 700                                             | 6,0                                                     | 125                                                   | 3                                               | 3                                                                                          |                                  | Phenoplastisches Kunstharz m. org. Füllstoff                                         | Warmpressung     |
| T    | 600                                             | 12,0                                                    | 125                                                   | 2                                               | 3                                                                                          |                                  | Phenoplastisches Kunstharz m. org. Gespinst als Füllstoff                            | Warmpressung     |
| K    | 600                                             | 5,0                                                     | 100                                                   | 2                                               | 4                                                                                          |                                  | Aminoplastisches Kunstharz m. org. Füllstoff                                         | Warmpressung     |
| 7    | 250                                             | 1,5                                                     | 65                                                    | 1                                               | 3                                                                                          |                                  | Naturharz, natürl. oder künstl. Bitumen m. Asbest u. mineral. Füllstoff <sup>6</sup> | Warmpressung     |
| 8    | 150                                             | 1,0                                                     | 45                                                    | 3                                               | 3                                                                                          |                                  | Natürl. od. künstl. Bitumen mit Asbest und mineral. Füllstoff <sup>6</sup>           | Warmpressung     |
| A    | 300                                             | 15,0                                                    | 45                                                    | 1                                               | 3                                                                                          |                                  | Azetylzellulose mit oder ohne Füllstoff                                              | Warmpressung     |
| N    | 300                                             | 4,0                                                     | 40                                                    | 2                                               | 3                                                                                          |                                  | Nitrozellulose mit Füllstoff                                                         | Warmpressung     |
| 2    | 350                                             | 2,0                                                     | 150                                                   | 4                                               | 3                                                                                          |                                  | Kunstharz mit Asbest und mineralischem Füllstoff                                     | Kaltpressung     |
| 3    | 200                                             | 1,7                                                     | 150                                                   | 4                                               | 3                                                                                          |                                  | Kunstharz mit Asbest und mineralischem Füllstoff <sup>6</sup>                        | Kaltpressung     |
| 4    | 150                                             | 1,2                                                     | 150                                                   | 4                                               | 3                                                                                          |                                  | Natürl. od. künstl. Bitumen mit Asbest und mineral. Füllstoff <sup>6</sup>           | Kaltpressung     |
| Y    | 1000                                            | 5,0                                                     | 400                                                   | 5                                               | 4                                                                                          |                                  | Bleiborat mit Glimmer <sup>6</sup>                                                   | Warmpressung     |
| X    | 150                                             | 1,5                                                     | 250                                                   | 5                                               | — <sup>7</sup>                                                                             |                                  | Zement oder Wasserglas mit Asbest und mineral. Füllstoff                             | Kaltpressung     |

<sup>1</sup> Die Bezeichnung „Isolierpreßstoffe“ umfaßt auch die im Wege des Preßspritzverfahrens zu verarbeitenden Stoffe.

<sup>2</sup> Nach den „Vorschriften für die Prüfung elektrischer Isolierstoffe“ des VDE (Sonderdruck VDE 318). Die Prüfung erfolgt an Proben, die nach den in den Prüfvorschriften angegebenen Abmessungen gepreßt sind. Zur Herstellung der Probestäbe ist die Preßmasse sinngemäß in gleicher Weise wie zur Herstellung der fertigen Preßstücke zu behandeln.

<sup>3</sup> Nach den „Leitsätzen für die Bestimmung der Glutfestigkeit von Isolierstoffen“ des VDE (Sonderdruck VDE 507).



**Typisierung der gummifreien Isolierpreßstoffe.** Gemäß dem am 20. Mai 1932 gefaßten Beschluß der Fachgruppe 20 (Preßstoffe) des Zentralverbandes der deutschen elektrotechnischen Industrie wird die bisherige Typisierung der gummifreien Isolierpreßmassen<sup>8</sup> durch die vorstehende ersetzt.

<sup>4</sup> Die Probestäbe dürfen im Durchschnitt keine geringeren Zahlen als die oben angegebenen Mindestwerte aufweisen. Unterschreitungen der unteren Grenzen durch Einzelwerte sind für die Wärmefestigkeit bis höchstens 5%, für die Biegefestigkeit und Schlagbiegefestigkeit bis höchstens 10% zulässig. Für den Oberflächenwiderstand und die Glutfestigkeit dürfen auch die Einzelwerte die festgesetzte Mindestzahl nicht unterschreiten.

Für die Typen sind lediglich die unteren Grenzen der maßgebenden Eigenschaften festgelegt. Überschreitungen dieser Grenzen nach oben sind zulässig, doch würde es dem Sinne der Typisierung widersprechen, wenn Preßmassen mit einer niedrigeren Type bezeichnet würden, obwohl ihre Eigenschaften regelmäßig denen einer höheren Type entsprechen.

<sup>5</sup> Für einige besondere Zwecke werden elektrische Sonderanforderungen gestellt. Diese erstrecken sich auf die dielektrischen Verluste, den Widerstand im Innern und den Oberflächenwiderstand. Die Prüfdaten für die elektrischen Sonderanforderungen sind aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlich:

Tabelle 67.

| Elektr. Eigenschaft . . . | Widerst. im Innern<br>mindestens 5000 M $\Omega$                            | dielektrischer Verlustfaktor tg $\delta$<br>höchstens 0,1 | Oberflächenwiderstand mindestens<br>5000 M $\Omega$    |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Prüfverfahren .           | Sonderdruck<br>VDE 455, § 10                                                | Sonderdruck<br>VDE 455, § 22                              | Sonderdruck<br>VDE 318, II B 1                         |
| Versuchskörper            | 1 Normalplatte<br>150×150 mm (mit<br>5 Meßstellen)                          | 2 Normalplatten                                           | 1 Normalplatte (ohne<br>Abschleifen der<br>Oberfläche) |
| Meßspannung .             | 110 V Gleichspannung                                                        | 100 V Wechselspannung 800 Per/s                           | 1000 V Gleichspannung                                  |
| Meßzeit . . .             | 20 s                                                                        | —                                                         | 60 s                                                   |
| Vorbehandlung             | 4 Tage in 80% rel. Luftfeuchtigkeit bei<br>20° C (nach Sonderdruck VDE 459) |                                                           | 1 Tag in Wasser                                        |

Typen von gummifreien Isolierpreßstoffen, die außer den normalen mechanischen, thermischen und elektrischen Bedingungen noch den obigen elektrischen Sonderanforderungen genügen, führen die Typenbezeichnung mit einem Stern (Beispiel O\*). Den Sonderanforderungen kann nicht durch alle Typen entsprochen werden.

<sup>6</sup> Die Zusammensetzung dieser Preßmassen kann auch von der oben angegebenen üblichen abweichen.

<sup>7</sup> Für die Type X ist eine Prüfung des Oberflächenwiderstandes nicht vorgesehen. Bei dieser Type kommt es nur auf den höheren Grad der Glutsicherheit und die hierdurch gewährleistete Lichtbogensicherheit an. Zu den eigentlichen Isolierstoffen gehört diese Type nicht.

<sup>8</sup> Elektrotechn. Z. 1928 S. 1094.

Die erste Einteilung der gummifreien Preßstoffe erfolgte im Jahre 1922 durch eine Klassifizierung<sup>1</sup>, deren erste Fassung später geringfügig abgeändert wurde<sup>2</sup>. Die Klassifizierung wurde im Jahre 1928 durch die bis jetzt geltende Typisierung<sup>3</sup> ersetzt. An deren Stelle tritt nunmehr die nachstehende neue Typisierung. Sie unterscheidet sich von der bisherigen

1. durch Aufnahme neuer Typen (T, K, A, N, Y),
2. durch eine veränderte Reihenfolge,
3. durch Aufnahme der Zusammensetzung der Preßstoffe in die eigentliche Typisierungstabelle,
4. durch Änderung einiger Zahlenwerte bereits bisher in der Typisierung enthaltener Typen.

In den Erläuterungen zur bisher geltenden Typisierung war bereits in Aussicht genommen, Preßmassen neuartiger Zusammensetzung, die sich in größerem Maßstabe einführen sollten, in die Typisierung einzuordnen. Es erscheint notwendig, eine Anzahl neuerdings entwickelter Preßmassen, die bisher als Sonderpreßmassen betrachtet wurden, in die Typisierung einzuordnen. Mit dem Zunehmen der Bedeutung der Typisierung der gummifreien Preßmassen in der Technik und im Handelsverkehr trat der Wunsch, möglichst nur typisierte Preßmassen zu verwenden, immer mehr hervor; diesem Wunsch wird nunmehr durch die neue Typisierung genügt.

Bereits bisher begründete die Reihenfolge der Typen in der Tabelle keine Rangordnung. Mit der Einführung mehrerer durch Buchstaben anstatt Ziffern bezeichneter Typen wird es noch klarer, daß eine Rangordnung zwischen den Typen überhaupt nicht möglich ist. Die Reihenfolge in der Typisierungstabelle ist nunmehr entsprechend der Zugehörigkeit zu Gruppen gleicher bzw. ähnlicher Zusammensetzung erfolgt.

Die Zusammensetzung und Verarbeitungsart der Preßmassen wurde bisher nur in der Erläuterung der Typisierung erwähnt. Die Angaben wurden lediglich als in der Regel geltend bezeichnet. In der neuen Typisierung ist dagegen die Zusammensetzung mit Ausnahme derer der Typen 7, 8, 3, 4 und Y verbindlich, d. h. die übrigen Typen sind nunmehr nicht nur durch ihre Eigenschaften, sondern auch durch ihre Zusammensetzung eindeutig charakterisiert. Die Verarbeitungsart (Preßtechnik) ist für alle Typen verbindlich. Es erleichtert dies in Zweifelsfällen die Identifizierung der Preßmassen. Wenn in der Spalte „Zusammensetzung“ für eine Preßmasse organische Füllstoffe angegeben sind, schließt dies nicht aus, daß neben dem organischen Füllstoff auch noch anorganischer Füllstoff oder Farbstoff verwendet wird.

<sup>1</sup> Elektrotechn. Z. 1923 S. 137.

<sup>2</sup> Elektrotechn. Z. 1924 S. 730, 1925 S. 979.

<sup>3</sup> Elektrotechn. Z. 1928 S. 1094.

Änderungen in bezug auf die Grenzwerte der Eigenschaften sind erfolgt bei den Typen O, S und X, und zwar sind bei O und S höhere Grenzwerte für die Biegefestigkeit und Schlagbiegefestigkeit eingesetzt, da tatsächlich bei den Massen dieser Typen diese Werte ausnahmslos überschritten worden sind; für die die Wärmefestigkeit charakterisierenden Martensgrade sind bei diesen beiden Typen geringere Grenzwerte als bisher eingesetzt worden. Hierdurch wird indessen keine Ermäßigung der Anforderungen bedingt. Durch die in der Anmerkung 2 enthaltene, zur Klarstellung dienende Bestimmung, daß zur Herstellung der Probestäbe die Preßmasse sinngemäß in gleicher Weise wie zur Herstellung der fertigen Preßstücke zu behandeln ist, wird, da die meisten Isolierteile in nicht nachgehärtetem Zustande geliefert werden, das „Nachhärten“ der Probestäbe der Typen O und S, das bisher allgemein angewandt wurde, ausgeschlossen. Ohne Nachhärtung erreichen Probestäbe von Preßmassen der Typen O und S, die mit Nachhärten 125 bzw. 150 Martensgrade erreichten, mit hinreichender Sicherheit nur die jetzt vorgeschriebenen Grenzwerte. Es muß aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß bei den Typen 1, O und S durch geeignetes Nachhärten der Probestäbe und Preßstücke wesentlich höhere Martensgrade erreicht werden können. Die Erhöhung des Grenzwertes für die Wärmefestigkeit von Type X bedeutet keine Erhöhung der Anforderungen. Auch bisher wurde der jetzt eingesetzte Grenzwert von den Preßmassen dieser Type erreicht. Es war indessen allgemein eine Prüfung über 150 Martensgrade hinaus nicht vorgesehen. Da jetzt für die Type Y der Grenzwert auf 400 Martensgrade festgesetzt ist, dient es zur Klarstellung über die tatsächlichen Verhältnisse, wenn auch für die Typen X der Grenzwert für die Wärmefestigkeit entsprechend erhöht wird.

Der Angabe der Wärmefestigkeit in Martensgraden entspricht die Prüfung mit der verhältnismäßig hohen Belastung von 50 kg/qcm; es können daher unter Umständen bei geringer mechanischer Beanspruchung Isolierteile unbedenklich bei höherer Temperatur verwendet werden als der Wärmefestigkeit der Preßmassen in Martensgraden entspricht<sup>1</sup>.

Der ersten Einteilung der gummifreien Preßstoffe in Klassen<sup>2</sup>, lagen Wärmebeständigkeit und Biegefestigkeit zugrunde. Mit der Typisierung<sup>3</sup> traten an Stelle der Klassen die Typen, und ihre Kennzeichnung erfolgte außer durch die Wärmebeständigkeit und Biegefestigkeit durch die Schlagbiegefestigkeit, den Oberflächenwiderstand nach 24stündigem Liegen in Wasser und durch die Glutsicherheit. Nach dem heutigen, auf S. 265 u. 266 wiedergegebenen Stand der Typisierung kann für besondere Zwecke zur Kennzeichnung der Preßstoffe der Widerstand im Innern

<sup>1</sup> Bis hierher Abdruck aus Elektrotechn. Z. 1932 S. 708.

<sup>2</sup> Elektrotechn. Z. 1923 S. 137.

<sup>3</sup> Elektrotechn. Z. 1928 S. 1094.

und der dielektrische Verlustfaktor  $\operatorname{tg} \delta$  sowie der Oberflächenwiderstand mit einem anderen Mindestwert als nach Vergleichszahl 3 herangezogen werden. Der Mindestwert des Oberflächenwiderstandes ist für diesen Fall mit  $5000 \text{ M}\Omega$  festgelegt, während die Vergleichszahl 3 einen Wert zwischen  $10000$  und  $100 \text{ M}\Omega$  zuläßt. Hierdurch ist bewirkt, daß die Typisierung, die anfänglich auf die Bedürfnisse der Starkstromtechnik zugeschnitten war, nun auch in der Schwachstromtechnik benutzt werden kann. Das Reichspostzentralamt hat die neue Typisierung auch für seine Zwecke anerkannt. Ferner ist in der neuen Typisierung die Zusammensetzung verbindlich festgelegt, außer für die Typen 7, 8, 3, 4 und Y. Für alle Typen ist die Verarbeitungsart verbindlich. Im Laufe der Jahre ist also die Zahl der Eigenschaften zur Kennzeichnung der Preßstoffe vergrößert und die Art der Festlegung verschärft worden. Ein ständiger Ausschuß der Technischen Vereinigung von Fabrikanten gummifreier Isolierstoffe, die technische Kommission, in der auch die beiden Reichsämtler mitarbeiten, beschäftigt sich dauernd mit der schwierigen Aufgabe, die Typisierung der fortschreitenden Entwicklung anzupassen. Der vor mehr als 10 Jahren von den Fabrikanten gefaßte Entschluß, ihre Preßmassen zu typisieren, war veranlaßt durch das Entstehen zahlreicher neuer Werke kurz nach dem Krieg und durch das Auftreten minderwertiger und ungeeigneter Preßmassen, ohne daß eine Vergleichs- und Kontrollmöglichkeit zur Verfügung stand<sup>1</sup>.

**Überwachung.** Nachdem durch den Verband deutscher Elektrotechniker einheitliche Prüfbedingungen und durch die im Zentralverband der deutschen elektrotechnischen Industrie zusammengeschlossenen Fabrikanten gummifreier Isolierstoffe die Typisierung geschaffen war, bedurfte es noch eines weiteren Schrittes, um eine Gewähr dafür zu schaffen, daß die durch die Typisierung festgesetzten Mindestwerte auch richtig eingehalten werden. Diesem Zweck dient die Überwachung durch das Staatliche Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem, der sich die der technischen Vereinigung angehörenden Fabrikanten durch einen mit dem Amt geschlossenen Vertrag unterwerfen. Der Überwachungsvertrag enthält im wesentlichen folgendes. Die typisierten, von den Mitgliedern der Vereinigung verarbeiteten gummifreien Preßstoffe werden in der Weise überwacht, daß das Amt berechtigt ist, Einblick in die Fabrikation zu nehmen, Proben aus Fabrikation, Lager und Kundenkreis zu entnehmen, die Einsendung von Proben zu verlangen und die ihm von dritter Seite zur Verfügung gestellten, mit dem Überwachungszeichen versehenen Preßstücke zu prüfen. Die Mitglieder der Vereinigung sind verpflichtet, die Verarbeitung der typisierten Preßstoffe so sorgfältig durchzuführen und zu überwachen, wie es nach dem jeweiligen Stande der Technik möglich und wirtschaftlich durchführbar

<sup>1</sup> Schob, A.: Zur Typisierung der gummifreien Isolierpreßstoffe. *Elektrotechn. Z.* 1933 Heft 23 (Isolierstoffe-Heft) S. 555.



Abb. 99. Überwachungszeichen für gummitfreie Isolierpreßstoffe.

ist. Das Überwachungszeichen nach Abb. 99 darf der Fabrikant nach Erfüllung der Aufnahmebedingungen und nach Feststellung des Amtes, daß die eingereichten Proben den Anforderungen genügen, auf den aus überwachten Preßmassen hergestellten Preßstücken führen. Oben im Zeichen steht das vom Amt dem Fabrikanten zugewiesene

## 2. Statistik der Überwachung.

Tabelle 68. Zahl der Preßwerke, nach den überwachten Typen unterteilt.

| Veröffent-<br>lichung in<br>der ETZ<br>am | Zahl der über-<br>wachten |                 | Zahl der Preßwerke, die überwachen lassen:<br>Klassen |    |    |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|----|----|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
|                                           | Preß-<br>werke            | Preß-<br>stoffe |                                                       |    |    |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
|                                           |                           |                 | VI                                                    | I  | II | III | IV | VII | VIII | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                                         | 2                         | 3               | 4                                                     | 5  | 6  | 7   | 8  | 9   | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 3. 7. 1924                                | 8                         | 37              |                                                       | 1  | 5  | 4   | 6  | 5   | 2    | 8  | 6  |    |    |    |    |    |
| 26. 9. 1925                               | 19                        | 69              |                                                       | 4  | 7  | 7   | 16 | 7   | 7    | 12 | 9  |    |    |    |    |    |
| 1. 7. 1926                                |                           |                 |                                                       |    |    |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
| u. Nachtrag                               | 29                        | 86              |                                                       | 3  | 6  | 13  | 20 | 9   | 11   | 16 | 8  |    |    |    |    |    |
|                                           |                           |                 | Typen                                                 |    |    |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
|                                           |                           |                 | S                                                     | O  | 1  | 2   | 3  | 4   | 7    | 8  | X  | T  | K  | A  | N  | Y  |
| 2. 7. 1928                                | 39                        | 133             | 26                                                    | 12 | 11 | 20  | 21 | 5   | 16   | 13 | 9  |    |    |    |    |    |
| 2. 6. 1929                                | 51                        | 148             | 44                                                    | 21 | 12 | 19  | 16 | 5   | 12   | 12 | 7  |    |    |    |    |    |
| 8. 12. 1930                               | 80                        | 182             | 73                                                    | 24 | 17 | 19  | 16 | 5   | 13   | 9  | 6  |    |    |    |    |    |
| 30. 6. 1931                               | 84                        | 187             | 84                                                    | 29 | 22 | 15  | 9  | 4   | 9    | 9  | 6  |    |    |    |    |    |
| 29. 12. 1932                              | 86                        | 202             | 85                                                    | 17 | 25 | 14  | 5  | 3   | 9    | 7  | 4  | 9  | 19 | 2  | 2  | 1  |

Tabelle 69. Zahl der Preßwerke, nach den überwachten Kunstharz-Warmpreßmassen unterteilt.

| Veröffentlichung<br>in der ETZ<br>am | Zahl der über-<br>wachten |                 | Kunstharz-Warmpreß-<br>massen |                                |                           | Spalten<br>18, 19, 20<br>zu-<br>sammen<br>Preß-<br>werke | %<br>der über-<br>wachten<br>Preß-<br>werke |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                      | Preß-<br>werke            | Preß-<br>stoffe | nur S                         | nur 2<br>der<br>Typen<br>S O 1 | nur die<br>Typen<br>S O 1 |                                                          |                                             |
|                                      |                           |                 |                               | überwacht bei Preß-<br>werken  |                           |                                                          |                                             |
| 1                                    | 2                         | 3               | 18                            | 19                             | 20                        | 21                                                       | 22                                          |
| 2. 7. 1928                           | 39                        | 133             | 2                             | 3                              | 2                         | 7                                                        | 18                                          |
| 2. 6. 1929                           | 51                        | 148             | 11                            | 9                              | 2                         | 22                                                       | 43                                          |
| 8. 12. 1930                          | 80                        | 182             | 36                            | 7                              | 7                         | 50                                                       | 63                                          |
| 30. 6. 1931                          | 84                        | 187             | 43                            | 14                             | 8                         | 65                                                       | 77                                          |
| 29. 12. 1932                         | 86                        | 202             | 42                            | 18                             | 11                        | 71                                                       | 82                                          |

Kennzeichen. Unten im Zeichen tritt an Stelle des Kreuzes die Typenbezeichnung, die aus einem Buchstaben oder einer Zahl bestehen kann. Das Überwachungszeichen ist ein für die Vereinigung eingetragenes Warenzeichen, dessen Benutzung nur ihren Mitgliedern für die überwachten Preßstoffe zusteht. Das Amt kann unter gewissen Bedingungen

Tabelle 70. Zusammenstellung der plastischen Massen, die als Isolierstoffe in der Elektrotechnik dienen.

| Type                                                        | Bezeichnung des Isolierstoffes                 | Abschnitt        | Seite |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------|-------|
| Typisierte gummifreie Isolierstoffe, Preß- und Spritzstoffe |                                                |                  |       |
| T                                                           | Kunstharmischung mit Gewebeschnitzeln          |                  |       |
|                                                             | Textilphenoplast . . . . .                     | Kunstharz        | 244   |
| S                                                           | Holzmehl-Kunstharmischung . . . . .            | „                | 244   |
| O                                                           | „ „ . . . . .                                  | „                | 244   |
| 1                                                           | Asbest-Kunstharmischung. . . . .               | „                | 244   |
| 2                                                           | Asbest-Kunstharmischung, Kaltpreßmischung .    | „                | 244   |
| 3                                                           | Steinmehl-Kunstharmischung, Kaltpreßmischung   | „                | 244   |
| K                                                           | Harnstoffharmischung . . . . .                 | „                | 244   |
| 7                                                           | Naturharz-Asbestmischung . . . . .             | Naturharz        | 110   |
| 8                                                           | Asphalt-Asbestmischung . . . . .               | Asphalt und Pech | 217   |
| 4                                                           | Asphalt-Asbestmischung (Gummon). . . . .       | „                | 219   |
| A                                                           | Zelluloseazetat, (Lonarit) Trolit W . . . . .  | Zellulose        | 95    |
| N                                                           | Zellulosenitrat, Trolit F . . . . .            | „                | 87    |
| X                                                           | Zementasbest (Eternit) . . . . .               | Zement           | 191   |
| Y                                                           | Mycalex . . . . .                              | Glas             | 175   |
| Andere Isolierstoffe, hauptsächlich Preßstoffe              |                                                |                  |       |
|                                                             | Porzellan . . . . .                            | Porzellan        | 179   |
|                                                             | Steatit . . . . .                              | „                | 183   |
|                                                             | Melalith . . . . .                             | „                | 184   |
|                                                             | Glas . . . . .                                 | Glas             | 161   |
|                                                             | Quarzglas . . . . .                            | „                | 162   |
|                                                             | Sinterkorund . . . . .                         | „                | 185   |
|                                                             | Steinholz, Xylolith . . . . .                  | Zement           | 200   |
|                                                             | Preßbernstein . . . . .                        | Naturharz        | 109   |
|                                                             | Preßstoff mit trocknenden Ölen als Bindemittel | Trocknende Öle   | 114   |
|                                                             | Polystyrol . . . . .                           | Kunstharz        | 239   |
| Gummihaltige Isolierstoffe                                  |                                                |                  |       |
|                                                             | Hartgummi . . . . .                            | Kautschuk        | 141   |
|                                                             | Stark gefüllter Hartgummi, Stabilit, Aeternit  | „                | 143   |
|                                                             | Vulkanasbest, Kautschukasbest . . . . .        | „                | 143   |
| Schichtstoffe                                               |                                                |                  |       |
|                                                             | Papier. . . . .                                | Zellulose        | 74    |
|                                                             | Hartpapier. . . . .                            | Kunstharz        | 259   |
|                                                             | Preßspan . . . . .                             | Zellulose        | 80    |
|                                                             | Lackpappe . . . . .                            | „                | 80    |
|                                                             | Vulkanfiber . . . . .                          | „                | 81    |

Tabelle 71. Eigenschaften gummi-

| Sorte                                                          | SSW                | Hartgummi              |         |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|---------|
|                                                                |                    | H 44                   | H 92    |
| Spezifisches Gewicht . . . . .                                 |                    | 1,15                   | 1,18    |
| Biegefestigkeit . . . . .                                      | kg/qcm             | 1000                   | 800     |
| Schlagbiegefestigkeit . . . . .                                | cmkg/qcm           | 30                     | 10      |
| Wärmebeständigkeit nach Martens . . . . .                      | $^{\circ}\text{C}$ | 55                     | 45      |
| Glutschicherheit nach Schramm . . . . .                        | Gütegrad           | 1                      | 1       |
| Oberflächenwiderstand nach 24 Stunden Wasserlagerung . . . . . | Gütegrad           | 5                      | 5       |
| Lichtbogensicherheit . . . . .                                 | Gütegrad           | 0                      | 0       |
| Durchschlagsfestigkeit                                         |                    |                        |         |
| an 4 mm-Platte gemessen . . . . .                              | kV/mm              | 13                     | 13      |
| an 1 mm-Platte gemessen . . . . .                              | kV/mm              | 25                     | 20      |
| Verlustwinkel $\text{tg } \delta$ . . . . .                    |                    | 0,02                   | 0,02    |
| Dielektrizitätskonstante . . . . .                             |                    | 2,5                    | 2,6     |
| Farbe . . . . .                                                |                    | schwarz                | schwarz |
| Bearbeitbarkeit . . . . .                                      |                    | sehr gut               | gut     |
| Beständig gegen Alkali . . . . .                               |                    | ja                     | ja      |
| Säure . . . . .                                                |                    | ja                     | ja      |
| Öl . . . . .                                                   |                    | ja                     | ja      |
| Anwendungsform . . . . .                                       |                    | Platten<br>0,5—30 mm   |         |
| Verwendung für . . . . .                                       |                    | Hochbeanspruchte Teile |         |

die Benutzung auch deutschen Firmen gestatten, die nicht der Vereinigung angehören. Jedes Mitglied der Vereinigung ist verpflichtet, seine Preßstoffe selbst regelmäßig zu untersuchen und dem Amt Einsicht in die Versuchsprotokolle zu gestatten. Das Amt veröffentlicht von Zeit zu Zeit in der Elektrotechn. Z. die Einordnung der typisierten Preßstoffe unter Angabe der Firma, deren Kennzeichen und Handelsbezeichnung. Werden Verstöße gegen Wortlaut oder Sinn der Typisierung und des Vertrages festgestellt, so kann das betreffende Mitglied mit einer Geldstrafe belegt, ihm die Benutzung des Zeichens untersagt, der Preßstoff aus der Liste der typisierten Stoffe gestrichen, oder das Mitglied aus der Vereinigung ausgeschlossen werden. In den Ausführungsbestimmungen zum Überwachungsvertrag sind Zahl, Art und Herstellung der Proben und die von den Fabrikanten den Proben beizufügenden Erklärungen geregelt.

## haltiger Isolierstoffe.

| Hartgummi     |           | Eisengummi<br>H 13 | Leder-<br>gummi<br>H 42 | Aeternit<br>H 72 | Vulkan-<br>asbest<br>AEG. 5030 |
|---------------|-----------|--------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|
| H 6           | H 20      |                    |                         |                  |                                |
| 1,22          | 2         | 1,4                | 1,4                     | 1,7              | 1,9                            |
| 500           | 800       | 700                | 350                     | 600              | 350                            |
| 6             | 10        | 9                  | 10                      | 5                | 5                              |
| 40            | 45        | 60                 | —                       | 60               | —                              |
| 1             | 1         | 1—2                | 1                       | 2—3              | —                              |
| 5             | 5         | 5                  | 5                       | 5                | —                              |
| 0             | 0         | 0                  | 0                       | 0                | —                              |
| 13            | 12        | 12                 | 13                      | 18               | 2,5                            |
|               |           |                    | 20                      |                  | —                              |
| 0,02          | 0,02      | 0,02               | 0,02                    | 0,02             | —                              |
| 2,6           | 2,5       | 3                  | 3                       | 3,5              |                                |
| schwarz       | rot       | grauschwarz        | grauschwarz             | schwarz          |                                |
| ziemlich      | ziemlich  | gut                | gut                     | gut              |                                |
| gut           | gut       |                    |                         |                  |                                |
| ja            | ja        | ja                 | ja                      | nein             |                                |
| ja            | ja        | ja                 | ja                      | nein             |                                |
| ja            | ja        | ja                 | ja                      | ja               |                                |
| Formstücke    | Platten   | Platten, Stäbe     | ähnlich                 | Platten          |                                |
| auch mit      | und Stäbe | Formstücke         | Eisen-                  | Rohre            |                                |
| Metalleinlage |           |                    | gummi                   | Formstücke       |                                |
| Teile für     | Knöpfe    | Teile größerer     |                         | Teile großer     | Teile großer                   |
| el. Apparate  | Griffe    | Wärme-             |                         | Wärme-           | Wärme-                         |
|               |           | beständigkeit.     |                         | beständig-       | beständig-                     |
|               |           | Haftet sehr gut    |                         | keit             | keit                           |
|               |           | an verz. Eisen-    |                         |                  |                                |
|               |           | teilen             |                         |                  |                                |

Die Überwachung hat sich seit ihrem ungefähr 10jährigen Bestehen vorzüglich bewährt, wenn sich auch die Zahl der überwachten Firmen und die Art ihrer Fabrikation seit dem Beginn wesentlich geändert haben.

Tabelle 68/69 gibt einen Anhalt für diese Veränderungen. Die Zahl der überwachten Preßwerke hat sich von 8 auf 86 erhöht, die Zahl der überwachten Preßstoffe von 37 auf 202. In den Spalten 4—17 ist für jede überwachte Type die Zahl der Preßwerke angegeben. Die Zahl der Werke, die die aus Kunstharz und Holzmehl bestehende Schnellpreßmassen überwachen lassen, hat sich von 1928—1932 von 26 auf 85 gesteigert, d. h. nahezu alle Werke, die sich der Überwachung unterwerfen, lassen heute Type S überwachen. Für Type 1 ist eine allmähliche Steigerung von 5 auf 25 Werke festzustellen, während für Type O die Zahl nach anfänglicher Zunahme im letzten Jahr abgenommen hat. Type 2 zeigt im Laufe der Jahre eine Zunahme von 4 auf 14. Dagegen



ist bei den anderen Typen, nämlich bei 3, 4, 7, 8 und X entweder keine wesentliche Veränderung oder sogar eine Abnahme seit dem Beginn eingetreten. In den letzten Spalten der Tabelle 69 sind die Zahlen der

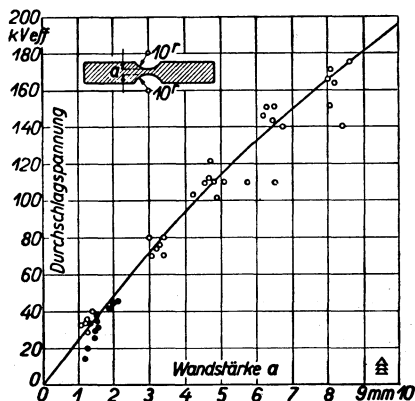


Abb. 100. Abhängigkeit der Durchschlagsspannung des Porzellans von der Schichtdicke.

Werke enthalten, die nur Kunstharz-Warmpreßmassen der Typen S, O und I überwachen lassen. Wenn auch zu berücksichtigen ist, daß die Zahl der überwachten Werke nicht mit der Zahl der bestehenden Werke übereinstimmt — man rechnet heute in Deutschland mit etwa 270 Pressereien —, so beschäftigen doch die überwachten Werke den größten Teil der in Preßwerken Arbeitenden. Auch ist zu beachten, daß nicht jedes Werk alle von ihm verarbeiteten typisierten Preßstoffe überwachen läßt. Die Zahlen zeigen aber, daß der größte Teil der Preßwerke nur solche Massen überwachen läßt,

die fast ausschließlich von den Preßpulverherstellern preßfertig bezogen werden. Die 8 Firmen, die im Jahre 1924 die Typisierung und Überwachung ins Leben gerufen haben, stellten fast alle ihre Preßmassen

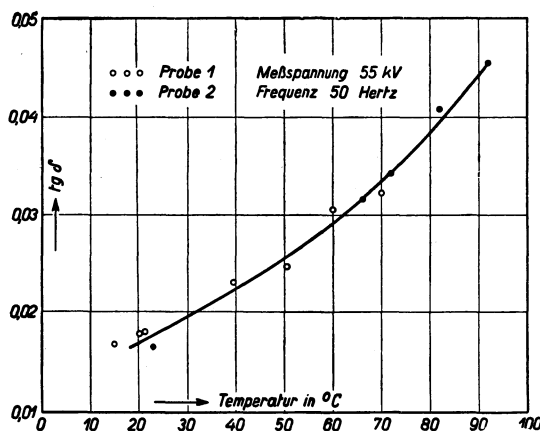


Abb. 101. Abhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors des Porzellans von der Schichtdicke.

selbst her. Sie mußten zu diesem Zweck über Mischerei und Laboratorium verfügen. Auch verarbeiteten alle eine größere Zahl der verschiedenen Typen. Heute braucht die Mehrzahl der überwachten Werke, und zwar 82%, keine Mischerei und kein Laboratorium. Die Hälfte von ihnen läßt nur Type S überwachen und verarbeitet wahrscheinlich auch nur diese eine Type.

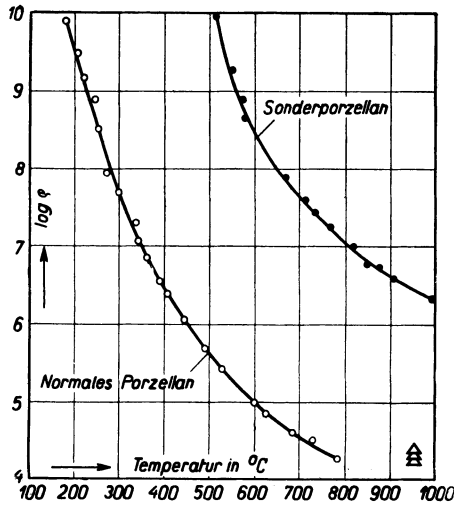


Abb. 102. Spezifischer (Durchgangs-) Widerstand von Porzellan in Abhängigkeit von der Temperatur;  $\rho$  in  $\Omega$ -Zentimeter.

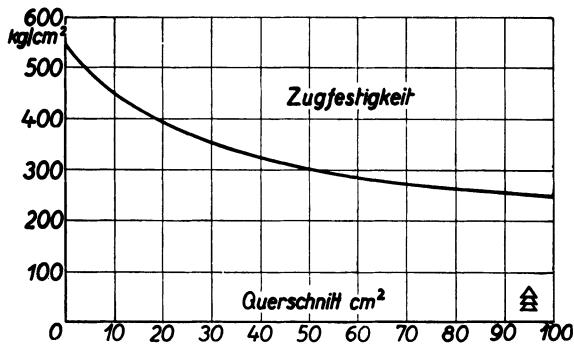


Abb. 103. Zugfestigkeit von gutem Hartporzellan mit hochwertiger Glasur in Abhängigkeit vom Querschnitt, für glatte massive Versuchskörper.

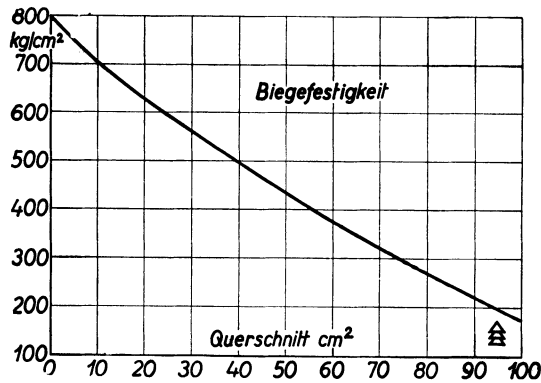


Abb. 104. Biegefestigkeit von gutem Hartporzellan mit hochwertiger Glasur in Abhängigkeit vom Querschnitt, für glatte massive Versuchskörper.

Tabelle 72. Eigenschaften von Isolierpapieren, nach Warren: Electrical Insulating Materials, S. 310.

| Ver-<br>suchs-<br>Nr. | Bezeichnung<br>des Papiers | Dicke<br>$\mu$ | Dichte<br>g/cm <sup>3</sup> | Zugfestigkeit<br>kg/qcm |      | Berstdruck nach<br>Ashcroft kg/qcm |                                             | Durch-<br>schlags-<br>festigkeit<br>V/mm > | Porosi-<br>tät <sup>2</sup> | %<br>Aschen-<br>rück-<br>stand | Leitende<br>Teilchen<br>je sqft <sup>3</sup> |
|-----------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|------|------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
|                       |                            |                |                             | längs                   | quer | Vor                                | Nach<br>der Alterung<br>24 Stunden bei 110° |                                            |                             |                                |                                              |
| 177                   | Pergamyn . . .             | 64             | 0,80                        | 0,59                    | 0,34 | 2,27                               | 1,55                                        | 11800                                      | 1,35                        | 0,89                           | 0                                            |
| 178                   | Kraft . . .                | 56             | 0,70                        | 0,57                    | 0,47 | 2,60                               | 2,73                                        | 9800                                       | 91,4                        | 0,55                           | 0                                            |
| 180                   | Sulfit . . .               | 48             | 1,06                        | 0,58                    | 0,30 | 1,50                               | 0,88                                        | 11000                                      | 81,1                        | 0,25                           | 1                                            |
| 185                   | Sulfit-Hadern . .          | 66             | 0,41                        | —                       | —    | —                                  | 0,62                                        | —                                          | —                           | —                              | —                                            |
| 219                   | Manila . . .               | 127            | 1,06                        | 0,60                    | 0,29 | 3,36                               | 3,34                                        | 9300                                       | 10,94                       | 5,07                           | 1                                            |
| 923 <sup>1</sup>      | Baumwoll-Hadern            | 76             | 0,70                        | 0,45                    | 0,19 | 2,08                               | 2,27                                        | 9300                                       | 36,3                        | 0,47                           | 0                                            |
| 923 <sup>1</sup>      | Sulfit-Holzschliff         | 76             | 0,83                        | 0,59                    | 0,26 | 2,70                               | 2,86                                        | 8900                                       | 37,5                        | 0,48                           | 0                                            |

<sup>1</sup> Beide Sorten besonders für die British Electrical and Allied Industries Research Association (BERA) angefertigt.

<sup>2</sup> Prüfung nach BERA, A/S 5, Teil 7. <sup>3</sup> Prüfung nach BERA, A/S 5, Teil 18.

Diesen veränderten Verhältnissen soll dadurch Rechnung getragen werden, daß sich auch die Hersteller von Preßpulvern der Überwachung unterwerfen.

An welcher Stelle des Buches die Zusammensetzung und Herstellung der plastischen Massen besprochen ist, die als Isolierstoffe dienen, ist in Tabelle 70 zusammengestellt.

Die Eigenschaften gummihaltiger Isolierstoffe sind in Tabelle 71 zusammengestellt, die der Isolierpapiere in Tabelle 72<sup>1</sup>.

In Tabelle 73 sind die Eigenschaften von Quarzglas, Glas und Porzellan angegeben.

Da die Eigenschaften eines Stoffes sich nicht in einfacher Beziehung mit den Abmessungen ändern und das Gesetz der Änderung der Eigenschaften meist nicht bekannt ist, so wäre eine Darstellung der Veränderungen der Eigenschaften in Abhängigkeit von wesentlichen und häufig vorkommenden Änderungen der Versuchsbedingungen nötig (S. 293). Dieser Forderung ist in einer Arbeit von H. Handrek über die wichtigsten Werkstoffeigenschaften elektrotechnischen Porzellans<sup>2</sup> entsprochen, aus der einige Kurven wiedergegeben sind (Abb. 100—104). Abb. 100, Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Schichtdicke, ent-

<sup>1</sup> Siehe auch A. R. Dunton u. A. W. Muir: Electrician Bd. 103 S. 419. Hierüber kurzes Referat Elektrotechn. Z. 1932 S. 973.

<sup>2</sup> Handrek, H.: Hescho Mitt. 1928 Heft 39 S. 1223. Referat in Elektrotechn. Z. 1929 Heft 36 S. 1292.

hält die Werte älterer Messungen, die heute erreichbaren Werte liegen höher, z. B. bei 2 mm 36 kV/mm anstatt 25 kV/mm in der Abbildung.

Tabelle 73. Eigenschaften von Quarzglas, Glas und Porzellan.

|                                                                      | Quarzglas                          | Glas               | Pyrexglas        | Porzellan                     |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|
| Angaben nach . . . . .                                               | Skaupy<br>ETZ 1930<br>S. 1746      | Skaupy<br>a. a. O. | Warren           | Singer<br>ETZ 1927<br>S. 1628 |
| Spezifisches Gewicht . .                                             | 2,21                               | 2,2—3,8            | 2,25             |                               |
| Druckfestigkeit . kg/qcm                                             | 19800                              | 6000—12600         |                  | 4500—5500                     |
| Zugfestigkeit . . „                                                  | über 700                           | über 350           |                  | 240—520                       |
| Biegefestigkeit . . „                                                | 700                                | —                  |                  | 400—900                       |
| Torsionsfestigkeit „                                                 | 300                                | 900                |                  | 250—500                       |
| Schlagbiegefestigkeit<br>cmkg/qcm                                    |                                    |                    |                  | 1,9—2,1<br>7—8 <sup>1</sup>   |
| Härte nach Mohs . . .                                                | 4,9                                | 5—7                |                  |                               |
| Schmelzpunkt . . . °C                                                | 1720                               | 1000—1500          | (Erw.) 600       | 1650—1700 <sup>1</sup>        |
| Ausdehnungskoeffizient · 10 <sup>6</sup><br>linear 0—1000 C . . .    | 0,55                               | 3,66—11,2          | 3,2              | 3—4,5                         |
| Spez. Wärme zwischen<br>17—100°. . . . .                             | 0,18                               | 0,018—0,232        | 0,20             | 0,20—0,25                     |
| Wärmeleitfähigkeit $\frac{\text{Kcal}}{\text{m.h.}}^{\circ\text{C}}$ | 0,72<br>(Warren)                   | 0,39—1,0           |                  | 0,9                           |
| Wasseraufnahme . . . .                                               | 0                                  |                    |                  |                               |
| Durchschlagsfestigkeit<br>kV/mm Dicke 1,53 mm                        | 19,7—25,6                          |                    | 13,8             |                               |
| Spez. Widerstand bei Zim-<br>mertemperatur . $\Omega/\text{cm}$      | 10 <sup>14</sup> —10 <sup>17</sup> |                    |                  |                               |
| Permittivity . . . . .                                               | 3,5—3,6                            |                    | 4,5              |                               |
| Farbe . . . . .                                                      | silberweiß<br>oder klar            |                    | grünlich<br>klar |                               |
| Brechungsindex . . . . .                                             |                                    |                    | 1,47             |                               |

### 3. Versuche über Dauerbeanspruchung durch Feuchtigkeit.

Zur Ergänzung der Angaben über die Eigenschaften gummifreier Isolierpreßstoffe ist über das Verhalten solcher Stoffe bei Dauerbeanspruchung durch Feuchtigkeit zu berichten<sup>2</sup>. Untersucht wurde der Einfluß der Feuchtigkeit auf Kalt- und Warmpreßstoffe, die die organischen Fasern Holzmehl und Zellulose und die mineralische Faser Asbest enthalten, in der Weise, daß Probestäbe 10 × 15 × 120 mm bis zu einem Jahr in Leitungswasser gelegt und dabei die Änderung der Feuchtigkeitsaufnahme, des Innenwiderstandes, der Biegefestigkeit und der Schlagbiegefestigkeit gemessen wurden. Die Zusammensetzung der untersuchten Preßstoffe zeigt Tabelle 74.

<sup>1</sup> Skaupy, a. a. O.

<sup>2</sup> Elektrotechn. Z. 1931 Heft 44 S. 1353. Mitteilung aus dem Gummiwerk der Siemens-Schuckertwerke A.-G. von W. Zebrowski.

Tabelle 74.

| Bezeichnung auf den Kurven | Type | Bindemittel                                       | Faser     | Warm oder kaltgepreßt |
|----------------------------|------|---------------------------------------------------|-----------|-----------------------|
| a                          | S    | Phenol-Formaldehydharz mit Hexa als Beschleuniger | Holzmehl  | W                     |
| b                          | O    | Kresol-Formaldehydharz                            | „         | W                     |
| c                          | K    | Harnstoff-Formaldehydharz                         | Zellulose | W                     |
| d                          | 1    | Kresol-Formaldehydharz                            | Asbest    | W                     |
| e                          | 2    | „                                                 | „         | K                     |
| f                          | 4    | Teerpech-Asphalt                                  | „         | K                     |
| g                          |      | reines Preßharz zum Vergleich                     |           |                       |

Abb. 105 zeigt die Wasseraufnahme, Abb. 106 die Änderung des Innenwiderstandes. Die Wasseraufnahme wurde nach der Herausnahme der Stäbe aus dem Wasser, Abwischen und einstündigem Trocknen bei Zimmertemperatur und 65% Luftfeuchtigkeit bestimmt, dann der Innenwiderstand nach den VDE-Vorschriften bei 1000 V an zwei eingepreßten Metallstiften von 5 mm Durchmesser und 10 mm Abstand gemessen. In Tabelle 75 sind die Werte für die Wasseraufnahme in Volumprozenten nach 300 Tagen und die Änderung der mechanischen Werte und des Innenwiderstandes angegeben.

Tabelle 75.

| Type                                         | 1                | 4                | 2                | K              | S                | O              |
|----------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| Wasseraufnahme Vol.-%                        | 1,2              | 3,6              | 4,7              | 8,0            | 8,2              | 10,5           |
| Biegefestigkeit . . kg/qcm                   |                  |                  |                  |                |                  |                |
| vor der Wasseraufnahme                       | 520              | 150              | 360              | 800            | 800              | 600            |
| nach der Wasseraufnahme                      | 520              | 150              | 360              | 600            | 370              | 300            |
| Änderung der Biegefestigkeit                 | 0                | 0                | 0                | — 200          | — 430            | — 300          |
| Schlagbiegefestigkeit                        |                  |                  |                  |                |                  |                |
| cmkg/qcm                                     |                  |                  |                  |                |                  |                |
| vor der Wasseraufnahme                       | 3,7              | 1,3              | 2,3              | 8,0            | 8,0              | 4,5            |
| nach der Wasseraufnahme                      | 3,6              | 1,2              | 2,3              | 4,9            | 5,5              | 3,0            |
| Änderung der Schlagbiegefestigkeit . . . . . | — 0,1            | — 0,1            | 0                | — 3,1          | — 2,5            | — 1,5          |
| Innenwiderstand MΩ                           |                  |                  |                  |                |                  |                |
| vor der Wasseraufnahme                       | $1,3 \cdot 10^5$ | $16 \cdot 10^5$  | $16 \cdot 10^5$  | $4 \cdot 10^5$ | $0,6 \cdot 10^5$ | $2 \cdot 10^5$ |
| nach der Wasseraufnahme                      | $6,8 \cdot 10^3$ | $1,4 \cdot 10^2$ | $1,1 \cdot 10^0$ | $9 \cdot 10^2$ | $1,4 \cdot 10^1$ | $3 \cdot 10^1$ |

Als besonders unempfindlich gegen Wasser erweist sich, wie die Zahlen der Tabelle 75 erkennen lassen, der warm verarbeitete Kunstharz-Asbestpreßstoff Type 1, der mit einer Wasseraufnahme von nur 1,2% seine Sättigung erreicht. Der kaltgepreßte Isolierstoff Type 2

nimmt trotz gleicher Zusammensetzung mehr Wasser auf als die warmgepreßte Type 1. Dem Kaltpreßstoff fehlt die bleibende Verdichtung unter Druck, die der Warmpreßstoff vor dem Verlassen des Preßwerkzeuges erfährt. Sein Gefüge wird vielmehr beim Nachheizen und dem

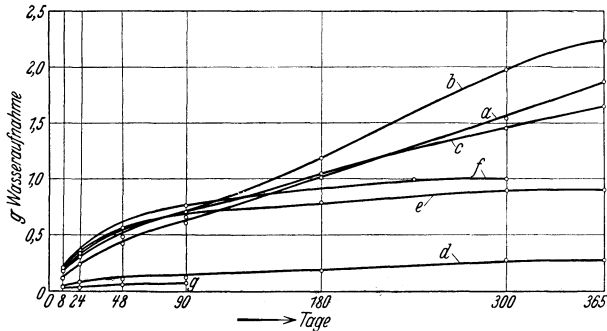


Abb. 105. Wasseraufnahme von Isolierpreßstoffen beim Liegen in Leitungswasser.

dabei eintretenden Vertreiben der Lösungsmittel des Harzes etwas gelockert. Dieser Unterschied zeigt sich auch deutlich in der Durchschlagsfestigkeit, die an einer 4 mm starken Platte gemessen, bei Type 1 8 kV/mm, bei Type 2 4 kV/mm beträgt. Das gleiche gilt für Type 4.

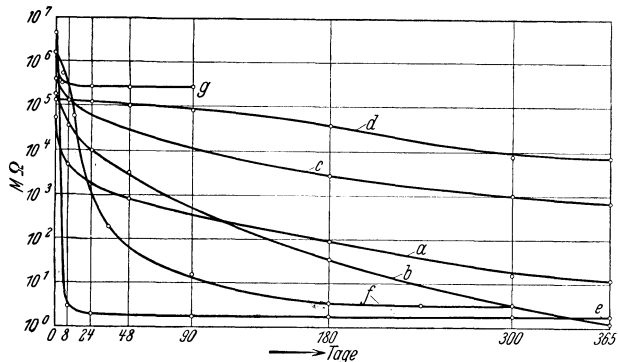


Abb. 106. Änderung des Innenwiderstandes von Isolierpreßstoffen beim Liegen in Leitungswasser.

Die Wasseraufnahme der Typen mit Holzmehl oder Zellulose ist viel höher als die der anderen Typen. Die Feuchtigkeitsaufnahme beruht hier nicht auf der Porosität, sondern auf der Quellung der Fasern. Hierauf deutet auch die Durchschlagsfestigkeit, Type S 10 kV/mm, Type O 12 kV/mm und Type K 13 kV/mm. Äußerlich macht sich die Quellung durch Runzeln an der Oberfläche der Preßteile bemerkbar. Auch das reine Kunstharz nimmt in geringem Maße Feuchtigkeit auf, Kurve g in Abb. 106.

Die angegebenen Werte, die an bestimmten Eshaliten festgestellt wurden, beanspruchen keine allgemeine Gültigkeit für alle Preßstoffe der gleichen Type. Änderungen des Harzgehaltes und geringe Farbzusätze können einen wesentlichen Einfluß auf die Wasseraufnahme haben. Je weniger Harz der Isolierstoff enthält, um so schneller geht die Wasseraufnahme vor sich. Schon geringe Zusätze von Farbstoff können die Wasseraufnahme erhöhen und den Widerstand herabsetzen (Abb. 107). Die Versuche sind nicht so zu bewerten, daß die hochwertigen Kunstharz-Holzmehlpreßstoffe als nicht feuchtigkeitssicher abzulehnen sind, weil sie bei Dauerbeanspruchung Feuchtigkeit aufnehmen. Daß die Isolierstoffteile von Apparaten dauernd im Wasser liegen oder auch nur

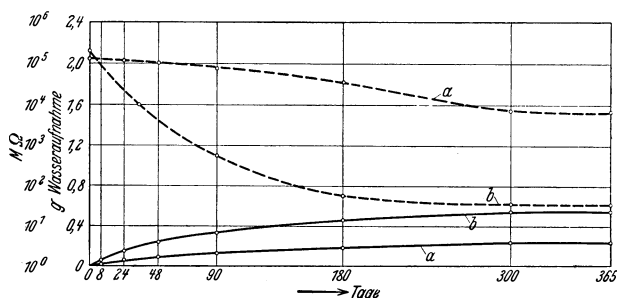


Abb. 107. Einfluß des Farbstoffs auf die Wasseraufnahme und den Innenwiderstand von Isolierpreßstoffen beim Liegen in Leitungswasser. *a* Type 1 ungefärbt, *b* Type 1 schwarz 1 % Farbstoff. — Wasseraufnahme, — — Innenwiderstand.

dauernd sehr großer Feuchtigkeit ausgesetzt sind, wird kaum vorkommen. Ist der Isolierstoff vorübergehend einer geringen Feuchtigkeit ausgesetzt, so hat er Gelegenheit, bei eintretender Trockenheit einen Teil der Feuchtigkeit wieder abzugeben. Er wird niemals die in dem geschilderten Versuche erreichte hohe Wasseraufnahme zeigen. Die Geschwindigkeit der Wasserabgabe der ein Jahr lang im Wasser gewesenen Stäbe bei einer Raumtemperatur von  $20^{\circ}$  und einer Luftfeuchtigkeit von 60% ist groß und die elektrischen Werte verbessern sich schon in wenigen Tagen. Deshalb sind die Kunstharz-Holzmehl- oder Kunstharz-Zellulosepreßstoffe als genügend feuchtigkeitssicher anzusprechen, wenn es sich nicht um dauernde Einwirkung von Feuchtigkeit handelt. In solchen Sonderfällen kann sich die geeignete Kunstharz-Asbestmischung als zweckmäßig erweisen.

#### 4. VDE und Isolierstoffe.

Die Arbeiten des Verbandes deutscher Elektrotechniker haben die Erfahrungen der Verbraucher und Hersteller zusammengefaßt und auf dem Gebiet der Isolierstoffe vielfache Aufklärung geschaffen. Die Isolierstoffkommission des VDE hat im Jahre 1913 die Prüfvorschriften für

gepreßte Isolierstoffe (VDE 318) unter Mitwirkung des Staatlichen Materialprüfungsamtes, Berlin-Dahlem und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt aufgestellt. Über die umfangreichen Vorarbeiten berichtete der damalige Vorsitzende dieser Kommission, Dr. Passavant, in der Elektrotechn. Z. 1912 S. 450. In den letzten Jahren sind unter dem Vorsitz von Dr.-Ing. Georg J. Meyer Leitsätze für die Prüfung zahlreicher anderer Isolierstoffe, die zu den plastischen Massen gehören, aufgestellt worden. In der am 1. 3. 1933 erschienenen neuen Auflage des VDE-Vorschriftenbuches ist die Anordnung und Bezeichnung der Vorschriften geändert. In dieser Arbeit sind die bisherigen Nummern benutzt. Tabelle 76 enthält die neuen Bezeichnungen neben den bisherigen. Alle Vorschriften und Leitsätze, die sich auf Isolierstoffe beziehen, sind in Gruppe 3 zusammengefaßt.

Tabelle 76.

| Bisherige<br>VDE-Bezeichnung | Neue | V = Vorschriften, L = Leitsätze, E = Erklärungen                                                   |
|------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 318                          | 0302 | V für die Prüfung elektrischer Isolierstoffe mit E                                                 |
| 455                          | 0303 | L für die Bestimmung elektrischer Eigenschaften von festen Isolierstoffen, mit Einführung          |
| 507                          | 0305 | L für die Bestimmung der Glutfestigkeit von Isolierstoffen mit E                                   |
| 459                          | 0308 | L für die Erzeugung bestimmter Luftfeuchtigkeit zur Prüfung elektrischer Isolierstoffe, mit Anhang |
| 460                          | 0312 | L für die Bewertung und Prüfung von Fiber als Isolierstoff                                         |
| 457                          | 0313 | L für die Prüfung von Elektrolackpappe                                                             |
| 464                          | 0316 | L für die Lieferung und Prüfung von Tafelpreßspan                                                  |
| 483                          | 0317 | L für die Lieferung und Prüfung von Rollenpreßspan                                                 |
| 510                          | 0324 | L für die Prüfung von Hartpapierplatten mit E                                                      |
| 509                          | 0325 | L für die Prüfung von gewickelten Hartpapierrohren (Rundrohren) mit E                              |
| 511                          | 0331 | L für die Prüfung und Lieferung von Asbestfabrikaten mit E                                         |
| 458                          | 0335 | L für die Prüfung der Stoffeigenschaften keramischer Isolierteile für Nennspannungen unter 1000 V. |

Die vier ersten Vorschriften sind im folgenden Abschnitt über Prüfungen behandelt, die Mehrzahl der anderen Vorschriften bei Besprechung jeder Stoffgruppe in den vorhergehenden Teilen dieses Abschnittes. Es besteht die Absicht beim VDE, die vier ersten Vorschriften zu einer einheitlichen Bestimmung zusammenzufassen.

Die VDE-Vorschriften enthalten an keiner Stelle die Forderung, daß für einen bestimmten Zweck ein bestimmter Isolierstoff zu verwenden ist. Sie bestimmen vielmehr in den Errichtungsvorschriften § 2b die Begriffe „feuersicher“, „wärmesicher“, „feuchtigkeitssicher“



als Eigenschaften der Gegenstände d. h. der Isolierteile, aber nicht der Isolierstoffe:

„Feuersicher ist ein Gegenstand, der entweder nicht entzündet werden kann oder nach Entzündung nicht von selbst weiterbrennt.“ Der Begriff der Feuersicherheit ist jetzt unterteilt worden in Schaltfeuer- und Glutsicherheit KPJ § 3: „Schaltfeuersicher ist ein Isolierteil, der bei Beanspruchungen durch Schaltfeuer keine seinen Gebrauch beeinträchtigende Veränderung erleidet. Es werden verschiedene Stufen der Widerstandsfähigkeit gegen Schaltfeuer unterschieden, je nach den betriebsmäßig vorkommenden Beanspruchungen.

Glutsicher ist ein Isolierteil, der bei Berührung mit glühenden Leitern keine seinen Gebrauch beeinträchtigende Veränderung erleidet. Es werden verschiedene Stufen der Widerstandsfähigkeit gegen Glut unterschieden, je nach der vorkommenden Beanspruchung.“

Für die Bestimmung der Glutfestigkeit bestehen die Leitsätze 507/0305, dagegen fehlen noch die Leitsätze für die Bestimmung der Schaltfeuersicherheit.

Wärmesicher ist ein Gegenstand, der bei der höchsten betriebsmäßig vorkommenden Temperatur keine den Gebrauch beeinträchtigende Veränderung erleidet.“

Feuchtigkeitssicher ist ein Gegenstand, der sich im Gebrauch durch Feuchtigkeitsaufnahme nicht so verändert, daß er für die Benutzung unbrauchbar wird.“

Die Errichtungsvorschriften unterscheiden für Apparate Träger Spannung führender Teile und Abdeckungen, § 10a: „Die äußeren, Spannung führenden Teile, und soweit sie betriebsmäßig zugänglich sind, auch die inneren, müssen auf feuer-, wärme- und feuchtigkeits-sicheren Körpern angebracht sein.

Abdeckungen und Schutzverkleidungen müssen mechanisch widerstandsfähig und wärmesicher sein. Solche aus Isolierstoff, die im Gebrauch mit einem Lichtbogen in Berührung kommen können, müssen auch feuersicher sein.“

Die Prüfvorschriften setzen nur die Verfahren der Prüfung der Isolierstoffe an Probekörpern fest, die Leitsätze für die Lieferung enthalten Mindestwerte der nach den Prüfvorschriften untersuchten Eigenschaften. Vorschriften für die Untersuchung von Isolierteilen, aber nicht von Isolierstoffen als solchen finden sich z. B. in den Vorschriften, Regeln und Normen für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial bis 750 V Nennspannung. KPJ 1928. VDE 420/454. Die Frage, ob ein Isolierstoff den Vorschriften des VDE entspricht, ist also auch heute noch nicht zu beantworten.

## Die Verfahren für die Prüfung plastischer Massen.

### I. Prüfung der Rohstoffe.

Die Prüfverfahren der analytischen Chemie, z. B. die Elementaranalyse, Bestimmungen von Glühverlust, Säureverlust und Aschengehalt lassen sich auf die Rohstoffe, Mischungen und Fertigstücke der plastischen Massen anwenden, bedürfen aber der Ergänzung durch andere Verfahren.

#### A. Bindemittel.

##### Wärmebeständigkeit.

Mit Hilfe der Verfahren von Krämer-Sarnow und Ubbelohde wird die Wärmebeständigkeit solcher Stoffe bestimmt, die bei Erwärmung flüssig oder nahezu flüssig werden.

**Schmelzpunkt und Tropfpunkt.** Fast alle Bindemittel besitzen als hochmolekulare Körper keinen scharf ausgeprägten Schmelzpunkt. Der Schmelzbeginn tritt meist bei niedrigerer Temperatur ein als der Schmelzendpunkt. Für die Bestimmung der beiden Punkte sind zahlreiche Methoden vorgeschlagen worden. Für die Ermittlung des Erweichungspunktes, d. h. für den Schmelzbeginn, wird am meisten das Verfahren von Krämer-Sarnow, für die Ermittlung des Schmelzendpunktes, d. h. des Tropfpunktes, das von Ubbelohde angewendet.

**Bestimmung des Schmelzpunktes nach Krämer-Sarnow mit Abänderung von Barta.** Ein an beiden Seiten abgeschnittenes Glasröhrchen von 6 mm innerem Durchmesser und 5 mm Höhe wird auf eine befeuchtete Glasplatte gesetzt und mit dem Bindemittel, das bis zur Flüssigkeit erwärmt ist, so gefüllt, daß sich eine kleine Kuppe bildet, die nach dem Erkalten abgeschnitten wird. Das gefüllte Röhrchen wird mittels eines kleinen Gummischlauches an ein gleich weites 100 mm langes Rohr angesetzt und 5 g Quecksilber aufgefüllt. Das Schmelz-

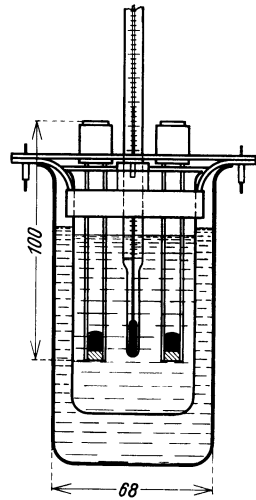


Abb. 108. Apparat zur Bestimmung des Schmelzpunktes nach Krämer-Sarnow.

punktrohr wird in ein doppeltes Wasserbad gestellt und so erwärmt, daß die Temperaturzunahme  $1^{\circ}$  je Minute beträgt. Die Temperatur gilt als Schmelzpunkt, bei der das Quecksilber die Schicht des Bindemittels durchbricht. Der in Abb. 108<sup>1</sup> dargestellte Apparat erlaubt die gleichzeitige Untersuchung mehrerer Proben<sup>2</sup>.

Für Bindemittel mit einem Schmelzpunkt von über  $90^{\circ}$  wird das äußere Becherglas mit weißem Paraffinöl, das innere mit gesättigter Kochsalz- oder Chlormagnesiumlösung gefüllt.



Abb. 109. Apparat zur Bestimmung des Tropfpunktes nach Ubbelohde.

**Bestimmung des Tropfpunktes nach Ubbelohde.** Der Tropfpunkt ist nach Ubbelohde derjenige Wärmegrad, bei dem ein Tropfen unter seinem Eigengewicht von einer gleichmäßig erwärmten Masse des tropfenbildenden Stoffes abfällt. Durch Versuche von Marcusson ist nachgewiesen, daß der Tropfpunkt dem Schmelzendpunkt im Kapillarrohr im wesentlichen gleichkommt. Das zu prüfende Bindemittel wird in das abnehmbare Gefäß e des Apparates (Abb. 109<sup>3</sup>) gefüllt und oben glattgestrichen.

Das nach dem Einsetzen in den Apparat unten austretende Bindemittel wird entfernt und der Apparat in ein 4 cm weites Reagenzglas gebracht. Dann wird das ganze in ein Wasser- oder Ölbad von 3 l Inhalt auf einem Asbestdrahtnetz so erwärmt, daß der Temperaturanstieg  $1^{\circ}$  je Minute beträgt. Der Tropfpunkt ist die Temperatur, bei der der erste Tropfen abfällt. Die Ausflußöffnung von e muß genau 3 mm Durchmesser haben, da schon eine kleine Abweichung des Durchmessers große Unterschiede ergibt. Mit dem Ubbelohdeschen Apparat läßt sich auch der Fließpunkt ermitteln, das ist diejenige Temperatur, bei der das Bindemittel in Form einer Kuppe aus dem Gefäß e auszutreten beginnt. Dieser Punkt ist aber häufig nicht scharf genug zu erkennen. Nach Marcusson liegt der Fließpunkt bei Asphalten etwa in gleicher Höhe wie der Schmelzpunkt nach Krämer-Sarnow.

**Löslichkeitsversuche** mit den für die Herstellung der Mischungen gebrauchten Lösungsmitteln empfehlen sich bei allen Bindemitteln. Nicht sämtliche Bindemittel sind vollkommen löslich. Kopale enthalten z. B. Anteile, die nur quellen. Der Löslichkeitsversuch läßt auch die Verunreinigungen, z. B. an Harzen durch Holz und Sand leicht erkennen.

Die Lösungsmittel werden auf einfache Weise durch Aräometer auf ihr spezifisches Gewicht kontrolliert. Auf diese Mittel lassen sich im übrigen die Verfahren der analytischen Chemie anwenden.

<sup>1</sup> Marcusson, J.: Natürliche und künstliche Asphalte, Abb. 1.

<sup>2</sup> Über die Genauigkeit der Methode siehe K. Kell: Asphalt und Teer 1932 Heft 5.

<sup>3</sup> Marcusson, J.: Natürliche und künstliche Asphalte, Abb. 2.

Der Trockenverlust sollte aus den Lösungen der Löslichkeitsversuche bestimmt werden. Dieser Verlust ist bei manchen Stoffen, die bei verhältnismäßig hoher Temperatur nachgeheizt werden, ganz erheblich, z. B. bei manchen Kunstharzen, und beeinflusst bei den hohen Preisen derartiger Stoffe die Kalkulation wesentlich.

Ist die Zähflüssigkeit der Bindemittel groß, so läßt sie sich in den für die Ölprüfung üblichen Viskosimetern nicht oder nur sehr langsam ermitteln. Für Kunstharze, die in sirupartigem Zustand verwendet werden, oder für verdickte Holzöle läßt sich die Zähflüssigkeit durch Beobachtung der Fallzeit einer Stahlkugel von 7 mm Durchmesser (1,47 g) in einem Standglas von 35 mm innerem Durchmesser und 300 mm Höhe messen. Das Glas wird mit dem zu prüfenden Stoff gefüllt und durch  $\frac{1}{2}$ stündiges Einstellen in Wasser von  $20^{\circ}$  auf diese Temperatur gebracht. Bestimmt wird die Zeit, die die Kugel gebraucht, um von der Oberfläche des Stoffes bis auf den Boden des Zylinders zu fallen. Die Temperatur ist, wie bei allen Zähigkeitsmessungen, auch hier von großem Einfluß.

## B. Abmessungen und Form der kleinsten Mischungsbestandteile.

### 1. Optische Prüfung.

Welche Bedeutung die Kornform und Größe und ihre Verteilung in einem Haufwerk hat, ist bei Besprechung der Zerkleinerungsarbeit erörtert worden. Für die mikroskopische Untersuchung werden die Körner des Pulvers auf einem Objektträger in dünner Schicht ausgebreitet, oder in eine Grundmasse, z. B. in Glycerin, eingebettet.

**Stereoskopische Werkstattlupe.** Für die Prüfung der Gleichmäßigkeit von Mischungen oder die Betrachtung der Kornformen von Haufwerken ist eine stereoskopische Werkstattlupe mit einer Vergrößerung bis zum 40fachen ein ausgezeichnetes Hilfsmittel<sup>1</sup>. Wenn in einem Okular ein Mikrometer mit 100 Teilen angebracht wird, so lassen sich Teilchen bis zu  $25\mu = \frac{1}{2}$  Teil Abstand (40 Striche = 2 mm, 1 Abstand = 0,05 mm) noch messen. Die Lupe hat eine gewisse Tiefenschärfe.

### 2. Prüfsiebe.

Der Feinheitsgrad von Mehlen läßt sich durch Prüfsiebe nach DIN-Norm 1171 bis zu Korngrößen von  $60\mu$  ermitteln. Hierbei ist die Kornscheide, d. h. die Korngröße, zu berücksichtigen, die das Sieb unter den jeweiligen Betriebsbedingungen gerade noch durchläßt. Das Verhältnis von Kornscheide zur Maschenweite beträgt 0,8–0,9, z. B. für das Prüfsieb Nr. 100 mit 10000 Maschen je Quadratzentimeter ist die

<sup>1</sup> Z. B. Binokulare Prismenlupe der Firma Ernst Leitz G. m. b. H., Wetzlar.

lichte Maschenweite  $0,06 \text{ mm} = 60 \mu$ . Die Körner, die durch dieses Sieb hindurchgehen, sind etwas kleiner, bei einer Kornscheide von  $0,8$  also  $0,8 \times 60 = 48 \mu$ .

### 3. Indirekte Verfahren.

Für Pulver, deren Teilchengröße unter  $60 \mu$  liegt, kommen als indirekte Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung solche zur Anwendung, die durch Messung der Farbstoffadsorption oder der Auflösengeschwindigkeit die Gesamtoberfläche bestimmen. Andere indirekte Methoden beruhen auf der Beobachtung der Fallgeschwindigkeit der Pulverkörner in einer Flüssigkeit oder in einem Gas, wobei diese entweder ruhen können, oder sich der Fallrichtung entgegen bewegen. In

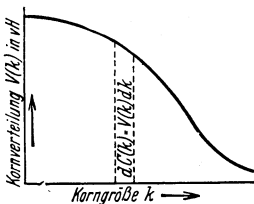


Abb. 110. Verteilungskurve  $V(k)$  von Kornmengen.

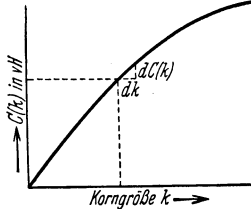


Abb. 111. Charakteristik oder Kennlinie  $C(k)$  von Kornmengen.

ruhender Flüssigkeit erfolgt durch Absitzenlassen die Sedimentationsanalyse. In bewegter Flüssigkeit findet Schlammung, in bewegtem Gas oder in bewegter Luft Windsichtung statt. Die Bestimmung des Mittelwertes der Korngröße genügt nicht zur

Beurteilung eines feinen Haufwerkes, vielmehr ist ausschlaggebend die Feststellung, welche verschiedenen Korngrößen in dem Gemenge vorkommen, und wie groß die Anteile der verschiedenen Korngrößen oder Größenklassen in der Gesamtmenge sind. Da die Körner fast nie vollkommen oder auch nur annähernd kugelförmig sind, sondern eine unregelmäßige kantige oder stabförmige Gestalt besitzen, so sollten als „Korngröße“ die Kantenlänge eines Würfels von gleichen Volumen, wie das zu messende Korn angenommen werden, oder ein Äquivalentdurchmesser, das ist der Durchmesser des kugelförmigen Teilchens gleicher Dichte und gleicher Fallgeschwindigkeit, wie das zu messende Korn<sup>1</sup>.

**Verteilungs- und Kennlinien von feinen Haufwerken.** Die Verteilungskurve (Abb. 110) zeigt den Anteil einer Korngrößenklasse in Prozenten der Gesamtmenge in Abhängigkeit von der Korngröße bzw. von den Größengruppen. Diese Gruppen werden zweckmäßig in einer geometrischen Reihe gestaffelt. Die Kennlinie (Abb. 111) gibt in Prozenten den Anteil  $C(k)$  des Pulvers, dessen größtes Korn kleiner ist als die Korngröße  $k$ , in Abhängigkeit von dieser an.

**Schlammanalyse.** Schlammapparate enthalten mehrere hintereinander geschaltete Gefäße, welche die Form von Doppelkegeln besitzen

<sup>1</sup> Lehr, E.: Stoffprüfung. Z. VDI 1931 Heft 46 S. 1409. Bestimmung der Korngröße und der Kornverteilung in Gemengen von losen Körnern.

(Abb. 112<sup>1</sup>). Die Flüssigkeit, in der das nach Korngrößengruppen zu trennende Pulver suspendiert ist, strömt der Reihe nach durch mehrere Gefäße von unten nach oben. Durch jedes Gefäß gehen zum nächsten nur die Anteile des Pulvers, deren Fallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit kleiner ist, als die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit an der weitesten Stelle des Gefäßes. Sind die Gefäße in Richtung des Stromes mit steigendem größten Durchmesser, d. h. mit sinkender

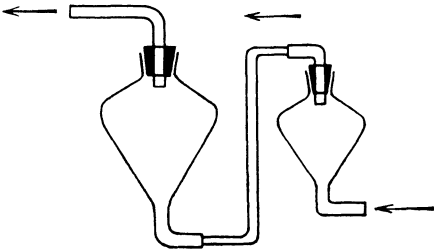


Abb. 112. Schema eines Schlammapparates.

Minimalgeschwindigkeit angeordnet, dann bleiben im ersten Gefäß nur die größten Anteile zurück, im nächsten die weniger groben. Das Pulver wird in soviel Korngrößeklassen zerlegt, als Gläser vorhanden sind. Nur die feinsten Teilchen werden vom Flüssigkeitsstrom fortgeführt. Durch Trennung und Wägung des Satzes wird dessen Menge und durch Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit mit Hilfe der Stokesschen Formel seine Feinheit bestimmt. Das Stokessche Gesetz gilt für Teilchen vom Halbmesser  $1-100\ \mu$  und ist jedenfalls in dem nicht siebbaren Größenbereich unter  $60\ \mu$  noch zuverlässig. Das Gesetz gilt genau genommen nur für Teilchen mit Kugelform, ist aber auch bei annähernder Kugelform noch verwendbar. Sind die Teilchen aber blattförmig wie bei Glimmer, oder faserig wie Asbest und Holzmehl, so ist eine Berechnung der Fallgeschwindigkeit nach der Stokes'schen Formel nicht zulässig.

Über die grundlegenden Berechnungen bei der Schwerkraftaufbereitung wird von L. Schiller und A. Naumann, Leipzig, berichtet. Die Verfasser haben die Gültigkeit der Formeln von Stokes, Oseen und Goldstein untersucht und ein Verfahren auf Grund systematischer Versuche gefunden, um für kugelförmige Körper genaue Werte zu bestimmen<sup>2</sup>.

Schlammverfahren sind in der Keramik seit langem gebräuchlich. Als Flüssigkeit wird, wegen der großen hierfür erforderlichen Mengen, nur Wasser gebraucht<sup>3</sup>.

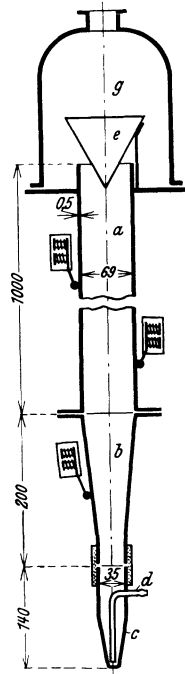


Abb. 113. Windsichter von H. W. Gonell.

<sup>1</sup> Aus F. Skaupy: Metallkeramik. Die Herstellung von Metallkörpern aus Metallpulvern, Abb. 8. Berlin: Verlag Chemie, G. m. b. H. 1930.

<sup>2</sup> Schiller, L. u. A. Naumann: Z. VDI 1933 Heft 12 S. 318.

<sup>3</sup> Siehe auch H. Harkort: Die Schlammanalyse mit dem verbesserten Schulzeschen Apparat als Betriebskontrolle. Ber. dtsh. keram. Ges. 1927 Heft 1 S. 6.

Deshalb läßt sich das Verfahren nicht für Stoffe anwenden, die gegen Wasser empfindlich sind, wie z. B. Zement.

**Windsichtverfahren.** Für solche Stoffe, die gegen Wasser empfindlich sind, ist von Gonell ein Windsichtverfahren ausgearbeitet worden<sup>1</sup>. Der neue Windsichter (Abb. 113) besteht aus dem zylindrischen Rohr a und dem kelchförmigen Teil b aus Messing und aus dem Glasansatz c, in den das Glasrohr d für die Luftzuführung bis nahe an den Boden reicht. Um das Haften und Festsetzen des Staubes an den Wänden und Übergängen zu vermeiden, sind die Teile innen poliert und fugenlos aneinander gepaßt. Außerdem sind während des Versuches mehrere

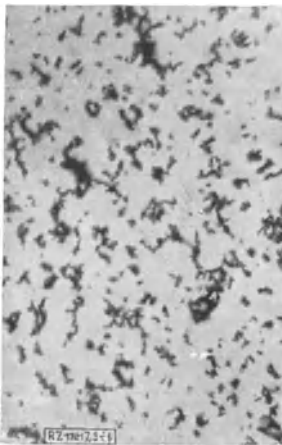


Abb. 114. Portlandzement  $< 10 \mu$ ; bei Beginn der Windsichtung ausgeblasene Anteile.

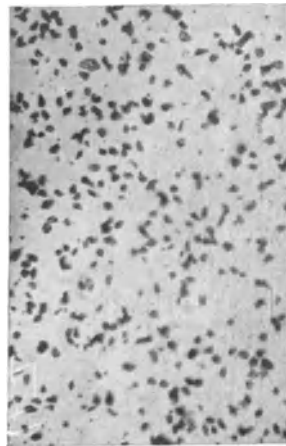
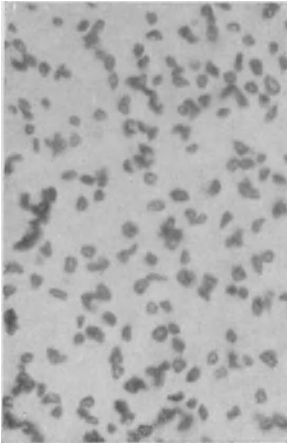
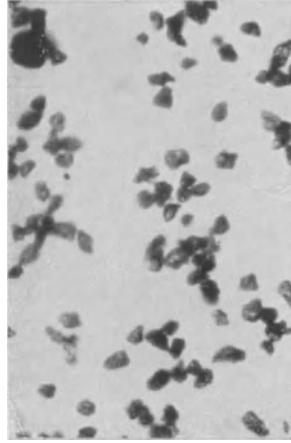


Abb. 115. Portlandzement  $< 10 \mu$ ; nach 2 Stunden Blasen mit der gleichen Geschwindigkeit wie bei Abb. 114 übergehende Körner. Die feinsten Anteile sind bereits entfernt.

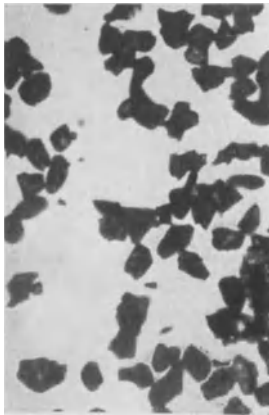
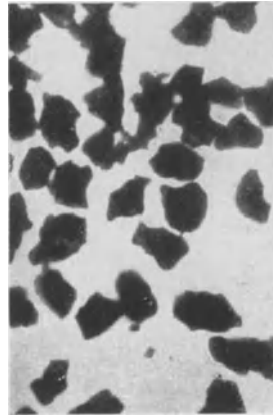
Hämmer von kräftigen elektrischen Läutewerken in Tätigkeit. Um das Zurückfallen der schon ausgeblasenen Teilchen in das Rohr a zu verhindern, ist über diesem ein Kegel e angebracht, der den austretenden Luftstrom seitlich ablenkt. Auf dem Teller f steht eine Glasglocke g, die mit einem Abzug verbunden ist. Der größere Teil des ausgeblasenen Pulvers sammelt sich auf f. Entscheidend für die Möglichkeit und Genauigkeit der Analyse ist ein gleichmäßiger, genau einstellbarer und in seiner Geschwindigkeit meßbarer Luftstrom. Dieser wurde von einer umlaufenden Zylinderölluftpumpe (Bauart Pfeiffer, Wetzlar) erzeugt. Von dem senkrecht aufsteigenden Luftstrom werden nur die Teilchen mitgeführt, deren Fallgeschwindigkeit kleiner ist, als die Strömgeschwindigkeit der Luft. Die Fallgeschwindigkeit  $\frac{h}{t}$  ist nach der Stokesschen Formel verhältnismäßig dem Quadrat der Teilchenhalbmesser.

<sup>1</sup> Gonell, H. W.: Ein Windsichtverfahren zur Bestimmung der Kornzusammensetzung staubförmiger Stoffe. Z. VDI 1928 Heft 27 S. 945.

Zur möglichst vollständigen Zerlegung eines Pulvers sind mehrere Apparate mit verschiedenen großen Durchmessern des Rohres  $a$  nötig. Bei den Versuchen von Gonell war der Durchmesser von  $a = 34,5$  mm,

Abb. 116. Portlandzement 10—20  $\mu$ .Abb. 117. Portlandzement 20—30  $\mu$ .

$2 \times 34,5$  mm und  $4 \times 34,5$  mm. Die bei einer bestimmten Strömgeschwindigkeit ausgeblasene Menge, die Kornfraktion, wird bestimmt durch Zurückwiegen des Glasansatzes, der hierzu abgenommen wird.

Abb. 118. Portlandzement 30—40  $\mu$ .Abb. 119. Portlandzement 40—50  $\mu$ .

Der Versuch wird abgebrochen, wenn in einer halben Stunde weniger als 0,5—1% der eingewogenen Menge ausgeblasen wird. Dies entspricht dem Verfahren bei der Siebanalyse, wonach die Siebung beendet wird, wenn in einer bestimmten Zeit nur noch eine sehr kleine Menge durch



das Prüfsieb geht. Die Abb. 114—119 zeigen 6 Kornfraktionen eines Portlandzementes, die zwecks mikroskopischer Nachprüfung der Windsichtversuche in 100facher Vergrößerung aufgenommen sind. Für Pulver, die Feuchtigkeit binden, oder fettig oder klebrig sind, wie z. B. Ton, ist das Verfahren nicht anwendbar.

In der Arbeit von C. Ziegs und H. Nüssel: Über Kornzusammensetzung und Oberfläche mineralischer Füllstoffe<sup>1</sup> wird über zahlreiche Versuche mit dem Windsichter von Gonell berichtet.

**Messung des Klopffolumens<sup>2</sup>.** Ein einfaches Verfahren zum Vergleich der Feinheit von Pulvern besteht in der Bestimmung des Klopffolumens oder der Einschüttdichte. In einem kleinen Meßzylinder wird eine bestimmte Pulvermenge, z. B. 10 g, eingewogen und der Zylinder durch Klopfen, Aufstoßen auf die Unterlage oder durch elektromagnetische Hämmer (Läutewerke) solange erschüttert, bis das Volumen des Pulvers sich nicht mehr verändert. Bei vollkommener Kugelgestalt und gleicher Größe aller Teilchen müßte das Klopffolumen unabhängig vom Durchmesser der Körner sein und sich vom Volumen des nicht zerkleinerten Stoffes um den Faktor  $\frac{6}{\pi} \sim 2$  unterscheiden. Das ermittelte Klopffolumen weicht von dem so erreichten Wert oft beträchtlich und zwar bis zum 10fachen nach oben ab und gibt auch ein Maß für die Abweichung der Kugelform oder für Zusammenballungen.

## II. Prüfung der plastischen Massen an Probekörpern.

### A. Entwicklung der Prüfverfahren.

„Das wichtigste an einem Prüfverfahren ist seine Einfachheit, sichere Reproduzierbarkeit und seine eindeutige Sprache des Wertmaßstabes des Prüfungsergebnisses“<sup>3</sup>. Die Verfahren, von denen hier die Rede ist, sollen nicht der Ermittlung physikalischer Konstanten dienen, sondern den Verbrauchern und Herstellern von plastischen Massen möglichst gute Vergleichsmaßstäbe liefern. Die Entwicklung der Prüfverfahren, die solchen Forderungen genügen, setzt große Stoffkunde und umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der Materialprüfungen voraus. Prüfverfahren, die für sehr große Stoffgruppen gelten, sind noch wenige vorhanden und werden sich auch bei dem heutigen Stand der Materialkenntnis nur langsam entwickeln lassen. Auf einigen Sondergebieten sind nach langjährigen Vorarbeiten Prüfvorschriften aufgestellt, z. B. für die Prüfung von Papier, von Kautschuk und von Isolierpreßstoffen

<sup>1</sup> Bitumen 1932 Heft 7 S. 134, Heft 8 S. 156, Heft 9 S. 179.

<sup>2</sup> Skaupy, F.: Metallkeramik, S. 13.

<sup>3</sup> Memmler, Schob: Handbuch der Kautschukwissenschaft, S. 575

für die Elektrotechnik. Die Prüfverfahren liegen als Ergebnis einer langjährigen Gemeinschaftsarbeit vor, die von Herstellern, Verbrauchern und den Prüfämtern im Rahmen der großen technisch-wissenschaftlichen oder technisch-wirtschaftlichen Verbände geleistet wurden. In Deutschland sind solche Verbände:

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40 (DVMT).

Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE), Berlin-Charlottenburg 4, Bismarckstr. 33.

Zentralverband der deutschen elektrotechnischen Industrie, Berlin W. Corneliusstr. 3 (ZV).

In den Vereinigten Staaten von Amerika:

American Society for Testing Materials, 1315 Spruce Street, Philadelphia, Pa. (ASTM).

In England:

The British Electrical and Allied Industries Research Association, 19, Tothill Street, Westminster, S.W. 1, London (BERA).

In Frankreich:

Union des Syndicats de l'Electricité, Paris, 25 Boulevard Malesherbes (USE).

Die Postbehörden, z. B. in Deutschland und Frankreich haben zur Zeit noch besondere Bedingungen, die sich an die der genannten Verbände anlehnen. Wahrscheinlich werden schon in nächster Zeit in Deutschland die beiden Prüfvorschriften vereinigt<sup>1</sup>. Die Stelle der deutschen Reichspost, die sich mit den Prüfverfahren befaßt, ist das Reichspostzentralamt, in Frankreich das Secrétariat General des Postes, Télégraphes et Téléphones im Ministère du Commerce et de l'Industrie.

Wenn die Entwicklung der Prüfverfahren nur verhältnismäßig langsam fortschreitet, so ist einer der Gründe darin zu suchen, daß außerordentlich umfangreiche, mühsame und kostspielige Arbeiten nötig sind, bevor man zur Festlegung von Prüfverfahren schreiten kann. Um nur wenige Eigenschaften einer kleinen Stoffgruppe in ihrer Abhängigkeit von einigen Veränderlichen zu erforschen, sind hunderte von Probestücken und mindestens ebensoviel Versuche nötig.

Solange in der Herstellung geschickte Ingenieure, Meister und Arbeiter zusammenwirken, die mit guter Beobachtungsgabe ausgestattet sind, wird sich allmählich die Güte der hergestellten Stoffe immer weiter verbessern. Mit der Vergrößerung der hergestellten Stoffmengen wird aber das Eintreten unvermeidlicher Versager wirtschaftlich immer schwerwiegendere Folgen haben. Um diesen Versagern auf die Spur zu kommen und sich vor ihnen zu schützen, sind Stoffkunde und Prüfverfahren unbedingt notwendige Voraussetzungen. Die Entwicklung solcher Verfahren hat um so länger gedauert, je mehr die reinen Empiriker die

<sup>1</sup> Ist inzwischen geschehen, siehe S. 269.

Fabrikation in der Hand hatten und möglichst geheim hielten. In der Kautschukindustrie ist die Fabrikation bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zu einer beträchtlichen Ausdehnung entwickelt. Trotzdem hat es bis zum Anfang dieses Jahrhunderts und zum Teil noch länger gedauert, bis brauchbare Prüfverfahren ausgebildet wurden.

Die bereits vorliegenden Prüfverfahren sind das Ergebnis von sehr umfangreichen Arbeiten, die von den Verbänden, für Isolierstoffe z. B. vom VDE, und von den Prüfämtern geleistet worden sind. In Deutschland ist es das Staatliche Materialprüfungsamt und die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, denen die Industrie zahlreiche Prüfverfahren zu verdanken hat.

Die sichere Reproduzierbarkeit von Prüfverfahren bedeutet die Möglichkeit bei der Wiederholung von Prüfungen unter gleichen Bedingungen vergleichbare Werte zu erhalten. Alle Zufälligkeiten müssen also durch das Verfahren, soweit möglich, ausgeschaltet sein. Dies wird um so besser gelingen, je einfacher das Verfahren ist. Dem Fortschreiten der Herstellungsverfahren und der Verbesserung der Kunststoffe müssen sich auch die Prüfverfahren und Proben anpassen. Wenn also Änderungen der Prüfverfahren vorgenommen werden, so ist damit durchaus nichts gegen die Güte oder Richtigkeit der bisherigen Verfahren gesagt. Diese Änderungen sind vielmehr ein deutlicher Ausdruck für die Fortschritte der Stoffkunde und der Herstellungsverfahren. In allen Ländern, deren Prüfverfahren im folgenden besprochen werden, wird eifrig an Änderungen gearbeitet. Prüfverfahren sind nicht für sehr lange Zeit feststehend, sondern in natürlicher Entwicklung begriffen und veränderlich. Die Änderungen an den amerikanischen, deutschen, englischen und französischen Prüfvorschriften für Isolierpreßstoffe der Elektrotechnik sind Beispiele für die fortschreitende Entwicklung. In Deutschland haben die Hersteller und Verbraucher zusammen mit den Prüfämtern innerhalb des Zentralverbandes der deutschen elektrotechnischen Industrie eine besondere technische Kommission gebildet, die seit mehr als zwei Jahren zahlreiche Arbeiten und Versuche vorgenommen hat, um die Grundlage zur Anpassung der Prüfvorschriften an den heutigen Stand zu schaffen<sup>1</sup>.

Die im folgenden erwähnten Verfahren sind für bestimmte und beschränkte Stoffgruppen ausgearbeitet. Der Verfasser glaubt aber, daß viele Verfahren sich bei der Prüfung von plastischen Massen verschiedener Art anwenden lassen. Z. B. ist die Abnutzungsprüfung, die für Weichgummi mit der Martens-Maischen Prüfvorrichtung S. 311 bestimmt ist, wahrscheinlich für viele andere plastischen Massen verwendbar, ebenso die Kugelfallprobe für Gehwegplatten und Kacheln (S. 307). Die folgende vergleichende Zusammenstellung der Prüfver-

<sup>1</sup> Schob, A.: Zur Typisierung der gummifreien Isolierpreßstoffe. Elektrotechn. Z. 1933 Heft 23 S. 555.

fahren soll einen Beitrag für die Vereinheitlichung bieten, die vielleicht auch international möglich ist.

## B. Einfluß der Probenform.

Die Form des zu prüfenden Stoffes ist für das Ergebnis der Prüfung von wesentlicher Bedeutung. Die Probenform soll möglichst einfach und billig herzustellen sein. Die Probe muß aber in dem gleichen Herstellungsverfahren erzeugt sein wie die fertigen Stücke, für welche die Prüfungen gelten sollen. Der Zusammenhang zwischen Probeform, Abmessungen und Eigenschaften ist noch wenig geklärt. Jedenfalls zeigen Versuche an Isolierpreßstoffen, die mit geometrisch ähnlichen Körpern verschiedener Abmessungen vorgenommen wurden, erhebliche Änderungen der Versuchswerte an den gleichen Preßstoffen.

„Da fast keine Stoffeigenschaft absolut ist, hat sich die Wahl der Beanspruchungsart und die Größe der Prüfstücke sinngemäß an die Verhältnisse anzulehnen, unter denen der betreffende Stoff praktisch verwendet wird<sup>1</sup>.“ Wenn für die Prüfungen nicht einfache und genau definierte Probeformen benutzt würden, sondern fertige Teile beliebiger und mannigfacher Gestalt, so können keine vergleichbaren Werte erhalten werden, da dann neben den Eigenschaften des Stoffes auch der Einfluß der Formgebung mitgeprüft würde und diese Einflüsse sich nicht trennen lassen.

Damit soll keineswegs gesagt werden, daß Prüfungen am fertigen Stück nicht nötig wären. Der Verfasser ist vielmehr der Meinung, daß für jedes Konstruktionsteil, das irgendeiner Beanspruchung im Gebrauch ausgesetzt ist, eine Stückprüfung sehr nützlich ist und zwar für den Hersteller, um seine Erzeugnisse zu kontrollieren und etwaige Fehler möglichst frühzeitig aufzudecken. Die Stückprüfung wird sich an die beim Gebrauch auftretenden Beanspruchungen anschließen und auch Klarheit darüber geben können, wie groß die hierbei wirkenden Kräfte und welcher Art die Beanspruchungen sind. Für den Verbraucher ist die Stückprüfung nötig, um eine gewisse Sicherheit dafür zu erlangen, daß ungeeignete Werkstoffe von der Verwendung ausgeschlossen werden.

Da vergleichbare Werte der Stoffeigenschaften nur an Probekörpern gleicher Abmessungen, die unter gleichen Bedingungen hergestellt sind, erhalten werden können, so sind bei allen Prüfverfahren die Probenformen und Abmessungen genau vorgeschrieben. Nun ändern sich die Eigenschaften aber nicht in einfachen Beziehungen mit den Abmessungen, denn ein Stab von  $10 \times 15$  mm Querschnitt und gleicher Länge aus dem gleichen Stoff hat nicht die doppelte Biegefestigkeit oder Schlagbiegefestigkeit wie ein solcher von  $5 \times 15$  mm Querschnitt. Ebenso hat

<sup>1</sup> Schob: Die gummitfreien Isolierpreßstoffe und das MPA-Zeichen. Elektrotechn. Z. 1931 S. 665.

eine Platte von 10 mm Dicke nicht die doppelte Durchschlagsfestigkeit wie eine solche von 5 mm Dicke. Wenn nur eine Abmessung als Probe vorgeschrieben ist, wo wird auch nur ein Punkt der Charakteristik des betreffenden Stoffes für die untersuchte Eigenschaft festgestellt. Da das Gesetz der Änderung der Eigenschaften meist nicht bekannt ist, so kann die Vernachlässigung dieses Umstandes zu verhängnisvollen Trugschlüssen führen. Als Beispiel sei auf die mit abnehmender Stoffdicke stark wachsende Sprödigkeit mancher Stoffe hingewiesen. Deshalb wird es nötig sein, künftig die Eigenschaften in bestimmten Abhängigkeiten, z. B. die Veränderung der Festigkeit in Abhängigkeit der Materialdicke darzustellen<sup>1</sup>. Das erfordert zwar eine noch größere Zahl von Versuchen und die Angaben von noch mehr Versuchswerten, ist aber solange notwendig, als nicht eine einfache Beziehung z. B. zwischen Änderung der Festigkeit und Änderung der Dicke des betreffenden Stoffes festgestellt ist.

**Prüfungen am Probekörper und am fertigen Stück<sup>2</sup>.** Die Prüfung einer Stoffeigenschaft an vorgeschriebenen Probeformen mit genau festgelegten Prüfverfahren gibt über die untersuchte Eigenschaft des Stoffes bestimmte Aufschlüsse. Dies ist namentlich dann der Fall, wenn häufig wiederholte Prüfungen gleichmäßige Ergebnisse haben. Damit ist aber noch nicht bewiesen, wie der gleiche Stoff in einer von der Probe abweichenden Form unter Beanspruchungen, die denen bei der Prüfung nicht genau entsprechen, sich verhalten wird. Nur durch die Prüfung am Probekörper, die vergleichbare Werte ergibt, kann die Stoffkunde und das Herstellungsverfahren so gefördert werden, daß mit ständig steigender Wahrscheinlichkeit die Eigenschaften des Stoffes und damit auch die der fertigen Stücke verbessert und Mindestwerte eingehalten werden, die eine gewisse Sicherheit im Gebrauch der Stoffe gewährleisten. Von den Behörden werden für ihre Abnahmeprüfungen solche Mindestwerte vorgeschrieben. Die Hersteller haben bisher eine solche Festlegung von Mindestwerten z. B. für bestimmte Papiersorten und für gummifreie Isolierstoffe vorgenommen. Die Herstellung und Prüfung der Probekörper, sowie die Stoffeigenschaften werden von dem Staatlichen Materialprüfungsamt überwacht. Der Inhalt des Überwachungsvertrages für gummifreie Isolierstoffe ist auf S. 269 wiedergegeben.

Eine andere Frage ist die, ob es möglich ist, an einem fertigen Stück festzustellen, daß es aus einem bestimmten Stoff oder aus dem gleichen Stoff besteht wie der entsprechende Probekörper. Wenn einem Fachmann ein Kunststoffmuster vorgelegt wird, so versucht er zunächst eine Kerbe in das Stück zu schneiden, um das Verhalten des Stoffes beim Einschnitt und das Aussehen des Stoffes im Innern durch Betrachtung der Schnittfläche kennen zu lernen. Sodann setzt er eine Ecke des

<sup>1</sup> Siehe S. 274/5, verschiedene Beispiele für die Eigenschaften von Porzellan.

<sup>2</sup> Nach Anregungen von A. Schob, Berlin.

Körpers einer Flamme aus, beobachtet das Verhalten in der Flamme, den Geruch der aus dem Stück entweichenden Gase nach dem Erlöschen und die Erweichbarkeit. Diese einfache Prüfung liefert dem Erfahrenen bereits einen gewissen Anhalt zur Beurteilung des Stoffes. An genauen Prüfvorschriften, die es ermöglichen vom Probekörper auf das fertige Stück zu schließen, fehlt es noch. Das Ausschneiden von Probestäben aus beliebig geformten Körpern ist nicht immer möglich und gibt auch keine sicheren Vergleichswerte. Die Vergleichsmöglichkeiten wären schon besser, wenn die verschiedenen Eigenschaften nicht nur an einer Abmessung des Probekörpers, sondern an mehreren untersucht werden, die den verschiedenen im Betriebe vorkommenden Maßen entsprechen, z. B. Probestäbe gleicher Länge und Breite, aber verschiedener Dicke. Vielleicht helfen hier diejenigen Prüfverfahren weiter, die sich sowohl an einem Probekörper, als auch an einem beliebigen fertigen Stück oder an verhältnismäßig kleinen Ausschnitten aus solchen ausführen lassen, z. B. Kugeldruckhärte, Schlagbiegefestigkeit nach Jzod, Glühkonusprüfung. Derartige Anregungen sind durch Prof. A. Schob vom MPA gegeben worden und unterliegen zur Zeit der Untersuchung.

**Optische Untersuchung ebener Spannungszustände.** Über den Einfluß der Probenform auf die Spannungsverteilung gibt die optische Untersuchung ebener Spannungszustände nach Arbeiten von Prof. E. G. Coker Aufschluß<sup>1</sup>. Das neue Verfahren der Spannungsmessung benutzt die bunten Bilder, die in belasteten, durchsichtigen Körpern bei polarisiertem Licht zu sehen sind. In jedem Teilchen einer durchsichtigen, in ihrer Ebene belasteten Scheibe sind die wirksamen Kräfte als ein Paar aufeinander senkrechter Spannungen anzusehen. Geht ein polarisierter Lichtstrahl durch ein so belastetes Teilchen, so wird er in zwei aufeinander senkrechte Strahlen zerlegt, die in Richtung der Spannungen schwingen.

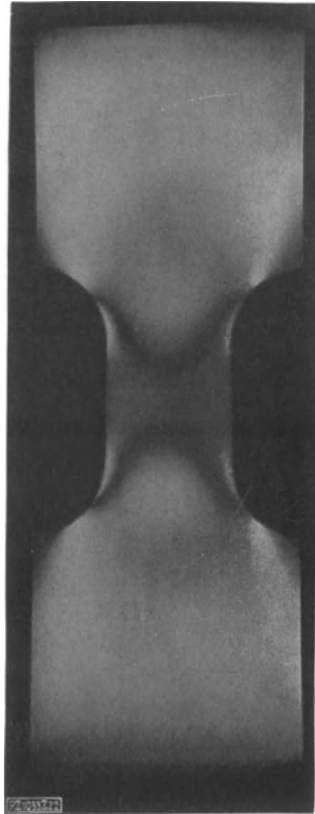


Abb. 120. Flachstab bei Zugbelastung.

<sup>1</sup> Meßmer, G., Göttingen: Spannungsoptische Untersuchungen von ebenen Spannungszuständen. Bericht über Vorlesungen von Prof. E. G. Coker, University College, London. Z. VDI 1928 Heft 27 S. 951.

Wird ein flacher Zugstab der üblichen Ausführung mit verbreiterten Enden während der Belastung von polarisiertem Licht durchstrahlt, so zeigen sich nahe den Enden bunte Kurven, die auf einen ziemlich verwickelten Spannungszustand hindeuten (Abb. 120). Am Rande des Mittelstückes ist die Spannung größer als im Innern, am größten an den vier Punkten, in denen die Abrundungen beginnen. Längs den Rundungen nehmen die Spannungen nach den Ecken zu bis auf 0 ab. Erst

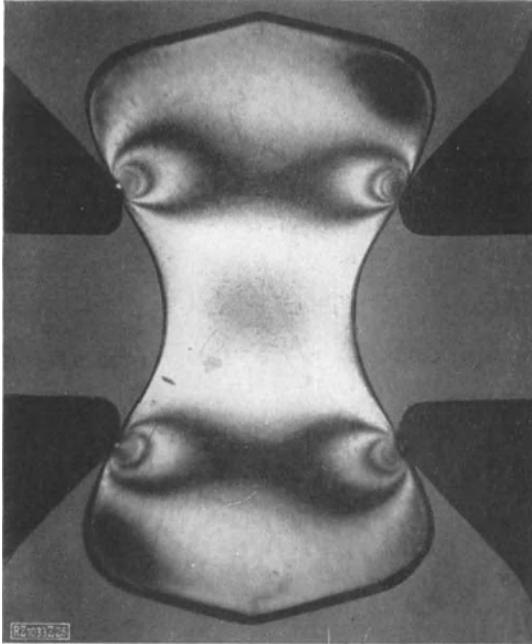


Abb. 121. Modell eines Betonprobekörpers bei Zugbeanspruchung, britische Normalform.

in der Mitte des Mittelstückes verteilt sich allmählich der Zug gleichmäßig über den ganzen Querschnitt. Die Meßlänge beim Zugversuch sollte ganz in diesem Gebiet des gleichförmigen Zuges liegen. Bei sehr kleinen Abrundungen und zu kurzem Mittelstück besteht die Gefahr, daß sich eine Zone des gleichförmigen Zuges überhaupt nicht ausbildet.

**Zugprobekörper für Beton und Isolierstoffe nach den deutschen, englischen und französischen Normen.** Die Form der Probekörper ist willkürlich und von jedem Lande anders vorgeschrieben. Weshalb

es schwer ist an derartigen Probekörpern übereinstimmende Werte für die Zugeigenschaften zu erhalten, ist aus Abb. 121, 122 und 123 zu erkennen. Die Greifzangen übertragen einen starken Berührungsdruck. Die amerikanischen Prüfvorschriften für Isolierstoffe schreiben deshalb auch die Form der Zangen genau vor. Wenn die amerikanischen Prüfkörper für Zugversuche an Isolierstoffen, die früher der britischen Betonnormalprobe ähnlich waren, jetzt nach Abb. 131 geändert wurden, so waren wohl die hier erwähnten Beobachtungen maßgebend. In dem Schnitt an der schmalsten Stelle sind in Abb. 122 und 123 die Einzelwerte der Normalspannungen  $P$  und  $Q$  eingetragen, die sich unter einer Last für eine mittlere Zugspannung von  $100 \text{ kg/qcm}$  ergeben. Bei der britischen Normalform erreicht  $P$  am Rand den Wert von  $174 \text{ kg/qcm}$  und sinkt

in der Mitte auf 81 kg/qcm. Die senkrecht zu  $P$  wirkende Spannung  $Q$ , die am Rande = 0 ist, nimmt in dem mittleren Teil des Querschnittes den beträchtlichen Wert von 47 kg/qcm ein. Bei der deutschen und französischen Normalform sind die Ungleichmäßigkeiten noch größer.  $P$  am Rand 210 kg/qcm, in der Mitte 64 kg/qcm;  $Q$  in der Mitte 55 kg/qcm. Mit derartigen Zugprobenformen können die Eigenschaften eines Stoffes

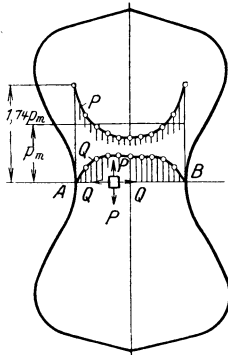


Abb. 122. Spannungen in der britischen Betonnormalprobe.

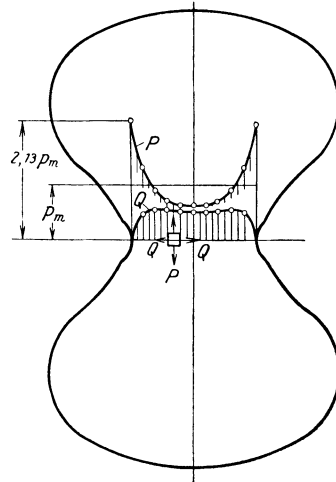


Abb. 123. Spannungen in der deutschen und französischen Betonnormalprobe.

unter reiner Zugbelastung nicht ermittelt werden. Sie ergeben eine zu geringe Bruchfestigkeit, da die gemessene mittlere Spannung im Augenblick des Bruches viel geringer ist als die wirkliche Spannung an der Bruchstelle.

## C. Vergleichende Übersicht über Prüfverfahren.

### 1. Die Prüfung der mechanischen Festigkeit.

Ob plastische Massen als Isolier- und Bauteile elektrischer Maschinen, als Türgriffe, Dachbedeckung, Pflasterbelag oder Geschirr verwendet werden sollen, immer spielen die mechanischen Eigenschaften eine erhebliche Rolle. Je nach der Art der Beanspruchung durch Zug, Druck, Biegung, Schlag spricht man von Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit und Schlagbiegefestigkeit. Über die Natur der Festigkeit sagt M. Polanyi<sup>1</sup>: „Ein fester Körper widersetzt sich einer äußeren Gewalt, bis diese schließlich die Übermacht gewinnt und es zum Biegen oder Brechen kommt. Der Widerstand, den der Körper leistet, ist seine Festigkeit. Die Größe der Gewalt, die zur Überwindung dieses Widerstandes nötig ist, ist das Maß seiner Festigkeit.“

Die Größe der Gewalt ist das, was man mit Bruchlast bezeichnet. Manche Arten der Festigkeit scheinen je nach dem Aufbau der Körper

<sup>1</sup> Polanyi, M.: Die Natur der Festigkeit. Umschau 1930 S. 1001.



in einem gewissen Zusammenhang zu stehen, z. B. die Kugeldruckhärte des Stahles mit seiner Zug- und Biegefestigkeit. Bei plastischen Massen ist dieser Zusammenhang wenig untersucht, jedenfalls sollten Schlüsse über die Abhängigkeit der verschiedenen Arten von Festigkeit nur mit Vorsicht gezogen werden.

### a) Biegefestigkeit.

VDE 318 Probenform: Stab  $10 \times 15 \times 120$  mm. Auflage und Belastung Abb. 124. Für stoßfreie Belastung und einwandfreie Kraftmessung ist Sorge zu tragen. Die Belastung ist gleichmäßig um 250 kg/qcm je Minute bis zum Bruch zu steigern.

$$\sigma_B = \frac{\text{Biegemoment } M}{\text{Widerstandsmoment } W} \quad M = \frac{P \cdot l}{4} \quad W = \frac{bh^3}{6}$$

$$\sigma_B = \frac{Pl}{4} \frac{6}{bh^3} = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^3}; \quad \text{für } l = 10 \text{ cm, } b = 1,5 \text{ cm, } h = 1 \text{ cm}$$

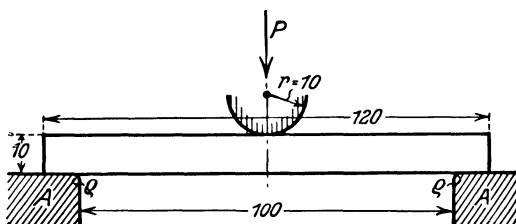


Abb. 124. Bestimmung der Biegefestigkeit nach VDE 318.

wird  $\sigma_B = 10 P$  in kg/qcm.

ASTM D 48–30 Probenform: Gepreßter Stab  $12,7 \times 12,7 \times 127$  mm, Auflageabstand 102 mm, Abrundung der Belastungsschneide und der Auflage  $r = 3,18$  mm. Biegespannung wie oben

$$\sigma_B = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^3}. \quad \text{Die Durch-}$$

biegung des Stabes ist in der Mitte zu messen.

BERA B/S 1, 1922 Probenform: Stab gepreßt, für Schichtstoffe geschnitten,  $15 \times 15 \times 200$  mm mit Einschnitt an einem Ende (Abb. 125),

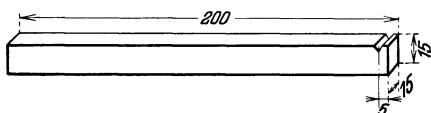


Abb. 125. Probestab für Warmbiege- und Biegeversuch, aus Platte oder Stab geschnitten oder gepreßt, BERA, B/S 1.

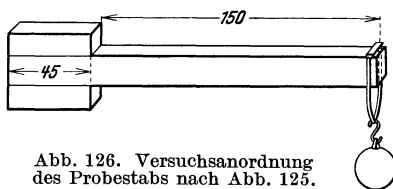


Abb. 126. Versuchsanordnung des Probestabs nach Abb. 125.

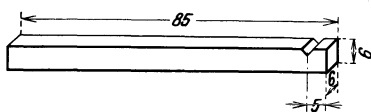


Abb. 127. Kleiner Probestab für Warmbiege- und Biegeversuch, aus Platte oder Stab geschnitten, BERA, B/S 1.

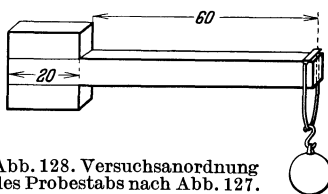


Abb. 128. Versuchsanordnung des Probestabs nach Abb. 127.

Einstellung und Belastung Abb. 126. Wenn Stäbe in diesen Abmessungen sich nicht herstellen lassen, werden sie nach Abb. 127 aus-

geführt, Einstellung und Belastung nach Abb. 128, Laststeigerung etwa 9 kg je Minute.  $\sigma_B = \frac{6 Pl}{bh^2}$ , da hier  $M = P \cdot l$  ist. Beim Einspannen von Stäben mäßiger Festigkeit sind Beschädigungen zu befürchten. Auch scheinen die Kerben Anlaß zu Ungenauigkeiten zu bieten, je nachdem, ob sie z. B. am Grunde verrundet oder scharf ausgeführt sind. Die Auflage des Belastungsbügels in der Kerbe hat sehr kleine Abmessungen. Bei den anderen Biegeprüfungen wird eine besondere Einspannung vermieden und der Stab nur auf Auflagen gelegt.

USE 46 Probenform: Stab  $15 \times 15 \times 200$  mm, Auflageabstand 150 mm, Abrundungen  $r = 5$  mm, Winkel der Belastungsschneide  $45^\circ$ , Biegespannung wie oben  $\sigma_B = \frac{3 Pl}{2 bh^2}$ .

#### b) Zugfestigkeit.

Der VDE sieht keine Prüfung der Zugfestigkeit vor. Der einfache Probestab mit gleichbleibendem rechteckigem Querschnitt bietet beim Einspannen in die Backen der Zerreißmaschine dadurch Schwierigkeiten, daß hierbei leicht Beschädigungen und Deformationen des Stabes eintreten. Versuche an Probestäben gleicher Fertigung, gleicher Stoffe und in den Abmessungen

$10 \times 15 \times 120$  mm ergaben sehr starke Schwankungen der Werte.

Der Zugversuch in dieser Form ist deshalb nicht empfehlenswert.

DVMT 76 (Ausschuß 13). Für Weichgummifertigfabrikate ist nach zahlreichen Versuchen, über die im Handbuch der Kautschukwissenschaft ausführlich berichtet wird, für die Proben der Normalring vorgesehen.

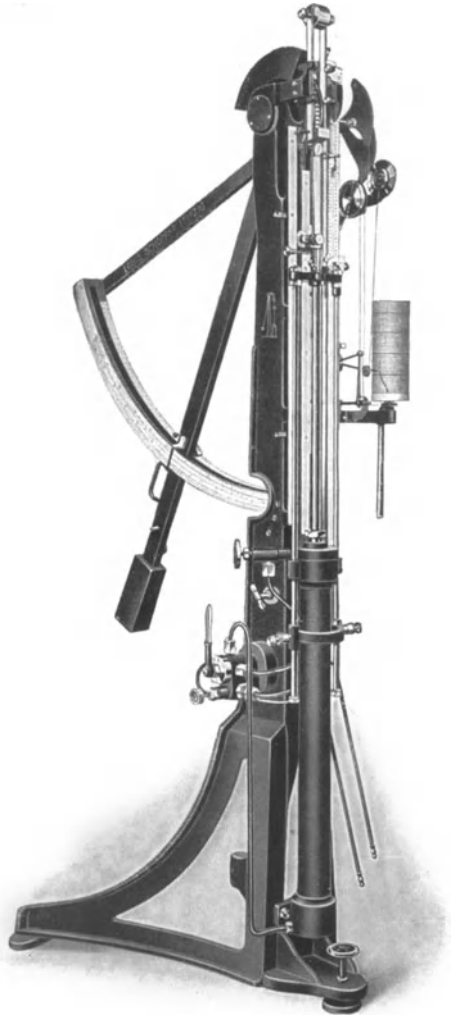


Abb. 129. Kautschukprüfer. Bauart Schopper-Dalén mit Schaulinienzeichner.

Sonstige Probeformen (stab-, band-, streifen- oder fadenförmige Proben), in Fällen, in denen die Entnahme von Ringen nicht möglich ist.

| Ringe                                                                         | Äußerer Durchmesser | Innerer Durchmesser | Dicke |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------|
| a) Große Normalringe                                                          | 52,6                | 44,6                | 6     |
| b) Kleine „                                                                   | 44,6                | 36,6                | 6     |
| c) Ringe anderer Abmessungen, wenn Normalringe nicht entnommen werden können. |                     |                     |       |

Auf Anregung von Dalén, dem ehemaligen Mitarbeiter im MPA, werden im Schopperschen Prüfapparat die Proberringe während des Versuches so in Bewegung ge-

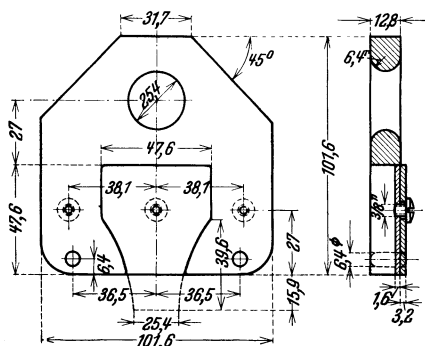


Abb. 130. Aufhängung für Zugprobekörper. ASTM, D 48—30.

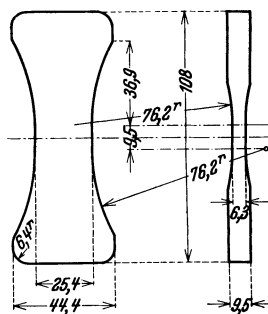


Abb. 131. Probenform für Zugversuch. ASTM, D 48—30.

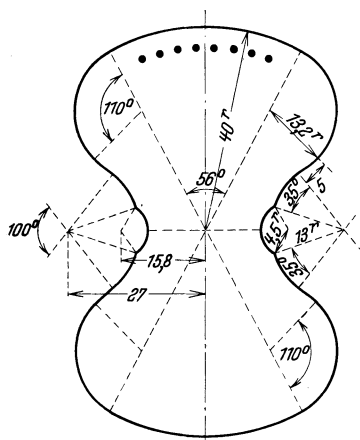


Abb. 132. Probenform für Zugversuch, USE 46; auch nach Deutschen Normen für Portlandzement. Dicke 22,2 mm.

halten, daß sie ständig über die Einspannrollen laufen und in ihrem ganzen Umfang gleichmäßig zur Anspannung kommen. Der Kautschukprüfer, Bauart Schopper-Dalén (Abb. 129), benutzt zur Kraftmessung die Neigungswaage nach dem Prinzip der Briefwaage. Beim Bruch der Probe wird der Gewichtshebel durch eine Sperrklinke festgehalten. Der Apparat ist mit einem Schaulinienzeichner ausgerüstet. Der Antrieb erfolgt durch Druckwasser, das aus einer Wasserleitung entnommen werden kann.

ASTM Probenform und Aufhängung in Prüfvorrichtung nach Abb. 130 und 131. Kleinster Querschnitt der Probe  $6,3 \times 25,4 \text{ mm} = 160 \text{ qmm}$ . Die früher vorgeschriebene Probenform hatte eine Gesamtlänge von 76,2 mm und eine Dicke von 12,7 mm bei gleicher Breite, also den doppelten Querschnitt. Die neue Probenform nach Abb. 131

ist länger, so daß sich eine Zone gleichmäßiger Zugbeanspruchung in der Mitte besser ausbilden kann. Hierüber wird gelegentlich der Besprechung der spannungs-optischen Messung berichtet (S. 296).

USE. Die Probenform entspricht dem Normalprobekörper für Beton in Deutschland (Abb. 132). Kleinster Querschnitt  $11,3 \times 22,2 \sim 251$  qmm, also sehr groß.

#### c) Druckfestigkeit.

Die VDE-Vorschriften sehen keine Prüfung der Druckfestigkeit vor, vielmehr wird die Kugeldruckprobe als genügend für die Prüfung der Druckfestigkeit eines Stoffes angesehen.

ASTM Probenform: Zylinder 28,6 mm Durchmesser, 31,8 mm hoch, in besonderem Werkzeug gepreßt. Gemessen wird die Belastung, bei der die ersten Zeichen des Nachgebens oder der Beschädigung sichtbar werden. Die Belastung soll so langsam wie möglich gesteigert werden.

USE Probenform: Würfel 15 mm Kantenlänge, die aus den Versuchstäben für andere Prüfungen geschnitten werden können. Belastungssteigerung um je 25 kg.

BERA B/S. 1. Probenform: Zylinder 15 mm Durchmesser, 15 mm hoch in Form gepreßt oder geschnitten. Falls Proben in diesen Abmessungen nicht hergestellt werden können, Zylinder von 10 mm Durchmesser und 10 mm Höhe. Anfangsbelastung 100 kg/qcm. Die Zusammendrückung soll bei jeder Laststufe nach 1 und 10 Sekunden gemessen werden. Die Ablesung der Zusammendrückung ist an einer an der Prüfvorrichtung befestigten Meßlehre vorzunehmen, bei einer Vergrößerung nicht unter dem Hundertfachen. Für die 15 mm Probe ist die Belastung festzustellen, bei der die Zusammendrückung 0,5 mm beträgt. Die Zusammendrückung  $k$  soll errechnet werden nach der Formel  $k = y + \frac{0,25 y}{y_1}$ ,  $y$  und  $y_1$  sind die Zusammendrückungen in Millimetern nach 1 und 10 Sekunden. Für die kleineren Proben ist eine entsprechende Reduktion vorzunehmen.

In den erwähnten Prüfvorschriften sollen die Proben nicht nur bei Zimmertemperatur, sondern auch bei höherer Temperatur geprüft werden. Die Temperaturmessung ist unsicher, wenn die warmen Proben aus der Wärmevorrichtung genommen und auf die Prüfvorrichtung gelegt werden müssen, die eine andere Temperatur hat.

#### d) Prüfvorrichtungen.

Als Vorrichtung für die Prüfung der Biege-, Druck- und Zugfestigkeit kann jede normale Prüfmaschine dienen. Da die Bruchbelastungen bei den meisten Kunststoffen nicht über 1000 kg/qcm hinausgehen, so genügen für die Prüfung auch einfache Vorrichtungen, bei denen

die Kraft durch eine Schraubenspindel erzeugt und durch eine geeignete Feder- oder Gewichtswaage gemessen wird (Abb. 133). Den



Abb. 133. Einfache Prüfvorrichtung, Messung mit geeichter Schraubenfeder.



Abb. 134. Biegefestigkeitsprüfer von Schopper.

Biegefestigkeitsprüfer von Schopper mit Vorrichtung zum Messen der Durchbiegung zeigt Abb. 134.

#### e) Härte.

VDE 318 Kugeldruckhärte nach Brinell (für Metalle s. Din 1605). Eine Kugel von  $D = 5$  mm Durchmesser wird mit konstantem Druck  $P = 50$  kg stoßfrei eingedrückt. Die Eindrücke sollen in der Mitte der 15 mm breiten Stäbe liegen. Der Härtegrad  $H$  wird berechnet aus  $H = \frac{P}{F}$  kg/qcm,  $P = 50$  kg,  $F$  = Oberfläche der Kugelkalotte des Eindrucks. Früher hatten die Vorschriften als Härtemaßstab die Kraft benutzt, die nötig ist, um mit einer Kugel von 5 mm Durchmesser eine Eindrucktiefe von 0,1 mm zu erzeugen (Martens-Heyn). Dieses Verfahren hat sich für Isolierstoffe als nicht geeignet erwiesen, weil bei vielen dieser Stoffe eine starke Nachwirkung eintritt, so daß man bei dem gleichen Stoff größere oder kleinere Kräfte zur Erzeugung der gleichen Eindrucktiefe braucht, je nachdem, ob die Kraft schnell oder

langsam wächst. Bei der Brinellprobe wird die Eindringtiefe nach 10 und 60 Sekunden gemessen, um eine etwaige Nachwirkung zu beobachten. Die Fläche  $F$  der Kalotte wird errechnet aus dem gemessenen Durchmesser  $d$  des größten eingedrückten Kreises.

$$F = \frac{\pi}{2} D (D - \sqrt{D^2 - d^2}).$$

Der Eindruckdurchmesser ist bis auf  $10 \mu$  genau zu messen, am besten mit einer Lupe mit Mikrometer. Von den DVMT sind Tabellen zur Ermittlung der Härtezahlen nach Brinell herausgegeben. Wenn diese Tabellen auch nicht den Wert von  $H$  bei 5 mm Kugeldurchmesser und 50 kg Belastung angeben, so läßt sich dieser Wert doch leicht aus den anderen Belastungsstufen errechnen. Schoppersche Kugeldruckpresse zur Bestimmung der Brinellhärte siehe Abb. 135.

USE Brinellprobe mit 5 mm Stahlkugel, Druck  $P = 100$  kg. Nach 15 Sekunden wird der Eindruck gemessen und die Härte  $H$  berechnet wie oben.

Die amerikanischen und englischen Vorschriften sehen nicht die Prüfung der Kugeldruckhärte, sondern der Druckfestigkeit vor, um die Widerstandsfähigkeit gegen Druckbeanspruchung zu ermitteln.

#### f) Schlagbiegefestigkeit.

Die Feststellung der Schlagbiegefestigkeit dient zur Beurteilung der Sprödigkeit von Stoffen bei Schlag- und Stoßbeanspruchung.

VDE Probenform: Gepreßter Stab  $10 \times 15 \times 120$  mm. Auflager und Schlagfinne Abb. 136. Die Hinterschneidung der Auflage ist nötig, damit die Bruchstücke der Probekörper unbehindert durch die Auflage gehen können. Die für den Bruch verbrauchte Schlagarbeit ist in cmkg/qcm anzugeben.

Als Prüfvorrichtung dient ein Normalpendelschlagwerk, Bauart Schopper, Leipzig (Abb. 137), in das Pendel von 10 oder 40 cmkg Arbeitsinhalt eingesetzt werden können. Auch die Auflager sind

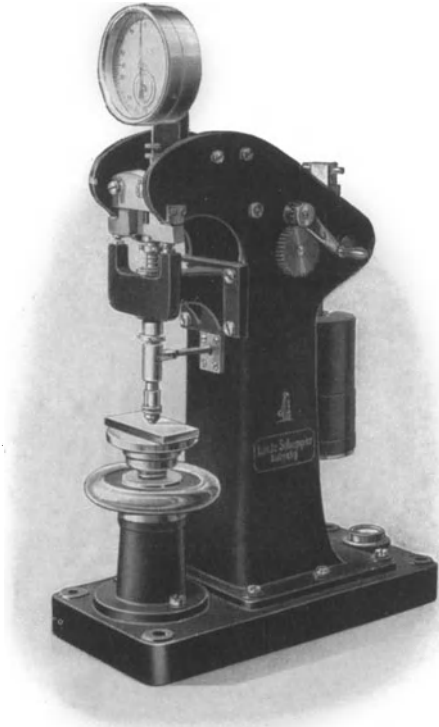


Abb. 135. Kugeldruckpresse zur Bestimmung der Brinellhärte. Louis Schopper, Leipzig.

auswechselbar, und zwar auch für Stäbe  $5 \times 10 \times 60$  mm. Hauptabmessungen siehe Tabelle 77.

Tabelle 77.

|                                                         | Pendel für |          |
|---------------------------------------------------------|------------|----------|
|                                                         | 10 cmkg    | 40 cmkg  |
| Elevationswinkel . . . . .                              | 160°       | 160°     |
| Gesamtgewicht der pendelnden Masse . . . . .            | 304 g      | 1020 g   |
| Abstand des Schwerpunktes von der Pendelachse . . . . . | 169,2 mm   | 202 mm   |
| Fallhöhe des Schwerpunktes . . . . .                    | 328,3 mm   | 391,8 mm |
| Abstand der Schneidemitte von der Pendelachse . . . . . | 225 mm     | 225 mm   |

Nach Auslösen der Klinke fällt das Schlagpendel aus einem Winkel von 160°, trifft in seiner tiefsten Stellung auf die Probe auf, die es durchschlägt, und schwingt dann nach der anderen Seite aus. Die Größe des Durchschwingens, die Steighöhe, wird mit Hilfe des Schleppzeigers an der Skala in Winkelgraden abgelesen. Die Steighöhe ist ein Maß für den im Pendel nach dem Bruch der Probe noch vorhandenen Arbeitsinhalt. Der Unterschied zwischen Fall- und Steighöhe ergibt unter Berücksichtigung des ganzen Arbeitsinhaltes des Pendels die von der Probe aufgenommene Schlagarbeit. Die Reibung des Pendels und des

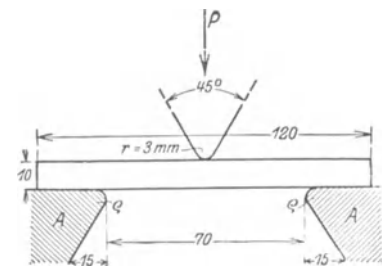


Abb. 136. Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit nach VDE 318.

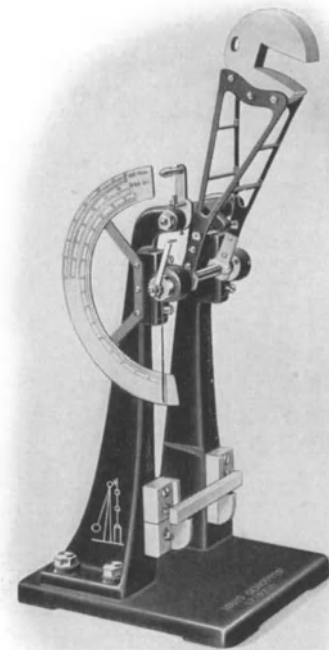


Abb. 137. Pendelschlagwerk. Bauart Schopper für 10 und 40 cmkg Schlagarbeit. (Pendelhammer nach Charpy.)

Schleppzeigers ist in der Skala für die Steighöhe berücksichtigt. Die Bruchstücke der Probe bleiben nicht auf den Auflagern liegen, sondern werden weggeschleudert. Hierfür wird ein kleiner Arbeitsbetrag ver-

braucht. Dieser ist aber geringfügig und außerdem auch bei Proben verschiedener Festigkeit und verschiedenen spezifischen Gewichtes nahezu gleich. Die Nachprüfung der für das Fortschleudern der Probe verbrauchten Arbeit erfolgte in der Weise, daß die zerschlagenen Stäbe nach ganz leichtem Zusammenkitten nochmals vom Pendel beaufschlagt wurden. Da hierbei der Hauptteil der Arbeit für das Fortschleudern der Proben verbraucht wurde, ließ sich dieser Anteil annähernd bestimmen.

ASTM D 256—32 T (Resistance to impact) Widerstand gegen Stoß. Das Verfahren soll ein Maß für die Zähigkeit (toughness) elektrotechnischer Isolierstoffe durch die beim Zerschlagen von Probe-  
stäben mit einem Schlag verbrauchte Schlagarbeit geben. Die Prüfung

kann mit einem Pendelhammer nach Charpy (s. Abb. 137) oder mit einem Schlagwerk nach Jzod (Abb. 138) erfolgen. Diese unterscheiden sich durch die Einspannung und Beaufschlagung der Probe.

**Charpy-Versuch.** Probenform (Abb. 139) für nicht keramische Stoffe, je nach Art des Stoffes auch ohne Kerbe. Die Kerbe kann eingepreßt, eingesägt oder eingefeilt sein, wenn nur ihr Grund glatt, gerade und rißfrei ist. Für keramische Stoffe: Probenform Zylinder

12,7 mm Durchmesser, 19,1 oder 28,6 Durchmesser je nach Größe des Teiles, für den die Stoffprüfung stattfindet. Länge 250 mm. Mit Kerben

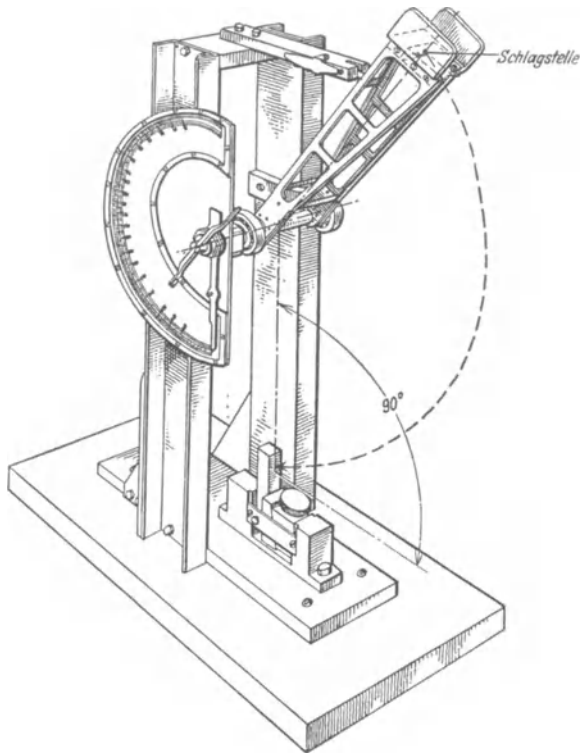


Abb. 138. Pendelschlagwerk nach Jzod, ASTM D 9, D 256—32 T.

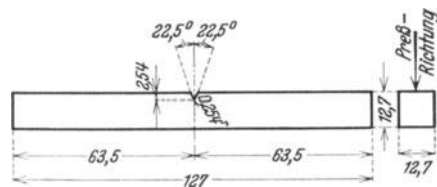


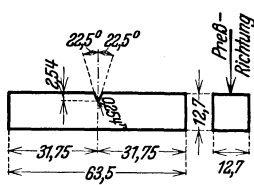
Abb. 139. Probenform für den Schlagbiegeversuch nach Charpy, ASTM D 9, D 256—32 T.



versehene Probestäbe sollen auf der der Kerbe gegenüberliegenden glatten Seite beaufschlagt werden. Der Pendelhammer soll eine Genauigkeit von 1% besitzen. Reibungs- und Luftwiderstand soll berücksichtigt werden. Der Pendelschwerpunkt soll mit dem Mittelpunkt des Schlaghammers zusammenfallen. Die Entfernung  $l$  dieses Punktes von der Schwingachse kann durch Beobachtung der Schwingungsdauer des Pendels

über einen kleinen Winkel aus der Beziehung  $l = 0,81 T^2$  errechnet werden, wobei  $T$  = Zeit einer vollen Schwingung (hin und her) in Sekunden ist. Die Geschwindigkeit des Pendelschwerpunktes beim Aufschlagen auf die Probe soll etwa 3,35 m/sec. betragen, was einer Anfangserhebung des Schwerpunktes von 61 cm entspricht. Die Schlagfinne soll in einem Winkel von  $45^\circ$  auslaufen und mit  $r = 3,175$  abgerundet werden. Bei rechteckigen Platten muß die Finne auf die volle

Abb. 140. Probenform für den Schlagbiegeversuch nach Jzod, ASTM D 9, D 256—32 T.



Breite der Anschlagfläche auftreten. Der Probestab soll so gegen zwei starre Auflager gelegt werden, daß sein Schwerpunkt auf der Tangente des Kreises liegt, den der Hammerschwerpunkt beim Fall beschreibt.

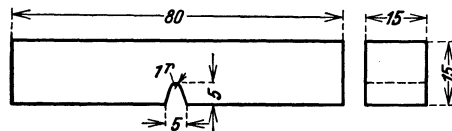


Abb. 141. Gepreßter Stab für den Schlagbiegeversuch. BERA, B/S 1.

Auflageentfernung 101,6 mm, Abrundung 3,175. Als Schlagbiegefestigkeit gilt die durch den Bruch der Probe verbrauchte Schlagarbeit. Diese ist gleich der Differenz zwischen dem Arbeitsinhalt des Pendels und

der nach dem Schlag noch im Pendel bleibenden Energie.

**Jzod-Versuch.** Probenformen für nicht keramische Stoffe Abb. 140. Kerbe wie für den Charpy-Versuch hergestellt. Geschichtetes Platten-

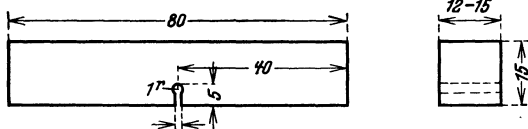


Abb. 142. Aus Platte oder Stange geschnittener Stab für den Schlagbiegeversuch BERA, B/S 1.

material soll auf der Fläche parallel zu den Schichten und quer dazu beaufschlagt werden. Der Probestab wird fest eingespannt, am besten mit Hilfe einer Einstellscha-

blone, so daß die Mittellinie der Kerbe in gleicher Höhe mit der Oberfläche der Einspannbacke liegt, gegen die der Stab beim Schlag gedrückt wird. Der Schlag erfolgt auf die eingekerbte Seite.

BERA, B/S 1. Die zu prüfende Eigenschaft wird bezeichnet als Toughness (Absence of Brittleness), d. h. Zähigkeit (Abwesenheit von Sprödigkeit). Probenform: Gepreßter Stab  $15 \times 15 \times 80$  mm mit eingepreßter Kerbe (Abb. 141), für geschnittene Stäbe Abb. 142. Die Kerbe wird durch einen 5 mm tiefen Sägenschnitt hergestellt, der in

eine Bohrung von 1 mm Durchmesser ausläuft. Da die Zähigkeit je nach Richtung des Schlages zur Oberfläche verschiedene Werte haben kann, sollen bei geschnittenen Stäben Schläge sowohl parallel als auch rechtwinklig zur Oberfläche erfolgen. Die Geschwindigkeit des Pendels liegt zwischen 180 und 220 cm/sec. Der Arbeitsinhalt des Schlagpendels nach dem Bruch der Probe soll 25% des gesamten Inhaltes nicht übersteigen, wenn möglich aber kleiner sein. Brucharbeit in cmkg/qcm des zerbrochenen Querschnittes.

USE Probenform: Gepreßter Stab  $15 \times 15 \times 100$  mm. Das Pendelschlagwerk soll zwei Laststufen zulassen und den folgenden Vorschriften entsprechen.

Tabelle 78.

|                                                 | 1       | 2       |
|-------------------------------------------------|---------|---------|
| Arbeitsinhalt . . . . .                         | 25 cmkg | 50 cmkg |
| Elevationswinkel . . . . .                      | 160°    | 160°    |
| Gesamtgewicht der pendelnden Masse . . . . .    | 515,5 g | 1031 g  |
| Abstand des Schwerpunktes von den Pendelachsen  | 250 mm  | 250 mm  |
| Abstand der Auflager . . . . .                  | 70 mm   | 70 mm   |
| Schneidenwinkel . . . . .                       | 90°     | 90°     |
| Auflagerwinkel . . . . .                        | 75°     | 75°     |
| Abrundungen an Schneiden und Auflager . . . . . | 2,5 mm  | 2,5 mm  |

Außer diesen Verfahren, die zur Untersuchung der mechanischen Festigkeit von elektrotechnischen Isolierstoffen dienen sollen, werden einige andere angeführt, die zur Prüfung anderer Stoffe festgelegt wurden.

#### g) Stoßfestigkeit nach dem Verfahren des MPA.

Für die Prüfung der Stoßfestigkeit von Baustoffen in Plattenform dient ein Fallgewicht, das aus einer gemessenen Höhe auf die Mitte der zu prüfenden Platte aufschlägt. Die Versuchsplatte  $10 \times 100 \times 100$  mm wird fest auf gesiebten und gerüttelten Sand aufgelegt. Im MPA werden je nach der Stoßfestigkeit des Stoffes vier verschiedene Fallgewichte verwendet, die unten in eine Halbkugel auslaufen und oben mit einer Öse versehen sind. Mit dieser Öse wird das Fallgewicht an einer kleinen Auslösevorrichtung angebracht, die eine genaue Einstellung der Fallhöhe und einen Abwurf ohne Beeinträchtigung des freien Falles erlaubt. Gewichte und Größe der Fallkörper siehe Tabelle 79.

Tabelle 79.

|   | Gewicht<br>kg | Durchmesser<br>des kugel-<br>förmigen<br>Endes<br>mm |
|---|---------------|------------------------------------------------------|
| 1 | 5             | 90                                                   |
| 2 | 2             | 64                                                   |
| 3 | 1             | 52                                                   |
| 4 | 0,5           | 40                                                   |

Ermittelt wird die Zahl der Schläge von bestimmter Höhe, die die ersten Risse oder den Bruch der Probe herbeiführt. Angegeben wird

Fallhöhe in Metern, Schlagarbeit in Meter-Kilogramm, Schlagzahl und Art der Zerstörung. An Stelle des birnenförmigen Gewichtes und der Auslösevorrichtung kann eine Stahlkugel, z. B. von 52 mm Durchmesser und 0,532 kg Gewicht verwendet werden, die man aus einem Ring von etwas größerem Innendurchmesser frei auf die Probe fallen läßt. Bei einiger Übung gelingt es die Kugel so fallen zu lassen, daß ihr Fall nicht gehemmt oder abgelenkt wird. Diese Vorrichtung besteht nur aus einem Stativ mit Maßstab, an dem der Abwurfring eingestellt werden kann, sowie aus der Kugel und dem Sandkasten. Sie ist also außerordentlich einfach und gut geeignet Unterschiede in der Stoßfestigkeit verschiedener Stoffe festzustellen.

#### h) Elastizität.

DVMT. Unter Elastizität versteht man die Fähigkeit eines festen Körpers nach einer unter dem Einfluß äußerer Kräfte entstandenen

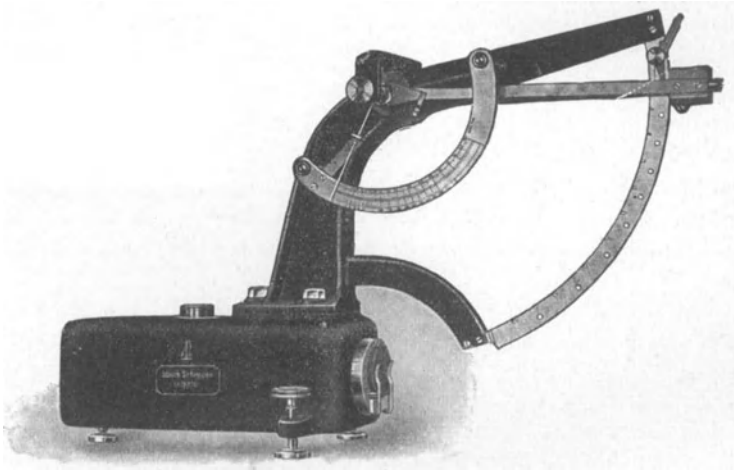


Abb. 143. Pendelhammer nach Schob zur Messung der Elastizität von Weichgummi durch die Rückprallhöhe, Bauart Schopper.

Formänderung die vorherige Form wieder anzunehmen, nachdem die Einwirkung der äußeren Kräfte wieder aufgehoben ist. Große Elastizität besitzen besonders die aus Kautschuk hergestellten Stoffe. Deshalb ist die Elastizitätsmessung für die Kautschukprüfung entwickelt worden. Als Maß der Größe der Elastizität kann bei statischer Beanspruchung der Dehnungsrest beim Zugversuch, der nach Entlastung der Probe bleibt, benutzt werden. Bei dynamischer Beanspruchung kann der Verlust an äußerer mechanischer Arbeit, der zwischen Be- und Entlastung der Probe festgestellt wird, der sogenannte Hysteresisverlust der Messung zugrunde gelegt werden. Das Verhältnis  $\frac{\text{zurückgewonnener}}{\text{aufgewandter}}$

Arbeit bezeichnet A. Schob als elastischen Wirkungsgrad  $\eta_{el}$ , wobei die Zahl mit 100 multipliziert in Prozenten ausgedrückt wird<sup>1</sup>. Schob gibt zur Messung dieser Größe einen von Louis Schopper, Leipzig gebauten Pendelhammer an (Abb. 143), der eine genaue Messung auch kleiner Rückprallhöhen, eine bequeme Änderung der Stoßenergie und die Möglichkeit bietet, bei dem nur wenige Sekunden dauernden Einzelversuch mit Proben verschiedener Temperatur arbeiten zu können.

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Schlagarbeit des Pendels . . . . . | 5 cmkg  |
| Stoßgewicht . . . . .              | 200 g   |
| Größte Fallhöhe . . . . .          | 250 mm. |

Das Pendel kann in 10 verschiedenen Höhen am Kreisbogen eingestellt und mit einer Klinke ausgelöst werden, um dann gegen die senkrecht unter der Pendelachse am Apparatgestell durch leichte Blattfedern befestigte Probescheibe zu schlagen. Ein Mitnehmer auf der Pendelachse ergreift den Schleppzeiger kurz vor Auftreffen des Pendels auf die Probe und nimmt ihn bis zum höchsten Ausschlag beim Rückschwingen mit. Die Rückprallhöhe kann auf der Teilung des Bogens hinter dem Schleppzeiger abgelesen werden. Die Bogenteilung ist nach Prozenten der Fallhöhe vorgenommen, so daß unmittelbar der elastische Wirkungsgrad abgelesen werden kann.

BERA B/S. 1 (Rigidity). Probenform und Belastungsart wie bei Abb. 125—128. Gemessen wird die Durchbiegung am freien Stabende gegenüber der Anfangslage, indem eine Meßschraube für Innenmessung über dem Bügel angebracht und mit dem einen Pol einer kleinen Batterie verbunden wird, deren anderer Pol unter Zwischenschaltung eines Voltmeters mit dem Bügel verbunden ist. Die Meßschraube wird so eingestellt, daß das Voltmeter Stromschluß anzeigt. Nach jedem kleinen Belastungszuwachs ist die Zunahme der Durchbiegung zu messen. Die Ablesungen erfolgen solange, wie der Lastzuwachs verhältnismäßig der Durchbiegungszunahme ist. Beobachtet wird die Last, bei der diese Verhältnismäßigkeit aufhört als Fließgrenze (Yield-point). Der Elastizitätsmodul  $E$  wird berechnet aus  $E = \frac{4 l^3 w}{bh^3 y}$ , wobei  $w$  = durchschnittlicher Lastzuwachs und  $y$  = durchschnittliche Biegungszunahme ist. Prüfungen bei Zimmertemperatur und erhöhten Temperaturen. Durch diesen Versuch soll festgestellt werden, bis zu welcher Beanspruchung das Hookesche Gesetz der Verhältnismäßigkeit von Kraft und Dehnung gilt, d. h. die Grenzbelastung, bei der bleibende Formänderungen auftreten.

#### i) Bearbeitbarkeit.

VDE. In den Vorversuchen, Bericht Dr. Passavant<sup>2</sup>, erfolgte die Prüfung der Bearbeitbarkeit:

<sup>1</sup> Schob, A.: Mitt. Mat.-Prüf.-Amt Berlin 1920 S. 228.

<sup>2</sup> Passavant: Elektrotechn. Z. 1912 Heft 19.

1. durch Zerlegung mit einer rasch laufenden Bandsäge,
2. durch Bearbeitung mit dem Hobelstahl,
3. durch Bearbeitung mit Bohrern und Gewindebohrern.

Zu 1. wurde beobachtet Anzahl der erforderlichen Nachschliffe des Sägeblattes, Verhalten des Materials, Güte der Schnittfläche u. dgl.;

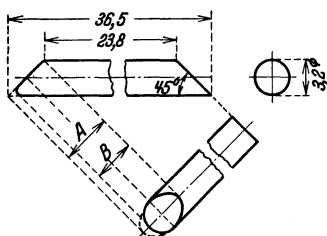


Abb. 144. Verfahren zur Bestimmung der Werkzeugabnutzung. *A* Länge der Schneidfläche vor dem Versuch; *B* Länge der Schneidfläche nach dem Versuch; *A—B* Werkzeugabnutzung. BERA, B/S 1.

zu 2. überholte Fläche 580 qcm; anzugeben war die Schnittgeschwindigkeit und Spanbreite, die Arbeitszeit, das Nachschleifen des Stahles u. dgl. Diese Versuche sind nicht in die Prüfbestimmungen aufgenommen worden, weil die meisten der untersuchten Stoffe durch Pressen ihre Formgebung erhalten sollen.

BERA, B/S 1. Die Prüfung der Bearbeitbarkeit soll hauptsächlich mit Rücksicht auf Stoffe wie Hartpapier vorgenommen werden. Derartige Prüfungen sind für alle drehselbaren und bearbeitbaren Stoffe

wichtig, deren Zahl und Anwendungsgebiet ständig zunimmt.

Als Maß für die Bearbeitbarkeit soll 1. die Abnutzung der Werkzeugschneide beim Drehen und 2. der Beginn des Ausbrechens des Materials

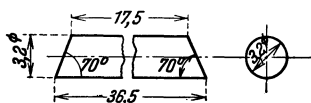


Abb. 145. Form des Stahles für die Prüfung auf Ausbröckeln. BERA, B/S 1.

beim Konusdrehen dienen. Drehstahl nach Abb. 144. Material: Silberstahl glashart in reinem, kalten Wasser gehärtet, auf einem feinen Ölstein abgezogen und nach Winkellehren geschliffen. Probenform: Rohr etwa 370 mm lang, 50 mm Außendurchmesser, 25 mm Innendurchmesser, Schnittlänge:

4 gleiche Schnitte in Form der Schraubenlinie mit einer Gesamtlänge von etwa 490 m. Vor jedem Schnitt soll die Probenoberfläche wieder zylindrisch gedreht werden, damit die Konizität infolge der vorhergehenden Werkzeugabnutzung beseitigt

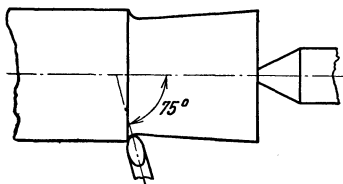


Abb. 146. Anstellwinkel des Stahles für die Prüfung auf Ausbröckeln. BERA, B/S 1.

wird. Schnittgeschwindigkeit 30 m pro Minute, Schnitttiefe 0,5 mm. 24 Umdrehungen je 10 mm Drehlänge. Vorschub 0,4 mm.

**Prüfung auf Ausbröckeln.** Stahl nach Abb. 145, sonst wie oben beschrieben. Probenform: Stab 125 mm lang, Durchmesser nicht unter 25 und nicht über

50 mm. Die Probe soll vor dem Konusdrehen zylindrisch gedreht werden. Als Konstante für das Ausbrechen des betreffenden Materials soll die Tiefe des Schnittes gelten, multipliziert mit dem Durchmesser der Probe an der Stelle, wo das Ausbrechen beginnt. Einstellung des

Stahles nach Abb. 146. Versuch bei 100 Umdrehungen je Minute, Vorschub 25,4:48, Konus 1:50, Zimmertemperatur. Die Versuche sollen im allgemeinen trocken ausgeführt werden.

Diese und ähnliche Prüfungen entsprechen deshalb nicht mehr den Bedingungen der Praxis, weil heute zum Bearbeiten von Kunststoffen Werkzeugschneiden aus Wolframkarbid (Widiametall) zur Verfügung stehen, die in der Härte dem Diamanten nahestehen, sehr viel größeren Vorschub zulassen als Schnelldrehstahl oder gar Silberstahl und sehr viel geringere Abnutzung zeigen.

### k) Zermürbung und Abnutzung.

**Widerstand gegen den Sandstrahl.** MPA: Der Widerstand gegen den Sandstrahl wird ermittelt, um einen Anhalt über die Abnutzung von Straßenbelag oder Fußbodenplatten durch die schleifende und stoßende Wirkung der Verkehrsmittel zu erhalten. Hierzu ist im MPA eine Vorrichtung von Gary entwickelt worden<sup>1</sup>, bei der ein Gemisch von Dampf, Luft und Sand gegen den bewegten Versuchskörper geführt wird. Das Gemisch muß trocken, der Feinheitsgrad und die sonstige Beschaffenheit des Sandes muß gleichmäßig sein, ebenso die Versuchstemperatur, um überhaupt vergleichbare Werte zu erhalten. Von dem Versuchstück wird eine bestimmte Fläche, z. B. 50 qcm durch eine Stahlblechschablone dem Angriff des Sandstrahles freigegeben. Bestimmt wird der Gewichtsverlust nach einer bestimmten Versuchsdauer. Das Aussehen der Probe nach dem Versuch gibt einen Anhalt für die Eignung des Stoffes für bestimmte Zwecke.

**Abnutzung durch losen Schmirgel.** MPA: Das Verfahren von Martens-Mai ist zur Prüfung von Weichgummi, z. B. von Mänteln der Autobereifung bestimmt. Abb. 147<sup>2</sup> zeigt die einfache Versuchsanordnung. Probenform für Weichgummi: Scheibe 44,6 mm Durchmesser, 6 mm dick, die Abfallscheibe des großen Normalringes. Der Gewichtsverlust der Probe nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen gilt als Maß der Abnutzung. In ein zylindrisches Glasgefäß von etwa 80 mm Durchmesser und etwa 190 mm Höhe wird,

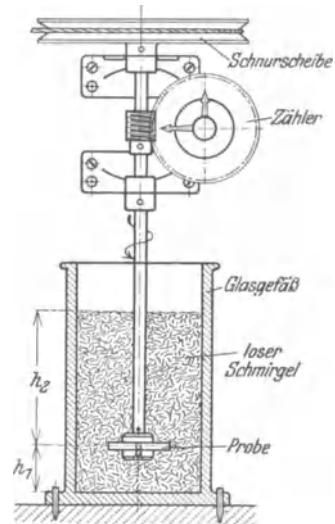


Abb. 147. Schleifapparat zur Bestimmung der Abnutzung von Weichgummi durch losen Schmirgel nach Martens-Mai.

<sup>1</sup> Gary: Mitt. Mat.-Prüf.-Amt 1904 S. 109; auch Marcusson: Die natürlichen und künstlichen Asphalte, S. 145.

<sup>2</sup> Memmler, Schob und Mitarbeiter: Handbuch der Kautschukwissenschaft, Abb. 187.

nach Einbringen der an einer senkrechten Spindel (Bohrmaschine) befestigten Probescheibe, loser Schmirgel, z. B. Naxos Union Körnung  $5\frac{1}{2}$ , so eingefüllt, daß die Höhe unter der Probe 30 mm und über der Probe 150 mm beträgt. Zweckmäßig wird das Anfangsgewicht der Probe erst bestimmt, nachdem diese mit gebrauchtem Schmirgel durch etwa 500 Umdrehungen aufgeraut ist. Der Zustand der inneren Gefäßwand ist wesentlich. In Eisengefäßen werden andere Versuchswerte erhalten als in Glasgefäßen. Die Umlaufgeschwindigkeit ist innerhalb gewisser Grenzen belanglos.

## 2. Prüfung der Wärmebeständigkeit.

Eine Widerstandsfähigkeit gegen höhere Temperaturen wird von vielen Gebrauchsgegenständen verlangt, z. B. von Griffen der Koch- und Heizapparate, oder von Trägern der Kontakte bei Schaltapparaten, die durch Strom erwärmt werden.

Der Grad der Beanspruchung durch Wärme ist je nach dem Verwendungszweck sehr verschieden, z. B. Erwärmung durch Sonnenbestrahlung, durch Strombelastung bis zur Glut, oder durch den elektrischen Lichtbogen. Je nach Art der Beanspruchung kann unterschieden werden:

- Warmbiegefestigkeit (Wärmebeständigkeit nach Martens),
- Warmdruckfestigkeit,
- Glutsicherheit,
- Lichtbogensicherheit bzw. Schaltfeuersicherheit.

Die plastischen Massen, die im Freien Verwendung finden, müssen auch tiefe Temperaturen und wiederholten Frostwechsel ertragen, ohne daß Risse oder Oberflächenbeschädigungen auftreten, z. B. bei Oberleitungsisolatoren, Isolierteilen in Freiluft-Schaltanlagen, Haustürgriffen und anderen außen an Gebäuden angebrachten Teilen.

### a) VDE 318 Martensprobe.

**Warmbiegeprobe.** Probenform: Gepreßter Stab  $10 \times 15 \times 120$  mm. Einspannung und Belastung nach Abb. 148 und 149. Durch das Belastungsgewicht  $G = 650$  g am Hebel  $h$  wird die Probe mit der zwischen B und C konstanten Biegespannung von  $50 \text{ kg/qcm}$  belastet und bei einer Temperatursteigerung von  $50^\circ$  je Stunde erwärmt. Als Martensgrad wird die Temperatur ermittelt, bei der das Ende des Hebels  $h$ , das 240 mm von der Stabachse entfernt ist, um 6 mm abgesunken ist, oder die Temperatur, bei der die Probe bricht. Nach Abb. 149 ist das Biegemoment  $M = G \cdot l + H \cdot l' = P \cdot a$ . Die Belastung des Probestabes entspricht einem auf B und C aufliegenden Balken, dessen auf die Entfernung  $a$  frei überhängende Enden mit den Kräften  $P$  belastet sind. Damit  $P$  nicht zu groß wird und Eindrücke an den Proben hervor-

ruft, ist a nicht zu klein zu wählen. Um die Hebelarme a genau einzuhalten, sind die Stützkanten der Einspannungen bei B und C so abzuschrägen, daß die Auflage auf einer Schneide stattfindet. Die durch das Gewicht G, den Hebel und die obere Einspannvorrichtung auf den Stab in Richtung seiner Längsachse wirkenden Druckkraft ist kleiner als 1 kg und kann vernachlässigt werden. Die Heizung ist so anzuordnen, daß die Probestäbe auf die ganze Länge gleichmäßig erwärmt werden.

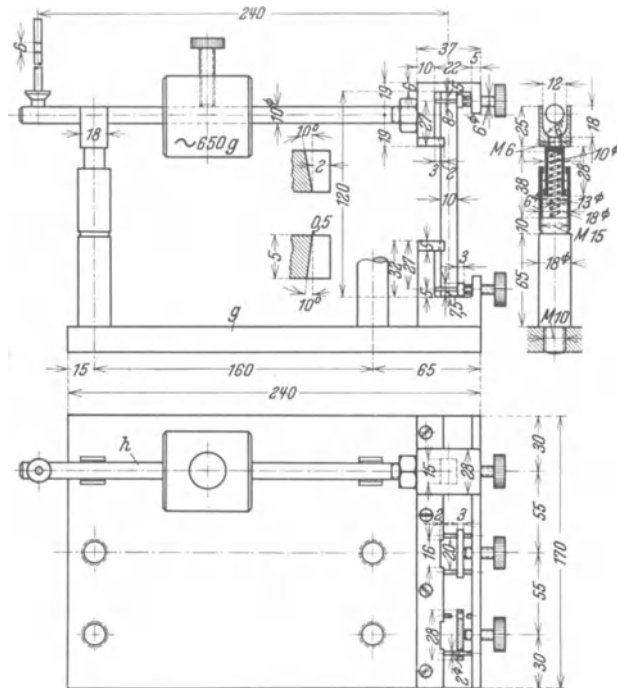


Abb. 148. Martensapparat zur Prüfung der Wärmebeständigkeit von Isolierstoffen, VDE 318.

Sollen mehrere Stäbe gleichzeitig nebeneinander geprüft werden, so sind federnde Auffangvorrichtungen unter und dünne Wände zwischen den Proben anzubringen, damit beim Bruch einer Probe die andern nicht durch das Abfallen des Gewichtes und die hierbei entstehende Erschütterung gestört werden (Abb. 150).

Der Martensgrad ergibt eine verhältnismäßig niedrige Temperatur, weil er den ersten Beginn der Abbiegung des Stabes anzeigt und bei einer verhältnismäßig hohen Biegespannung gemessen wird. Eine Durchbiegung an derartig geprüften Stäben ist noch kaum sichtbar. Die Hersteller und Konstrukteure haben deshalb vielfach die Martensprobe angegriffen. Die Martensprobe hat sich aber im Laufe von 9 Jahren



bewährt, sie ist scharf und genau definiert und ergibt gute Vergleichswerte. Wenn bei der Martensprobe nicht nur die Temperatur beobachtet wird, bei der das Hebelende 6 mm abgesunken ist, sondern auch die Zwischentemperaturen je Millimeter Durchbiegung, so lassen diese Werte den Verlauf der Durchbiegung, d. h. der Wärmebeständigkeit mit Änderung der Tempe-

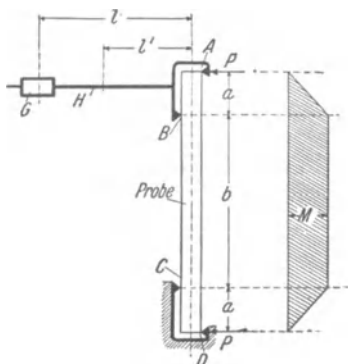


Abb. 149. Die Belastung bei der Martensprobe, VDE 318.

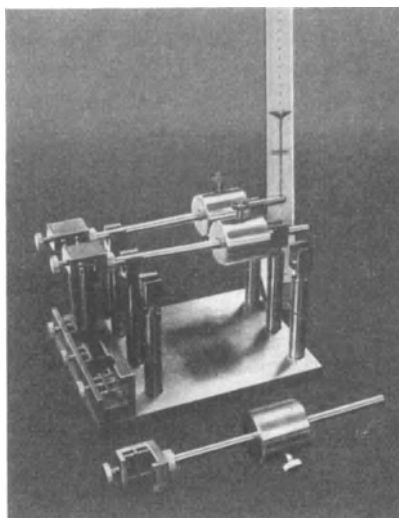


Abb. 150. Martensapparat zur gleichzeitigen Prüfung von 3 Stäben.

ratur erkennen. Die so entstehende Charakteristik kann auch für die Darstellung von Durchbiegung und Erwärmung nach der Zeit ausgewertet werden. Siehe USE-Vorschriften.

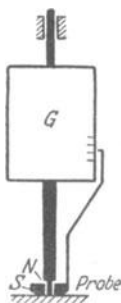


Abb. 151. Vicatnadel zur Wärmebeständigkeitsprüfung von Isolierstoffen, VDE 318.

**VDE-Vicatprobe.** Neben der Martensprobe lassen die VDE-Vorschriften die in Anlehnung an die Zementprüfung entstandene Vicatprobe mit einer zur Oberfläche des Probestabes senkrechten unten eben geschliffenen Stahlnadel von 1 qmm Querschnitt, 1,13 mm Durchmesser zu, die mit einem Gewicht G von 5 kg konstant belastet ist (Abb. 151). Das Eindringen der Nadel wird an ihrer Bewegung gegen das schwachballige Ansatzstück S bei mindestens zehnfacher Vergrößerung beobachtet. Die Temperatursteigerung erfolgt wie bei der Martensprobe. Als Vicatgrad gilt die Temperatur, bei der die Nadel 1 mm tief in die Probe eingedrungen ist.

Der Vicatgrad ist an dem gleichen Stoff gemessen wie der Martensgrad etwa 15° höher als dieser.

**ASTM Durchbiegung unter Wärme (Distortion under heat).** Probenform und Auflage wie beim Biegeversuch S. 299, Vorrichtung Abb. 152. Die Belastung von 2,5 kg ergibt eine maximale Biegespannung

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{2} = \sigma_B \cdot W = \sigma_B \cdot \frac{bh^2}{6};$$

$$\sigma_B = \frac{Pl}{4bh^2} = \frac{2,5 \text{ kg} \cdot 5,1 \text{ cm} \cdot 3}{2 \cdot 1,27 \cdot 1,27^2} = \sim 9,5 \text{ kg/qcm.}$$

Die Probe liegt in einem Luftbad, das von einem Ölbad umgeben ist. Die Durchbiegung des Probestabes in der Mitte zwischen den Auflagern wird mit einem Maßstab gemessen, der die genaue Ablesung von 0,254 mm ermöglicht. Die Temperaturablesung erfolgt durch Thermometer. Als Wärmebeständigkeit gilt die Temperatur, bei der die größte Durchbiegung der Probe 0,254 mm beträgt. Temperatursteigerung 30° je

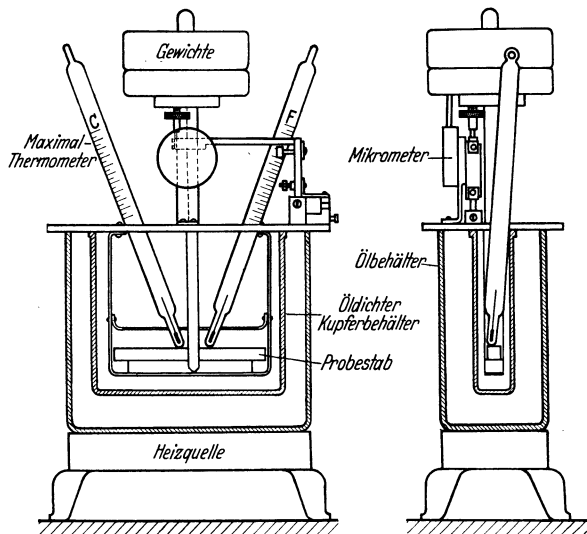


Abb. 152. Vorrichtung für die Prüfung der Wärmebeständigkeit nach ASTM, D 48—30.

Stunde. Die Vorrichtung kann mit einer automatischen Schaltung und Alarmglocke versehen werden, die bei Erreichung der Durchbiegung von 0,254 mm in Tätigkeit tritt. Die Zeit, die die Probe bis zu dieser Durchbiegung braucht, ist anzugeben.

**BERA, B/S 1.** Die englischen Vorschriften geben an, daß ein Stoff für diejenige Temperatur als geeignet gelten soll, bei der er die Prüfungen nicht nur auf Wärmebeständigkeit bei der betreffenden Temperatur besteht, sondern auch die Prüfungen des inneren Widerstandes, der Durchschlagsfestigkeit, der Biegefestigkeit und der Alterung bei der betreffenden Temperatur. Die Prüfung der Wärmebeständigkeit, das ist die Nachgiebigkeit bei Erwärmung (Plastic yield), soll nur in dem Fall gelten, wenn der Stoff bei den anderen Prüfungen genügt hat. Probenform und Belastung wie Abb. 125 und 126. Der Probestab kann gepreßt oder aus Platten oder aus Stäben geschnitten werden. Die Dicke von

15 mm kann, wenn das Material nicht ausreicht, bis auf 12 mm verkleinert werden. Das Spiel zwischen Bügel und Außenseite des Stabes darf nicht größer sein als 0,5 mm. Die unbelastete Probe wird eingespannt und die Mittelstellung des freien Endes bei Zimmertemperatur gemessen; dann wird 2 Stunden bei einer Temperatur von  $5^{\circ}$  über der Nenntemperatur geheizt. Danach wird die 15 mm hohe Probe mit 450 g belastet

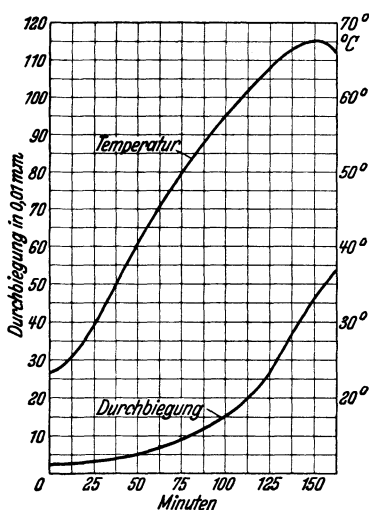


Abb. 153. Durchbiegung und Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit bei Prüfung der Wärmebeständigkeit nach USE 46.

Auflageabstand 150 mm. Die Vorrichtung und die Vorschriften entsprechen sonst den amerikanischen (Abb. 152). Zur Charakteristik des Verhaltens bei der Wärmeprüfung sollen Durchbiegung und zugehörige Temperatur in Abhängigkeit von der Versuchsdauer aufgetragen werden (Abb. 153).

#### b) Kochprobe.

Diese Probe ist bisher noch in keine Prüfvorschrift aufgenommen, gibt aber einen guten Anhalt für die Wärmebeständigkeit bis  $100^{\circ}$  auch in Feuchtigkeit. Die Kochdauer beträgt je nach der Art des verwendeten Stoffes 15, 30 oder 60 Minuten. Möglichst schnell nach dem Kochen kann eine Kugeldruckprobe folgen. Das Aussehen der Oberfläche und die Gewichtsveränderung vor und nach der Kochprobe geben einen guten Anhalt für die Brauchbarkeit der Stoffe in feuchter Wärme.

#### c) Feuersicherheit.

Die VDE-Vorschriften in ihrer früheren Fassung unterscheiden Feuer- und Lichtbogensicherheit. Die Begriffsbestimmung der Feuersicherheit nach den Errichtungsvorschriften siehe S. 282.

Als Prüfung war vorgeschlagen: Der Probestab  $10 \times 15 \times 120$  mm wird 1 Minute lang der 10 cm hohen Flamme eines mit Leuchtgas gespeisten Bunsenbrenners von 9 mm Innendurchmesser so ausgesetzt, daß die Kante des unter  $45^\circ$  schräg gestellten Brenners 3 cm unter Stabunterkante und 1 cm neben dem Stabende sich befindet. Das Verhalten des Isolierstoffes wurde nach 3 Stufen beurteilt:

0. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme länger als  $\frac{1}{4}$  Minute weiter.

1. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme nicht länger als  $\frac{1}{4}$  Minute weiter.

2. Der Stab entzündet sich nicht in der Flamme.

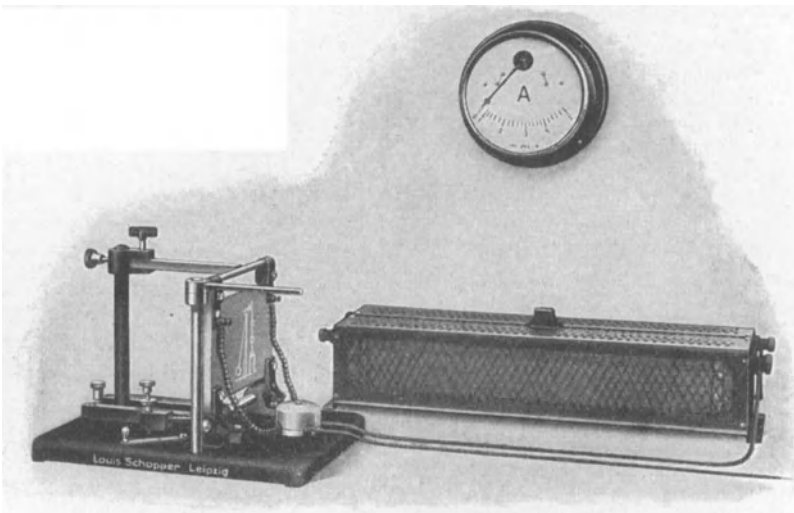


Abb. 154. Glühstabapparat nach W. Schramm zur Bestimmung der Glutsicherheit, VDE 507.

**Glutsicherheit.** VDE 507. Die Prüfung mit dem Bunsenbrenner hat sich als zu grob erwiesen, da sie keine Unterscheidung von Stoffen erlaubt, die sich im Betriebe sehr verschieden verhalten<sup>1</sup>. Der Begriff der Feuersicherheit ist jetzt durch zwei andere ersetzt worden, und zwar durch Schaltfeuer- und Glutsicherheit. Für die Schaltfeuersicherheit ist ein Prüfverfahren noch nicht festgelegt. Die schon längere Zeit dauernden Versuche konnten noch nicht abgeschlossen werden. Für die Prüfung der Glutsicherheit wird der Schrammsche Glühstabapparat (Abb. 154) und das folgende Prüfverfahren vorgeschrieben<sup>2</sup>. Probenform: Stab

<sup>1</sup> Meyer, Georg J.: Feuer-, Schaltfeuer- und Glutsicherheit der Isolierstoffe. Elektrotechn. Z. 1928 Heft 31 S. 1148.

<sup>2</sup> Siehe auch W. Schramm und W. Zebrowski: Über die Feuersicherheit von elektrischen Isolierstoffen und ein neues Verfahren zu ihrer Prüfung. Elektrotechn. Z. 1928 Heft 16 S. 601.

$3 \times 15 \times 120$  mm. Der auf 10 mg genau abgewogene Flachstab kann durch teilweises Abschleifen des Normalstabes hergestellt werden. Gegen die Schmalseite  $3 \times 15$  mm der Probe wird die Mitte eines auf  $950^{\circ}$  geheizten Silit-(Siliziumkarborund)stabes von 8 mm Durchmesser und 80 mm freier Länge leicht angedrückt. Der Stab ist in einem um das Lager schwenkbaren Halter eingespannt. Der Druck gegen die Probe wird durch das Gegengewicht eingestellt, an dem sich auch die Anschlagsschraube befindet, die den Nachfolgeweg des Glühstabes auf 5 mm be-

Tabelle 80.

| Produkt<br>mg · cm | Güte-<br>grad |
|--------------------|---------------|
| über $10^5$        | 0             |
| $10^5$ bis $10^4$  | 1             |
| $10^4$ bis $10^3$  | 2             |
| $10^3$ bis $10^2$  | 3             |
| $10^2$ bis 10      | 4             |
| unter 10           | 5             |

grenzt. Die Probe wird in den auf der verschiebbaren Säule befindlichen Klemmring eingespannt und zwar mit Hilfe des die Stelle des Glühstabes einnehmenden und nachher fortschwenkbaren Einstellstabes. Gemessen wird der Gewichtsverlust in Milligramm und die Flammenausbreitung in Zentimetern nach 3 Minuten, oder bei stark brennbaren Stoffen, sobald die Einspannstelle der Probe von der Flamme erreicht wird. Das Produkt aus dem Gewichtsverlust

von Milligramm und der Flammenausbreitung in Zentimetern gibt den Maßstab für die Glutsicherheit, für die Gütegrade 0—5 unterschieden werden, wobei Gütegrad 0 den völlig verbrennenden, Gütegrad 5 den unverbrennbaren Stoffen entspricht. Abstufungen siehe Tabelle 80.

Diese Prüfung hat sich in mehr als 3 Jahren gut bewährt und ergibt brauchbare Abstufungen.

**USE Entflammbarkeit** (Détermination de l'inflammabilité). Die Vorschriften sind den früheren VDE-Vorschriften ähnlich. Probenform: Stab  $15 \times 15 \times 200$  mm. Die horizontale Probe wird in die 150 mm hohe Flamme eines mit Leuchtgas gespeisten Bunsenbrenners von 10 mm Innendurchmesser gebracht und zwar so, daß die Brennerachse in die Begrenzungsfläche des Stabendes fällt und die untere Stabkante 50 mm über der Brenneröffnung liegt. Nach 15 Sekunden wird der Brenner entfernt und festgestellt, in welche der drei Stufen der Stoff einzu-reihen ist:

1. Die Probe brennt nicht mit sichtbarer Flamme bei Entfernung des Brenners.
2. Die Probe brennt bei Entfernung des Brenners.
3. Die Probe brennt und die Verbrennung, begleitet von sichtbaren Flammen, hält 2 Minuten nach Entfernung des Brenners an.

**Glühkonus.** Die amerikanischen Vorschriften sehen keine Prüfung der Feuersicherheit vor. In den schweizerischen und holländischen Prüf-vorschriften, die sich aber nicht auf Stoffe, sondern auf Apparate be-ziehen, ist ein anderes Verfahren angegeben, bei dem die Feuersicherheit und zugleich die Erweichbarkeit bei Erwärmung mit Hilfe des Glühkonus

geprüft wird (Abb. 155<sup>1</sup>). Da die Glühkonusprüfung von der Installations-Fragen-Kommission empfohlen wird, so sind in Deutschland zur Zeit Versuche im Gange, um festzustellen, in welcher Form das Verfahren für die Stoffprüfung brauchbar ist. Eine Untersuchung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt mit vier verschiedenen Glühkonusapparaten hat ergeben, daß diese praktisch übereinstimmende und gut reproduzierbare Ergebnisse lieferten.

Die schweizerischen Vorschriften sehen 2 Stufen der Feuersicherheit vor bei 300 und 500°. In die Probe wird ein Loch von 5 mm Durchmesser gebohrt und mit einer konischen Reibahle 1:50 so ausgerieben, daß der Stahlkonus (Abb. 155) zu beiden Seiten der Probe gleich weit herausragt. Der mit einem Thermolement versehene Konus wird innerhalb von 3 Minuten auf 300 bzw. 500° C durch Stromwärme erhitzt und 2 Minuten auf der Prüftemperatur gehalten. Bei Prüfungen für 500° ist der Konus axial mit 1200 g einschließlich Eigengewicht belastet. Von Beginn der Heizung an werden an der Eintrittsstelle des Konus in die Probe Funken mit einem elektrischen Hochfrequenzapparat erzeugt, die mindestens 6 mm lang sein müssen. Die Probe gilt bis 300° feuersicher, wenn sich bis zu dieser Temperatur aus dem Material entweichende Gase durch die Funken nicht entflammen lassen, und als nicht erweichbar bei 300°; wenn der Konus unter seinem Eigengewicht sich nicht mehr als 3 mm in axialer Richtung verschiebt.

Das Material gilt bis 500° als feuersicher und nicht erweichbar, wenn sich bis zu dieser Temperatur die dem Material entweichenden Gase durch die Funken nicht entflammen lassen und der Stahlkonus während der Prüfdauer von 5 Minuten sich nicht mehr als 2 mm in axialer Richtung verschiebt. (Hervorgerufen durch Eindringen des Konus in das Material und eventuelle Durchbiegung des Materials durch Erwärmung.)

**Lichtbogensicherheit.** VDE-Probenform: Platte 10 × 120 × 150 mm. Der Lichtbogen wird erzeugt zwischen zwei eingespannten Reinkohlen von 8 mm Durchmesser bei 220 Volt unter Vorschaltung eines Widerstandes von 20 Ω. Die Kohlen werden mit einem Winkel von etwas mehr als einem Rechten und mit einer Neigung von etwa 80° zur horizontal liegenden Platte auf diese gesetzt und nach Bildung des Lichtbogens mit einer Geschwindigkeit auseinandergezogen, die 1 mm je Sekunde nicht überschreiten soll. Je nach dem Verhalten des Stoffes werden 4 Stufen der Lichtbogensicherheit unterschieden:

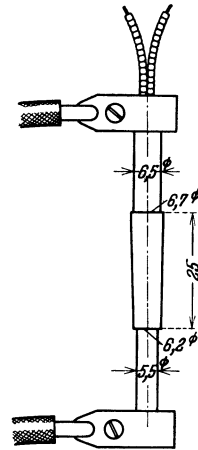


Abb. 155. Glühkonus mit eingebautem Thermolement zur Prüfung der Feuersicherheit.

<sup>1</sup> Normalien zur Prüfung und Bewertung von Schaltern für Hausinstallationen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, S. 31.

0. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, die auch nach dem Erkalten leitend bleibt.

1. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, die aber nach dem Erkalten ihre Leitfähigkeit verliert.

2. Der Lichtbogen läßt sich weiter als 20 mm ausziehen, es bildet sich aber keine zusammenhängende leitende Brücke im Isolierstoff.

3. Der Lichtbogen läßt sich nicht über seine normale Länge von etwa 20 mm ausziehen.

Für diese Prüfungen gelten die Bemerkungen, die bei Besprechung der Prüfung der Feuersicherheit mit der Bunsenflamme bereits gemacht wurden. Eine Beanspruchung eines Stoffes wie bei der Prüfung kommt im Betriebe nicht vor. Denn hier berührt meist nur eine abgekühlte Spitze des kurzen Lichtbogens den Stoff mit mehr oder weniger langen Pausen der Abkühlung. Der Stufe 3 entspricht Zementasbest. Hartgummi, der der Stufe 0 entspräche, da er sich im Lichtbogen entzündet und mit stark rußender Flamme weiter brennt, würde aber ebenfalls in Stufe 3 einzureihen sein, weil sich der Lichtbogen nicht über seine normale Länge von 20 mm ausziehen läßt. Die vorwiegend organischen Bestandteile des Stoffes verbrennen nämlich im Lichtbogen so intensiv, daß die verbrannten Teile sofort hochgeschleudert werden. Bei einer Lichtbogenprüfung von Hartgummi ist die Luft des Prüfraumes in wenigen Sekunden mit einer dichten schwarzen Wolke verkohlter Teilchen erfüllt. Dagegen verhalten sich die Stoffe, die neben den organischen Bestandteilen auch mineralische enthalten, nach dem Maßstab dieser Vorschriften viel schlechter, da die Oberfläche des Stoffes nicht sofort vollkommen zerstört, sondern die verkohlten Teilchen, z. B. von den Asbestfasern, zurückgehalten werden. Derartige Stoffe wären trotz ihrer besseren Widerstandsfähigkeit gegen den Lichtbogen in Stufe 0 einzureihen. Die Bildung der Kohlebrücke ist auch abhängig von dem Druck, mit dem die Kohlenspitzen auf die Oberfläche des Stoffes gepreßt werden.

An Stelle der Prüfung mit dem Lichtbogen soll die mit dem beim Schalten möglicherweise entstehenden Schaltfeuer treten. Die Versuche, eine gut reproduzierbare Prüfmethode für die Schaltfeuersicherheit auszubilden, werden schon längere Zeit fortgeführt, sind aber bisher noch nicht zum Abschluß gekommen, da die Erzeugung und Messung der beim Schalten entstehenden Lichtbogen gewisse Schwierigkeiten macht.

### 3. Die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit.

ASTM D 325—31 T. Wärmeleitfähigkeit fester Isolierstoffe in Plattenform.

BERA Wärmeleitwiderstand (Thermal Resistivity). Der Bericht L/T 41 enthält die ausführliche Wiedergabe umfangreicher Versuche

zur Messung des Wärmeleitwiderstandes fester Isolierstoffe. In elektrischen Maschinen und Apparaten hat ein großer Teil der infolge von Energieverlusten in Eisen und Kupfer entstehenden Wärme die Isolierstoffe zu durchfließen. Da diese auch Wärmeisolatoren sind, so ist eine erhebliche Temperaturdifferenz an den beiden Seiten des Isolierstoffes nötig, um den Wärmefluß vom Metall zum Kühlmittel zu bewirken. Da die Berechnung und die Zuverlässigkeit einer Maschine weitgehend von der Maximaltemperatur des Isolierstoffes abhängt, so ist die Untersuchung des Wärmeleitwiderstandes elektrotechnischer Isolierstoffe von erheblicher Bedeutung. Nach Untersuchung des Einflusses von Art und Grad der Berührung, mechanischem Druck, Temperaturbereich, wiederholter Erwärmung, Gleichförmigkeit des Wärmeleitwiderstandes über große Flächen, Zahl der Lagen usw. wurde der wirkliche Wärmeleitwiderstand einer großen Zahl typischer Vertreter der verschiedenen Sorten fester Isolierstoffe bestimmt.

#### 4. Die Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit und Chemikalien.

Feuchtigkeit und Nässe wirken auf viele Gebrauchsgegenstände ein, nicht nur auf Becher, Tassen und Gefäße, die zur Aufnahme von Flüssigkeiten bestimmt sind, sondern auch auf Schirmgriffe, Mantelknöpfe, Dachplatten und Gehwegabdeckungen. In der Elektrotechnik, im Hausbau und im Maschinenbau müssen viele Teile aus plastischen Massen dem Einfluß der Feuchtigkeit widerstehen können.

Die Behälter elektrischer Akkumulatoren müssen unempfindlich gegen verdünnte Schwefelsäure sein. Schalter und Fassungen in Ställen und in der Nähe von Dunggruben sind dem Einfluß von Ammoniak ausgesetzt. Die Preßteile im Auto, wie der Kranz des Steuerrades, Griffe vom Richtungsanzeiger, Schaltgehäuse sollen nicht durch Benzin und Öl beschädigt werden können. So ist in besonderen Fällen eine Widerstandsfähigkeit gegen die Angriffe von Chemikalien zu verlangen.

VDE. Für die in der Elektrotechnik verwandten Isolierstoffe wird eine sehr scharfe Prüfung des Einflusses von Feuchtigkeit und Chemikalien dadurch vorgenommen, daß der Oberflächenwiderstand vor und nach deren Einwirkung geprüft wird. Die Prüfungen sind bei der Besprechung der elektrischen Prüfverfahren erwähnt. Die Prüfung erfolgt nach 24stündigem Liegen in Wasser, nach 3wöchentlicher Einwirkung von 25%iger Schwefelsäure und von Ammoniakdämpfen.

##### a) Wasseraufnahme.

ASTM D 48—30 Wasseraufnahme (Water absorption). Probenform: Scheibe 101,6 mm Durchmesser, für Warmpreßmaterial 3,18 mm  $\pm$  5%, für Kaltpreßmaterial Dicke 6,35 mm  $\pm$  10%. Leicht erweichbare



Isolierstoffe werden in einer Trockenvorrichtung oder in einem Ofen bei  $50^{\circ}$  24 Stunden lang vorbehandelt, Isolierstoffe mit höherer Wärmebeständigkeit bei  $100^{\circ}$  24 Stunden lang. Nach dem Trocknen soll die Probe abgekühlt und bei Zimmertemperatur gewogen und 48 Stunden lang bei einer Temperatur von  $25^{\circ} \pm 5^{\circ}$  völlig in Wasser getaucht werden. Nach dem Herausnehmen soll das Oberflächenwasser mit einem trockenen Tuch abgewischt und die Probe sofort gewogen werden. Anzugeben ist:

Anlieferungsgewicht,  
Trockengewicht,  
Gewicht nach Wasserlagerung und der  
Feuchtigkeitsgehalt in Prozenten des  
Trockengewichts.

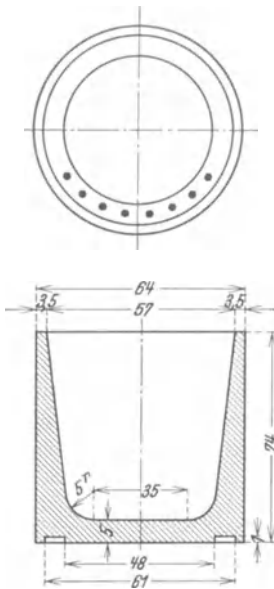


Abb. 156. Prüfbecher zur Bestimmung der Wasseraufnahme und der Durchschlagsfestigkeit nach USE 46.

BERA, B/S 1. Probenform: Platte  $5 \times 50 \times 50$  mm. Die Probe wird in einer Trockenvorrichtung bei Raumtemperatur bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen, 24 Stunden in Wasser von Raumtemperatur gelegt und nach Entfernen der Oberflächenfeuchtigkeit wieder gewogen, möglichst auf Milligramm. Die Feuchtigkeitsaufnahme ist in Prozenten des Anlieferungsgewichtes anzugeben.

USE-Probenform. Prüfbecher, auch für Bestimmung der Durchschlagsfestigkeit (Abb. 156). Außendurchmesser 64 mm, Innendurchmesser 57 auf 45 mm, Höhe 74 mm, Bodenstärke 5 mm. Der Becher wird durch einen Mittelschnitt zerlegt, die Hälften gewogen, 24 Stunden bei  $100^{\circ}$  getrocknet und nach Abkühlung auf  $20^{\circ}$  wieder gewogen, dann 100 Stunden in Wasser von  $20^{\circ}$

gelegt, nach dem Herausnehmen mit einem trockenen Tuch abgewischt und wieder gewogen. Die Feuchtigkeitsaufnahme ist anzugeben in Prozenten des Anlieferungsgewichtes und des Trockengewichtes.

#### b) Einfluß von Mineralölen.

BERA, B/S 1. Probenform: Würfel von 15 mm Kantenlänge. Die Prüfung erfolgt bei der Temperatur, bei der der betreffende Stoff beständig sein soll. Wägung im Anlieferungszustand und nach 24stündigem Liegen in Öl, abspülen mit Petroleum und trocknen. Die Gewichtsveränderung ist in Gramm je Quadratcentimeter anzugeben, und zwar größter, kleinster und Mittelwert. Zwei Ölsorten werden vorgeschrieben: 1. Ein leichtes Transformatoröl nach BSS Nr. 148, Klasse A; 2. ein Mineralschmieröl mit 20%igem Zusatz von geblasenem Rüßöl und folgenden Eigenschaften:

Tabelle 81.

Spezifisches Gewicht bei 15° 0,92.  
 Flammpunkt geschlossen, nicht unter 188° C.

|                        | 50 cm<br>Red-<br>wood | Zenti-<br>poisen |
|------------------------|-----------------------|------------------|
| Viskosität bei 93° . . | 75                    | 15               |
| „ „ 149° . .           | 38                    | 7,5              |

Säuregehalt nicht mehr als 1%.

Gewichtsverlust in 2 Stunden bei 100° C  
 nicht mehr als 0,3%.

USE. Probenform: Prüf-  
 becher wie bei Prüfung der  
 Durchschlagsfestigkeit (Abb.  
 156), von denen einige in der  
 Mitte zerschnitten, andere  
 unzerschnitten 24 Stunden bei  
 100° getrocknet, gewogen und  
 nach Abkühlung auf Zimmer-  
 temperatur 100 Stunden in  
 Transformatorenöl von 100°  
 gelegt werden. Das Öl soll  
 eine Durchschlagsspannung

von mindestens 40000 Volt haben, gemessen an einer Kugelfunkenstrecke  
 mit Kugeln von 12,5 mm Durchmesser bei einem Elektrodenabstand  
 von 5 mm. Das Gewicht der Proben wird nach dem Abwischen und  
 Abkühlen auf Zimmertemperatur bestimmt. Die nicht zerschnittenen  
 Probebecher werden dem Durchschlagsversuch unterworfen. Bestimmt  
 wird das Gewicht bei Anlieferung, nach Trocknung und nach Lagern  
 in Öl, sowie die Gewichtsänderung in Prozenten des Trockengewichts.  
 Anzugeben sind ferner Durchschlagsspannung der nicht zerschnittenen  
 Proben und deren Bodenstärke im Durchschlagspunkt.

## 5. Die Prüfung der elektrisch isolierenden Eigenschaften.

Die theoretischen Grundlagen der elektrischen Erscheinungen, die  
 an Isolierstoffen zu beobachten sind, hat Prof. K. W. Wagner in dem  
 Buch „Die Isolierstoffe der Elektrotechnik“ erörtert. In demselben  
 Buch ist die Prüfung der Isolierstoffe von Prof. H. Schering<sup>1</sup> behandelt.

„Befindet sich ein Isolierstoff zwischen zwei leitenden Belegungen,  
 an die eine Gleichspannung gelegt wird, so fließt 1. ein Verschiebungs-  
 stromstoß durch den Isolierstoff im Augenblick des Anlegens der Span-  
 nung; 2. ein Nachwirkungsstrom durch den Isolierstoff, allmählich  
 abklingend; 3. ein Leitungsstrom durch den Isolierstoff dauernd; 4. ein  
 Leitungsstrom auf der Oberfläche des Isolierstoffs dauernd.

Wird eine Wechselspannung an Stelle der Gleichspannung an die  
 Belegungen gelegt, so fließt außer den Leitungswechselströmen durch  
 den Isolierstoff und längs seiner Oberfläche noch durch den Isolierstoff  
 dauernd ein Verschiebungswechselstrom. Mit diesem ist in den meisten  
 festen und flüssigen Isolierstoffen ein Energieverlust verknüpft, der  
 dielektrische Verlust.

<sup>1</sup> Schering, H.: Isolierstoffe der Elektrotechnik, S. 360. Berlin: Julius  
 Springer 1924. Siehe auch R. Vieweg u. G. Pfestorf: Stand der Isolierstoff-  
 forschung. Elektrotechn. Z. 1933 Heft 23 S. 569.

Den Gesamtwechselstrom kann man in zwei Komponenten zerlegen: 5. den Blindstrom oder Kapazitätsstrom, der keinen Anteil am Energieverbrauch hat; 6. den Wirkstrom oder Verluststrom, der allein den Energieverbrauch deckt. Steigert man die Spannung an den Belegungen des Isolierstoffes, so tritt schließlich ein 7. der elektrische Durchschlag.“

#### a) Vorbehandlung.

VDE 455. Die Leitsätze für die Bestimmung elektrischer Eigenschaften von festen Isolierstoffen sehen vor, daß Prüfungen entweder ohne Vorbehandlung der Probekörper im Anlieferungszustand erfolgen oder nach einer Vorbehandlung. Diese kann bestehen

in mechanischer Vorbehandlung durch Bearbeitung wie Schleifen, Drehen, Bohren, Fräsen, Abziehen, Sägen mit ungeschränkter Säge. Spalten ist unzulässig;

in mechanischer Vorbeanspruchung mittels Druck, Zug, Biegung, Verdrehung, Kniffen, Falzen;

in Einwirkung von Wärme bei den Temperaturen:  $15-25^{\circ}$  als Raumtemperatur,  $-40^{\circ}$ ,  $-15^{\circ}$ ,  $+40^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$ ,  $105^{\circ}$ ,  $130^{\circ}$ ,  $150^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $250^{\circ}$ ,  $300^{\circ}$ ,  $350^{\circ}$ . Es ist möglichst nur eine Stufe zu benutzen;

in Einwirkung von Feuchtigkeit: Lagerung in Räumen mit 60% oder 80% Luftfeuchtigkeit oder in Wasser 1, 4, 7 oder vielfache von 7 Tagen. Für die Einzelheiten wird auf die Leitsätze für die Erzeugung bestimmter Luftfeuchtigkeit zur Prüfung elektrischer Isolierstoffe verwiesen, VDE 459. Ferner Vorbehandlung durch Einwirkung von Wasserdampf KPI VDE 420 § 95;

durch Einwirkung von Chemikalien, siehe Oberflächenwiderstand S. 326;

durch Lagerung in Transformatorenöl, Behandlung mit anderen Ölen, mit Benzin, Benzol, Alkohol, mit Lacken, Wachs, Paraffin u. ä. Behandlung durch Einwirkung bewegter Luft im Vakuum.

#### b) Oberflächen-, Durchgangs- und Innenwiderstand.

**Oberflächenwiderstand.** VDE-Probenform: Stab oder Platte, die eine Fläche von  $10 \times 100$  mm haben. Der Oberflächenwiderstand wird gemessen bei 1000 Volt Gleichspannung auf einer Fläche  $10 \times 100$  mm mit der Vorrichtung Abb. 157, die zwei gerade 100 mm lange Elektroden aus Zinnfolie auf Weichgummischneiden besitzt. Schaltschema Abb. 158. Um Kriechströme von der Messung auszuschließen, ist die Zuleitung zum Nebenschluß und von da zum Galvanometer mit einer geerdeten Umhüllung zu versehen, z. B. als Panzerader auszuführen. Die Halteplatte der Elektroden ist zu erden, das Galvanometer und sein Nebenschluß auf geerdete Unterlagen zu stellen. Die Empfindlichkeit des Galvanometers soll  $1 \times 10^{-9}$  A für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand betragen. Durch den Nebenschluß ist die Empfindlichkeit

stufenweise auf  $\frac{1}{10^1}$ ,  $\frac{1}{10^2}$  bis  $\frac{1}{10^5}$  herabzusetzen. Zur Eichung des Galvanometerauschlags wird beim Nebenschluß  $\frac{1}{10^5}$  an Stelle des Apparates Abb. 157 ein Widerstand von  $1\text{ M}\Omega$  aus Manganindraht  $0,05\text{ mm}$

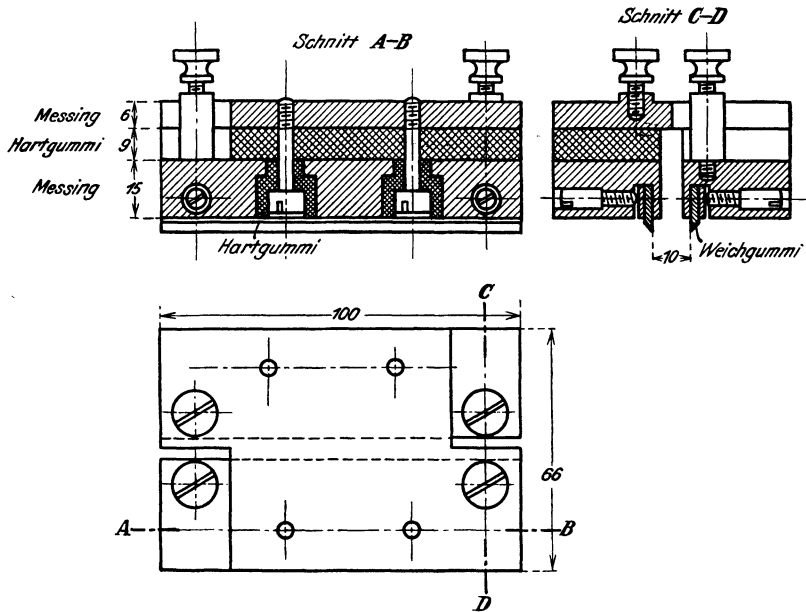


Abb. 157. Vorrichtung zur Messung des Oberflächenwiderstandes nach VDE 318.

Durchmesser einfach auf Porzellan- oder Glasrohr gewickelt und auf 3% abgeglichen. Der Schutzwiderstand besteht aus  $0,1\text{ mm}$  dickem

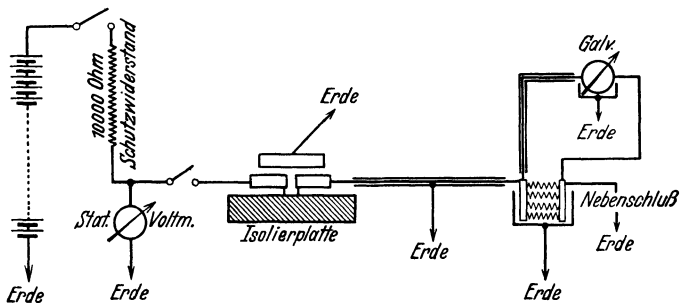


Abb. 158. Schaltungsschema für Bestimmung des Oberflächenwiderstandes nach VDE 318.

Manganindraht, der ebenso auf ein Rohr von  $6\text{ cm}$  Durchmesser und  $50\text{ cm}$  Länge aufgewickelt und auf 3% genau abgeglichen ist.

**Gang der Messung.** Bei geöffnetem Schalter zwischen Schutzwiderstand und Oberflächenapparat wird mit Hilfe des statischen Voltmeters

die Spannung auf 1000 Volt eingestellt. Bei kurzgeschlossenem Galvanometer wird dann der Schalter zu dem Oberflächenapparat geschlossen; sinkt dabei die Spannung des Spannungsmessers unter 500 V, so beträgt der Oberflächenwiderstand des Isolierstoffes weniger als  $10000\ \Omega$ ; bleibt die Spannung über 800 V, so kann mit dem Galvanometer gemessen werden.

Die Ablesung des Galvanometerausschlages erfolgt 1 Minute nach dem Anlegen der Spannung. Die Vergleichszahlen sind folgendermaßen abgestuft:

Tabelle 82.

| Oberflächenwiderstand                  | Vergleichs-<br>zahl |
|----------------------------------------|---------------------|
| Unter $\frac{1}{100}\ M\Omega$         | 0                   |
| $1 \dots \frac{1}{100}\ M\Omega$       | 1                   |
| $100 \dots 1\ M\Omega$                 | 2                   |
| $10000 \dots 100\ M\Omega$             | 3                   |
| $1\ \text{Mill.} \dots 10000\ M\Omega$ | 4                   |
| über 1 Mill. $M\Omega$                 | 5                   |

Die Proben werden im Anlieferungszustand, jedoch nach Abschleifen der Oberfläche, außerdem nach 24stündiger Einwirkung von Wasser, ferner nach 3wöchiger Einwirkung von 25 % iger Schwefelsäure und auch nach 3wöchiger Einwirkung von Ammoniakdampf geprüft. Nach dem Herausnehmen aus dem Wasser werden die Platten mit

einem trockenen Tuch abgerieben und senkrecht bei Zimmertemperatur in nicht bewegter Luft 2 Stunden stehen gelassen. Nach dem Herausnehmen aus der Schwefelsäure werden die Platten 1 Minute in fließendem Wasser abgespült. Nach dem Herausnehmen aus den Gefäßen mit Ammoniakdampf werden die Platten mit einem trockenen Tuch abgerieben und gemessen.

Da die Linien des elektrischen Feldes zwischen den beiden spannungsführenden Schneiden der Prüfvorrichtung nicht nur an der Oberfläche des zu prüfenden Isolierstoffes, sondern auch im Innern verlaufen, so ist die Bezeichnung Oberflächenwiderstand nicht ganz zutreffend und als Abkürzung für den wesentlichen Teil des gemessenen Widerstandes anzusehen.

In trockenem Zustand isolieren viele Stoffe vorzüglich, die unter der Einwirkung von Feuchtigkeit ihre Isolierfähigkeit einbüßen und zwar an der Oberfläche am meisten. Derartige nicht feuchtigkeitssichere Stoffe sollen bisweilen durch einen wasserdichten Anstrich verbessert werden, der aber leicht verletzt wird und seine Schutzwirkung verliert. Deshalb ist das Abschleifen der Probenoberfläche vorgeschrieben.

Da eine Gleichspannung von 1000 V meist nicht zur Verfügung steht, so ist diese mit einer kleinen Dynamo, die nur 100 W zu leisten braucht, oder durch kleine Akkumulatoren von 0,1 A Entladestrom zu gewinnen. Bei Erzeugung der Spannung durch Gleichrichter ist auf Vermeidung von Pulsationen zu achten.

Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden und weil die Vorschriften der Deutschen Reichspost nur eine Prüfspannung von 220 V vorsieht,

sind von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt unlängst Versuche über den Einfluß der Prüfspannung auf das Meßergebnis des Oberflächenwiderstandes vorgenommen worden. Diese ergaben die Zweckmäßigkeit der Spannung von 1000 V, weil Stoffe mit bei 1000 V ungenügendem Oberflächenwiderstand bei 220 V gerade noch genügend erscheinen. Der Oberflächenwiderstand hat keinen festen Wert, etwa wie der Widerstand eines Drahtes, sondern nimmt ungefähr umgekehrt proportional der Spannung ab und ist bei nicht ganz einwandfreien Stoffen besonders spannungsabhängig.

**Durchgangswiderstand.** VDE 455 § 11. Probekörper: Ebene runde oder quadratische Platten von einigen Millimetern, aber nicht über 20 mm Dicke und von mindestens 120 mm Durchmesser oder Kantenlänge. Die Messung erfolgt bei geerdetem Schutzstreifen mittels Galvanometer. Meßspannung 1000 V Gleichspannung, einseitig geerdet, 60 Sekunden nach Anlegen der Spannung. Für Messungen, die nur einen Anhalt geben sollen, sind auch 110 V oder 220 V als Prüfspannung zulässig.

§ 12. Aus dem Durchgangswiderstand kann der spezifische Widerstand als Widerstand eines Würfels von 1 cm Kantenlänge berechnet werden. Ist  $F$  in Quadratcentimetern die Meßfläche,  $a$  in Zentimetern die Dicke des Probekörpers,  $W$  in Ohm der gemessene Durchgangswiderstand, so ergibt sich der spezifische Widerstand  $\varrho = \frac{WF}{a}$  Ohm cm.

Der reziproke Wert  $\lambda = \frac{1}{\varrho} = \frac{1}{W} = \frac{a}{F}$  Ohm<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> wird als Leitfähigkeit bezeichnet.

§ 13. Mittels Glimmlampe kann an Platten oder beliebig geformten Prüfkörpern eine qualitative Prüfung des Stromdurchgangs erfolgen. Die Elektroden werden z. B. durch Aufkleben von Stanniolbelägen, durch Graphitierung, Metallüberzug oder ähnliches aufgebracht. Oberflächenströme lassen sich durch Schutzringe ausschalten. Die Glimmlampe liegt in Reihe mit dem Prüfkörper. Die Prüfspannung, 110 oder 200 V, soll gleich der Nennspannung der Glimmlampe sein. Bei merklicher Leitfähigkeit tritt ein teilweises oder völliges Leuchten der Lampe ein. Beobachtet wird das Leuchten oder Nichtleuchten der Lampe, die gegen störendes Licht abzuschirmen ist.

§ 14. Für die Spitzentasterprobe werden Spitzenelektroden mit 5 mm Spitzenabstand verwendet. Meßspannung 1000 V oder 3000 V Wechselspannung von 50 Hz. Beobachtet wird, ob bei Aufsetzen der Elektroden auf den Prüfgegenstand Funkenbildung an den Spitzen eintritt. Störendes Licht ist hierbei abzuschirmen<sup>1</sup>.

**Widerstand im Innern.** VDE Probenform wie bei Messung des Oberflächenwiderstandes. Zwei Löcher von 5 mm Durchmesser und 7 mm

<sup>1</sup> Siehe auch G. J. Meyer: Eine vereinfachte elektrische Prüfung von Isoliermaterialien. Elektrotechn. Z. 1923 S. 10 u. 880.

Tiefe werden mit 15 mm Mittenabstand in die Proben gebohrt und mit Quecksilber gefüllt. Der Widerstand zwischen den Quecksilberelektroden ist mit 1000 V Gleichspannung zu messen. Ist er kleiner als der bei Messung des Oberflächenwiderstandes gefundene Wert, so ist die Oberfläche der Probe abzdrehen und unmittelbar nach dem Abdrehen ihr Oberflächenwiderstand zu messen. Namentlich bei Kunstharzpreßstoffen kann die Oberfläche vorzüglich isolieren, während das Innere infolge ungenügender Heizung oder ungenügenden Druckes nicht oder sehr schlecht isoliert.

**ASTM D 257—29 T. Widerstand von Isolierstoffen<sup>1</sup>.** Bei der Definition des Isolationswiderstandes kann der Gesamtstrom aus zwei Teilen bestehen, von denen einer durch die Oberflächenschicht, der andere durch das Innere des Körpers fließt. Als Oberflächenschicht gilt jede Schicht an der Oberfläche eines Isolierkörpers, in der der Widerstand verschieden von dem Durchgangswiderstand des Isolierstoffes ist. Der häufigste Grund für die Bildung einer solchen Oberflächenschicht ist Feuchtigkeit, die sich aus der umgebenden Luft auf dem Isolierstoff niedergeschlagen hat. Die Isolierstoffe können sich gegen Feuchtigkeitsniederschläge auf drei verschiedene Arten verhalten.

1. Die Stoffe werden nicht durch Wasser benetzt. Auf solchen Stoffen breitet sich die Feuchtigkeit nicht aus, so daß sich keine richtige Oberflächenschicht bildet. Beispiele: Schwefel, Paraffin, Wachse.

2. Die Stoffe werden durch Wasser benetzt, absorbieren es aber nicht. Auf solchen Stoffen bildet der Niederschlag eine gewisse Oberflächenschicht. Beispiele: Glas, Quarz, Bernstein, Hartgummi, glasiertes Porzellan, Schiefer. Bei vielen dieser Stoffe beträgt der spezifische Widerstand der Feuchtigkeitsschicht nur den  $10^{-9}$  Teil des spezifischen Widerstandes des Stoffes. Deshalb kann ein Wasserfilm von submikroskopischer Dicke, der sich häufig auf Isolierkörpern niederschlägt, mehr Strom leiten, als der Isolierkörper selbst.

3. Die Stoffe absorbieren Wasser. Auf diesen bildet sich keine wirkliche Oberflächenschicht, da der Niederschlag in das Innere der Stoffe eindringt. Wenn die Wasseraufnahme langsam vor sich geht, so werden sich die Eigenschaften des Stoffes allmählich von der Oberfläche aus nach dem Innern ändern. Der spezifische Isolationswiderstand ändert sich von oben nach innen stetig.

Beispiele: Holz, Papier, unglasiertes Porzellan und viele Preß- und Schichtstoffe. Dieser Art gehört ein großer Teil der im Handel befindlichen Isolierstoffe an.

**BERA, B/S 1. Durchgangswiderstand** (Resistivity, Specific Insulation Resistance). Probenform und Anordnung Abb. 159 und 160. Der Probenteller ruht auf 3 Stahlstiften der unteren Stahlelektrode. Quecksilber wird für Temperaturen bis zu  $100^{\circ}$  verwendet, für höhere Tempe-

<sup>1</sup> S. Report D 9 der ASTM.

raturen gegossene Elektroden aus Metall. Wenn der Berechnung die Fläche der oberen Elektrode zugrunde gelegt wird, so ist das Ergebnis wegen der größeren Oberfläche der unteren Elektrode zu klein. Der Fehler beträgt etwa 15%. Wird größere Genauigkeit verlangt, muß eine Korrektur erfolgen. Abb. 159 und 160 sollen für gepreßte oder aus Platten hergestellte Körper gelten. Die Höhe der Probe kann auf 12 mm verkleinert werden, die Bodenstärke muß aber mit 5 mm beibehalten werden. Für Stäbe, Probenform und Anordnung Abb. 161 und 162. Durchgangswider-

$$\varrho = \frac{2\pi \cdot R \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = 1,07 - RL \text{ für}$$

die angegebenen Abmessungen. Für Rohre sind die Proben entsprechend zusammenzusetzen, auf dichten Schluß zur Vermeidung von Quecksilberverlusten ist zu achten. Nach Anlegen der Spannung von 500 V soll 10 Minuten lang am Ende jeder Minute gemessen werden. Der Isolationswiderstand ist anzugeben in  $M\Omega$  je Kubikzentimeter nach 1, 2 und 10 Minuten. Prüfungen im Anlieferungszustand, nach 1 Stunde im Ofen bei der festzusetzenden Prüftemperatur, nach 1 Woche in destilliertem Wasser bei Zimmertemperatur, 10 Minuten nach der Herausnahme und dem Abwischen, ferner nach einer Woche Liegen in 10%iger Salzlösung bei Zimmertemperatur, dann Abspülen in destilliertem Wasser und Abwischen, ferner nach 1 Woche Liegen in Mineralöl (Transformatoröl) 0,86 bei 15°. Prüfung bei der festzusetzenden Prüftemperatur, aber nicht über 100°.

**Oberflächenwiderstand.** Probenform Abb. 159 und 160. Die Anordnung wie bei Prüfung des Durchgangswiderstandes. Der Schutzring

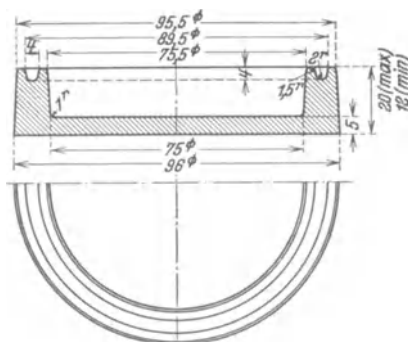


Abb. 159. Probenform für Bestimmung des Oberflächen- und Durchgangswiderstandes, BERA, B/S 1.

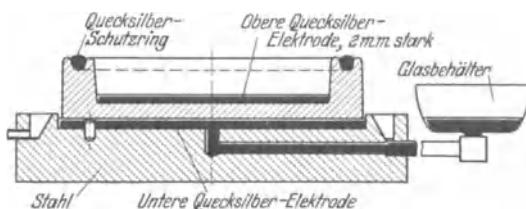


Abb. 160. Anordnung der Probe nach Abb. 159 für Messung des Oberflächen- und Durchgangswiderstandes, BERA, B/S 1.

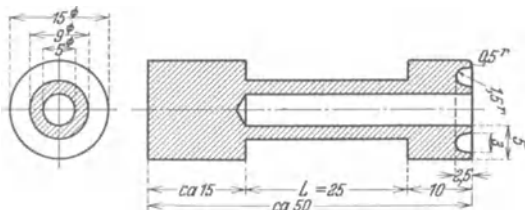


Abb. 161. Probenform für Bestimmung des Oberflächen- und Durchgangswiderstandes, aus einem Stab hergestellt, BERA, B/S 1.



wird als eine Elektrode, das Quecksilber im Stahluntersatz als Gegenelektrode benutzt und so der Widerstand auf der Oberfläche zwischen den beiden Elektroden außen am Tellerrand gemessen. Prüfbedingungen wie oben.

USE Probenform: Scheibe 100 mm Durchmesser, 5 mm dick. Nach Vorbehandlung der Proben 8 Stunden bei 100° Prüfung bei Zimmertemperatur zwischen 2 Paar Metallbacken, die 10 mm Abstand haben. Zwischen diesen und den Proben werden Zinnfolien angeordnet. Versuche in trockener Luft bei 20, 50 und 80 % Luftfeuchtigkeit, Spannung 300 V, Ablesung 30 Sekunden nach dem Einschalten für den Oberflächenwiderstand, 2 Minuten nach dem Einschalten für den Durchgangswiderstand. Für letztere Messung schwimmt die Probe auf Quecksilber, das die untere Elektrode bildet, während die Gegenelektrode durch das in dem Schutzring der Probe oben auf der Scheibe befindliche Quecksilber gebildet wird. Versuche im Anlieferungszustand und nach 48stündigem Liegen in Wasser und Abwischen.

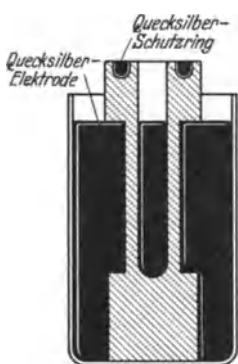


Abb. 162. Anordnung der Probe nach Abb. 161 für Messung von Oberflächen- und Durchgangswiderstand, BERA, B/S 1.

#### c) Durchschlagfestigkeit.

VDE 455 (§ 16) Begriffsbestimmung der Durchschlagsspannung. Als Durchschlagsspannung gilt die für gleichen Scheitelwert auf reine Sinusform umgerechnete effektive Spannung, bei welcher der Durchschlag eintritt. (S. VDE 365 Regeln für Spannungsmessungen mit der Kugelfunkenstrecke in Luft.) Außer der Durchschlagsspannung nach dieser Definition werden zur Kennzeichnung von Isolierstoffen Spannungen angegeben, die von dem Isolierstoff gerade noch eine bestimmte Zeit ausgehalten werden, ohne daß ein Durchschlag eintritt.

Durchschlagsspannung, ermittelt durch allmähliche Steigerung von 0 beginnend höchstens um 1 kV je Sekunde kontinuierlich oder in Stufen von 5 % des zu erwartenden Endwertes steigend.

Einminutenspannung, die 1 Minute ausgehalten wird, nachdem die Spannung mit höchstens 50 % des zu erwartenden Endwertes beginnend auf diesen Wert innerhalb von 10 Sekunden gesteigert wird.

Fünfminutenspannung, die 5 Minuten ausgehalten wird, sonst wie bei der Einminutenspannung.

Dreißigminutenspannung, die 30 Minuten ausgehalten wird, sonst wie bei der Einminutenspannung.

Momentanspannung ist die Spannung, die bei plötzlichem Anlegen der Elektroden mit dem vollen Wert der Spannung noch ausgehalten wird, z. B. bei fortlaufender Prüfung von Bändern zwischen Walzen.

(§ 17.) Als Durchschlagsfestigkeit gilt der Quotient aus Durchschlagsspannung und Plattendicke an der Durchschlagsstelle. Bei eingearbeiteten kugelförmigen Elektroden ist die Feldverteilung zu berücksichtigen. Man erhält die mittlere Durchschlagsfestigkeit, die in kV/cm angegeben wird, durch Multiplikation des Mittelwertes der Durchschlagsspannung mit einem Faktor gemäß Abb. 163. Eine vollständige Angabe über die Durchschlagsfestigkeit enthält außerdem die Stärke des Werkstoffs, Temperatur, Art und Zahl der Versuchskörper und den kleinsten gemessenen Wert. Die eine Elektrode ist möglichst zu erden. Die Anzahl der Probekörper beträgt mindestens 5.

**Elektrodenart.** Zwei gleiche Platten mit 25 oder 50 mm größtem Durchmesser und mit  $r = 2,5$  mm Kantenabrundung. Anpressungsdruck etwa 100 g/qcm. Eine Elektrode kann als Gewicht ausgebildet werden. Gebräuchliche Elektroden sind auch zwei gleiche Kugeln, 10 mm Durchmesser für kleine Körper, 20 mm Durchmesser für Einarbeitung in harte Platten, 50 mm Durchmesser für Einarbeitung in weiche Platten, z. B. Weichgummi. Auch eine der genannten Elektrodenformen gegenüber einer großen ebenen leitenden Fläche von mindestens  $150 \times 150$  mm kommen in Anwendung. Bei aufgesetzten Kugeln beträgt der Anpressungsdruck 100 g bzw. 200 g. Für fortlaufende Prüfungen sind zwei gleiche Walzen mit 25 oder 50 mm Durchmesser und 2,5 mm Kantenabrundung gebräuchlich.

Elektroden für Formkörper z. B. für Rohre, Schläuche u. ä. können hergestellt werden: Innenelektroden z. B. durch Aufbringen leitender Belegungen, oder durch Aufdornen oder durch Ausfüllen mit leitenden Nadeln, ferner durch Ausfüllen mit Quecksilber oder durch Ausstopfen mit leitenden Folien; Außenelektroden durch Aufbringen gut anliegender, leitender Belegungen, das hauptsächlich durch folgendes Verfahren erfolgt. Spritzen oder Niederschlag auf chemischem Weg, z. B. durch Silbernitratlösung mit Formaldehyd, oder galvanischer Niederschlag oder Kathodenzerstäubung im Vakuum oder Umwickeln mit leitenden Folien oder Tauchen in Quecksilber.

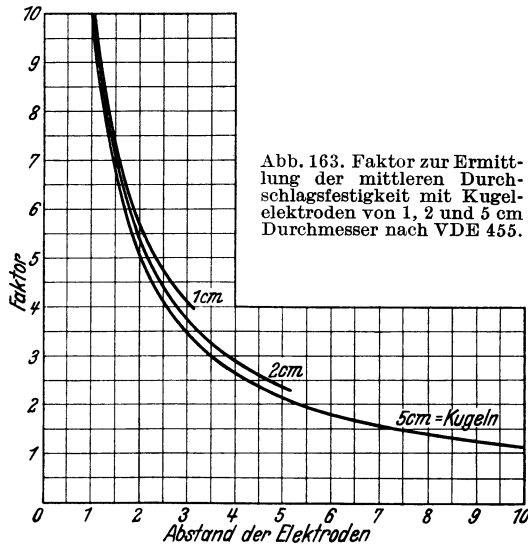


Abb. 163. Faktor zur Ermittlung der mittleren Durchschlagsfestigkeit mit Kugelelektroden von 1, 2 und 5 cm Durchmesser nach VDE 455.

Für die Längsprüfung bei Isolierstoffen mit Schichtstruktur dienen konische Meßbrückenstöpsel von 5 mm Durchmesser mit 55 mm Mittenabstand.

Platten bis zu 3 mm Dicke sind zwischen Tellerelektroden zu prüfen. Dickere Platten werden mit einem Formsenker, falls erforderlich, von beiden Seiten her angebohrt oder so eingeschliffen, daß die Wandstärke zwischen den entstehenden halbkugeligen Kalotten etwa 3 mm beträgt.

Prüfung mit Wechsellspannung bei 50 Hz und Raumtemperatur, falls erforderlich unter Öl.

Probekörper aus keramischen Massen sind ebene Platten von etwa 80 mm Durchmesser und 20 mm Dicke, in der Mitte mit kugeligen Vertiefungen, zwischen denen die dünnste Stelle 2—4 mm messen soll, jedoch nicht mehr als  $\frac{1}{5}$  der Plattendicke. Die Vertiefungen sind unter Ausschluß jeder Luftzwischen-schicht mit leitenden Belegungen zu versehen. Als Durchschlagsstelle gilt die dünnste Stelle.

ASTM 48—30. Probenform: Die frühere Form des Prüfbeckers 63,5 mm hoch, 63,5 mm Außendurchmesser mit 5 mm Wandstärke ist ersetzt worden durch eine gepreßte Scheibe von 101,6 mm Durchmesser und einer Dicke von 3,18 mm für Warmpreßstoffe und 6,35 mm für Kaltpreßstoffe. Als Versuchseinrichtung kann jeder Hochspannungstransformator mit guter Sinusform des Wechselstroms verwendet werden, der mindestens 2 kVA für Spannungen bis 50000 V und mindesten 5 kVA für höhere Spannungen liefert. Wechselzahl höchstens 100 je Sekunde. Die Prüfung erfolgt zwischen zwei flachen in der Mitte liegenden Elektroden von 25,4 mm Durchmesser mit einer Abrundung  $r = 3,2$  mm. Warmpreßstoffe werden unter Öl geprüft, Kaltpreßstoffe unter Luft. Spannungssteigerung 1000 V je Sekunde bis zum Durchschlag. Prüfungen bei Zimmertemperatur und bei höherer Temperatur. Die Proben sind mindestens 30 Minuten vor der Prüfung anzuwärmen. Apparate und Methoden der Spannungsmessung nach den Vorschriften des American Institute of Electrical Engineers.

USE. Zwei verschiedene Probenformen: 1. Prüfbecher nach Abb. 156, wie bei der Prüfung der Wasseraufnahme. 2. Scheibe, Durchmesser 100 mm, Dicke 5 mm. Der Prüftransformator soll für Messungen bis 50000 V mindestens 2 kVA-Leistung, über 50000 V mindestens 5 kVA-Leistung haben. Frequenz 50 Perioden pro Sekunde  $\pm 20\%$ , Spannungssteigerung 500 V je Sekunde. Die Spannungskurve soll Sinusform haben mit einem Abweichungsfaktor von höchstens 0,05. Die Becherproben werden auf ein Quecksilberbad gelegt, das die eine Elektrode bildet, die andere Elektrode ist eine Quecksilberfüllung von 3 mm Höhe im Becher. Die Prüfung wird bei Zimmertemperatur und bei einem Teil der Proben nach 24stündigem Liegen in Wasser von Zimmertemperatur und sorgfältigem Abtrocknen vorgenommen. Berücksichtigt werden nur Durchschläge im Boden.

Die Scheiben werden unter Öl geprüft und zwar in Transformatorenöl mit einer Durchschlagsspannung von mindestens 40 000 V je 5 mm zwischen Kugeln von 12,5 mm Durchmesser. Die Elektroden sind kreisförmig und an den Rändern verrundet, ihre Auflagefläche hat 1 cm Durchmesser.

BERA B/S 1. Probenform Abb. 164. Scheibe von 50 mm Durchmesser für Stoffe mit niedriger Durchschlagsfestigkeit, bei denen kein Überschlag eintritt. Die Bodenstärke kann maximal 5 mm betragen, statt wie bei Abb. 164 angegeben, 2 mm, für andere Isolierstoffe Scheibendurchmesser 100 mm. Die Bodenstärke von 2 mm muß bei Stoffen mit guter Durchschlagsfestigkeit so verkleinert werden, daß der Durchschlag nicht über 80 000 V erfolgt. Obere Elektrode kugelförmig, dadurch hergestellt, daß Quecksilberzinnamalgame, zerkleinertes Blei oder ähnliche Metalle fest in die Höhlung gedrückt werden. Die untere Elektrode bildet eine Scheibe

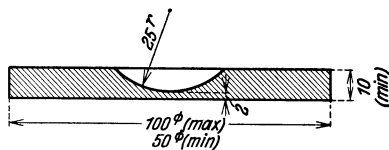


Abb. 164. Probenform für Prüfung der Durchschlagsfestigkeit, BERA, B/S 1.

von 40 mm Durchmesser, deren Mitte sich unter der schwächsten Stelle der Probe befinden soll. Falls es für Erzielung guten Kontaktes nötig ist, können dieselben Metalle verwendet werden, wie für die obere Elektrode. Wechselstrom 50 Perioden je Sekunde mit gut sinusförmiger Spannungskurve. Allmähliche Spannungssteigerung ohne Stoß, so daß der Durchschlag innerhalb 20 Sekunden erfolgt. Wenn in Luft Überschlag stattfindet, wird in Öl geprüft. Berechnung der effektiven Durchschlagsspannung  $X$  in V je Millimeter aus der Formel  $X = \frac{V}{T} \cdot f$ .  $V$  = beobachtete Durchschlagsspannung,  $T$  = kleinste Probendicke,  $f$  ist eine Funktion der Probendicke, die bei der gewählten Anordnung folgende Werte hat:

|                         |     |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Kleinste Probendicke mm | $T$ | 0,5  | 1,0  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  |
| Näherungswert von       | $f$ | 1,01 | 1,03 | 1,05 | 1,08 | 1,11 | 1,14 |

**Spannungserwärmungsprobe VDE 455 § 15.** „Um bei kleinen Proben, z. B. Hartpapierrohren, eine Vorstellung über die Höhe der Verluste zu gewinnen, beobachtet man die Erwärmung des Isolierstoffes bei Dauerbeanspruchung mit erhöhter Spannung.“

Bei dieser Probe läßt man eine Wechselspannung von 50 Hz während einer Zeit von 15 oder 30 Minuten auf einen Probekörper wirken. Als Kriterium dient im allgemeinen die Untersuchung auf fühlbare Erwärmung bei Betasten mit der Hand, tunlichst mit dem Ballen, im Vergleich mit einem gleichen unbeanspruchten Probekörper bei Raumtemperatur. Die Probe kann an üblichen Probekörpern, Platten, Knüppeln u. ä. wie an beliebigen Formstücken vorgenommen werden. (Siehe auch Leitsätze für Holz, § 11 und 13, Leitsätze für die Prüfung

von Isolatoren aus keramischen Werkstoffen für Spannungen von 1000 V an, § 12b.)

#### d) Dielektrische Verluste bei Wechselspannung.

**Verlustwinkel, Leistungsfaktor und Dielektrizitätskonstante.** Über die technische Bedeutung des Verlustwinkels sagt Prof. Schering<sup>1</sup>: „Für die Telephonie und die drahtlose Technik ist die Messung des Verlustwinkels von großer Bedeutung, da der dielektrische Verlust als Dämpfung wirkt, in erster Linie bei den Gebilden der Kapazität, wie Kondensatoren und Leitungen, aber auch bei Isolierteilen, wie Klemmen u. dgl.: ein derartiges Stück kann bei Gleichspannung hervorragend isolieren, bei Wechselspannung höherer Frequenzen wegen des dielektrischen Verlustes unbrauchbar sein, z. B. wenn der Isolierstoff mit ungeeigneten Füllstoffen hergestellt ist.“

Bei Hochspannung und niedriger Frequenz spielt der durch die dielektrischen Verluste bewirkte Energieentzug keine Rolle, im allgemeinen auch nicht bei mittleren Hochspannungen die Umsetzung des Verlustes in Wärme, da diese nur bei recht schlechtem  $\operatorname{tg} \delta$  merkbar ist. Aber die Kleinheit des  $\operatorname{tg} \delta$  ( $< 0,02$ ) und seine Unabhängigkeit von der Spannung sind ein gutes Kriterium für die Widerstandsfähigkeit des Isolierstoffes gegen dauernde Beanspruchung mit Hochspannung.“

„Der Verlustwinkel ist der Winkel, um den der Phasenwinkel des nicht mit Verlust behafteten Kondensators von  $90^\circ$  abweicht. Er ist eine das dielektrische Verhalten des Materials kennzeichnende Größe.  $\operatorname{tg} \delta$  ist bis zu den Werten 0,08 bis auf 0,2% gleich dem Leistungsfaktor des Ladestroms  $\cos \varphi$ ; im allgemeinen handelt es sich um sehr viel kleinere Werte. In der Starkstromtechnik bürgert es sich ein, den der Anschauung geläufigen Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  als Kenngröße des dielektrischen Verhaltens eines Stoffes anzugeben, während in der Schwachstromtechnik vielfach der Winkel  $\delta$  in Minuten benutzt wird<sup>2</sup>.“

In den Leitsätzen VDE 455 § 21 wird zur Kennzeichnung der dielektrischen Verluste der „Verlustfaktor“  $\operatorname{tg} \delta$  vorgeschlagen, der eine absolute Zahl ist und in Tausendstel angegeben wird. Beispiel  $\operatorname{tg} \delta = 0,0083$ , Verlustfaktor 8,3 Tausendstel. Die Versuche werden im allgemeinen bei Raumtemperatur vorgenommen; die Temperatur ist anzugeben.

Als Probekörper dienen die gleichen wie für Messung des Durchgangswiderstandes. Kreisförmige leitende Belegungen für Platten sollen bei Hochspannungsmessungen im Durchmesser mindestens 40 mm kleiner sein als Durchmesser oder Kantenlänge der Platten. Aus einer Belegung wird ein Schutzring durch Aussparung eines 1 mm breiten Streifens

<sup>1</sup> Gehlhoff, G.: Lehrbuch der technischen Physik, Bd. 3, Physik der Stoffe. S. 506. Leipzig: Joh. Ambros. Barth 1929.

<sup>2</sup> Schering: Isolierstoffe, S. 368.

gebildet, die Schutzringbreite soll doppelt so groß sein wie die Plattendicke, mindestens aber 5 mm. Minstdurchmesser der geschützten Belegung 70 mm. Die Kapazität des durch Plattenbelegungen gebildeten Kondensators soll möglichst nicht unter  $50 \mu\text{F} = 45 \text{ cm}$  betragen. Die Belegungen sollen den Prüfkörper lückenlos bedecken. Der unbelegte Streifen soll gut isolieren, die Glimmlampe darf mit 110 oder 220 V Gleichspannung nicht aufleuchten. Die Verlustmessungen können statt an Platten auch an Prüfkörpern anderer Form erfolgen. Bei Rohren sind an beiden Enden der zylindrischen Meßbelegung Schutzspalt und Schutzbelegung vorzusehen.

Die Frequenz des für die Messung verwendeten Wechselstromes soll 50 Hz oder 800 Hz betragen, Meßspannungen bei 800 Hz 100, 300, 500, 1000 oder 2000 V.

Wird nur ein Wert des Verlustfaktors bestimmt, so ist dieser für 800 Hz bei etwa 100 V, für 50 Hz bei 20% der Fünfminutenspannung zu messen. Die Spannung ist anzugeben. Für Isolierstoffe, bei denen die Dauer der Beanspruchung ohne Einfluß auf die Höhe der Durchschlagsspannung ist, z. B. Hochspannungsporzellan, tritt an Stelle der Fünfminutenspannung die Durchschlagsspannung.

Für die Bestimmung der dielektrischen Verluste bei 50 Hz ist zwischen spannungsabhängigen und zeitabhängigen Messungen zu unterscheiden.

Spannungsabhängige Verlustmessungen sollen bei 10% der Fünfminutenspannung, höchstens bei 15 kV beginnen und in Stufen von 10 zu 10%, höchstens aber von 10 zu 10 kV fortgeführt werden.

Bei zeitabhängigen Verlustmessungen empfiehlt sich während der ersten Viertelstunde in Abständen von 5 Minuten zu messen, dann viertelstündlich. Im allgemeinen genügt eine Gesamtmeßdauer von 1 Stunde. Sobald zwei aufeinanderfolgende Messungen praktisch gleich sind, kann der Versuch vorher abgebrochen werden. Die Spannung soll 20 oder 50% der Fünfminuten- oder Durchschlagsspannung betragen.

Bei Messungen unter Öl soll dieses den Vorschriften für Transformatoren- und Schalterölen entsprechen.

Von Schering ist eine Meßbrückenordnung angegeben worden, die bereits seit einigen Jahren für die Messung des Verlustwinkel in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und in der Industrie gebraucht

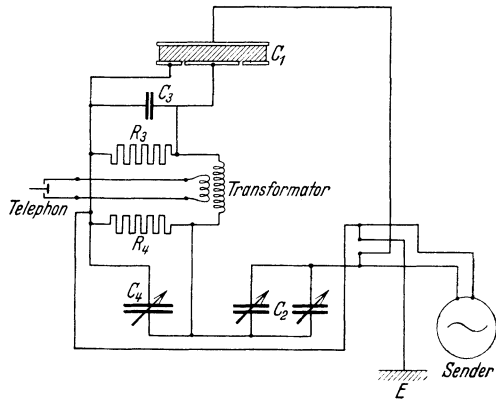


Abb. 165. Brücke für dielektrische Verlustmessung nach Schering.

wird<sup>1</sup>. Die Brücke (Abb. 165) enthält die festen Widerstände  $R_3 = R_4 = 20000 \Omega$ . Parallel zu  $R_4$  ist ein Rundfunk-Drehkondensator  $C_4$  bis etwa  $1100 \times 10^{-6} \mu F$  angeordnet, außerdem mit Steckern einzuschaltende Minoskondensatoren von 1000 und  $2000 \times 10^{-6} \mu F$ ; parallel zu  $R_3$  liegt ein fester Minoskondensator  $C_3$  von  $100 \times 10^{-6} \mu F$ , um die Anfangskapazität von  $C_4$  zu kompensieren. Die Zweige 3 und 4 befinden sich in einem mit Stanniol ausgekleideten Abteil eines Kastens; die Stanniolhülle und die Ecke 3, 4 sind geerdet.  $C_2$  ist ein Drehkondensator bis etwa 250 cm in Parallelschaltung mit einem Drehkondensator mit nur einer Scheibe für die Feineinstellung; ferner können Minoskondensatoren von 200 und 400 cm zugeschaltet werden.  $C_2$  ist in einem anderen mit Stanniol ausgekleideten und geerdeten Abteil untergebracht. Auf dem Deckel ist eine Schutzringelektrode untergebracht; die geschützte Fläche ist  $40 \pi \text{ qcm}$  groß gewählt; der Schutzring ist geerdet. Auf diese Schutzringelektrode wird die zu untersuchende Platte gelegt und die andere Elektrode, die sich in einer geerdeten Haube befindet, aufgesetzt; die Elektroden bestehen aus Stanniolüberzügen auf Schaumgummi; die obere Elektrode mit Aufsatzgewicht ist 7,6 kg schwer. Die Spannung von 100 V bei 800 Hz wird in einem einfachen Röhrensender erzeugt und durch einen geerdeten Schlauch zugeführt. Das Telefon ist über einen Rundfunktransformator an die Brücke angeschlossen. Abgeglichen wird die Brücke durch Regeln von  $C_2$  und  $C_4$ . Ein Berühren der zugänglichen Teile beeinflusst die Einstellung nicht. Bei Abgleichung ist der Verlustfaktor

$$\operatorname{tg} \delta = R_4 \omega (C'_4 - C'_3) = 10^8 \cdot (C'_4 - C'_3)$$

und die Dielektrizitätskonstante

$$\varepsilon = C_2 \frac{4 \pi a}{40 \pi} = 0,1 \cdot C_2 a \quad (a \text{ Dicke der Isolierplatte}).$$

Die Skala von  $C_4$  wurde direkt in  $\operatorname{tg} \delta$  bei  $\omega = 5000$  geeicht; mit den Zusatzkondensatoren kann von  $\operatorname{tg} \delta = 0,000$  bis  $\operatorname{tg} \delta = 0,4$  gemessen werden (siehe auch VDE 455 § 25/26).

„Ein Kondensator aus einem mit Verlust behafteten festen Dielektrikum stellt bei einer bestimmten Kreisfrequenz  $\omega$  einen kapazitiven Scheinwiderstand  $S$  mit einem Phasenwinkel  $(\varphi) (90 - \delta)^\circ$  dar, er läßt sich bei dieser Frequenz ersetzen:

1. durch eine Kapazität  $C$  parallel einem Widerstand  $R$ , oder
2. durch eine Kapazität  $K$  in Reihe mit einem Widerstand  $r$ . Bei dem Ersatzschema 1 ist der  $\operatorname{tg} \delta$  umgekehrt proportional  $\omega$ , bei 2 aber direkt proportional  $\omega$ . Beim festen Isolierstoff ändert sich  $\operatorname{tg} \delta$  nur langsam mit steigender Frequenz, bei trockenem fallend, bei Feuchtigkeit enthaltendem steigend, so daß keines der beiden Schemata den

<sup>1</sup> Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1926. Elektrotechn. Z. 1927 S. 1086.

Vorzug verdient. Zwischen  $K$  und  $C$  besteht die Beziehung:  $K = C(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)$ . Abgesehen von der Frequenzabhängigkeit ist also die Kapazität und die aus ihr abgeleitete Dielektrizitätszahl nur dann definiert, wenn  $\operatorname{tg} \delta$  so klein ist ( $< 0,1$ ), daß  $K$  und  $C$  praktisch gleich sind.<sup>1</sup>

ASTM D 150—32 T. Verfahren zur Messung des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  und der Dielektrizitätskonstante fester Isolierstoffe bei  $100 - 1500 \times 10^3$  Perioden, siehe Report D 9 S. 82.

**USE 46. Dielektrizitätskonstante.** Probenform: Scheibe 100 mm Durchmesser, 5 mm dick. 8 Stunden bei  $100^\circ$  im Ofen geheizt, dann bei Zimmertemperatur gemessen. Die Probe wird auf ein Quecksilberbad gelegt, das die eine Elektrode bildet. Die zweite Elektrode besteht aus der Quecksilberschicht, die sich in dem außen um die Probe gelegten Metallring befindet. Zur Messung benutzt werden die Resonanzerscheinungen in Schwingungskreisen. Die Probe wird durch Luft ersetzt und aus dem Unterschied der Kapazität die Dielektrizitätszahl errechnet.

**Messung des Verlustwinkels.** Gleiche Proben und gleiche Vorbehandlung, auch gleiche Anordnung auf Quecksilber wie bei Bestimmung der Dielektrizitätskonstante. Die Frequenz muß vorgeschrieben werden. Bestimmt wird der Äquivalentwiderstand eines Kondensators mit der Probe als Dielektrikum. Aus dem so gefundenen Widerstandswert und der Dielektrizitätszahl wird der Verlustwinkel in Winkelgraden berechnet.

## 6. Die Prüfung der äußeren Eigenschaften.

### a) Oberflächenbeschaffenheit und Farbe.

Von allen Teilen aus plastischen Massen wird sauberes und gutes Aussehen verlangt, bei vielen Gebrauchsgegenständen auch Hochglanz der sichtbaren Fläche. Mit der Entwicklung von Kunstharz und Kunsthorn ergibt sich die Möglichkeit, Teile in hellen leuchtenden Farben und auch in weiß herzustellen. Als Oberflächeneigenschaften werden Beständigkeit des Hochglanzes und der Farben auch bei längerer Gebrauchszeit und unter Einwirkung der jeweiligen Beanspruchungen gefordert.

Die Prüfung der Lichtbeständigkeit von Farben erfordert zunächst eine möglichst genaue Festlegung des Farbtons. Hierfür stehen in den Halbschatten-Photometern nach Wilhelm Ostwald<sup>2</sup> Apparate zur Verfügung, die auch zur Messung des Oberflächenglanzes dienen können<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1926. Elektrotechn. Z. 1927 S. 1086.

<sup>2</sup> Hergestellt von Janke & Kunkel, G. m. b. H., Köln.

<sup>3</sup> Ref. über Vortrag Dr. Paul Wolski: Die Bedeutung von Glanzmessungen für die Anstrichtechnik. Siehe auch P. Wolski: Universal-Photometer nach Wilhelm Ostwald zur exakten Glanzmessung. Korrosion u. Metallschutz, Dez. 1926.



Um die Lichtechtheit zu prüfen, werden die Prüfkörper einer Lichtquelle ausgesetzt, die möglichst dieselbe Wirkung haben soll, wie das Sonnenlicht. Durch die technische Kommission der Gruppe Preßstoffe im Zentralverband der deutschen elektrotechnischen Industrie sind bereits Versuche mit verschiedenen Lichtquellen veranlaßt worden, die jedoch noch nicht abgeschlossen sind.

#### b) Maßhaltigkeit und Formbeständigkeit.

Die Anforderungen an die Maßgenauigkeit der Preßstücke sind gewachsen, je mehr solche Teile mit anderen unter Verwendung von mechanischen Hilfsmitteln zusammengebaut werden. Die Fertigung am laufenden Band mit Hilfe von Montagelehren stellt in dieser Hinsicht besondere Aufgaben. So werden z. B. beim Zusammenbau elektrischer Feinapparate in der Radio- und Telephonindustrie, oder bei der Herstellung von Meßinstrumenten nur kleine Toleranzen zugelassen. Fast überall wird auch eine gewisse Formbeständigkeit nach der Alterung gefordert.

### 7. Abnahmeprüfungen.

Für jedes Preßstück, das in größeren Mengen hergestellt wird und einer Beanspruchung elektrischer, mechanischer oder anderer Art ausgesetzt ist, sollten bestimmte Prüfungen durch Stichproben vorgeschrieben werden. Hiervon wird jedoch nur selten Gebrauch gemacht. Als Prüfvorrichtungen können die in den Vorschriften KPI<sup>1</sup> beschriebenen Apparate verwendet werden, ferner auch die Prüfverfahren für Biegefestigkeit, Kugeldruckhärte und Erweichbarkeit durch den Glühkonus. Die Prüfung von beliebig geformten Körpern kann durch Aufschlagen an eine scharfe Kante mit dem Prüfgalgen vorgenommen werden. Handelt es sich um Teile, an deren Paßfähigkeit bei der Montage besondere Anforderungen gestellt werden, so müssen neben den elektrischen und mechanischen Werten auch die Abmessungen durch besondere Lehren geprüft werden. Bei besonders empfindlichen Teilen wird eine solche Prüfung bei jedem einzelnen Stück vorgenommen werden müssen.

#### Zeitschriften über plastische Massen.

British Plastics, S. 3. — Kunststoffe, S. 3. — Plastics and Molded Products, S. 3. — Plastische Massen, S. 3. — Revue générale des matières plastiques, S. 3.

<sup>1</sup> Vorschriften, Regeln und Normen für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial bis 750 V Nennspannung KPI. VDE 420 § 97.

## Namenverzeichnis.

- Add, Gebr., Wächtersbach 81.  
 Agte, C. 62.  
 Albert, G. m. b. H., Dr. Kurt, Amöne-  
 burg 236.  
 Alexander, P. 129.  
 Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft  
 238.  
 Alpine Maschinenfabrik, Augsburg 26.  
 Ambronn, H. 190.  
 Anghiera, P. M. d' 119.  
 Aspdin, J. 187.  
 Aylsworth 228.  
  
 Baekeland, L. H. 226, 227, 231.  
 Baeyer, A. v. 227.  
 Bakelite, Gesellschaft m. b. H., Berlin  
 241.  
 Barry, T. H. 231.  
 Becker 91.  
 Becker & Haag, Berlin 200.  
 Beckmann 144.  
 Blake 23.  
 Blanc, le u. Kröger 130.  
 Blücher, H. 3, 150.  
 Böckmann, F. 86.  
 Bodenbender, H. G. 115.  
 Bouchardat 125.  
 Bratring, K. 92.  
 British Thomson Houston Co. Ltd. 238.  
 Bußmann 47.  
  
 Caliqua Wärme G. m. b. H. 246.  
 Carr, Th. 26.  
 Carter, H. 25.  
 Chardonnet, H. de 86.  
 Charpy 305.  
 Clavel, R. 91.  
 Clément, L. u. Rivière, C. 92.  
 Coker, E. G. 295.  
 Condamine, Ch. M. de la 119.  
 Cross u. Bevan 96.  
 Crossley, P. B. 175.  
  
 Demuth, W. 184.  
 Deutsche Asbestzement A.-G. Berlin-  
 Rudow 192, 193, 197.  
 Dorsch, K. E. 156, 187.  
 Dralle, R. 157, 161, 170.  
  
 Drummond, A. A. 231, 238.  
 Dunton, A. R. & Muir, A. W. 276.  
 Dynamit-A.-G. vorm. Alfred Nobel  
 & Co., Troisdorf 4, 91, 93, 95, 219,  
 237, 239, 241.  
  
 Edler & Krische, Hannover 151.  
 Eggert, J. 6.  
 Eibner, A. 114.  
 Eichengrün, A. 91, 95.  
 Eisenstein, A. 117.  
 Ellis, S. C. 228.  
 Eumuco A.-G. für Maschinenbau Lever-  
 kusen-Schlebusch 53.  
  
 Faust, O. 92.  
 Fehse, A. 62.  
 Fikentscher 65.  
 Fischer, H. 25, 27, 29.  
 Freyburger, P. 29.  
  
 Gary 311.  
 Gehlhoff, G. 12, 178, 334.  
 Geisler, K. 125.  
 Geller, J. 55, 260.  
 Gerdien, H. 185.  
 Gerhards, W., Lüdenscheid 40.  
 Gooderich 7.  
 Goodyear, Ch. 120, 130.  
 Gonell, H. W. 19, 20, 287.  
 Götz, Gebr., Lauter, Sa. 41.  
 Grammel, R. 24.  
 Grefe, L., Lüdenscheid 41.  
 Grether & Co., Freiburg i. Br. 51.  
 Grün, R. 186.  
 Guntrum 91.  
  
 Hahn & Kolb, Stuttgart 47, 49.  
 Hancock, T. 120.  
 Handrek 276.  
 Harkort 287.  
 Harries, C. 107, 125.  
 Hartner, F. 133.  
 Hatscheck, L. 191.  
 Hauser, E. A. 127.  
 Haywood, N. 120.  
 Hemming, E. 3.

Herrmann, R. 95.  
 Herz 253.  
 Herzog, R. O. 66.  
 Hock, L. 126, 132, 145.  
 Hofmann, F. 125.  
 Hottenroth, V. 66.  
 Hütten G. m. b. H., J. L., Düsseldorf 258.  
 Hyatt, J. W. u. Smith 88.

Internationale Galalith-Gesellschaft  
 Hoff & Co., Harburg 151.  
 Izod 306.

Janke & Kunkel, G. m. b. H., Köln 337.  
 Jordan, O. 28.

Kadow, A. 173.  
 Karo, W. 232.  
 Karrer, E. 7.  
 Katz, J. R. 126.  
 Kausch, O. 3, 232.  
 Keppeler, G. 157, 161, 164, 170.  
 Kilian, Fritz, Hohenschönhausen 35.  
 Kindscher, E. 119.  
 Koebner, M. 234.  
 Kopp, P. 38.  
 Krahel, M. 249.  
 Krämer-Sarnow 283.  
 Krause, E. 150.  
 Kriche 151.  
 Krumbhaar 113.

Lebach 233.  
 Lehr, E. 286.  
 Leitz G. m. b. H., E., Wetzlar 285.  
 Leysieffer, G. 87.  
 Libbey-Glas Co. 173.  
 Liesegang, R. E. 7.  
 Lindström, C. 111.

Mackintosh, Ch. 120.  
 Malo, L. 220.  
 Marcusson, J. 210, 284, 311.  
 Mark, H. 67, 127.  
 Marzetti, B. 7.  
 Mehdorn, W. 46.  
 Meldau, R. 70, 71.  
 Memmler, K. 119, 290, 311.  
 Meßmer, G. 295.  
 Metzeler & Co. A.-G., München 136.  
 Meyer, G. J. 281, 317, 327.  
 — K. H. u. Mark, H. 13, 233.  
 Michaelis, W. 189.

Morrell, R. S. 231.  
 Moureu u. Dufraisse 239.  
 Nagel, W. 100, 107.  
 Naske, C. 19, 23.  
 National Carbon Co. Inc., Cleveland, Ohio 18.  
 Naumann, A. 287.  
 Neiles, G. 91.  
 New York-Hamburger Gummi-Waaren-Compagnie, Hamburg 144.  
 Nouvel, O. 227.  
 Nowack A.-G., Aug., Bautzen 39, 241.  
 Nüssel, H. 222, 290.

Obirst, J. 7, 9, 10, 16.  
 Ostwald, Wi. 337.  
 — Wo. 8, 10, 126, 127, 189.  
 Owens, M. J. 170.

Pabst, F. 95, 240.  
 Parker, W. B. 107.  
 Parkes, A. 87, 120, 130.  
 Passavant, H. 281, 309.  
 Peachey 130.  
 Pfestorf, G. 110, 323.  
 Polanyi, M. 6, 297.  
 Pollack, F. 237.  
 Pöpel 222.  
 Posner 240.  
 Preßwerk A.-G., Essen 258.  
 Priestley 120.  
 Pummerer, R. 125.

Quaker Oats Co. 238.

Rapatz, F. 60.  
 Raschig G. m. b. H., Dr. F., Ludwigshafen a. Rh. 241.  
 Redman 228, 231.  
 Reis, L. v. 175.  
 Rheinisch-Westfälische Sprengstoff A.-G., Troisdorf 4, 91, 93, 219, 237, 241.  
 Richardson, S. O. 173.  
 Rittinger 19.  
 Röhm, R. 92.  
 Röhrs, W. 56, 57, 60, 87, 240, 247.  
 Römmeler A.-G., H., Spremberg, Niederlausitz 237.  
 Roesendahl, F. 144.

Sachs, G. 39.  
 Sändig, K. 227, 229, 235.

- Scheiber, J. 227, 229, 235.  
 Schering, H. 323, 334.  
 Schiller, L. 287.  
 Schob, A. 6, 269, 290, 292, 293, 294, 309, 311.  
 Schopper, L., Leipzig 302, 303, 309.  
 Schopper-Dalén 300.  
 Schott, O. 163.  
 Schramm, W. 317.  
 Schulz, H. 169.  
 Schwalbe, G. 71.  
 Severin 171.  
 Siempelkamp & Co., G., Krefeld 50.  
 Siemens-Schuckertwerke A.-G., Berlin-Siemensstadt, Kabelwerk (Gartenfeld) 43, 256.  
 Sievert, P. Th. 173.  
 Singer, F. 180, 277.  
 Skaupy, F. 62, 277, 287, 290.  
 Smith, Watson 238.  
 Sommerfeld, A. 264.  
 Sondermann, H. 53.  
 Spitteler, A. 151.  
 Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. Br. 111, 218, 219, 256.  
 Stadlinger, H. 91.  
 Stäger, H. 109, 259.  
 Staudinger, H. 13, 126.  
 Stebbing, E. P. 105.  
 Steinheil, R. 169.  
 Stephenson, Ph. 149.  
 Stern, E. 33.  
 Stiller, K. 89.  
 Stocks, H. B. 86.  
 Stokes 287.  
 Troiss, D. F. 132.  
 Tschirch 107.  
 Turek, K. G. 154.  
 Ubbelohde 284.  
 Unckel, H. 39.  
 Venditor-Kunststoff-Verkaufsgesellschaft m. b. H., Troisdorf 4, 91, 93, 95, 219.  
 Vereinigte Isolatorenwerke A.-G., Berlin-Pankow 110.  
 Vieweg, R. 323.  
 Wagner, K. W. 323.  
 Walton, F. 115.  
 Warren, H. 83, 142, 175, 239, 276.  
 Wedekind, E. 66.  
 Werner & Pfleiderer, Stuttgart-Cannstatt 29, 48.  
 Westlake 171.  
 Wickham, H. A. 121, 148.  
 Wiegand, W. B. 132.  
 Wiesner, J. v. 103.  
 Wilhelmi, R. 221.  
 Wolff, H. 98, 107, 109, 112.  
 Wolski, P. 337.  
 Zebrowski, W. 277, 317.  
 Ziegs, C. 222, 290.

## Sachverzeichnis.

- Abteilen 34.
- Abnahmeprüfung 338.
- Abnutzung durch losen Schmirgel 311.
- Adsorption 9.
- zwischen Asphalten und Steinhöhlen 221.
- Aeternit 143.
- Akalith 151.
- Akaroidharz 103.
- Akkumulatoren, hydraulische 45.
- , Gewichtsakkumulatoren 45.
- , Druckluftakkumulatoren 46.
- Akrolein 239.
- Aladdinite 151.
- Ambroin 110.
- Amosit 202.
- Anthophyllit 202.
- Asbest 200.
- Asbestnormen, kanadische 203.
- Asbestonit 130, 143.
- Asbestzement 191.
- , Prüfungen 194.
- , Röhre 197.
- , Wellplatten 197.
- Asphalt-Gehwegplatten 220.
- Asphalte, Einteilung 210.
- Asphaltite 211.
- Aufschließen von Fasern 27.
- Ausbröckeln, Prüfung 310.
- Ausstößer 45.
- Azetatkunstseide 92.
  
- Backenbrecher 23.
- Bakelite 226.
- C 241.
- Baumwolle 65.
- Bauplatten 79.
- Bearbeitbarkeit 309.
- Bearbeiten der Preßstücke 61.
- Berechnungsgrundlagen für Werkzeuge 60.
- Bernstein 109.
- Beschleuniger, Vulkanisations- 131.
- Beton 191.
- Biegefestigkeit 298.
- Bildsamkeit 6.
- Bindemittel 4.
- Bitumina und Pech 216.
- Blattbildung des Papiers 76.
- Bluteiweiß 154.
  
- Borsäure 164.
- Braunkohlenteerpech 215.
- Brinell-Härte 302.
- Brücke für dielektrische Verlustmessung (Schering) 335.
- Büttenpapier 77.
  
- Casolith 151.
- Cellon 92.
- , Eigenschaften 93.
- Celluloid unter Z.
- Chlorkautschuk 144.
- Chrysotil 202.
- Crocidolit 202.
  
- Dauerbeanspruchung durch Feuchtigkeit (Isolierpreßstoffe) 277.
- Dekorit 241.
- Desintegrator 26.
- Dielektrische Verluste 334.
- Dielektrizitätskonstante 334.
- Drehtischpresse 49.
- Druckstufe, hydraulische 46.
- Duprene 125.
- Durchbiegung und Wärme 314.
- Durchgangswiderstand 324.
- Durchpreßformen 57.
- Durchschlagsfestigkeit 330.
  
- Edelkunstharz 241.
- Eisenportlandzement 187.
- Eiweiß 150.
- Elastizität 308.
- Entflammbarkeit 318.
- Entglasung 162.
- Etagenpressen 50.
- Erdölbitumina 214.
- Erdölrückstände 214.
- Erinoid 151.
- Ernolith 150.
- Eruptivgesteine 165.
  
- Fadenspinnen von Kunstseide 85.
- Falz widerstand von Papier 79.
- Farbe 337.
- Feldspat 160.

Feuchtigkeit, Dauerbeanspruchung durch 277.  
 Feuchtigkeitssicherheit nach VDE 282.  
 Feuersicherheit 316.  
 — nach VDE 282.  
 Fiber — Vulkanfiber 82.  
 Filme aus Viskose 97.  
 — aus Zellulosenitrat 86.  
 Fließvermögen, Prüfung der Kunstharzmischungen 249.  
 Fluat 199.  
 Formaldehyd 230.  
 Formen, geschlossene 54.  
 Füllen und Abteilen von Kunstharzmischungen 253.  
 Füllmittel für Kautschuk 128.  
 — für Papier 76.  
 —, Wirkung der 132.  
 Füllstoff, Verstärkerwirkung 132  
 Furfurol 237.

Galalith 151.  
 Gehwegplatten aus Asphalt 220.  
 Gilsonit 211.  
 Glas 161.  
 — als unterkühlte Flüssigkeit 161.  
 — Hauptbestandteile 163.  
 Glasblasen 169.  
 — mit Maschinen 170.  
 Glasiges Erstarren 12.  
 Glasschmelzen, Vorgänge beim 166.  
 Glasschmelzsande 158.  
 Glimmlampe, Prüfung mit 327.  
 Glühkonus 318.  
 Glutsicherheit 317.  
 — nach VDE 282.  
 Glyptal 238.  
 Glycerin 238.  
 Granit 166.  
 Grenzflächenenergie zwischen Kautschuk und Füllstoffen 135.  
 Guayulekautschuk 121.  
 Gummiabest 129, 143.  
 Gummifreie Isolierstoffe 264.  
 Gummiwaren 136.  
 Gummon 219.

Hammermühlen 25.  
 Handpressen 40.  
 Hares 263.  
 Harnstoff 237.  
 Harnstoffkunstharzmischungen 237.  
 Härte nach Brinell 302.  
 Härten der Preßstücke 61.  
 Hartgummi als mikroporöse Zwischelage 144.  
 —, Schrumpfung des 142.  
 Hartgummiwaren, Herstellung 141.

Hartpapier 250.  
 Hartstoffe 261.  
 Harz, Begriff 98.  
 Harze, Löslichkeit der 108.  
 Haufwerk, loses 17.  
 Hefe, plastische Massen aus 150.  
 Heizung der Werkzeuge 246.  
 Hevea-Kautschuk 121.  
 Hochmolekulare Stoffe 13.  
 Hochofenzement 187.  
 Holländer 27.  
 Holz 66.  
 Holzmehl 70.  
 Holzöl 113.  
 Holzschliff 71.  
 Holzstoff 80.  
 Holzzellstoff 72.  
 Hornblendeasbest 202.  
 Hydraulische Pressen 41.

Innenwiderstand 324.  
 Isolast 130.  
 Isolierende Eigenschaften 323.  
 Isolierpapiere 276.  
 Isolierpreßstoffe aus Asphaltmischungen:  
 —, Type 8 217.  
 —, Type 4 219.  
 — aus Holzölmischungen:  
 —, ähnlich Type 4 114.  
 — aus Kunstharzmischungen:  
 —, Type K 244.  
 —, Type T 244.  
 —, Type S 244.  
 —, Type 0 244.  
 —, Type 1 244.  
 —, Type 2 244.  
 —, Type 3 244.  
 — aus Naturharzmischungen:  
 —, Type 7 110.  
 Isolierstoffe der Elektrotechnik:  
 —, gummifreie 264.  
 —, gummihaltige, Eigenschaften 272.  
 —, Zusammenstellung 271.  
 Isopren 125.  
 It-Platten 143.

Jute 116.

Kali 165.  
 Kalk 159.  
 Kalksteine 160.  
 Kaltpreßstoffe aus Kunstharzmischungen 245.  
 Kampfer 88.  
 Kampticon 115.  
 Kamptulicon 115.  
 Kaolin 160.

Karbolsäure 229.  
 Karolith 151.  
 Kasein 152.  
 —, Kunsthorn 151.  
 Kauri-Kopal 103.  
 Kautschuk 119.  
 Keramik 176.  
 Keramische Massen, Eigenschaften 178.  
 Kieselgur 158.  
 Kieselsäure 157.  
 —, Kalk, Tonerde 156, 163.  
 Klappformen mit Beilagen 56.  
 Klassieren 32.  
 Klopffvolumen 290.  
 Knetwerke 29.  
 Kochprobe 316.  
 Kollergang 24, 31.  
 Kolloide 8.  
 Kolophonium 102.  
 Kondensation 228.  
 Kopale 104.  
 Kopal-Kauri 103.  
 — Kongo 104.  
 — Manila 103.  
 Korkmehl 116.  
 Kornform, Bedingungen der 20.  
 Korngröße in Gemengen 286.  
 — in Glasschmelzsanden 164.  
 Kresol 229.  
 Kugelmühlen 24.  
 Kunstharz:  
 —, Gußstoffe 240.  
 —, Preßstoffe 243.  
 —, Schichtstoffe 258.  
 Kunstseide aus Kupferoxydammoniak 98.  
 — aus Viskose 97.  
 — aus Zelluloseazetat 91.  
 — aus Zellulosenitrat 86.  
 Kunststoffe aus Zelluloselösungen 84.  
 Kyloid 151.  
  
 Labkasein 152.  
 Lackpappe 80.  
 Lactoid 151.  
 Lactolith 151.  
 Latex 122.  
 —, direkte Verarbeitung 143.  
 Leatheroid 82.  
 Leinöl 112.  
 Leistungsfaktor 334.  
 Leukorit 241.  
 Lichtbogensicherheit 319.  
 Lichtechte Farben von Kunstharz-  
 mischungen 257.  
 Lincrusta 118.  
 Linoleum 115.  
 Linters 65.  
 Lohntablettieren 253.

Lonarit 95.  
 Löslichkeitsversuche 284.  
  
 Magnesiumoxyd 165.  
 —, Kornvergrößerung beim Erhitzen 12.  
 Mahlwerke 24.  
 Manila-Kopal 103.  
 Manschetten 53.  
 Martens-Apparat 313.  
 Maschinen für Glasverarbeitung 168.  
 Maßhaltigkeit 338.  
 Mechanische Pressen 40.  
 Mehrfachwerkzeuge 57.  
 Melalith 184.  
 Merzerisation 85.  
 Methylkautschuk 125.  
 Mineralöle, Einfluß der 322.  
 Mischen 16.  
 Mischflügel 29.  
 Mischmaschine 28.  
 Mischwalzen 30.  
 Mycalex 175.  
  
 Nachhärten von Kunstharzmischungen 253.  
 Nadelholzfasern 73.  
 Natron 165.  
 Natron- und Sulfatverfahren für Zell-  
 stoff 73.  
 Naturharze 98.  
 Neolith 151.  
 Neoresit 241.  
  
 Oberflächenbehandlung 64.  
 Oberflächenbeschaffenheit 337.  
 Oberflächenwiderstand 324.  
 Öffner für Fasern 27.  
 Optische Untersuchungen ebener Span-  
 nungszustände 295.  
 Orca 239.  
 Owens-Maschine 170.  
  
 Packungen 53.  
 Papier 74.  
 Pappe 74.  
 Parakresol 234.  
 Parkesine 87.  
 Patentgummi 140.  
 Peachey-Prozeß 130.  
 Peche 210.  
 Pendelhammer nach Schob 308.  
 Pergament 81.  
 Perplexmühlen 26.  
 Petrolpech 214.  
 Phenol 229.  
 Phenol-Formaldehydharze 229.

- Phonolith 166.  
 Phthalsäure 238.  
 Plantagenkautschuk 121.  
 Plastische Massen:  
 —, Anwendung 1.  
 —, Aufbau 4.  
 —, Bezeichnung 3.  
 — aus Bluteiweiß 154.  
 — aus Hefe 150.  
 — aus Kasein 151.  
 Plastischer Zustand 6.  
 — — Herbeiführung 10.  
 Plastizität 6.  
 — Ursache 8.  
 Plastometer 7.  
 Pollopas 237, 263.  
 Polymerisation 228.  
 Polystyrol 239.  
 Portlandzement 186.  
 — Kornfraktionen 288.  
 Porzellan 179.  
 Preßdruck für Kunstharzmischungen 247.  
 Pressen, das 34.  
 —, die 40.  
 Preßgrat 58.  
 Preßharze 235.  
 Preßmasse, Bewegung im Werkzeug 35.  
 Preßspan 80.  
 Preßtemperatur von Kunstharzmischungen 246.  
 Preßstücke:  
 —, Bearbeiten der 62.  
 —, Härten der 61.  
 Preßwasserbehälter 53.  
 Preßwasserdruck 46.  
 Preßwerkzeuge 54.  
 Preßzeit von Kunstharzmischungen 248.  
 Probenform, Einfluß der 293.  
 Profilstangen 96.  
 Proteine 150.  
 Prüfsiebe 285.  
 Prüfung, Verfahren für die 282.  
 Prüfverfahren, Entwicklung der 290.  
 —, vergleichende Übersicht der 297.  
 Prüfvorrichtungen 301.  
 Pumpen 53.  
 Pyrexglas 277.  
  
 Quarzglas 162.  
 —, Eigenschaften 277.  
 Quarzit 158.  
 Quellen 28.  
 Quellung 10.  
 — von Gläsern 167.  
 Quetschformen 54.  
  
 Rahmenpressen 44.  
 Reaumursches Porzellan 163.  
  
 Regenerat (Kautschuk) 128.  
 Reißfestigkeit von Papier 78.  
 Reißwolf 27.  
 Resopal 237.  
 Richtwirkung 16.  
 Ricolit, Type S 256.  
 —, Type 1 256.  
 —, Type 4 219.  
 —, Type 7 111.  
 —, Type 8 218.  
 — X 199.  
 Rohkautschuk, Vorbereitung für die Weiterverarbeitung 127.  
 Röhrenziehmaschine für Glas 174.  
 Rückprallhöhe 308.  
 Rührwerke 28.  
  
 Sägen 64.  
 Sande 158.  
 —, Glasschmelz- 158.  
 Säulenpressen 43.  
 Säureharz 214.  
 Schallplatten 111.  
 Schamotte 178.  
 Schellack 105.  
 Schießbaumwolle 86.  
 Schichtstoffe aus Kunstharz 258.  
 Schlagbiegefestigkeit 303.  
 Schlagkreuzmühle 25.  
 Schlag- und Schleudermühlen 25.  
 Schlämmasanalyse 286.  
 Schmelzen, Vorgänge beim Glas- 166.  
 Schmelzpunkt nach Krämer-Sarnow 283.  
 Schraubenknetter 29.  
 Schrumpfung von Hartgummi 142.  
 Schüttelsiebe 32.  
 Schwarzalbumin 156.  
 Schwindung von Kunstharzmischungen 252.  
 Serpentinastest 202.  
 Siebe 32.  
 Siebpressen 31.  
 Sicalith 151.  
 Sicherheitsglas 174.  
 Sicoid 91.  
 Simplex-Perplexmühlen 26.  
 Sinterkorund 185.  
 Sinterung 12.  
 Spanlose Formung 16.  
 Spannungserwärmungsprobe 333.  
 Sperrholz 70.  
 Spitzentaster 327.  
 Spritzmasse, Zelluloseazetat Trolit H und W 95.  
 —, Zellulosenitrat Trolit F 87.  
 Spritzwerkzeuge 58.  
 Sprühkautschuk 124.  
 Stabilität 130.



Stähle für Preßwerkzeuge 59.  
 Steatit 183.  
 Steinholz 200.  
 Steinkohlenteer 214.  
 Steinkohlenteerpech 214.  
 Stephenson-Plan 149.  
 Stocklack 105.  
 Stoßfestigkeit MPA 307.  
 Strangpreßverfahren 38.  
 Succinit 109.

Tablettieren 34.  
 Tablettiermaschinen 35.  
 Teere und Pech 213.  
 Teilchenform 20.  
 Teilchengröße, Einfluß auf Plastizität 9.  
 Terpentine 101.  
 Ton 177.  
 Tonerde 160.  
 Tornesit 144.  
 Totwalzen 15.  
 Tremolit 202.  
 Trinascol 211.  
 Trinidadasphalt 211.  
 Trocknen 32.  
 Trockenverlust der Bindemittel 285.  
 Trockenvorrichtungen 33.  
 Trocknende Öle 112.  
 Trolit F 87.  
 — H und W 95.  
 Trolitax 263.  
 Trolitul 239.  
 Trolon 241.  
 Trommelmischer 31.  
 Trommelmühlen 24.  
 Trommelsiebe 32.  
 Tropfpunkt nach Ubbelohde 284.  
 Tungöl 113.  
 Typisierung der gummifreien Isolier-  
 preßstoffe 265.

Überwachung der gummifreien Isolier-  
 preßstoffe 269.  
 —, Statistik der 270.  
 Überwachungszeichen 270.

VDE-Vorschriften 281.  
 — für Isolierstoffe 280.  
 Verdichtung durch Pressen 14.  
 Verfestigung 11.  
 Verleimung 11.  
 Verlustwinkel 334.  
 Vigorit 241.

Vikatprobe 314.  
 Viskose 96.  
 Vorbehandlung für elektrische Prüfung  
 324.  
 Vorformen 34.  
 Vulkanasbest 129, 143.  
 Vulkanfiber 82.  
 Vulkanisation 130.  
 Vulkanisierform für Autoreifen 138.

Wachstuch 119.  
 Walzen, das 14.  
 Walzenbrecher 23.  
 Walzmühlen 25.  
 Wärmebeständigkeit 311.  
 Wärmeleitfähigkeit 320.  
 Wärmesicherheit nach VDE 282.  
 Warmpreßstoffe, Kunstharzmischungen  
 245.  
 Wasseraufnahme 321.  
 Wasserglas 167.  
 Werkstattlupe, stereoskopische 285.  
 Werkzeuge, Berechnungsgrundlagen der  
 60.  
 —, Stähle 59.  
 Werner & Pfleiderer-Knetter 29.  
 Westlakemaschine 170.  
 Widerstand gegen Sandstrahl 311.  
 Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtig-  
 keit und Chemikalien 311.  
 Widiametall 62.  
 Wildkautschuk 120.  
 Windsichter 288.  
 Winkelpressen 50.  
 Wirtschaftsgeschichte des Kautschuks  
 147.

Xylolith 200.

Zähflüssigkeit der Bindemittel 285.  
 Zellit Bayer 91.  
 Zellophan 98.  
 Zellstoff 72.  
 Zelluloid 87.  
 Zellulose 65.  
 Zement 186.  
 Zerkleinern 18.  
 Zerkleinerungsarbeit 19.  
 Zerkleinerungsmaschinen 23.  
 Zermürbung 311.  
 Zoolite 151.  
 Zugfestigkeit 299.  
 Zugprobekörper 296.

**Die Rohstoffe der Feinkeramik, ihre Aufbereitung und Verarbeitung zu Massen und Glasuren.**

Von Dipl.-Ing. Dr. phil. **William Funk**, Betriebsdirektor an der Staatlichen Porzellanmanufaktur zu Meißen. Mit 69 Textabbildungen. IV, 334 Seiten. 1933.

Gebunden RM 24.50

**Unbildsame Rohstoffe keramischer Massen.**

Magerungsmittel, Flußmittel und feuerfeste Stoffe. Von Professor Ing.-Chem. **Rudolf Niederleuthner**, Wien. Mit 83 Abbildungen und 120 Tabellen im Text. XIV, 577 Seiten. 1928.

Gebunden RM 39.—

Verlag von Julius Springer/Wien.

**Die physikalischen und chemischen Grundlagen der**

**Keramik.** Von Dr.-Ing. **Hermann Salmang**, a. o. Professor und Vorsteher des Instituts für Gesteinshüttenkunde an der Technischen Hochschule Aachen, wissenschaftliches Mitglied des Kaiser Wilhelm-Instituts für Silikatforschung. Mit 87 Textabbildungen. VIII, 229 Seiten. 1933.

Gebunden RM 18.—

**Die Zellulose.**

Die Zelluloseverbindungen und ihre technische Anwendung. Plastische Massen. Von **L. Clément** und Ing.-Chem. **C. Rivière**. Deutsche Bearbeitung von Dr. **Kurt Bratring**. Mit 65 Textabbildungen. XVI, 275 Seiten. 1923.

Gebunden RM 13.50 (abzüglich 10% Notnachlaß)

**Celluloseverbindungen**

und ihre besonders wichtigen Verwendungsgebiete, dargestellt an Hand der Patent-Weltliteratur. In zwei Bänden herausgegeben von Patentanwalt Dr. **O. Faust**, Berlin. Mit zahlreichen Textabbildungen.

Erscheint im Frühjahr 1934.

**Die hochmolekularen organischen Verbindungen.**

Kautschuk und Cellulose. Von Dr. phil. **Hermann Staudinger**, o. Professor, Direktor des Chemischen Laboratoriums der Universität Freiburg i. Br. Mit 113 Abbildungen. XV, 540 Seiten. 1932.

RM 49.60; geb. RM 52.—

**Celluloseesterlacke.**

Die Rohstoffe, ihre Eigenschaften und lacktechnischen Aufgaben; Prinzipien des Lackaufbaues und Beispiele für die Zusammensetzung; technische Hilfsmittel der Fabrikation. Von Dr. **Calisto Bianchi**. Deutsche, völlig neubearbeitete Ausgabe von Dr. phil. **Adolf Weihe**. Mit 71 Textabbildungen. XII, 329 Seiten. 1931.

Gebunden RM 22.50 (abzüglich 10% Notnachlaß)

**Das Kieselsäuregel und die Bleicherden.**

Von Dr. **Oscar Kausch**, Oberregierungsrat, Mitglied des Reichspatentamtes. Mit 38 Textabbildungen. IV, 292 Seiten. 1927.

Geb. RM 29.— (abzüglich 10% Notnachlaß)

**Chemische Technologie der Lösungsmittel.**

Von Dr. phil. **Otto Jordan**, Mannheim. Mit 26 Abbildungen im Text. XIV, 322 Seiten. 1932.

Gebunden RM 26.50

**Elemente der Chemie-Ingenieur-Technik.**

Wissenschaftliche Grundlagen und Arbeitsvorgänge der chemisch-technologischen Apparaturen. Von Professor **Walter L. Badger** und Assistent **Warren L. McCabe**, Michigan. Berechtigte deutsche Übersetzung von Dipl.-Ing. **K. Kutzner**. Mit 304 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. XVI, 489 Seiten. 1932.

Gebunden RM 27.50

**\*Gummifreie Isolierstoffe.** Technisches und Wirtschaftliches. Unter Mitarbeit von Fachgenossen verfaßt von Dr.-Ing. **Arthur Sommerfeld**, Süddeutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. Br. Herausgegeben vom Zentralverband der deutschen elektrotechnischen Industrie E. V., Berlin. Mit zahlreichen Abbildungen. 103 Seiten. 1927. RM 2.80

**\*Die Isolierstoffe der Elektrotechnik.** Vortragsreihe, veranstaltet von dem Elektrotechnischen Verein E. V. und der Technischen Hochschule, Berlin. Herausgegeben im Auftrage des Elektrotechnischen Vereins E. V. von Prof. Dr. **H. Schering**. Mit 197 Abbildungen im Text. IV, 392 Seiten. 1924. Gebunden RM 16.—

**\*Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik.** Herausgegeben von Obergeringenieur **Walter Demuth**, Hermsdorf i. Th., unter Mitarbeit der Obergeringenieure **Hermann Franz** und **Kurt Bergk**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 132 Abbildungen im Text. VIII, 254 Seiten. 1923. Gebunden RM 12.—

**\*Die Eigenschaften elektrotechnischer Isoliermaterialien in graphischen Darstellungen.** Eine Sammlung von Versuchsergebnissen aus Technik und Wissenschaft. Von Dr. **U. Retzow**, Abteilungsleiter der AEG-Fabrik für elektrische Meßinstrumente, Berlin. Mit 330 Abbildungen. VI, 250 Seiten. 1927. Gebunden RM 24.—

**Berl-Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden.** Herausgegeben von Prof. Ing.-Chem. Dr. phil. **Ernst Berl**, Darmstadt. Achte, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage. In 5 Bänden.

**\*Erster Band.** Mit 583 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Tafeln. L, 1260 S. 1931. Gebunden RM 98.—

**Zweiter Band.** 1. Teil: Mit 215 in den Text gedruckten Abbildungen und 3 Tafeln. LX, 878 Seiten. 1932. Gebunden RM 69.—

2. Teil: Mit 86 in den Text gedruckten Abbildungen. IV, 917 Seiten. 1932. Gebunden RM 69.—

Der Kauf des 1. Teiles des zweiten Bandes verpflichtet auch zur Abnahme des 2. Teiles.

**Dritter Band.** Mit 184 in den Text gedruckten Abbildungen. XLVIII, 1380 Seiten. 1932. Gebunden RM 98.—

**Vierter Band.** Mit 263 in den Text gedruckten Abbildungen. XXXIV, 1123 Seiten. 1933. Gebunden RM 84.—

Anfang 1934 erscheint:

**Fünfter Band.** Mit 242 Textabbildungen. Etwa 1600 Seiten. Gebunden etwa RM 120.—

Der Band enthält u. a.: Kautschuk und Kautschukwaren. Von Prof. Dr. **Fritz Frank**, Berlin. — Mechanisch-technologische Prüfung vulkanisierter Gummiwaren. Von Prof. Dipl.-Ing. **K. Memmler**, Direktor am Staatl. Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem. — Zellstoff- und Papierfabrikation. Von Dr. phil. **Carl G. Schwalbe**, Prof. an der Forstlichen Hochschule und Direktor des Holzforschungs-Institutes zu Eberswalde. — Papier. Von Prof. **W. Herzberg**, Berlin-Dahlem. — Prüfung der Gespinnstfasern. Von Prof. Dr.-Ing. **A. Herzog**, Dresden. — Plastische Massen, Filme und Folien. Von Direktor Dr. **A. Fausten** und Dr. **A. Weihe**, Deutsche Celluloidfabrik Eilenburg. — Photographische Schichten. Von Dr. **August Tanzen**, Dessau. — Gelatine und Leim. Von Dr. **August Tanzen**, Dessau. — Untersuchung der Lacke und ihrer Rohstoffe. Von Direktor Dr. **A. Fausten** und Dr. **A. Weihe**, Eilenburg. — Appreturmittel. Von Prof. Dr. **E. Ristenpart**, Chemnitz.

**\*Waeser-Dierbach, Der Betriebs-Chemiker.** Ein Hilfsbuch für die Praxis des chemischen Fabrikbetriebes. Von Chemiker Dr.-Ing. **Bruno Waeser**. Vierte, ergänzte Auflage. Mit 119 Textabbildungen und zahlreichen Tabellen. XI, 340 Seiten. 1929. Gebunden RM 19.50

---

\* Auf die Preise der vor dem 1. Juli 1931 erschienenen Bücher wird ein Notnachlaß von 10% gewährt.