

Tetzner - Heinrich

Die Dampfkessel



Sechste Auflage

Die Dampfkessel

Lehr- und Handbuch für Studierende Technischer Hochschulen
Schüler Höherer Maschinenbauschulen und Techniken
sowie für Ingenieure und Techniker

Von

Professor F. Tetzner †

Sechste, umgearbeitete Auflage

von

O. Heinrich

Oberlehrer an der Beuthschule zu Berlin

Mit 451 Textabbildungen und 20 Tafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1921

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

ISBN 978-3-662-24193-6 ISBN 978-3-662-26306-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-26306-8

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

Copyright 1921 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1921.
Softcover reprint of the hardcover 6th edition 1921

Vorwort zur sechsten Auflage.

Bei der Neubearbeitung des vorliegenden Buches bin ich vornehmlich bemüht gewesen, dasselbe im Sinne seines bisherigen Herausgebers, des im Jahre 1918 verstorbenen Professors F. Tetzner weiterzuführen. Die neue Auflage zeigt daher keine grundsätzlichen Änderungen gegenüber den früheren, wengleich der größte Teil des Buches textlich neugestaltet und eine große Zahl der Tafeln durch Abbildungen im Text ersetzt worden ist. Im besonderen hat der Abschnitt über die Feuerungsanlagen eine nicht unwesentliche Erweiterung erfahren, die es ermöglichen soll, einen Überblick über das gesamte Gebiet der Feuerungseinrichtungen zu geben. Dabei hat sich die Anführung einiger älterer Konstruktionen nicht umgehen lassen, ebensowenig wie das bei der Behandlung der Kesselbauarten möglich gewesen ist. Den Abschnitt über die Kesselhausbekohlungen habe ich soweit eingeschränkt, wie es mir dem Umfang und Zweck des Buches angemessen erschien.

Den wärmetechnischen Rechnungen ist die Dampftabelle nach W. Schüle zugrunde gelegt, die auch an Stelle der Mollierschen zum Abdruck gekommen ist.

Möge meine eingangs ausgesprochene Absicht in dem Maße gelingen sein, daß sich die vorliegende Auflage einer ebenso guten Aufnahme wie die früheren erfreuen kann.

Berlin, Januar 1921.

O. Heinrich.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Zweck einer Kesselanlage	1
Teile einer Kesselanlage	1
A. Der Dampfkessel	1
B. Die Feuerung	2
I. Abschnitt. Der Wasserdampf	3
Allgemeines	3
1. Arten des Wasserdampfes	3
2. Druck und Temperatur des gesättigten Wasserdampfes	4
3. Wärmemenge zur Bildung von Wasserdampf	5
A. Gesamtwärme des trockenen Sattdampfes	5
B. Gesamtwärme des feuchten Sattdampfes	6
C. Gesamtwärme des überhitzten Dampfes	6
D. Rechnungsbeispiele	7
E. Tabelle für gesättigten Wasserdampf	12
II. Abschnitt. Die Brennstoffe und ihre Verbrennung	13
4. Die Brennstoffe	13
A. Feste Brennstoffe	13
a) Das Holz	13
b) Der Torf	13
c) Die Braunkohle	14
d) Die Steinkohle	14
B. Flüssige Brennstoffe	15
C. Gasförmige Brennstoffe	15
5. Die Zusammensetzung der Brennstoffe	16
A. Feste Brennstoffe	16
B. Flüssige Brennstoffe	16
C. Gasförmige Brennstoffe	16
6. Der Verbrennungsvorgang	17
7. Der Heizwert	18
8. Die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge	20
9. Die Verbrennungstemperatur	22
III. Abschnitt. Die Leistung einer Kesselanlage	23
10. Die Größe der Leistung	23
A. Die Leistung der Rostfläche	23
B. Die Leistung der Heizfläche	23

	Seite
11. Die Güte der Leistung	24
A. Die Verdampfungsziffer	24
B. Der Wirkungsgrad	25
12. Der Verdampfungsversuch	27
IV. Abschnitt. Die Feuerungsanlagen der Dampfkessel	28
13. Die Feuerungsarten	28
A. Die Innenfeuerung	28
B. Die Unterfeuerung	28
C. Die Vorfeuerung	29
14. Die Feuerungen für feste Brennstoffe	29
A. Die Rostfläche	29
B. Der Planrost	31
a) Allgemeines	31
b) Einzelteile	34
α) Das Feuergeschränk	32
β) Der Rost	37
γ) Die Feuerbrücke	39
C. Der Schrägrost	40
a) Allgemeines	40
b) Einzelteile	41
c) Tenbrink-Feuerung	43
d) Verwendung des Schrägrostes bei Unterfeuerung	44
D. Der Treppenrost	44
a) Allgemeines	44
b) Einzelteile	45
c) Halbgasfeuerungen	45
d) Treppenroste für Steinkohle	48
15. Besondere Feuerungseinrichtungen für feste Brennstoffe	48
A. Verminderung des Luftüberschusses	48
a) Verminderung der durch die offene Feuertür eindringenden Luftmenge	48
b) Regelung des Zuges	49
c) Regelung der Oberluft	51
d) Besondere Gestaltung der Planroste, um beim Beschicken das Einströmen von Luft zu verhindern	53
B. Auflockerung der Brennschicht bei der Verfeuerung schwer brennender Stoffe	54
a) Allgemeines	54
b) Feuerungen mit Dampfbrausen	55
c) Feuerungen mit Unterwind	55
C. Selbstbedienung der Feuerungen	58
a) Allgemeines	58
b) Selbstbeschickung von Planrosten	59
α) Wurffeuerungen mit Schleuderrad	59
β) Wurffeuerungen mit Schleuderschaukel	60
γ) Unterschubfeuerungen	63
c) Selbsttätiges Bedienen und Abschlacken von Planrosten	64
α) Sparfeuerung Düsseldorf	64
β) Kettenroste	66

	Seite
16. Die Kohlenstaubfeuerungen	73
17. Die Feuerungen für flüssige Brennstoffe	74
A. Allgemeines	74
B. Ölstaubfeuerungen	75
a) Zerstäubung mittels Öldruckes	75
b) Zerstäubung mittels Preßluft	75
c) Zerstäubung durch Dampf	76
d) Inbetriebsetzen der Ölstaubfeuerungen	77
C. Oldampffeuerungen	78
18. Die Feuerungen für gasförmige Brennstoffe	78
A. Allgemeines	78
B. Gasfeuerungen mit besonderem Gaserzeuger	79
C. Verfeuerung der Industriegase	79
a) Gasfeuerungen mit Hilfsfeuer	79
b) Gasfeuerungen mit Brenner	80
D. Flammenlose Oberflächenverbrennung	82
E. Ausnutzung der Abhitze	82
19. Die Heizkanäle	82
20. Die Zugerzeugung	85
A. Natürlicher Zug	85
a) Allgemeines	85
b) Zugstärke	85
c) Schornsteinquerschnitt	85
d) Schornsteinhöhe	86
e) Gemauerte Schornsteine	86
f) Eiserne Schornsteine	87
g) Standsicherheit der Schornsteine	88
h) Statische Berechnung eiserner Schornsteine	88
B. Künstlicher Zug	91
a) Allgemeines	91
b) Druckzug	92
c) Saugzug	93
V. Abschnitt. Die Dampfkessel	95
21. Gemeinsames der Dampfkessel	95
A. Heizfläche	95
B. Wasserraum	96
C. Dampfraum	96
D. Speiseraum	97
E. Gewicht	98
22. Die Kesselbauarten	98
A. Walzenkessel	98
a) Einfacher Walzenkessel	98
b) Batteriekessel	99
B. Flammrohrkessel	101
C. Heizrohrkessel	107
D. Zusammensetzung der Kessel unter A bis C	110
a) Flammrohrkessel mit Heizrohren	110
α) Feuerbuchskessel mit vorgehenden Heizrohren	110
β) Flammrohrkessel mit rückkehrenden Heizrohren	114
b) Stehende Feuerbuchskessel	117
c) Flammrohrkessel mit darüberliegendem Heizrohrkessel	119
d) Doppelflammrohrkessel	122

	Seite
E. Wasserrohrkessel	122
a) Schrägrohrkessel	122
α) Gliederkessel	123
β) Einkammerkessel	124
γ) Zweikammerkessel	126
δ) Hochleistungskammerkessel	134
ϵ) Verbindung von Kammerkesseln mit Walzenkesseln	136
b) Steilrohrkessel	138
α) Steilrohrkessel mit geraden Rohren	138
β) Steilrohrkessel mit gebogenen Rohren	149
γ) Vorteile, Nachteile und Anwendung der Steilrohrkessel	160
23. Die Kesselbaustoffe	161
24. Die Festigkeit der Kessel	164
A. Wandstärken	164
a) Zylindrischer Kesselmantel	164
b) Flammrohre mit äußerem Überdruck	166
c) Ebene Wände	167
α) Durch Rundanker versteifte ebene Wände	167
β) Rechteckige Platten, die am Umfange befestigt sind	168
γ) Durch Blechanker versteifte Böden	169
δ) Gekrempte flache Böden	169
ϵ) Rohrwände von Heizrohrkesseln	169
d) Gewölbte Böden	171
α) Gewölbte Böden mit innerem Überdruck	171
β) Gewölbte Böden mit äußerem Überdruck	172
B. Nietverbindungen	173
a) Überlappungsnietung	175
α) Einreihige Nietung	175
β) Zweireihige Nietung	175
γ) Dreireihige Nietung	176
b) Doppellaschennietung	176
α) Einreihige Nietung	176
β) Zweireihige Nietung	176
γ) Dreireihige Nietung	177
c) Rechnungsgang	178
C. Schweißungen	182
D. Verschraubungen	182
E. Bügel- oder Deckenträger	185
a) bei Landkesseln	185
b) bei Schiffskesseln	187
F. Schlußbemerkung	187
25. Verbindung einzelner Kesselteile	188
A. Boden mit Mantel	188
B. Boden mit Flammrohr	188
C. Dom mit Mantel	189
D. Feuerbuchse mit Mantel	189
26. Die Versteifungen	189
A. Flammrohrversteifungen	189
B. Verankerungen ebener Wände	191
C. Versteifung der Kesselausschnitte	192

	Seite
27. Die Blechabwickelungen	199
28. Walzwerkstabellen	206
A. Schmiedeeiserne Rohre	206
B. Umgezogene Kesselböden	207
a) von Schulz Knaudt & Co.	207
α) Glatte Böden	207
β) Böden für Zweiflammrohrkessel	208
γ) Böden für Einflammrohrkessel	209
δ) Böden für Wellrohrkessel	209
ε) Böden für Dreiflammrohrkessel	210
ζ) Böden für Heizrohrkessel	210
b) von Thyssen & Co.	211
α) Gewölbte Böden für Zweiflammrohrkessel	211
β) Glatte Böden	212
γ) Böden für Einflammrohrkessel	214
δ) Böden für Dreiflammrohrkessel	215
ε) Böden für Heizrohrkessel	216
c) Kropfböden der Phönix A.-G.	216
C. Domböden	217
VI. Abschnitt. Die als Hilfsheizflächen dienenden Vorrichtungen	218
29. Die Überhitzer	218
A. Allgemeines	218
a) Zentralüberhitzer	219
b) Einzelüberhitzer	219
B. Konstruktion und Unterbringung der Überhitzer	219
C. Regelung der Überhitzungstemperatur	227
D. Berechnung der Überhitzer	230
30. Die Vorwärmer	233
A. Abgasvorwärmer	233
a) aus Gußeisen	234
b) aus Schmiedeeisen	236
B. Dampfgeheizte Vorwärmer	237
C. Berechnung der Vorwärmer	239
a) der Abgasvorwärmer	239
b) der Dampfvorwärmer	242
VII. Abschnitt. Aufstellung und Ausrüstung der Kessel	244
31. Die Lagerung der Kessel	244
32. Das Kesselmauerwerk	247
33. Die Kesselausrüstung	250
A. Speiseeinrichtungen	250
a) Speisepumpen	250
b) Kondenswasserrückleiter	253
c) Speiseventil	254
d) Speiseleitung	255
e) Speiseregler	255
f) Speiserufer	260
B. Absperrvorrichtungen	262
C. Entleerungsvorrichtung	265

	Seite
D. Wasserstandsvorrichtungen	268
a) Wasserstandsgläser	268
b) Probiervorrichtungen	274
E. Sicherheitsventil	275
F. Manometer	278
G. Anbringung der Ausrüstung	280
VIII. Abschnitt. Hilfseinrichtungen	285
34. Die Reinigung des Speisewassers	285
A. Mechanische Reinigung	285
B. Chemische Reinigung	287
a) mittels Ätzkalkes	289
b) mittels Soda	289
c) mittels Ätznatrons	290
d) mittels kohlen-sauren Baryts	291
e) mittels Permutits	291
C. Einrichtungen zur chemischen Reinigung des Wassers	292
35. Die Kesselhausbekohlung	297
IX. Abschnitt. Vorschriften über Anlegung und Betrieb von Dampfkesseln	301
36. Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln	301
37. Anweisung betreffend Genehmigung und Untersuchung der Dampfkessel	314
38. Dienstvorschriften für Kesselwärter	315
X. Abschnitt. Beispiele für die Berechnung von Dampfkesseln	317
39. Mehrfacher Walzenkessel	317
40. Einflammrohrkessel	326
41. Zweiflammrohrkessel	333
42. Zweiflammrohrkessel mit Überhitzer	343
43. Zweiflammrohrkessel mit darüberliegendem Heizrohrkessel	347
44. Wasserrohrkessel	357
45. Überhitzer mit besonderer Feuerung	365

Einleitung.

Zweck einer Kesselanlage.

Eine Dampfkesselanlage hat den Zweck, die im Brennstoff aufgespeicherte Wärme zu verwenden, um Wasser in Dampf von höherem als dem atmosphärischen Druck zu verwandeln, der befähigt ist, in geeigneten Vorrichtungen entweder Arbeit zu leisten:

durch seine Spannungsenergie (in Dampfmaschinen, Montejus)

durch seine Strömungsenergie (in Dampfturbinen, Strahlpumpen, Dampfstrahlgebläsen, Dampfsirenen),

oder Wärme abzugeben:

zu Kochzwecken (in offenen Gefäßen, geschlossenen Dampffässern),

zu Heizzwecken (mittelbar zur Erwärmung von Heizwasser, unmittelbar als Heizdampf),

oder zur Bereitung von Wassergas zu dienen (im Generator).

Teile einer Kesselanlage.

A. Der Dampfkessel dient zur Aufnahme des Wassers, das in ihm unter Erzeugung von Überdruck verdampft werden soll. Dazu wird er als allseits geschlossenes Gefäß hergestellt, dessen Wandungen für den verlangten Überdruck genügend fest zu bemessen sind. Um das Kesselinnere zugänglich zu machen, werden an den Kesseln Einfahröffnungen, Mannlöcher, oder falls es die Kesselabmessungen nicht gestatten, Handlöcher angebracht, die dampfdicht verschlossen werden können.

Die Größe eines Kessels wird beurteilt nach seiner Heizfläche. Darunter versteht man den Teil seiner Oberfläche, der außen vom Feuer — direkte Heizfläche — oder von den Heizgasen — indirekte Heizfläche — innen vom Wasser berührt wird.

Der Wasserspiegel teilt das Kesselinnere in den Wasserraum und den Dampfraum. Ihre Größenverhältnisse verschieben sich gegeneinander mit jeder Schwankung in der Höhenlage des Wasserspiegels von dem im Interesse der Betriebssicherheit gesetzlich festgesetzten niedrigsten Wasserstand bis zu dem mit Rücksicht auf die Trockenheit des erzeugten Dampfes erfahrungsgemäß zulässigen höchsten Wasserstande. Die beiden Endlagen des Wasserspiegels begrenzen den sogenannten Speiseraum.

Die Kesselausrüstung besteht aus den Speisepumpen und der „feinen Armatur“, das sind einenteils Sicherheitsvorrichtungen, mit deren Hilfe man die Vorgänge im Kessel dauernd verfolgen kann, anderenteils Absperreinrichtungen in den am Kessel angeschlossenen Leitungen.

Wasserreinigungsanlagen dienen zur Aufbereitung des Speisewassers, das heißt zur Beseitigung der im Rohwasser enthaltenen Fremdstoffe, die den Kessel verunreinigen und dadurch den Kesselbetrieb beeinträchtigen würden.

Vorwärmer sind Vorrichtungen, in denen das Speisewasser vor seinem Eintritt in den Kessel angewärmt wird. Die dazu erforderliche Wärme wird aus dem Abdampf oder den Abgasen entnommen.

Überhitzer sind beheizte Rohrleitungen, in welchen der im Kessel erzeugte Rohdampf getrocknet und ohne Druckzunahme auf eine höhere Temperatur gebracht wird.

B. Die Feuerung dient zur Erzeugung der Wärme aus dem Brennstoff. Möglichst zweckmäßige Zusammenführung des Brennstoffs mit der zu seiner Verbrennung benötigten Luft sind die Grundbedingungen für ihren Aufbau.

Die Zuführung des Brennstoffs, die Bekohlung erfolgt im Großbetriebe durch besondere Einrichtungen, in denen die Kohlen maschinell aus dem Fahrzeug, in welchem sie bis an das Kesselhaus gelangen, bis zu den einzelnen Feuerungen gefördert werden. — Auch bei der Verfeuerung flüssiger Brennstoffe kommen ähnliche Einrichtungen zur Anwendung.

Für die Aschenbeseitigung werden bei größeren Anlagen ebenfalls besondere Vorkehrungen getroffen. Man leitet die entfallende Asche und Schlacke nach außerhalb des Kesselhauses gelegenen Sammelbehältern. Diese sind so aufgestellt, daß sie sich bequem in die zur Abfuhr dienenden Fahrzeuge entleeren lassen.

Das Kesselmauerwerk. Die dem Feuer entströmenden Gase sollen einen möglichst großen Teil ihres Wärmehaltes an den Kesselkörper abgeben. Dazu ist es notwendig, sie auf einem genügend langen Wege an der Kesselwandung entlang zu führen. Das ist aber bei den weitaus meisten Kesselarten nur mit Hilfe von Mauerwerk zu erreichen, das um den Kessel herum aufgebaut wird. Das Kesselmauerwerk dient somit vornehmlich dazu, Heizkanäle, Züge genannt, zu bilden. Es gewährt außerdem den Vorteil, die Wärmeausstrahlung des Kessels zu verringern.

An das Kesselmauerwerk schließt sich der Abgaskanal, der Fuchs, an. Er liegt gewöhnlich unter der Kesselhausflur und leitet die Gase entweder zunächst in ein anderes Mauerwerk, in welchem ein durch die Abgase zu beheizender Vorwärmer eingebaut ist, oder unmittelbar in ein zur Abführung ins Freie dienendes, senkrechtrohr, Schornstein oder Esse genannt. Die Gase sind bei ihrem Eintritt in den Schornstein

noch bedeutend wärmer und somit leichter als die Außenluft. Ihr dadurch vorhandener Auftrieb erzeugt die Zugkraft, welche der Feuerung die Verbrennungsluft zuführt und die Heizgase durch die Zugkanäle bis zum Schornstein fortbewegt. — Der „natürliche“ Schornsteinzug kann ergänzt oder völlig ersetzt werden durch künstlichen Zug, bei dem die Gase mittels verschiedenartiger Gebläseeinrichtungen bewegt werden.

Die Ausrüstung des Mauerwerks, die man als „grobe Armatur“ bezeichnet, ist erforderlich, um dasselbe zu versteifen, die Heizkanäle befahrbar zu machen und um die Zugstärke regeln zu können.

I. Abschnitt.

Der Wasserdampf.

Allgemeines. Dampf ist ein luftförmiger Körper, der durch Wärmezuführung oder Druckverminderung aus einer Flüssigkeit gebildet, sowie umgekehrt durch Wärmeentziehung oder Druckerhöhung flüssig gemacht werden kann.

1. Arten des Wasserdampfes.

Gesättigter Wasserdampf. Ein Gefäß, das oben durch einen Kolben dampfdicht geschlossen wird, sei völlig mit Wasser gefüllt. Führt man nun diesem unter stets gleichbleibendem Druck stehenden Wasser Wärme zu, so beginnt es bei einer bestimmten Temperatur zu sieden, indem es Dampf bildet. Dabei wird der Kolben allmählich hochgeschoben. Die Temperatur des entstandenen Dampfes ist gleich der des unter ihm siedenden Wassers und steigt auch bei fortdauernder Erwärmung nicht an, solange sich noch unverdampftes Wasser im Gefäß befindet. Sie hängt also nicht von der zugeführten Wärmemenge, sondern von dem Druck ab derart, daß jeder Dampfspannung eine bestimmte Temperatur entspricht. Solcher Dampf heißt gesättigter Dampf oder Sattedampf, weil der Raum, den er einnimmt, bei demselben durch Druck und Temperatur gegebenen Zustand keine weiteren Dampfteilchen mehr aufnehmen kann.

Der gesättigte Dampf ist gewöhnlich mit feinen Wassertröpfchen vermischt. Man bezeichnet ihn deshalb als feucht oder n.a.ß. Der Feuchtigkeitsgehalt kann erst durch weitere Erwärmung beseitigt werden, nachdem der gesamte Wasservorrat verdampft wurde. Es entsteht dann trockener gesättigter Wasserdampf.

Überhitzter Wasserdampf. Überschreitet die zugeführte Wärme das Maß, das zum Verdampfen der Dampffuchtigkeit erforderlich ist, so wird aus dem Sattedampf überhitzter Dampf. Von diesem Augenblick ab dient die bei gleichbleibendem Druck weiter hinzutretende Wärme nur dazu, die Dampftemperatur zu erhöhen und sein Volumen zu vergrößern. Bei einem bestimmten Druck kann daher die Temperatur des überhitzten Dampfes recht verschieden sein; sie ist aber immer höher als die von Sattedampf derselben Spannung.

Die Überhitzung des Dampfes bietet sehr wesentliche Vorteile. Erstens kann der überhitzte Dampf sowohl in der Leitung als auch noch im Dampfzylinder Wärme abgeben, ohne zu kondensieren, wodurch wesentliche Dampfverluste vermieden werden. Zweitens hat der überhitzte Dampf ein wesentlich größeres Volumen als der gesättigte Dampf, wodurch auch Dampf erspart wird.

Es kommt häufig vor, daß durch Einführung einer rationell eingerichteten Überhitzung eine Kohlenersparnis von 20% erzielt wird.

Dampf von mäßiger Überhitzung kann in den gewöhnlichen Dampfmaschinen ohne weiteres verwendet werden, für hohe Überhitzung bis zu Temperaturen von 350° sind die Maschinen besonders zu konstruieren.

2. Druck und Temperatur des gesättigten Wasserdampfes.

Die Spannung von Gasen und Dämpfen wird beurteilt nach dem Druck, den sie auf die Wände des sie umschließenden Gefäßes ausüben. Die Größe dieses Druckes gibt man entweder in Millimeter Wassersäule — WS. — Zentimeter Quecksilbersäule — Qus.S. — oder in Atmosphären an.

Unter einer Atmosphäre — at — versteht man in der Technik den Druck von 1 kg auf je 1 qcm der gedrückten Fläche. Dies entspricht dem atmosphärischen Luftdruck bei einem Barometerstande von 1000 : 13,595 = 73,56 cm Quecksilbersäule (bei 0° C.) oder dem Drucke einer Wassersäule von 1000 : 1 = 1000 cm = 10 m Höhe (bei 4° C.). Also:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/qcm} = 73,56 \text{ cm Qus.S.} = 10 \text{ m W.S.}$$

Geht man bei der Berechnung des Druckes vom vollkommenen Vakuum — 0 cm Qus. S. — aus, so heißt er absoluter Druck, rechnet man ihn dagegen vom jeweils herrschenden Luftdruck ab, wie ihn die Manometer anzeigen, so wird er mit Überdruck bezeichnet. Der Unterschied zwischen Überdruck und absolutem Druck wird im praktischen Gebrauch stets mit 1 at in Rechnung gestellt.

Die Temperatur des gesättigten Dampfes ist, wie in 1. erörtert wurde, abhängig von seinem Druck. Über diesen Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur bei gesättigtem Wasserdampf geben die sogenannten Dampftabellen (siehe S. 12) Aufschluß, die auf Grund von Versuchen aufgestellt worden sind.

3. Wärmemenge zur Bildung von Wasserdampf.

A. Gesamtwärme des trockenen Sattdampfes.

In einem Zylinder (Abb. 1) von 1 qm Querschnitt befinde sich 1 kg Wasser von 0°C . Dieses nimmt darin einen Raum von $\sigma = 0,001\text{ m}$ Höhe ein. Auf dem Wasser ruhe ein Kolben, der mit $p\text{ kg}$ belastet ist. Soll nun das Wasser verdampft werden, so ist es zunächst auf die Siedetemperatur t zu bringen, die dem Druck entspricht. Hierzu ist eine Wärmemenge

q , die Flüssigkeitswärme

aufzuwenden, die sich errechnet zu

$$q = c_m \cdot t \text{ WE},$$

wenn man mit c_m die mittlere spezifische Wärme des flüssigen Wassers zwischen 0 und $t^{\circ}\text{C}$. bezeichnet. Für viele praktische Zwecke genügt es, $c_m = 1$ und damit $q = t$ zu setzen. Will man genauer rechnen, so ist der Wert für q der Dampftabelle zu entnehmen.

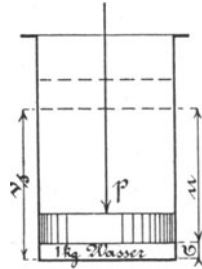


Abb. 1.

Bei weiterer Erwärmung tritt die Dampfbildung ein, ohne daß sich die Temperatur t verändert, bis das Kilogramm Wasser vollständig verdampft ist. Die hierfür aufzuwendende Wärmemenge heißt

r , die Verdampfungswärme.

Sie setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

q , die innere Verdampfungswärme

ist erforderlich, um die zwischen den kleinsten Flüssigkeitsteilchen vorhandenen Anziehungskräfte zu überwinden oder die innere Dampfbildungsarbeit zu leisten.

$A \cdot p \cdot u$, die äußere Verdampfungswärme

leistet die Arbeit der bei der Dampfbildung eintretenden Volumenvergrößerung. Nimmt nämlich der aus dem Kilogramm Wasser entstandene Dampf in dem Zylinder einen $v_s\text{ m}$ hohen Raum ein, dann hat er den auf dem Kolben lastenden Druck p um $u = v_s - \sigma$ gehoben. Dazu war aber eine Arbeit von $p \cdot u\text{ mkg}$ erforderlich. Dieser Arbeit entspricht eine Wärmemenge von $A \cdot p \cdot u\text{ WE}$, worin $A = \frac{1}{1,27}$ das mechanische Wärmeäquivalent oder den Wärmewert der Arbeitseinheit bedeutet.

Die Gesamtwärme λ , die gebraucht wird, um 1 kg Wasser von 0°C . bei unverändertem Druck in trockenen gesättigten Dampf zu verwandeln, ergibt sich also zu

$$\lambda = q + r$$

und, da

$$r = q + A \cdot p \cdot u$$

ist, zu

$$\lambda = q + q + A \cdot p \cdot u.$$

Die gleiche Wärmemenge wird wieder frei, wenn 1 kg solchen Dampfes bei gleichbleibendem Druck zu Wasser von 0° kondensiert.

Die Werte von $\lambda, q, \varrho, A \cdot p \cdot u = A \cdot p \cdot (v_s - \sigma)$, ebenso die vom spezifischen Dampfvolumen v_s und vom spezifischen Gewicht γ_s finden sich, für eine Reihe von Dampfdrücken ausgerechnet, in der auf S. 12 abgedruckten Dampftabelle¹⁾.

B. Gesamtwärme des feuchten Sattdampfes.

Enthält der Dampf eine bestimmte Menge z. B. $w\%$ Feuchtigkeit, so sind zur Erzeugung von 1 kg Dampf $\frac{w}{100} \cdot r$ WE weniger erforderlich gewesen, als wenn er völlig trocken wäre. Die Gesamtwärme solchen Dampfes beträgt daher

$$\lambda_f = \lambda - \frac{w}{100} \cdot r = q + \left(1 - \frac{w}{100}\right)r.$$

Setzt man $1 - \frac{w}{100} = x$, oder nimmt man an, daß 1 kg Dampf x kg Trockendampf und $1 - x$ kg Feuchtigkeit enthält, so ergibt sich für seine Gesamtwärme

$$\lambda_f = q + x \cdot r.$$

C. Gesamtwärme des überhitzten Dampfes.

Nach den Ausführungen in 1. (S. 4) tritt die Überhitzung des Dampfes nur ein, nachdem er völlig trocken ist oder λ WE je kg Dampf aufgewendet worden sind. Um 1 kg Dampf dann auf t' zu überhitzen, sind weitere $c_{p_m} \cdot (t' - t)$ WE nötig. Die Gesamtwärme des überhitzten Dampfes ist daher:

$$\lambda' = \lambda + c_{p_m} \cdot (t' - t).$$

Hierin bedeutet c_{p_m} die mittlere spezifische Wärme des überhitzten Dampfes, bei unverändertem Druck, zwischen den Temperaturen t und t' .

Die frühere Annahme, daß die spezifische Wärme des überhitzten Dampfes unabhängig von Druck und Temperatur, den Wert 0,48 besitze, ist durch die Versuche von Knoblauch und Jakob²⁾ als nicht zutreffend entschieden worden. Die Versuche wurden später von Knoblauch und H. Mollier wiederholt und erweitert und danach die nachstehende Tabelle aufgestellt, aus welcher der Wert für c_{p_m} je nach dem Druck p und dem Temperaturbereich t , bis t' zu entnehmen ist.

¹⁾ Nach Zeitschrift des V. D. I. 1911, S. 1506: W. Schüle, Die Eigenschaften des Wasserdampfes nach den neuesten Versuchen.

²⁾ Forschungs-Arbeiten 35 und 36, 1906.

**Mittlere spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes
(nach W. Schüle).**

$c_{p,m}$

$p = \text{at abs.}$	2	4	6	8	10	12	14
$t = \text{Sätt.-Temp.}$	120	148	158	169	179	187	194
$t' = 150^\circ$	0,496	0,528	—	—	—	—	—
200°	0,488	0,509	0,537	0,565	0,590	0,606	0,618
250°	0,484	0,499	0,519	0,535	0,548	0,555	0,561
300°	0,482	0,495	0,510	0,521	0,530	0,535	0,539
350°	0,483	0,494	0,505	0,514	0,519	0,522	0,525
400°	0,484	0,493	0,503	0,511	0,517	0,522	0,525
450°	0,486	0,494	0,503	0,510	0,518	0,522	0,525
500°	0,489	0,496	0,504	0,510	0,518	0,522	0,525
550°	0,492	0,499	0,505	0,511	0,518	0,522	0,525

D. Rechnungsbeispiele.

1. Beispiel. 5 kg Wasser von 15° C. werden mit 10 kg Wasser von 100° C. gemischt. Wie groß ist die Mischungstemperatur?

Die Flüssigkeitswärme der beiden Wassermengen ist angenähert gleich $5 \cdot 15$ und $10 \cdot 100$ WE. Nach der Mischung hat man, wenn man mit x die Mischungstemperatur bezeichnet, $(5 + 10)$ kg Wasser mit der Flüssigkeitswärme $(5 + 10) \cdot x$. Geht bei der Mischung an Wärme nichts verloren, so ist:

$$5 \cdot 15 + 10 \cdot 100 = (5 + 10) x$$

$$x = \frac{75 + 1000}{15} = \underline{71,67^\circ \text{ C.}}$$

2. Beispiel. Es sind 400 cbm Wasser von 12° C. auf 20° C. zu erwärmen; wozu Dampf von 7,5 at abs. zur Verfügung steht. Wieviel kg Dampf sind hierzu notwendig?

Die Flüssigkeitswärme des Wassers beträgt $400000 \cdot 12$ WE. Die Gesamtwärme des Dampfes beträgt, wenn x kg Dampf von 7,5 at abs. zugeführt werden müssen, $x \cdot \lambda = x \cdot 660,1$ WE. — Bei der Mischung kondensiert der Dampf, und man erhält nach der Mischung $(400000 + x)$ kg Wasser mit $(400000 + x) \cdot 20$ WE Flüssigkeitswärme. Ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste gilt somit die Gleichung:

$$400000 \cdot 12 + x \cdot 660,1 = (400000 + x) \cdot 20,$$

woraus

$$x = \frac{400000 (20 - 12)}{660,1 - 20},$$

$$x = \underline{\sim 5000 \text{ kg Dampf.}}$$

3. Beispiel. 1 kg Dampf von 1 at abs. soll in einem Kondensator durch Mischung mit Wasser von 15° C in Wasser verwandelt werden. Wieviel kg Kühlwasser sind notwendig, wenn die gestattete Kondensatortemperatur 40° C beträgt?

In 1 kg Dampf ist die Gesamtwärme $\lambda = 638,2$ WE enthalten und in x kg Kühlwasser die Flüssigkeitswärme $15 \cdot x$. — Nach der Kondensation hat man $(x + 1)$ kg Wasser mit der Flüssigkeitswärme $(x + 1) \cdot 40$. — Ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste hat man demnach:

$$638,2 \cdot 1 + 15 \cdot x = (1 + x) \cdot 40$$

$$x = \frac{598,2}{25} = \approx \underline{24 \text{ kg.}}$$

In der Praxis rechnet man das 25 bis 30fache des niederzuschlagenden Dampfes als Kühlwassermenge.

4. Beispiel. Einem Kessel werden in einer Stunde 700 kg Wasser von 16° C durch einen Injektor zugeführt. Die Temperatur des Speisewassers wird durch den Injektor auf 50° C erhöht. Wie groß ist der stündliche Dampfverbrauch des Injektors, wenn die Dampfspannung 7 at Überdruck beträgt?

Das Speisewasser enthält angenähert die Flüssigkeitswärme von $700 \cdot 16$ WE. Durch den Injektor werden dem Wasser von 1 kg Dampf von 8 at absolut $\lambda = 660,9$ WE zugeführt, von x kg Dampf mithin $660,9 \cdot x$ WE. — Bei der Mischung kondensiert der Dampf, und man hat nach der Mischung $(700 + x)$ kg Wasser von angenähert $(700 + x) \cdot 50$ WE Flüssigkeitswärme. Ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste besteht somit die Gleichung:

$$700 \cdot 16 + 660,9 \cdot x = (700 + x) \cdot 50,$$

woraus sich der stündliche Dampfverbrauch in kg zu

$$x = \frac{700 \cdot 34}{610,9} = \approx \underline{39 \text{ kg}}$$

ergibt.

5. Beispiel. Ein Dampfkessel enthalte 21 cbm Wasser und 8 cbm Dampf.

- a) Wieviel Wärme wird frei, wenn der Dampfdruck durch plötzliche Dampfentnahme von 10,5 auf 10 at Überdruck sinkt?
- b) Wieviel cbm Dampf würden aus dem Wasserinhalt entstehen, wenn bei 10,5 at Überdruck im Kessel infolge Zerreißen der Kesselwandung ein Drucksturz bis zum Atmosphärendruck eintreten würde?

Zu a) Bei 11,5 at abs. wiegt der Wasserinhalt

$$\frac{21}{\sigma} = \frac{21 \cdot 1000}{1,1337} = \approx 18523 \text{ kg}$$

und der Dampfinhalt

$$8 \cdot \gamma_s = 8 \cdot 5,747 = \approx 46 \text{ kg.}$$

Durch die Entlastung von 11,5 auf 1 at abs. werden aus 1 kg Wasser

$$q_{11,5} - q_{11} = 187,5 - 185,4 = 2,1 \text{ WE}$$

und aus 1 kg Dampf

$$\lambda_{11,5} - \lambda_{11} = 665,8 - 665,2 = 0,6 \text{ WE}$$

frei, daher aus dem gesamten Wasserinhalt:

$$18523 \cdot 2,1 = \approx \underline{38900 \text{ WE}^1)}$$

und aus dem Dampfinhalt

$$46 \cdot 0,6 = \approx \underline{28 \text{ WE}^1)}$$

Zu b): Das Wasser hat bei 11,5 at abs. eine Flüssigkeitswärme von 187,5 und bei 1 at abs. eine solche von 99,1 WE. Mithin werden aus der gesamten Wassermenge durch den plötzlichen Druckausgleich mit der äußeren Luft frei:

$$18523 \cdot (187,5 - 99,1) = 1637433 \text{ WE.}$$

Diese Wärmemenge wird einen Teil des Wassers in Dampf verwandeln. Da die hierzu erforderliche Flüssigkeitswärme q bereits im Wasser enthalten ist, so wäre zur Dampfbildung je kg nur noch die Verdampfungswärme $r = 539,1 \text{ WE}$. nötig. Es werden also in Dampf umgewandelt werden:

$$\frac{1637433}{539,1} = 3037 \text{ kg.}$$

Das heißt, es entstehen

$$3037 \cdot v_s = 3037 \cdot 1,721 = \underline{5227 \text{ cbm Dampf.}}$$

6. Beispiel. Ein geschlossenes Gefäß von 500 l Inhalt sei mit einem 100 l fassenden Kühlmantel versehen. Dieser wird mit Wasser von 10° C .

¹⁾ Hieraus ergibt sich die Bedeutung des Wasserinhaltes eines Kessels als Wärmespeicher und der Nutzen großer Wasserräume. Sinkt nämlich der Druck plötzlich, so wird die Dampfentwicklung durch die aus dem Wasser freiwerdende Wärme ebenso plötzlich gesteigert und zwar wird sie das zum Ausgleich der Druckabnahme notwendige Maß um so eher erreichen, je größer der Wasserraum ist.

vollständig gefüllt, während sich im Gefäß trockener Dampf von 4 at Überdruck befindet. Infolge Wärmeabgabe an das Wasser sinkt nun der Dampfdruck allmählich bis auf 0,5 at abs.

- a) Wieviel kg Dampf haben sich dann kondensiert?
 b) Welche Temperatur hat dann das Kühlwasser?

Zu a): Das spezifische Volumen des Dampfes beträgt bei 5 at abs. 0,3823 cbm/kg und bei 0,5 at abs. 3,290 cbm/kg. Bei dem letztgenannten Druck enthält 1 kg Dampf infolge der eingetretenen Kondensation x kg Trockendampf und $1-x$ kg Wasser. Dann wäre, da der Dampfraum unverändert geblieben ist, $0,3823 = x \cdot 3,290$, wenn man von dem Rauminhalt des Kondensats absieht, der gegenüber dem des Dampfes verschwindend klein ist. Daraus ergibt sich:

$$x = \frac{0,3823}{3,290} = 0,116 \text{ kg.}$$

Da in das Gefäß 0,5 cbm oder $0,5 : 0,3823 = 1,308$ kg Dampf eingeschlossen waren, so haben sich also

$$1,308 \cdot (1 - 0,116) = \underline{1,156 \text{ kg Dampf kondensiert.}}$$

Zu b): Da sich die Abkühlung des Dampfes ohne Verringerung seines Rauminhaltes vollzog, so war die Wärmeabgabe lediglich aus der Flüssigkeitswärme und der inneren Verdampfungswärme zu bestreiten. Ihr Wert in Wärmeeinheiten beträgt bei 5 at abs.: $q_1 = 152,0$; $q_1 = 458,5$ und bei 0,5 at abs.: $q_2 = 80,8$; $q_2 = 511,9$. Die von dem Dampfinhalt $D = 1,308$ kg abgegebene Wärmemenge berechnet sich danach zu

$$\begin{aligned} Q &= D \cdot [q_1 + q_1 - (q_2 + x \cdot q_2)] \\ &= 1,308 \cdot (152 + 458,5 - 80,8 - 0,116 \cdot 511,9) = 615,2 \text{ WE.} \end{aligned}$$

Diese Wärmemenge ist gleich der vom Wasserinhalt — 100 kg — bei der Erwärmung von 10° auf t° aufgenommenen.

Daher:

$$615,2 = 100 (t - 10) \quad \text{oder} \quad t = \approx 16^\circ.$$

Das Wasser hat also eine Temperatur von 16° angenommen.

7. Beispiel. In einer Dampfkesselanlage werde das Speisewasser in einem Abdampfvorwärmer von 10° auf 50° , sodann in einem Abgasvorwärmer auf 110° vorgewärmt. Der im Kessel daraus erzeugte Dampf von 12 at Überdruck entströme demselben mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 10%, um im Überhitzer auf 350° überhitzt und dann fortgeleitet zu werden. Welche Anteile der Dampfbildungswärme entfallen auf den

- a) Abdampfvorwärmer,
- b) Abgasvorwärmer,
- c) Kessel,
- d) Überhitzer?

Die zur Erzeugung von 1 kg Dampf in der gesamten Anlage aufgewandte Wärmemenge ergibt sich zu:

$$\lambda' = \lambda - q_0 + c_{p_m}(t' - t).$$

Hierin ist λ die Gesamtwärme des trockenen Sattdampfes bei 13 at abs.: 667,5 WE; q_0 der Wärmehalt des mit 10° in den Abdampfvorwärmer eintretenden Wassers: 10 WE.; c_{p_m} nach der Tabelle auf S. 7 als Mittelwert zwischen 0,522 (für $t = 187$ bei 12 at abs. bis $t' = 350^\circ$) und 0,525 (für $t' = 194$ bei 14 at abs. bis $t' = 350^\circ$) gleich 0,524; $t' = 350^\circ$; t für 13 at abs.: 190,8°. Daher

$$\lambda' = 667,5 - 10 + 0,524(350 - 190,8) = \infty 741 \text{ WE.}$$

Davon werden zugeführt im

- a) Abdampfvorwärmer:

$$Q_1 = q_1 - q_0 = 50 - 10 = 40 \text{ WE od. } \frac{100 \cdot 40}{741} = \infty 5\%$$

- b) Abgasvorwärmer:

$$Q_2 = q_2 - q_1 = 110 - 50 = 60 \text{ WE ,, } \frac{100 \cdot 60}{741} = \infty 8\%$$

- c) Kessel:

$$Q_3 = q - q_2 + x \cdot r = 193,4 - 110 + 0,90 \cdot 474,1 = 510 \text{ WE ,, } \frac{100 \cdot 510}{741} = \infty 69\%$$

- d) Überhitzer:

$$Q_4 = (1 - x) \cdot r^1 + c_{p_m}(t' - t)^2 = 0,10 \cdot 474,1 + 0,524 \cdot (350 - 190,8) = 131 \text{ WE ,, } \frac{100 \cdot 131}{741} = \infty 18\%$$

741 WE od.	100 % von λ'
------------	-------------------------

¹⁾ Wärmemenge für die Dampftrocknung.

²⁾ Wärmemenge für die Überhitzung.

E. Tabelle für gesättigten Wasserdampf nach W. Schüle.

Druck p kg/qcm abs.	Temperatur t °C	Spezifisches Volumen der Flüssigkeit 1000 v ltr/kg	Spezifisches Volumen des Dampfes v_g cbm/kg	Spezifisches Gewicht des Dampfes γ_g kg/cbm	Flüssigkeits- wärme q Cal/kg	Verdampfungs- wärme r Cal/kg	Gesamt- wärme $q + r = \lambda$ Cal/kg	Äußere Verdampfungs- wärme Δp ($v_g - v$) Cal/kg	Innere Verdampfungs- wärme e Cal/kg
0,02	17,2	1,0013	68,28	0,01465	17,2	586,0	603,2	32,0	554,0
0,04	28,6	1,0040	35,47	0,02819	28,6	580,0	608,6	33,2	546,8
0,06	35,8	1,0063	24,19	0,04134	35,7	576,2	611,9	34,0	542,2
0,08	41,5	1,0083	18,45	0,05420	41,1	573,4	614,5	34,7	538,7
0,10	45,4	1,0100	15,08	0,06631	45,3	571,4	616,7	35,3	536,1
0,15	53,6	1,0131	10,22	0,09785	53,5	566,6	620,1	36,1	530,5
0,20	59,7	1,0165	7,80	0,1282	59,6	563,1	622,7	36,6	526,5
0,25	64,6	1,0195	6,33	0,1580	64,5	560,1	624,6	37,0	523,1
0,30	68,7	1,0219	5,33	0,1876	68,6	557,9	626,5	37,5	520,4
0,35	72,3	1,0241	4,620	0,2164	72,2	555,7	627,9	37,8	517,9
0,40	75,4	1,0260	4,062	0,2462	75,3	553,9	629,2	38,1	515,8
0,45	78,2	1,0278	3,630	0,2755	78,1	552,2	630,3	38,3	513,9
0,50	80,9	1,0296	3,290	0,3039	80,8	550,4	631,2	38,5	511,9
0,60	85,4 ₅	1,0327	2,775	0,3603	85,4	547,2	632,6	39,0	508,2
0,70	89,4	1,0355	2,400	0,4167	89,4	544,6	634,0	39,3	505,3
0,80	93,0	1,0381	2,115	0,4728	93,0	542,5	635,4	39,6	502,9
0,90	96,2	1,0405	1,900	0,5263	96,2	540,6	636,8	40,0	500,6
1,00	99,1	1,0426	1,721	0,5811	99,1	539,1	638,2	40,3	499,0
1,20	104,2 ₅	1,0467	1,451	0,6892	104,3	536,5	640,8	40,7	495,8
1,40	108,7	1,0503	1,258	0,7949	108,8	533,8	642,6	41,2	492,6
1,60	112,7	1,0535	1,108	0,9025	112,8	531,0	643,9	41,6	489,4
1,80	116,3	1,0563	0,993	1,007	116,5	528,3	644,8	41,9	486,4
2,00	119,6	1,0589	0,902	1,109	119,9	525,7	645,6	42,2	483,5
2,50	126,8	1,0650	0,735	1,361	127,2	520,3	647,5	42,9	477,4
3,00	132,9	1,0705	0,619	1,615	133,4	516,1	649,5	43,4	472,7
3,50	138,2	1,0755	0,5335	1,874	138,7	512,3	651,0	43,7	468,6
4,00	142,9	1,0803	0,4710	2,123	143,8	508,7	652,5	44,1	464,6
4,50	147,2	1,0848	0,4220	2,370	148,1	505,8	653,9	44,4	461,6
5,00	151,1	1,0890	0,3823	2,616	152,0	503,2	655,2	44,7	458,5
5,50	154,7	1,0933	0,3494	2,862	155,7	500,6	656,3	44,9	455,7
6,00	158,1	1,0973	0,3218	3,107	159,3	498,0	657,3	45,1	452,9
6,50	161,2	1,1011	0,2983	3,352	162,4	495,9	658,3	45,3	450,6
7,00	164,2	1,1049	0,2778	3,600	165,5	493,8	659,3	45,5	448,3
7,50	167,0	1,1085	0,2608	3,834	168,5	491,6	660,1	45,7	445,9
8,00	169,6	1,1119	0,2450	4,082	171,2	489,7	660,9	45,8	443,9
8,50	172,2	1,1153	0,2318	4,314	173,9	487,8	662,7	45,9	441,9
9,00	174,6	1,1186	0,2194	4,557	176,4	486,1	661,5	46,0	440,1
9,50	176,9	1,1208	0,2080	4,808	178,6	484,5	663,2	46,1	438,4
10,00	179,1	1,1246	0,1980	5,050	181,2	482,6	663,8	46,2	436,4
10,50	181,2	1,1278	0,1896	5,274	183,3	481,2	664,5	46,4	434,8
11,00	183,2	1,1308	0,1815	5,510	185,4	479,8	665,2	46,5	433,3
11,50	185,2	1,1337	0,1740	5,747	187,5	478,3	665,8	46,6	431,7
12,00	187,1	1,1364	0,1668	5,995	189,5	476,9	666,4	46,6	430,3
12,50	189,0	1,1382	0,1607	6,223	191,6	475,5	667,1	46,7	428,8
13,00	190,8	1,1419	0,1544	6,477	193,4	474,1	667,5	46,8	427,3
13,50	192,5	1,1447	0,1492	6,702	195,2	472,8	668,0	46,9	425,9
14,00	194,2	1,1474	0,1442	6,935	197,0	471,4	668,4	47,0	424,4
14,50	195,8	1,1500	0,1395	7,169	198,7	470,1	668,8	47,1	423,0
15,00	197,4	1,1525	0,1350	7,407	200,4	468,9	669,3	47,2	421,7
16,00	200,5	1,156	0,1272	7,862	203,7	466,6	670,3	47,3	419,3
17,00	203,4	1,163	0,1203	8,312	206,8	464,1	670,9	47,5	416,6
18,00	206,2	1,167	0,1140	8,772	209,8	461,8	671,6	47,6	414,2
19,00	208,9	1,171	0,1086	9,208	212,7	459,5	672,2	47,8	411,7
20,00	211,4 ₅	1,176	0,1035	9,662	215,4	457,4	672,8	47,8	409,6
21,00	213,9	1,180	0,0985	10,15	218,0	455,3	673,3	47,8	407,5
22,00	216,3	1,184	0,0942	10,62	220,6	453,3	673,9	47,9	405,4
23,00	218,6	1,189	0,0901	11,10	223,1	451,4	674,5	47,9	403,5
24,00	220,8	1,193	0,0864	11,57	225,5	449,5	675,0	47,9	401,6
25,00	223,0	1,197	0,0829	12,06	227,9	447,7	675,6	47,9	399,8

II. Abschnitt.

Die Brennstoffe und ihre Verbrennung.

4. Die Brennstoffe.

A. Feste Brennstoffe.

Die festen Brennstoffe sind sämtlich pflanzlichen Ursprungs und zwar, mit alleiniger Ausnahme des Holzes, durch Vermoderung von Pflanzen entstanden. Diese Vermoderung oder Mineralisierung der Pflanzen stellt eine allmähliche Zerlegung chemischer Verbindungen dar, die in ihrem Aufbau der Zellulose, $C_6H_{10}O_5$, Hauptbestandteil der Holzfaser, ähneln. Es schieden sich dabei das chemisch gebundene Wasser und verschiedenartige Kohlenwasserstoffe aus — letztere zum Teil flüchtig, z. B. als Sumpfgas, Grubengas o. ä. — so daß die Ergebnisse der Vermoderung: Torf, Braunkohle, Steinkohle, je älter um so reicher an *C* und um so ärmer an *H* und *O* wurden. Durch den Harzgehalt der Hölzer, durch ölige Früchte und tierische Fette gelangten Stoffe in die Kohlen hinein, die man als Bitumen — Erdharz — bezeichnet. Die unverbrennlichen Rückstände der festen Brennstoffe stammen teils aus den anorganischen Verbindungen her, welche die Pflanze zu ihrem Aufbau dem Erdboden entnimmt — Kalium-, Natrium-, Kalk-, Magnesiumsalze — teils aus Mineralien, welche bei der Vermoderung aus den angrenzenden Erdschichten hineingelangten. Finden diese unverbrennlichen Bestandteile in einem Feuer nicht die Temperatur, welche ihrem Schmelzpunkt entspricht, so bleiben sie als lose Asche zurück, im gegenteiligen Falle bilden sie eine mehr oder weniger flüssige Schlacke.

a) **Das Holz** findet nur noch vereinzelt als Brennstoff für industrielle Zwecke Verwendung, in der Dampfkesselfeuerung fast nur in Form von Abfällen aus der Holzbearbeitung.

Es gibt eine lose, sehr leichte Asche.

b) **Der Torf** ist entstanden durch nasse Vermoderung von Sumpfpflanzen (Niederungsmoore) oder von Torfmoosen (Hochmoore). Seine Bedeutung als Brennstoff ist eine örtliche, da er nur mäßigen Heizwert besitzt und nicht unbedeutende Aufbereitungskosten erfordert, wenn er für längeren Transport geeignet sein soll.

Man unterscheidet nach dem Fortschritt der Vermoderung: Jungen Torf als Faser-, Wurzel- oder Rasentorf (gelblich-braun, verfilzte Pflanzenreste) und alten Torf als Speck- und Pechtorf (dunkelbraun bis schwarz, amorphes Gefüge); nach der Gewinnung: Stichtorf und Baggertorf; nach der Aufbereitung: luftgetrocknenen Torf, Backtorf und Preßtorf.

Der Aschengehalt ist sehr verschieden, im allgemeinen ist Torf mit mehr als 20% Asche für Brennzwecke ungeeignet. Ein Teil der Asche gibt eine leicht zusammenfrittende Schlacke.

c) **Die Braunkohle** ist ebenfalls aus nasser Vermoderung hervorgegangen, aber älter als der Torf. Man unterscheidet: Junge Braunkohle oder Lignit (gelbbraun, deutliches Holzgefüge), erdige Braunkohle (dunkler, etwa 20% Stücke, das übrige erdig) und Pechkohle (schwarzbraun, fest mit muschligem Bruch). Die außerdem noch vorkommende, sehr bitumenreiche Schwelkohle kommt für Brennzwecke nicht in Betracht.

Als Rückstand bleibt gewöhnlich nur lose Asche, herrschen jedoch dauernd hohe Temperaturen im Feuerraum, z. B. bei Kettenrosten, so bildet sich zähflüssige Schlacke.

Das Braunkohlenbrikett, durch Zusammenpressen erdiger Braunkohle von bestimmtem Bitumengehalt gewonnen, ist ein wegen seines geringen Wassergehaltes, seiner Festigkeit und seiner Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit technisch wertvoller Brennstoff.

d) **Die Steinkohle** stellt das älteste Erzeugnis der Vermoderung dar. Sie ist im allgemeinen bei hohem Erddruck und zum Teil bei hohen Temperaturen entstanden. Ihre Farbe ist meist glänzend schwarz, seltener matt schwarzgrau. Bemerkenswert ist der Schwefelgehalt in den Steinkohlen, der im allgemeinen höher ist als bei Torf und Braunkohle. Ihres hohen Kohlenstoffgehaltes wegen ist die Steinkohle der verbreitetste Brennstoff geworden.

Man unterscheidet:

nach dem Verhalten der Kohle beim Erhitzen unter Luftabschluß:

Sandkohle, die eine pulverige Masse,

Sinterkohle, die einen aus den einzelnen Stücken zusammengefritteten Kuchen ergibt und

Backkohle, die zusammenschmilzt und sich dabei aufbläht;

nach der beim Verbrennen auftretenden Flamme:

kurz-, mittel- und langflammige Kohle. — Die Länge der Flamme hängt von der Menge der flüchtigen Bestandteile ab;

nach dem geologischen Alter, zugleich nach dem Gehalt an vergasbaren Bestandteilen:

Junge Sandkohle oder trockene Kohle, mit 50 ÷ 45% Flüchtigem,

junge Sinterkohle oder Flammkohle mit 45 ÷ 40% Flüchtigem, beide sehr langflammig und stark rauchend,

junge Backkohle oder Gaskohle mit 40 ÷ 33% Flüchtigem; sie ist zwar weniger gasreich als die vorigen, liefert aber großstückigen Koks,

alte Backkohle oder Eßkohle, mit $33 \div 15\%$ Flüchtigem, hauptsächlich als Schmiedekohle oder zur Erzeugung von Koks verwendet,

alte Sinterkohle oder Magerkohle mit $15 \div 10\%$ Flüchtigem, eignet sich, da schwach rauchend, ganz besonders als Kesselkohle, alte Sandkohle oder Anthrazitkohle mit $10 \div 5\%$ Flüchtigem, kurzflämmig und wenig rauchend, besonders für Schachtfeuerungen geeignet;

nach der Aufbereitung:

Förderkohle; gewaschene, d. i. von Beimengungen befreite Kohle; Stückkohle; Nußkohle, die nach Korngrößen gesiebt ist; Grußkohle; Staubkohle und Kohlenschlamm, der aus der Wäsche entfällt.

Ein großer Teil des Rückstandes der Steinkohle schmilzt zu Schlacke. Steinkohlenbriketts, aus Kohlenklein unter Zusatz von Pech durch Zusammenpressen gewonnen, zeichnen sich durch wenig Neigung zur Selbstentzündung aus.

Steinkohlenkoks, aus backender oder sinternder Kohle durch Erhitzung bei Luftabschluß hergestellt, enthält fast keine flüchtigen Bestandteile mehr und läßt sich daher fast rauchfrei verbrennen. Ist er großstückig und fest, so kann er, weil gut luftdurchlässig, in höherer Schicht verfeuert werden als die Steinkohle. Er ist jedoch so schwer entzündlich, und brennt so langsam ab, daß er sich für Dampfkesselfeuerungen im allgemeinen wenig eignet.

B. Flüssige Brennstoffe.

Sie entstammen entweder dem Erdöl oder den bei der Trockendestillation fester Brennstoffe flüssig gewonnenen Kohlenwasserstoffen, dem Teer. Für Kesselfeuerungen kommt das Erdöl als Brennstoff teils in der Form von Rohöl, teils von Raffinationsrückständen in Frage, der Transportkosten und Zölle wegen jedoch hauptsächlich nur in den Ländern, in denen es in bedeutenden Mengen gefunden wird. Teer wird für denselben Zweck meistens in der Form von Steinkohlenteerölen benutzt, die als Rückstände bei der Verarbeitung des Teeres gewonnen werden.

C. Gasförmige Brennstoffe.

Sie werden hauptsächlich aus den festen Brennstoffen entweder als Hauptprodukt oder als Nebenprodukt künstlich erzeugt. Für Kesselfeuerungen werden verwandt: die Abgase aus den Hochöfen, das Gichtgas; die aus den Koksöfen, das Koksogas und das durch Vergasung fester Brennstoffe in besonderen Schachtöfen — Generatoren — erzeugte Generatorgas.

5. Die Zusammensetzung der Brennstoffe.

A. Feste Brennstoffe.

In den festen Brennstoffen ist stets ein Gehalt an Feuchtigkeit vorhanden. Dieser läßt sich zum Teil durch mehrtägiges Trocknen an der Luft entfernen: grobe Feuchtigkeit —, während der übrige Teil: das hygroskopische Wasser — nur durch mehrstündige Trocknung bei etwas über 100° beseitigt werden kann. Man behält dann die Trockensubstanz der Kohle übrig, auf welche gewöhnlich die Angaben über die elementare Zusammensetzung der Kohle bezogen werden.

Mittlere Zusammensetzung in Gewichtsprozenten.

Brennstoff	Gehalt der Trockensubstanz an						Gesamter Feuchtigkeitsgehalt
	C	H	S	O	N	Asche	
Holz.	49	6	—	43	1	1	16
Torf.	49	5	1	28	2	15	20
Braunkohle (erdig)	60	5	2	20	1	12	50
„ (gute Stückkohle)	73	5	1	16	—	5	20
Braunkohlenbrikett	63	5	1	20	1	10	15
Steinkohle (Schlesische und Saarkohle)	76	4	1	10	1	8	6
„ (Ruhrkohle)	80	4	1	7	1	7	3
Steinkohlenkoks	86	1	1	2	1	9	3
Anthrazit (deutsch)	84	2	2	4	—	8	2
„ (guter englischer)	93	3	1	2	—	1	2

B. Flüssige Brennstoffe.

Mittlere Zusammensetzung in Gewichtsprozenten.

Brennstoff	Gehalt an				
	C	H	S	O	N
Erdöl roh	84	12	—	4	—
Erdöl Rückstände	86	13	—	1	—
Steinkohlenteer	90	6	—	4	—
Teeröl	90	7	—	3	—

C. Gasförmige Brennstoffe.

Mittlere Zusammensetzung in Raumprozenten.

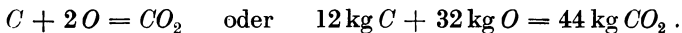
Brennstoff	H	CH ₄	C _n H _{1+n} und C _n H _n		CO	CO ₂	O	N
Gichtgas	3	—	—	25	12	—	60	
Koksofengas	51	28	3	6	1	—	11	
Generatorluftgas	6	1	—	28	2	—	63	
Generatormischgas	14	2	—	25	5	—	54	

6. Der Verbrennungsvorgang.

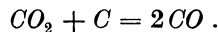
Als Verbrennung bezeichnet man den Vorgang, bei dem sich ein Körper unter Lichterscheinung und Wärmeentwicklung mit Sauerstoff chemisch verbindet. Dieser Vorgang kann nur eintreten, wenn der brennbare Stoff mindestens bis auf eine ihm eigentümliche Temperatur, seine **Entzündungstemperatur**, vorgewärmt worden ist und dann nur an den Stellen, wo der Brennstoff mit dem Sauerstoff oder der atmosphärischen Luft, aus welcher er gewöhnlich entnommen wird, in Berührung steht. Feste stückige Brennstoffe brennen daher stets nur an der Oberfläche.

Als brennbare elementare Bestandteile der Brennstoffe kommen in Betracht hauptsächlich Kohlenstoff und Wasserstoff, außerdem noch Schwefel.

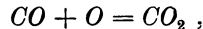
Der **Kohlenstoff** verbrennt zu Kohlensäure nach:



Wo die entstandene Kohlensäure im Feuer mit glühender Kohle in Berührung kommt, wird sie zu Kohlenoxyd reduziert nach:

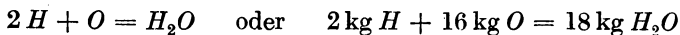


Das Kohlenoxyd aber wird wiederum zu Kohlensäure verbrennen, nach



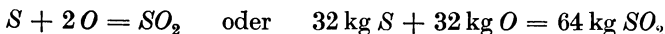
falls es seine Entzündungstemperatur — etwa 300° — und genügend Sauerstoff vorfindet. Da dies gewöhnlich nicht an allen Stellen des Feuer-raumes der Fall ist, so ist in den Abgasen der Feuerungen häufig ein, wenn auch geringer Gehalt an CO vorhanden.

Der **Wasserstoff** verbrennt nach:



zu Wasser.

Der **Schwefel** nach



zu schwefliger Säure.

Besondere Schwierigkeiten bietet die Verbrennung der in den Brennstoffen enthaltenen Verbindungen von C und H , namentlich bei der Verfeuerung fester Brennstoffe. Diese sehr verschiedenartigen Kohlenwasserstoffe scheiden sich aus den frisch aufgeworfenen Kohlen unter der im Feuerraum herrschenden Temperatur aus. Ihre vollkommene Verbrennung zu CO_2 und H_2O ist nur dann zu erreichen, wenn sie ausreichend mit Luft gemischt und vor Abkühlung unter ihre Entzündungstemperatur bewahrt bleiben. Trifft das nicht zu, so zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe zum Teil unter Ausscheidung von Ruß, während sich

die hochsiedenden Anteile zu schwer verbrennlichen Teernebeln verdichten. Diese gehen ebenso wie der ausgeschiedene Ruß zum großen Teil unverbrannt in die Abgase. Rauchverhütende Feuerungseinrichtungen haben demnach dafür zu sorgen, daß im Feuerraum eine möglichst gleichmäßige und hohe Temperatur vorhanden ist, daß ferner die zur Verbrennung benötigte Luft in genügender Menge und in einer für möglichst vollkommene Mischung mit den Kohlendgasen geeigneten Weise zugeführt wird. Um das erreichen zu können, läßt man bei gasreichen Brennstoffen in den Flammenraum vielfach nicht nur Luft gelangen, welche schon die Glutschicht durchzogen und dort einen Teil ihres Sauerstoffes abgegeben hat — Primärluft oder Unterluft — sondern führt dorthin auch unmittelbar Luft zu — Sekundärluft oder Oberluft.

Während die gasförmig ausscheidenden Bestandteile der Kohle unter Flammenentwicklung verbrennen, bildet der fest übrigbleibende Koks das Grundfeuer, die Glut. Die vollkommene Verbrennung des in ihm enthaltenen C zu CO_2 ist weniger schwierig als die der Kohlenwasserstoffe. Natürlich sind dazu ebenfalls hohe Temperaturen im Feuerraum und zweckmäßige Luftzuführung erforderlich.

7. Der Heizwert.

Die bei der vollkommenen Verbrennung von 1 kg Brennstoff — von 1 cbm bei Gasen — erzeugte Wärmemenge heißt der Heizwert oder die Verbrennungswärme des Brennstoffes. Er wird praktisch durch Verbrennen einer Durchschnittsprobe des Brennstoffes im Kalorimeter bestimmt. Angenähert läßt er sich aus der Zusammensetzung des Brennstoffes errechnen. Enthält 1 kg Brennstoff z. B. c kg Kohlenstoff, h kg Wasserstoff, o kg Sauerstoff, s kg Schwefel und w kg Feuchtigkeit, so ergeben die einzelnen brennbaren Bestandteile folgende Wärmemengen: Der Kohlenstoff mit einem Heizwert von rund 8100 WE ergibt

$$8100 \cdot c \text{ WE.}$$

Der Wasserstoff hat einen Heizwert von etwa 29000 WE, wenn das entstandene Wasser dampfförmig entweicht. Er kommt für die Verbrennung nur mit dem Anteil in Betracht, der nicht schon an O gebunden als „chemisch gebundenes Wasser“ im Brennstoff enthalten ist. Nach Abschnitt 6 verbindet sich 1 kg O mit $\frac{1}{8}$ kg H . Demnach sind im vorliegenden Fall schon $\frac{o}{8}$ kg H an O gebunden. Der Wasserstoff ergibt daher

$$29000 \left(h - \frac{o}{8} \right) \text{ WE.}$$

Der Schwefel mit einem Heizwert von rund 2500 WE ergibt

$$2500 \cdot s \text{ WE.}$$

Die im Brennstoff enthaltene Feuchtigkeit wurde bei der Verbrennung verdampft. Die dafür aus dem Heizwert aufgewendete Wärmemenge beträgt etwa 600 WE für 1 kg Feuchtigkeit. Diese Wärmemenge kann auch nicht zurückgewonnen werden, da es praktisch nicht möglich ist, die Abgase durch Wärmeabgabe an die Heizflächen so weit abzukühlen, daß sich der in ihnen enthaltene Wasserdampf wieder verdichtet. Von den bei der Verbrennung erzeugten Wärmemengen ist also abzuführen

$$600 \cdot w \text{ WE.}$$

Daraus folgt für den Heizwert von 1 kg eines festen oder flüssigen Brennstoffes:

$$W \approx 8100 \cdot c + 29000 \left(h - \frac{0}{8} \right) + 2500 \cdot s - 600 \cdot w .$$

In ähnlicher Weise ergibt sich für 1 cbm Brenngas mit einem Gehalt an co cbm Kohlenoxyd, h cbm Wasserstoff, $c h_4$ cbm Methan und kw cbm schweren Kohlenwasserstoffen:

$$W \approx 3050 co + 2600 h + 8580 c h_4 + 14 500 kw.$$

Dieser Wert gilt aber nur bei 0° C und 76 cm Barometerstand. Soll der Heizwert von 1 cbm Brenngas bei t° und b cm Barometerstand errechnet werden, so ist der angegebene Wert von W noch mit $\frac{b}{76} \cdot \frac{273}{273 + t}$ zu multiplizieren.

Der nach vorstehendem gefundene Heizwert wird auch als „unterer Heizwert“ bezeichnet, im Gegensatz zum oberen Heizwert, bezogen auf Abgase, in denen das Wasser in flüssigem Zustande enthalten ist.

Beispiel. Wie groß ist der Heizwert einer Steinkohle, deren Trockensubstanz aus 81,75% C , 5,11% H , 9,09% O , 1,04% S , 0,92% N und 2,09% Asche besteht und deren gesamter Feuchtigkeitsgehalt vor der Trocknung 1,66% betrug.

In 1 kg Rohkohle waren enthalten $w = 0,017$ kg Feuchtigkeit und $1 - 0,017 = 0,983$ kg Trockensubstanz. Von dieser kommen für die Verbrennung in Betracht:

$$c = \frac{81,8}{100} \cdot 0,983 = 0,804 \text{ kg}, \quad h = \frac{5,1}{100} \cdot 0,983 = 0,050 \text{ kg},$$

$$o = \frac{9,1}{100} \cdot 0,983 = 0,089 \text{ kg}, \quad s = \frac{1,0}{100} \cdot 0,983 = 0,010 \text{ kg}.$$

Daher

$$\begin{aligned} W &= 8100 \cdot 0,804 + 29000 \cdot \left(0,05 - \frac{0,089}{8} \right) + 2500 \cdot 0,01 - 600 \cdot 0,017 \\ &= \approx \underline{\underline{7660 \text{ WE.}}} \end{aligned}$$

Mittlere Heizwerte.

Brennstoff	Heizwert für 1 kg	Brennstoff	Heizwert für 1 kg
Holz	2100—3700	Erdöl roh	10 000
Torf	2000—4200	Erdölrückstände	10 000
Braunkohle, deutsche	1900—3000	Steinkohlenteer	8200—8500
„ böhmische	3800—5900	Teeröl	9 000
Braunkohlenbrikett	4400—5200		
Steinkohle, Ruhr	6100—8100		Heizwert für 1 cbm 0°, 76 cm
„ Saar	5000—7800	Koksofengas	4 500
„ schlesische	5200—7500	Gichtgas	800—900
Steinkohlenbrikett	6200—7600	Generatorluftgas	900—1200
Koks	5500—7200	Generatormischgas	1100—1400
Anthrazit	7300—8000		

8. Die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge.

Die in 1 kg Brennstoff enthaltenen brennbaren Bestandteile erfordern zur vollkommenen Verbrennung nach Abschnitt 6 an Sauerstoff:

Der Kohlenstoff: 1 kg C erfordert $\frac{3}{1}\frac{2}{2}$ kg O , also
 c kg C 2,67 · c kg O .

Der Wasserstoff: 1 kg H erfordert $\frac{1}{2}$ kg O , mithin der verfügbare
 Wasserstoff ($h - \frac{o}{8}$) kg H 8 $h - o$ kg O .

Der Schwefel: 1 kg S erfordert 1 kg O , also
 s kg S s kg O .

1 kg Brennstoff bedarf somit theoretisch nicht mehr als:

2,67 · c + 8 $h - o$ + s kg Verbrennungssauerstoff oder, da 1 kg Luft
 0,23 kg O enthält,

$$L_{\min \text{ kg}} = \frac{2,67 \cdot c + 8h - o + s}{0,23} \text{ kg Luft}$$

und da 1 cbm Luft bei 0° C und 76 cm Barometerstand 1,29 kg wiegt:

$$L_{\min \text{ cbm}} = \frac{2,67 \cdot c + 8h - o + s}{0,23 \cdot 1,29} \text{ cbm Luft [0°, 76 cm].}$$

Für 1 cbm Brenngas von der in Abschnitt 7 angegebenen Zusammensetzung ergibt sich

$$L_{\min \text{ cbm}} = \frac{\frac{h + co}{2} + 2ch_4 + 3kw - o}{0,21} \text{ cbm Luft}$$

von demselben Druck und der gleichen Temperatur wie das Brenngas.

Praktisch läßt sich eine möglichst vollkommene Verbrennung nur bei Zuführung eines Vielfachen der theoretisch erforderlichen Luftmenge erzielen. Der dabei vorhandene Luftüberschuß wird ausgedrückt durch

$$m = \frac{L}{L_{\min}},$$

worin L die tatsächlich zugeführte Luftmenge bedeutet.

Ordnungsmäßige Bedienung des Feuers vorausgesetzt, schwankt der Wert für m bei festen Brennstoffen zwischen 1,5 und 2, bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen zwischen 1,15 und 1,4.

Will man den Luftüberschuß, mit dem eine Feuerung arbeitet, bestimmen, so werden die Abgase in einer Absorptionsvorrichtung — Hempel, Orsat — auf ihren Gehalt an Kohlensäure (c_{O_2} Raumprozent) und Sauerstoff ($o\%$) untersucht. Angenähert ist dann

$$m = \frac{21}{21 - 79 \frac{o}{100 - (c_{O_2} + o)}}.$$

Die bei der Verbrennung aus 1 kg festen oder flüssigen Brennstoffes entstandene Gasmenge hat ein Gewicht von

$$G = 1 + m L_{\min} \text{ kg.}$$

Die aus 1 cbm Brenngas entstandene Gasmenge beträgt

$$G = 1 + m L_{\min} \text{ cbm}$$

und zwar bei dem Druck und der Temperatur, mit welchen das Gas in die Feuerung gelangte.

Beispiel. Wieviel cbm Luft von 15° sind bei 73,5 cm Barometerstand theoretisch erforderlich, um 1 kg Steinkohle der im Beispiel zu Abschnitt 7 angegebenen Zusammensetzung vollständig zu verbrennen?

$$L_{\min \text{ kg}} = \frac{2,67 \cdot 0,804 + 8 \cdot 0,05 - 0,089 + 0,01}{0,23} = 10,74 \text{ kg.}$$

Nach der Zustandsgleichung der Gase ist aber:

$$V = \frac{G \cdot R \cdot T}{P},$$

worin V das Volumen in cbm, G das Gewicht in kg, R die Gaskonstante, deren Wert für Luft 29,27 beträgt, T die absolute Temperatur und P den Druck in kg auf 1 qm bedeutet. Folglich ist

$$L_{\min \text{ cbm}} = \frac{10,74 \cdot 29,27 \cdot (273 + 15)}{10 \cdot 10 \cdot 7,35 \cdot 13,59} = \approx 9 \text{ cbm.}$$

9. Die Verbrennungstemperatur.

Die in einem Verbrennungsraum herrschende mittlere Temperatur t_f läßt sich auf Grund nachstehender Überlegung berechnen:

Brennstoff und Luft gelangen mit der Kesselhaustemperatur t_a in den Feuerraum. Die dort aus beiden entstehenden Verbrennungsgase werden durch die Verbrennungswärme — den Heizwert — des Brennstoffs erwärmt. Theoretisch steht also für die Erwärmung von $1 + m L_{\min}$ kg Gas, die aus 1 kg Brennstoff bei m -fachem Luftüberschuß entstanden sind, eine Wärmemenge von W WE zur Verfügung. Praktisch wird jedoch niemals der gesamte Heizwert zur Entfaltung gelangen, sondern nur ein Bruchteil η_1 von W . Von dieser Wärmemenge geht noch ein Teil σ — durch Ausstrahlung an die Kesselwände, welche in der Nähe der Feuerung liegen, und nach außen hin — für die Erwärmung der Verbrennungsgase verloren. Somit kommt dafür nur in Frage:

$$\eta_1 \cdot W - \sigma \cdot \eta_1 \cdot W = \eta_1 \cdot (1 - \sigma) \cdot W.$$

Es wird daher:

$$(1 + m L_{\min}) \cdot c_p (t_f - t_a) = \eta_1 \cdot (1 - \sigma) \cdot W$$

oder

$$t_f = t_a + \frac{\eta_1 \cdot (1 - \sigma) \cdot W}{(1 + m L_{\min}) \cdot c_p}.$$

Hierin bedeutet c_p die spezifische Wärme der Rauchgase, die angenähert gleich der der Luft zu 0,24 gesetzt werden kann. Für σ gilt

bei Innenfeuerung	$\sigma = 25\text{—}30\%$
bei Unterfeuerung	20—25%
bei Vorfeuerung	10—15%.

Beispiel. Welche Verbrennungstemperatur ergibt Steinkohle von der im Beispiel zu Abschnitt 7 angegebenen Zusammensetzung, wenn sie bei 15° Kesselhaustemperatur mit 1,9fachem Luftüberschuß in einer Feuerung verbrannt wird, deren Wirkungsgrad zu 0,92 und deren Abkühlung durch Ausstrahlung zu 20% angenommen wird?

$$t_f = 15 + \frac{0,92 \cdot (1 - 0,2) \cdot 7660}{(1 + 1,9 \cdot 10,74) \cdot 0,24} = \approx 1110^\circ \text{C}.$$

III. Abschnitt.

Die Leistung einer Kesselanlage.

10. Die Größe der Leistung.

A. Die Leistung der Rostfläche. Der Hauptbestandteil aller Feuerungen, in welchen stückiger Brennstoff verfeuert wird, ist der Rost. Man drückt daher die Leistung einer solchen Feuerung durch die vorhandene Rostbelastung aus. Darunter versteht man das Verhältnis der stündlich verfeuerten Brennstoffmenge B kg zur Rostfläche R qm oder die stündlich auf 1 qm Rostfläche verbrannte Kohlenmenge $\frac{B}{R}$. Die Rostbelastung ist bei einer Anlage nach der jeweils verlangten Dampfmenge zu verändern. Ihre obere Grenze hängt ab vom Brennstoff—Stückgröße, Verhalten im Feuer, Rückstände — und von der Zugstärke. Bei den gewöhnlichen Zugstärken von etwa 10 mm Wassersäule beträgt sie im Mittel:

Brennstoff	$\frac{B}{R}$	Brennstoff	$\frac{B}{R}$
Anthrazit	60—70	Braunkohlenbrikett . .	120—180
Koks	70—90	Braunkohle, böhmische .	120—180
Steinkohle gasarm	70—110	„ „ deutsche	170—300
„ gasreich	90—120	Torf	120—200
		Holz	120—180

Bei künstlichem Zuge kann $\frac{B}{R}$ für Steinkohlen bis zu etwa 400 kg je qm und Stunde gesteigert werden.

B. Die Leistung der Heizfläche. Die Leistung der Heizfläche (siehe Abschnitt 21 A) richtet sich nach der Größe des Wärmedurchgangs. Er ist abhängig von den Heizgasen und zwar von ihrer Menge, Temperatur, Zuggeschwindigkeit und mehr oder weniger guten Durchwirbelung, ferner von dem Baustoff und der Reinheit der Kesselwandung und endlich von der Güte des Wasserumlaufs im Kessel. Zur Beurteilung dieser Leistung dient die mittlere Heizflächenbeanspruchung. Das ist das Verhältnis der stündlich erzeugten Dampfmenge D kg zur Größe der Heizfläche H qm oder die stündlich auf 1 qm Heizfläche erzeugte Dampfmenge $\frac{D}{H}$. Die Heizflächenbeanspruchung eines Kessels schwankt je nach den Betriebsverhältnissen. Sie kann wegen der gleichzeitig zunehmenden Nässe des erzeugten Dampfes nicht über ein bestimmtes, von der Kesselbauart abhängiges Maß gesteigert werden.

Mittelwerte für $\frac{D}{H}$.¹⁾

Kesselbauart	Anstrengungsgrad des Betriebes			
	mäßig	normal	flott	gesteigert
Batterieessel	12	17	22 ²⁾	
Ein-, Zwei, Drei-Flammrohrkessel .	15; 16; 22	20; 22; 28	25; 30 ²⁾ ; 35	
Doppelkessel (unten 2 Flammrohre; oben Heizröhren)	12	16	20 ²⁾	
Mac-Nicol-Kessel	16 ²⁾	20 ²⁾	25 ²⁾	
Heizrohrkessel	10	14	20 ²⁾	
Lokomobilkessel	—	14	18	27 ²⁾
Lokomotivkessel	—	—	40	60 ²⁾
Schiffs-(Zylinder-)Kessel	—	—	28	35
Wasserrohrkessel ohne Kammern .	9 ²⁾	12 ²⁾	15 ²⁾	
Kammer-Wasserrohr-Kessel	14 ²⁾	18 ²⁾	26 ²⁾	35 ²⁾
Steilrohrkessel	18 ²⁾	24 ²⁾	30 ²⁾	40 ²⁾
Schiffs-Wasserrohr-Kessel	—	22	36	50 ²⁾
Stehende Kessel	10	14	20 ²⁾	

11. Die Güte der Leistung.

A. Die Verdampfungsziffer. Zur Beurteilung der Leistung eines Brennstoffs in einer Kesselanlage bedient man sich der Verdampfungsziffer d . Sie gibt an, wieviel kg Dampf durch 1 kg Brennstoff erzeugt wird und berechnet sich zu

$$d = \frac{D}{B},$$

wenn D kg die stündliche Dampfmenge und B kg die stündliche Brennstoffmenge bezeichnen. Da jedoch die so gefundene Bruttoverdampfung auf Dampf bezogen ist, der in einer bestimmten Anlage, also bei der dort vorhandenen Vorwärmung und Dampfspannung als gesättigter oder überhitzter Dampf entstand, so eignet sich d nicht, um die Leistungen der Brennstoffe in verschiedenen Anlagen miteinander zu vergleichen. Für diesen Zweck ermittelt man daher, wieviel kg Normaldampf durch 1 kg Brennstoff erzeugt worden wäre. Man nennt diese Zahl die Nettoverdampfung d' . Mit Normaldampf bezeichnet man trockenen Sattedampf ohne Überdruck, der aus Wasser von 0° entstanden ist, also je kg eine Dampfbildungswärme von 638 WE beansprucht. Die stündliche Normaldampfmenge D' wird gefunden aus

$$D' \cdot 638 = D \cdot \lambda_k,$$

¹⁾ Aus Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 3. Aufl., Springer, Ber'in 1920.

²⁾ Mit Überhitzer.

³⁾ Mit Überhitzer und Rauchgasvorwärmer.

worin λ_k die in der Kesselanlage zur Bildung von 1 kg Dampf aufgewendete Wärme bedeutet. Es ergibt sich somit

$$d' = \frac{D'}{B} = \frac{D \cdot \lambda_k}{B \cdot 638} = \frac{d \cdot \lambda_k}{638}.$$

Mittelwerte für d .¹⁾

Brennstoff	Heizwert	d -fache Verdampfung für λ_k		
		600	650	700
Holz (lufttrocken)	3 000	2 ÷ 3,2	1,8 ÷ 3,0	1,7 ÷ 2,8
Torf (lufttrocken)	2 400	1,6 ÷ 2,6	1,5 ÷ 2,4	1,4 ÷ 2,2
Guter Preßtorf	3 800	2,8 ÷ 4,1	2,6 ÷ 3,8	2,4 ÷ 3,5
Braunkohle, erdige	2 400	1,6 ÷ 2,7	1,5 ÷ 2,5	1,4 ÷ 2,3
Braunkohle, böhmische	4 500	3 ÷ 5	2,8 ÷ 4,6	2,5 ÷ 4,2
Braunkohle, böhmische, Brikett	4 800	3,2 ÷ 5,2	3,0 ÷ 4,8	2,7 ÷ 4,5
Steinkohle	6 000	5 ÷ 7	4,6 ÷ 6,4	4,3 ÷ 6
	6 800	5,6 ÷ 7,9	5,2 ÷ 7,3	4,8 ÷ 6,8
	7 300	6,0 ÷ 8,9	5,6 ÷ 8,2	5,2 ÷ 7,7
Steinkohle, Brikett	6 900	5,7 ÷ 8,4	5,3 ÷ 7,7	4,9 ÷ 7,2
Koks	6 300	5,2 ÷ 7,6	4,9 ÷ 7,1	4,5 ÷ 6,6
Anthrazit	7 500	7 ÷ 9	6,4 ÷ 8,7	6,0 ÷ 8,1
Rohöl, Masut, Teeröl	10 000	10 ÷ 15	9,2 ÷ 12,4	8,6 ÷ 11,4
Gichtgas	850f.lcbm	0,85 ÷ 1	0,78 ÷ 0,91	0,73 ÷ 0,85
Koksöfengas	4500f.lcbm	4,5 ÷ 5,3	4,1 ÷ 4,9	3,8 ÷ 4,5

Beispiel. Wie groß ist die Brennstoffleistung, wenn in der im 7. Beispiel des Abschnittes 2 D (S. 10) näher bezeichneten Kesselanlage stündlich 1300 kg Steinkohle verfeuert und 10 000 kg Wasser verdampft wird?

$$\text{Bruttoverdampfung: } d = \frac{10\,000}{1300} = \approx 7,7.$$

$$\text{Nettoverdampfung: } d' = \frac{d \cdot \lambda_k}{638}.$$

Die gesamte Dampfbildungswärme betrug in der Kesselanlage 741 WE für 1 kg Dampf. Davon wurden 40 WE im Abdampfvorwärmer zugeführt. Sie stammen also nicht unmittelbar aus der Verbrennungswärme der Kohle und sind deshalb in Abzug zu bringen. Mithin ist $\lambda_k = 701$ WE zu setzen. Daher

$$d' = \frac{7,7 \cdot 701}{638} = \approx 8,5.$$

B. Der Wirkungsgrad. Wie in Abschnitt 9 erörtert, wird in einer Feuerung niemals die Wärmemenge voll entwickelt, die dem Heizwert

¹⁾ Aus Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 3. Aufl., Springer Berlin 1920.

der verfeuerten Kohlenmenge entspricht, sondern nur ein Teil η_1 davon. Man nennt η_1 den Wirkungsgrad der Feuerung.

Werte für η_1 : 87—95% .

Es geht also mindestens 5% des theoretischen Heizwertes in der Feuerung verloren. Dieser Verlust entsteht:

a) dadurch, daß ein Teil des Brennstoffes unverbrannt in die Herdrückstände gelangt (durchschnittlich 2—3%).

Findet sich bei der Veraschung einer Durchschnittsprobe des fein zerkleinerten Herdrückstandes ein Glühverlust von u Gewichtsprozenten, so ist, wenn A kg die stündliche Menge der Herdrückstände (Asche und Schlacke) bedeutet, der Brennstoffverlust angenähert:

$$V_B = u \frac{A}{B} \cdot \frac{8100}{W} \% \text{ von } W .$$

b) durch unverbrannte Gase — Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe — gewöhnlich 1—2, in Ausnahmefällen bis zu 7%.

c) Durch den Rußgehalt der Abgase (im Mittel 1—2%).

Nun wird von der in der Feuerung erzeugten Wärme nur ein Teil η_2 im Kessel nutzbar gemacht. η_2 heißt der Wirkungsgrad der Heizfläche.

Werte für η_2 : 50—75% (für Kessel ohne Überhitzer und Abgasvorwärmer).

Es gehen also mindestens 25% der durch die Verbrennung entstandenen Wärme für die Dampferzeugung verloren und zwar:

d) Durch den Wärmehalt der Abgase, den sogen. Schornsteinverlust (im Mittel 20%).

Hat man den Gehalt der Abgase an Kohlensäure, co_2 Raumprozent; die Kesselhaustemperatur t_a und die Abgastemperatur t_e bestimmt, dann ist angenähert nach Siegert:

für Steinkohle

$$V_{Sch} = 0,65 \frac{t_e - t_a}{co_2} \% \text{ von } W \quad \text{und}$$

für Braunkohle mittleren Feuchtigkeitsgehaltes

$$= 0,75 \frac{t_e - t_a}{co_2} \% \text{ von } W .$$

e) Durch Leitung und Ausstrahlung (meistens unter 10%).

Der Gesamtwirkungsgrad η der Kesselanlage ist:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 .$$

Im Dauerbetrieb läßt sich bei guter Wartung und Instandhaltung der Kesselanlage ein Gesamtwirkungsgrad von 60 bis 70% erreichen. Eine

Verbesserung desselben bis zu etwa 85% ist möglich durch Ausrüstung des Kessels mit mechanischer Rostbeschickung, Überhitzer und Abgasvorwärmer.

η stellt das Verhältnis der in einer bestimmten Zeit in der Kesselanlage nutzbar gemachten Wärme zu dem Heizwert der in derselben Zeit verfeuerten Kohlenmenge dar, also ist:

$$\eta = \frac{D \cdot \lambda_k}{B \cdot W}.$$

Zwischen dem Wirkungsgrad und der Verdampfungsziffer besteht daher folgender Zusammenhang:

$$\eta = d \cdot \frac{\lambda_k}{W} = d' \cdot \frac{638}{W}.$$

Beispiel. Fortsetzung des Beispiels zum Abschnitt 11 A (S. 25). Wie groß ist der Gesamtwirkungsgrad der Kesselanlage, wenn der Heizwert der verfeuerten Steinkohle $W = 7200$ WE. beträgt?

$$\eta = \frac{d' \cdot 638}{W} = \frac{8,5 \cdot 638}{7200} = \approx 75\%.$$

12. Der Verdampfungsversuch.¹⁾

Die Untersuchung einer Kesselanlage zur Feststellung der Größe und Güte ihrer Leistung wird Verdampfversuch genannt. Die dabei vorzunehmenden Ermittlungen erstrecken sich auf den Brennstoff, die Verbrennungsluft, die Heizgase, das Speisewasser und den erzeugten Dampf. Im allgemeinen begnügt man sich damit, für eine bestimmte Versuchsdauer zu bestimmen:

- vom Brennstoff: Gewicht der verfeuerten Menge und der Rückstände, ferner den Heizwert (kalorimetrisch),
- von der Verbrennungsluft: Temperatur vor ihrem Eintritt in die Feuerung,
- von den Heizgasen: Temperatur im Fuchs und Gehalt an CO_2 und O,
- vom Speisewasser: Menge und seine Temperaturen vor dem Vorwärmer und vor dem Kessel,
- vom Dampf: Dampfspannung, Temperatur hinter dem Überhitzer.

Auf Grund der durchschnittlichen Ergebnisse des Versuches wird dann berechnet: Die Verdampfungsziffer, die Rostbelastung, die Heizflächenbeanspruchung und der Wirkungsgrad der Kesselanlage. Sodann wird eine Wärmebilanz gezogen, in der angegeben wird, welcher Anteil

¹⁾ Vgl. Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen, aufgestellt vom Verein Deutscher Ingenieure und dem Verbands der Dampfkesselüberwachungsvereine.

des Heizwertes nutzbar gemacht wurde: im Abgasvorwärmer, Kessel und Überhitzer, dagegen verlorenging: durch Unverbranntes in den Herdrückständen, als Schornsteinverlust und als Restverlust — das ist der Gesamtverlust durch unverbrannte Gase, Rußgehalt der Abgase und durch Strahlung.

Verdampfversuche werden vorgenommen an neuen oder umgebauten Kesselanlagen zur Nachprüfung der vom Erbauer gegebenen Garantien, an bestehenden Anlagen, um einen Brennstoff zu erproben, sodann in regelmäßiger Wiederkehr, um vielleicht eingetretene Veränderungen feststellen zu können, die den Wirkungsgrad der Anlage ungünstig beeinflussen.

IV. Abschnitt.

Die Feuerungsanlagen der Dampfkessel.

13. Die Feuerungsarten.

Je nach der Lage der Feuerung zum Kesselkörper unterscheidet man: Innenfeuerung, Unterfeuerung, Vorfeuerung.

A. Die Innenfeuerung.

Als Innenfeuerungen bezeichnet man die Feuerungen, welche so eingebaut sind, daß sie von allen Seiten von wassergekühlten Kesselwänden umgeben werden. Das läßt sich ausführen bei Kesseln mit Flammrohren (Tafel IV bis IX), mit Feuerbüchsen (Tafel X u. XII) und mit Tenbrinkvorlagen (Abb. 49, 50). Bei dieser Anordnung geht aus der Feuerung am wenigsten Wärme durch Ausstrahlung nach außen hin verloren, außerdem beansprucht die Feuerung keinen besonderen Platz. Dagegen ist die Temperatur im Feuerraum wegen der großen Wärmeentziehung durch die kalten Kesselwände besonders niedrig; dazu kommt, daß der zur Verfügung stehende Feuerraum bei gasreicheren Kohlen für die Flammenentwicklung oft nicht ausreicht. Ungünstig ist es ferner, daß die Größe der Rostfläche durch die Kesselabmessungen beschränkt wird.

B. Die Unterfeuerung.

Bei der Unterfeuerung, welche am meisten bei den Wasserrohrkesseln (Tafel XIV, XV, XVII) angewandt wird, liegen die untersten Kesselteile im ersten Feuer. Dadurch tritt beim Anfeuern in kürzester Zeit eine gleichmäßige Erwärmung des ganzen Kesselinhaltes ein, was für das Dichthalten der Stellen, an denen die Kesselwandungen zusammen-

gefügt sind, von Vorteil ist. Demgegenüber macht es sich schädlich bemerkbar, daß sich der aus nicht gereinigtem Kesselwasser ausfallende Schlamm und abplatzende Kesselsteinsplitter gerade auf den Kesselblechen ablagern, welche der Einwirkung des Feuers unmittelbar ausgesetzt sind.

C. Die Vorfeuerung.

Die Vorfeuerung liegt gewöhnlich in einem besonderen Mauerwerk vor dem Kessel. So wird sie z. B. bei Flammrohrkesseln (Tafel III) und bei Steilrohrkesseln (Abb. 207, 208) ausgeführt. Vor ausziehbaren Heizrohrkesseln dagegen baut man sie in einen fahrbaren eisernen Kasten ein, um sie bequem von dem Kessel fortnehmen zu können, wenn das Heizrohrbündel herausgezogen werden soll. Ausschlaggebend für die Anwendung von Vorfeuerungen ist gewöhnlich der Umstand, daß sie die Ausführung sehr großer Rostflächen gestatten. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die im Betriebe glühend heißen Mauerwerkswände des Feuerraumes den Verbrennungsvorgang günstig beeinflussen. Als Nachteile sind anzuführen: der hohe Strahlungsverlust und die großen Kosten, welche die Unterhaltung des Feuerungsmauerwerks verursachen. Dasselbe bedingt außerdem einen höheren Brennstoffverbrauch für das Anheizen und höhere Anlagekosten als bei den anderen Feuerungsarten.

Je nach der weiteren Führung der in der Vorfeuerung erzeugten Heizgase unterscheidet man: Vorinnenfeuerung (Taf. III) und Vorunterfeuerung (Taf. XVI). Namentlich die letztgenannte wird vielfach nicht als reine Vorfeuerung ausgeführt, sondern so, daß nur ein Teil der Rostfläche vor dem Kessel, der andere Teil dagegen unter dem Kessel liegt.

14. Die Feuerungen für feste Brennstoffe.

A. Die Rostfläche.

Auf dem Rost ruht der Brennstoff im Feuerraum, während ihm durch Öffnungen in der Rostfläche die zur Unterhaltung des Verbrennungsvorgangs nötige Luft von außen her zuströmt.

Die Größe eines Rostes wird ausgedrückt durch den Inhalt seiner Oberfläche, R qm, welche man als Produkt aus der zwischen Schürplatte und Feuerbrücke (vgl. Abb. 2 und 3) gemessenen Rostlänge und der Rostbreite ermittelt. Man nennt das die totale Rostfläche. Zum Unterschiede hiervon bezeichnet man die Summe aller Luftzuführungsöffnungen in der Rostfläche, R_f qm, als freie Rostfläche.

Die Größe der totalen Rostfläche ergibt sich aus der stündlich zu verfeuernden Brennstoffmenge. Sie wird am zweckmäßigsten auf Grund von Erfahrungswerten, wie folgt, bestimmt: Nachdem man die stündliche

Brennstoffmenge, B kg, nach der geforderten Dampfmenge ermittelt hat (vgl. Tabelle S. 25), wählt man nach der Tabelle für $\frac{B}{R}$ auf S. 23 einen bestimmten Wert für die Rostbelastung und berechnet damit die totale Rostfläche

$$R = \frac{B}{\left(\frac{B}{R}\right)}$$

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die der Kesselbestellung zugrunde liegenden Angaben bezüglich Dampfleistung und Güte des Brennstoffs vielfach schon kurze Zeit nach Inbetriebnahme des Kessels nicht mehr zutreffen werden, und zwar wird gewöhnlich mehr Dampf verlangt und dabei schlechtere Kohle verfeuert werden. In Anbetracht dessen ist der Berechnung von R im allgemeinen nur eine mäßige Rostbelastung (niedrigste Tabellenwerte) zugrunde zu legen. Ausnahmen hiervon sind nur bei Kesseln zu machen, die entweder von Anfang an sehr hoch oder bei solchen, die voraussichtlich auf längere Zeit nur gering beansprucht werden sollen. Bei den ersteren wird die Rostfläche so groß gemacht, wie es überhaupt nach den Kesselabmessungen und mit Rücksicht auf gute und leichte Bedienung möglich ist. Im anderen Falle wählt man für $\frac{B}{R}$ Mittelwerte, da sehr niedrig belastete Rostflächen auf die Dauer nur zu unsachgemäßer und nachlässiger Bedienung des Feuers Anlaß geben.

Ist die Gesamtrostfläche bestimmt, so gilt es, durch geeigneten Aufbau des Rostes die freie Rostfläche so zu gestalten, daß die Luft mit möglichst geringem Widerstande in den Feuerraum eintreten und sich gut mit dem Brennstoff mischen kann. Ersteres bedingt, daß die freie Rostfläche recht groß bemessen wird. Um das zu erreichen, hat man die Luftspalten recht breit und die Zwischenräume zwischen ihnen, die von den Roststäben eingenommen werden, recht dünn zu machen. Dem sind jedoch dadurch Grenzen gesetzt, daß einerseits aus Festigkeitsrücksichten für die Roststäbe eine Mindestdicke erforderlich ist und daß andererseits die Weite der Luftspalten ein bestimmtes Maß nicht überschreiten darf, wenn nicht entweder ein größerer Teil des Brennstoffs unverbrannt zwischen den Stäben hindurchfallen oder eine mangelhafte Mischung der Luft und der Verbrennungsgase eintreten soll.

$$\begin{aligned} \text{Es findet sich: } R_f &= (0,2 \div 0,5) \cdot R \text{ bei Plan- und Schrägrosten} \\ &= (0,6 \div 0,7) \cdot R \text{ bei Treppenrosten} \end{aligned}$$

und für die mittlere Geschwindigkeit der Luft in den Rostspalten

$$\begin{aligned} v &= 0,75 \div 1,5 (2,0) \text{ m bei natürlichem Zug} \\ &= \quad \quad \div 4,0 \text{ m bei künstlichem Zug.} \end{aligned}$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft die freie Rostfläche durchströmt, bietet wohl einen Anhalt zur Beurteilung des vom Zuge zu überwindenden Rostwiderstandes, dagegen empfiehlt es sich nicht, die Rostfläche unter Zugrundelegung eines bestimmten Wertes für v zu berechnen, da die errechnete Größe der freien Rostfläche gewöhnlich nicht einmal bei dem zuerst eingelegten Rost innegehalten wird und sich außerdem der für den Luftdurchtritt zur Verfügung stehende Querschnitt während des Betriebes dauernd ändert. — Allgemeine, nicht nach Brennstoffart und Höhe der Dampfbildungswärme unterschiedene Werte für das Verhältnis von Kesselheizfläche zur Rostfläche haben ebenfalls recht geringe Bedeutung für die Berechnung der Rostfläche.

B. Der Planrost.

a) **Allgemeines.** Seine Oberfläche bildet eine Ebene, die wagrecht oder wenig nach der Feuerbrücke zu geneigt ist, so daß er nur durch Aufwerfen mit Brennstoff beschickt werden kann. Er wird bei Innenfeuerung fast ausschließlich, bei Unterfeuerung sehr häufig und vereinzelt auch bei Vorfeuerung angewandt.

Um sachgemäße Bedienung des Feuers zu ermöglichen, darf der Planrost höchstens 2 m lang gemacht werden, und nicht weniger als 600, nicht mehr als 800 mm über der Kesselhausflur liegen, ferner darf dazu auf eine Feuertür möglichst nicht mehr als 1 m Rostbreite entfallen. Der Feuerraum wird bei Planrosten, wie folgt, bemessen: In Flammrohren legt man die Rostfläche nicht höher als Flammrohrmitte, häufig, bis etwa 100 mm, unter diese. Außerdem neigt man die Rostfläche vielfach nach abwärts, und zwar bis zu 100 mm bei 2 m Rostlänge. Man sucht so eine Vergrößerung des sehr begrenzten Feuerraumes zu erreichen, ohne den Raum unter dem Rost, den Aschenfall, unter das für bequemes Entfernen der Asche notwendige Maß zu verkleinern. Bei Unterfeuerung beträgt die Entfernung des Planrostes von Kesselunterkante gewöhnlich 600 bis 800 mm. Etwa ebenso hoch liegt bei Vorfeuerung der Scheitel des Feuerwölbes über dem Rost.

Für den Verbrennungsvorgang ist es von großem Nachteil, daß die Bedienung des Planrostes nur bei offener Feuertür erfolgen kann. Da er aber einfach im Aufbau ist, sieht gut übersehen läßt und die im ersten Feuer liegenden, daher der Beschädigung am meisten ausgesetzten Kesselteile nicht verdeckt, so befindet er sich für alle möglichen Brennstoffsorten im Gebrauch.

b) **Einzelteile.** Eine Planrostfeuerung setzt sich zusammen aus Feuergeschränk, Rost und Feuerbrücke.

Einzelheiten des Aufbaus sind zu ersehen aus Taf. I und II und den Abb. 4 bis 42.

α) Das Feuergeschränk besteht aus Rahmen, Feuertür, Aschfalltür und Schürplatte. Der Rahmen ist eine Platte, in welcher die Öffnungen für die Feuertür und die Aschfalltür angebracht sind. Er wird

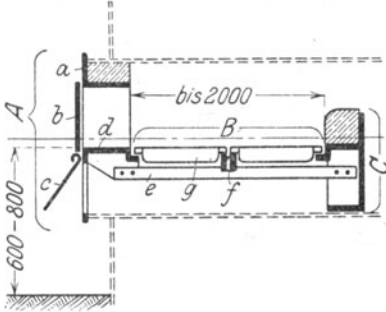


Abb. 2.

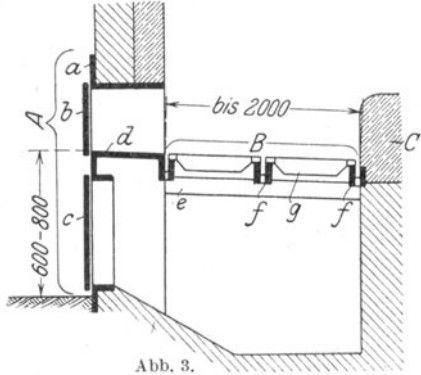


Abb. 3.

Schema der

Planrost-Innenfeuerung.

Planrost-Unterfeuerung und Vorfeuerung.

A Feuergeschränk, B Rost, C Feuerbrücke,

a Rahmen, b Feuertür, c Aschfalltür, d Schürplatte, e Rostbalkenträger, f Rostbalken, g Roststäbe.

gewöhnlich aus Gußeisen, 15 bis 20 mm stark hergestellt. Bei Flammrohrkesseln erhält jedes Flammrohr eine besondere runde Rahmenplatte. Sie wird dort, falls der Kesselstirnboden ausgehalst ist, entweder am Flammrohr durch Schrauben befestigt (Tafel II und Abb. 21 bis 23) oder auf

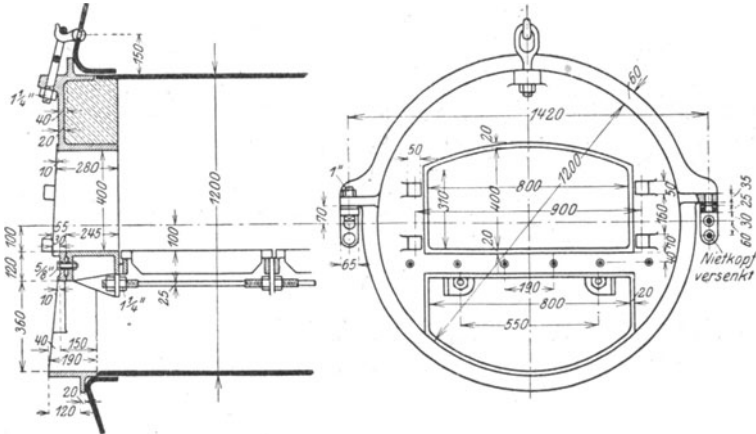


Abb. 4 u. 5.

dasselbe lose aufgehängt (Taf. I). Ist der Boden eingehalst, so hängt man den Rahmen am Kessel auf (Abb. 4 u. 5) oder man baut ihn in das Flammrohr hinein (Abb. 6 bis 8). Bei Feuerbuchskesseln fällt der Rahmen fort, da bei ihnen die Türöffnung unmittelbar im Kesselkörper und ein besonderer Aschkasten unter der Feuerbüchse angebracht wird. — Für

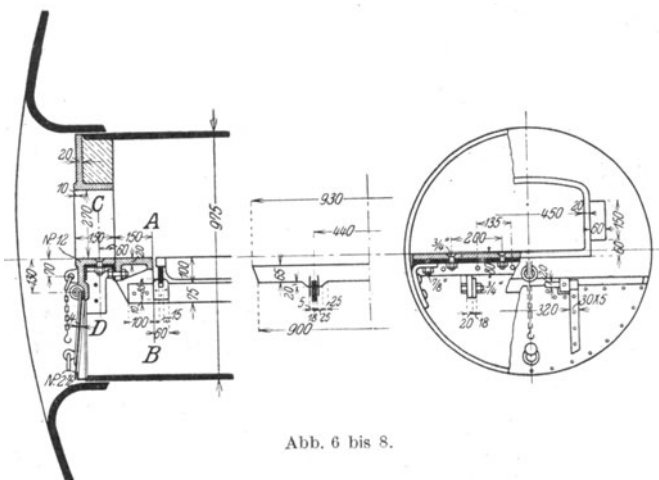


Abb. 6 bis 8.

Unter- und Vorfeuerungen dient als Rahmen eine viereckige Platte, die an der Mauerwerksstirnwand mittels Ankerschrauben befestigt wird.

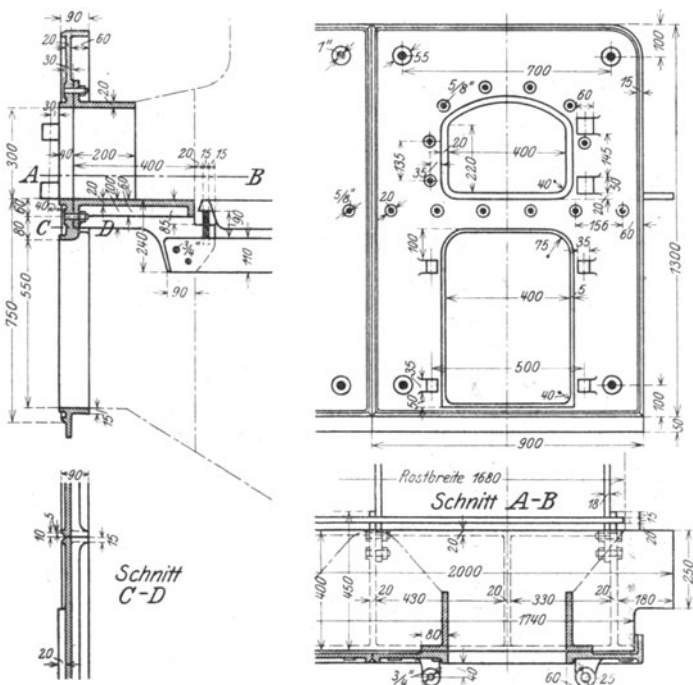


Abb. 9 bis 12.

Liegen dabei mehrere Feuertüren nebeneinander, so setzt man den Rahmen meistens aus mehreren Teilen zusammen, so daß sich in jedem Teil

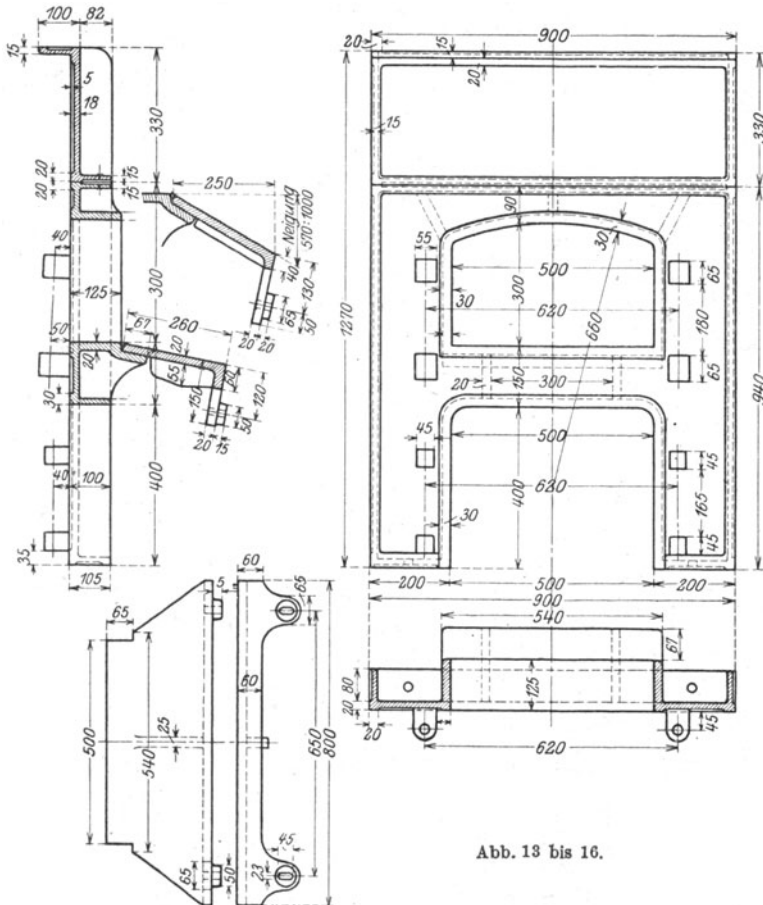


Abb. 13 bis 16.

eine Feuertür und eine Aschfalltür befindet (vgl. Abb. 9 bis 12 und 13 bis 16).

Die Feuertür wird gewöhnlich aus Gußeisen hergestellt und um eine senkrechte Achse drehbar, nach außen aufschlagend angeordnet.

Durch geringes Schrägstellen der Drehachse (vgl. Abb. 9 u. 13) erreicht man, daß die Tür von einer bestimmten Stellung an von selbst zufällt. Die Größe der Türöffnung ist so zu wählen, daß einerseits der Brennstoff bequem aufgeworfen werden kann, andererseits aber durch die geöffnete Feuertür nicht unnötig viel kalte Luft eindringt. Beiden Anforderungen genügen für kleinere Rostbreiten einflügelige Türen von 300 bis 450 mm Breite und 220 bis 350 mm Scheitel-

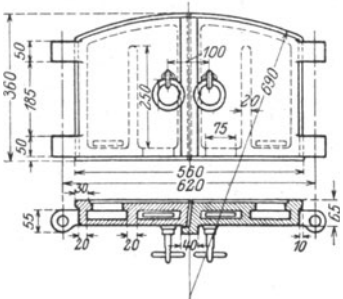


Abb. 17.

höhe (Taf. I), für größere zweiflügelige Türen, 450 bis 600 mm breit bei 350 bis 400 mm Höhe (Abb. 17). Sehr leichte Brennstoffe erfordern besonders große Feuertüren (vgl. Abb. 18 bis 20).

Um die Türen vor der Einwirkung des Feuers zu schützen, macht man sie entweder doppelwandig (vgl. Taf. I und Abb. 17) oder man setzt eine besondere, meistens schmiedeeiserne Schutzplatte dahinter (Taf. II und Abb. 20). Letzteres ist das vorteilhaftere, da die Schutzplatte nötigenfalls leicht ersetzt werden kann. Durch Öffnungen, welche man in den Türen anbringt, kann Oberluft in den Feuerraum eintreten. Diese Luft trägt auch zur Kühlung der Tür bei. Wird die Schutzplatte ebenfalls durchlocht, so gestattet die Öffnung Einblick in den Feuerraum. Um während

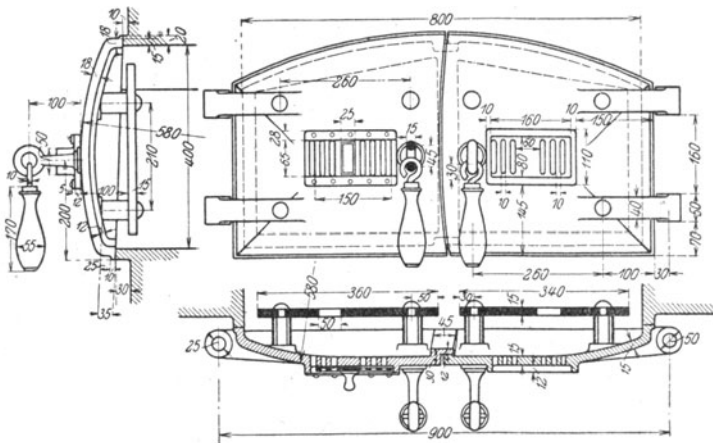


Abb. 18 bis 20.

Betriebspausen, also während der Zeit, wo zugeführte Oberluft nur schädlich wirken würde, das Eintreten derselben durch die Tür verhindern zu können, versieht man die Öffnungen mit Schiebern, die gewöhnlich als Drehschieber (vgl. Taf. II), seltener in der in Abb. 19 dargestellten Form ausgeführt werden. Aus demselben Grunde werden die Anschlagflächen an Tür und Rahmen sauber bearbeitet. — Ist der Platz vor dem Kessel beschränkt, wie z. B. bei Schiffskesseln und Lokomotiven, so wendet man häufig nach innen aufschlagende, um wagerechte Achsen drehbare Türen an. Ihr Hauptvorteil besteht darin, daß man sie nicht besonders zu verriegeln braucht, um den Heizer bei Anwendung von Unterwind vor Verletzungen durch herausgeschleuderte Glut oder bei Kesselschäden durch austretenden Dampf zu schützen.

Bei der in Abb. 21 bis 23 wiedergegebenen Ausführung erleichtern die an beiden Enden der Drehachse angebrachten Gegengewichte die Handhabung der Tür. Sie verhindern außerdem, daß die Tür beim Schließen mit voller Wucht zufällt und dabei die Anschlagleisten beschädigt.

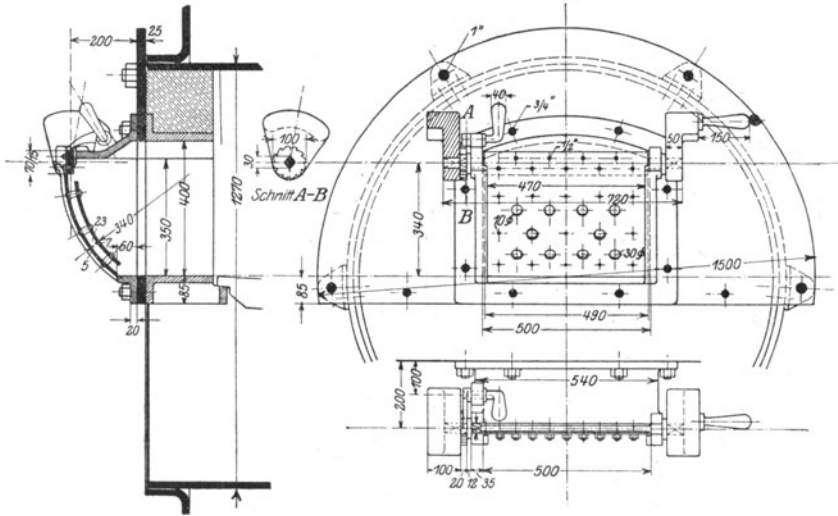


Abb. 21 bis 23.

Die Aschfalltür. Zum Verschließen des Aschfalls werden bei Innenfeuerung meistens Klappen verwendet, die sich um wagerechte Achsen

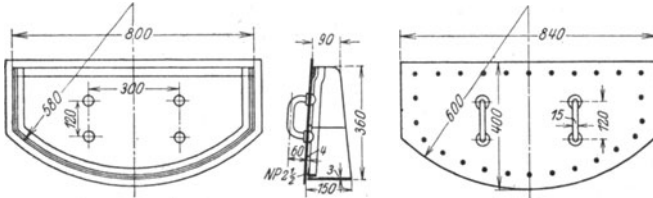


Abb. 24 bis 26. Dämpfkappe zu dem in Abb. 4 u. 5 dargestellten Rahmen.

drehen lassen (Taf. I, II und Abb. 6 u. 8), durch eine geringe Neigung der Anschlagfläche gegen die Senkrechte wird ein gutes Schließen der Klappen bewirkt. Sie werden ferner so eingerichtet, daß man sie in bestimmter

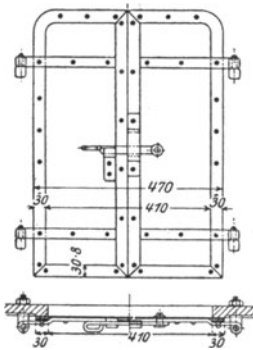


Abb. 27.

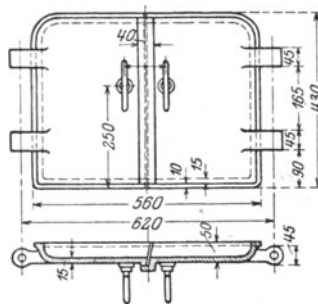


Abb. 28.

Lage feststellen kann. Statt der Aschfalltür benutzt man besonders bei Schiffskesseln sog. Dämpfer. Mittels dieser Dämpfklappen, die nicht mit dem Feuergeschränk verbunden sind, wird der Aschfall während der Betriebspausen zugesetzt. — Abb. 27, 28 und 29 zeigen, wie die Aschfalltüren bei Vor- und Unterfeuerungen ausgeführt werden.

Die Schürplatte schließt sich an den Rahmen auf der Feuerseite als wagerechte, bis etwa 400 mm breite Platte an, die dem Heizer zum Auflegen der Schürwerkzeuge dient. Sie wird aus Gußeisen, etwa 20 mm stark, gefertigt und an den Rahmen angeschraubt. Bei Vor- und Unterfeuerung wird sie außerdem seitlich im

Mauerwerk gelagert (Abb. 9 bis 12). Sie bildet das Auflager für das Mauerwerk, mit welchem der Rahmen auf der Innenseite verkleidet wird. Um diesem Mauerwerk um die Türöffnung herum Halt zu

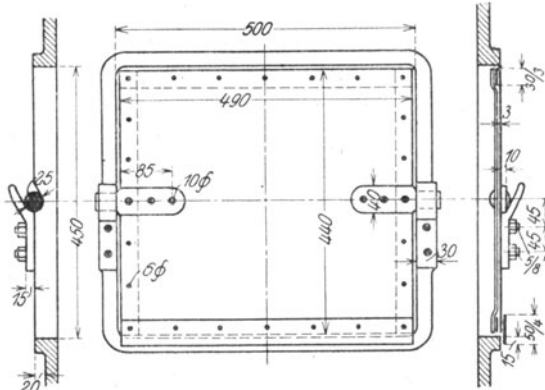


Abb. 29.

geben, wird auf der Schürplatte meistens ein gußeiserner Schutzbogen aufgebaut und mit ihr verschraubt (Taf. I). In der Ausführung auf Taf. II ist dieser Schutzbogen so erweitert, daß er die Mauerwerksverkleidung ersetzt. — An der Schürplatte werden ferner die Rostbalkenträger und eine Leiste zum Auflagern der Roststabsköpfe angebracht.

β) Der Rost besteht aus den Roststäben, Rostbalken und Rostbalkenträgern.

Die Roststäbe. Die Rostfläche wird gewöhnlich aus einzelnen parallel zur Längsrichtung des Rostes eingelegten Stäben zusammengesetzt. Sie tragen den Brennstoff und sind dabei der Einwirkung des Feuers ausgesetzt. Diesen Umständen ist bei der Wahl des Baustoffs und der Abmessungen Rechnung zu tragen. Bestimmend für ihre Form ist ferner die Erfordernis möglichst gleichmäßiger Verteilung der Verbrennungsluft über die Rostfläche. Als Baustoff kommt hauptsächlich Gußeisen, seltener Stahlguß und Schmiedeeisen zur Verwendung.

Für gußeiserne Roststäbe hat sich die in Abb. 30 bis 34 dargestellte Form als zweckmäßigste erwiesen. Die auf der ganzen Länge, mit Ausnahme der Stabsköpfe, gleichbleibende Querschnittshöhe begünstigt die gleichmäßige Erwärmung des Stabes. Die zur Bildung der Luftspalten an den Stabsköpfen erforderlichen Ansätze werden am besten auf beide Seiten verteilt, weil sich bei symmetrischer Stabform das Umlegen der Stäbe und der

Austausch einzelner am einfachsten ausführen läßt. Bei größerer Stablänge, etwa von 500 mm an, wird auch in der Mitte ein Ansatz angebracht.

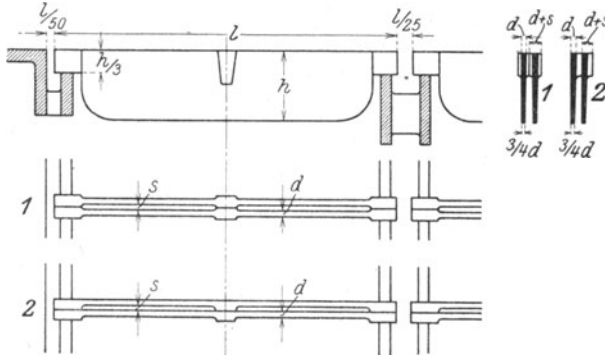


Abb. 30 bis 34.

Die Stärke dieser Ansätze, also die Weite der Luftspalten richtet sich nach dem zu verfeuernden Brennstoff. Einen Anhalt für die Wahl der Roststababmessungen gibt nachstehende Zusammenstellung:

Brennstoff	Feinkörnig	Zerfallend	Mit kleineren Stücken gemischt	Stark schlackend
Obere Roststabdicke d mm	5 ÷ 6	8 ÷ 10	10 ÷ 13	13 ÷ 20 (25)
Spaltweite s mm	3 ÷ 6	5 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 15 (20)

Stablänge: $l \approx 60 d$,
 $1000 > l > 300$,
 $l > 1000$ nur bei Schiffskesseln.

Querschnittshöhe: $h \approx 12 \cdot d$,
 $h \leq 100$ für Flammröhrenfeuerung.

Abb. 35 zeigt einen aus Walzeisen hergestellten Bündelroststab. Man wählt diese Form, um ein Verziehen der dünnen Stäbe möglichst zu verhindern.

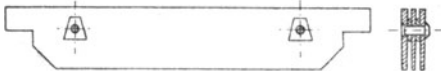


Abb. 35.

In Abb. 36 ist ein wassergekühlter Roststab wiedergegeben; wie solche aus Walzeisen in Längen bis zu 2,5 m von den Deutschen Prometheus-Hohlrostwerken zu Hannover hergestellt werden. Das Kühlwasser gelangt bei diesen Hohlroststäben auf dem angegebenen Wege aus einer gemeinsamen Wasserkammer C nach der darüberliegenden C_1 , erfährt dabei eine Erwärmung bis zu 30° und kann dann als Speisewasser benutzt werden. Da das Innere

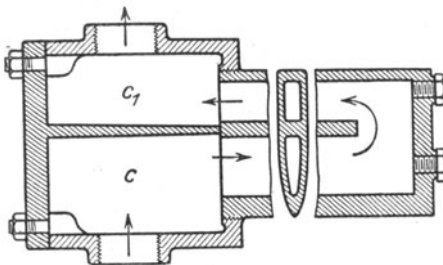


Abb. 36.

der Stäbe und der Wasserkammern zur Reinigung zugänglich ist, jeder einzelne Stab sich frei ausdehnen kann und die Schlacke infolge der Kühlung auf ihnen nicht festbrennt, so besitzen sie große Haltbarkeit.

Sie eignen sich insbesondere für hohe Rostbelastungen und stark schlackende Kohle.

Abb. 37 zeigt eine Planrost-Innenfeuerung mit Prometheus-Hohlrost.

Eine besondere Form ist bei Flammrohr-Innenfeuerungen für die Seitenroststäbe zu wählen. Bei glatten Rohren genügt es, ihnen geringere Querschnittshöhe bei etwas größerer Stabdicke zu geben. Bei Wellrohren wendet man am zweckmäßigsten die in Abb. 38 gezeigte Form an.

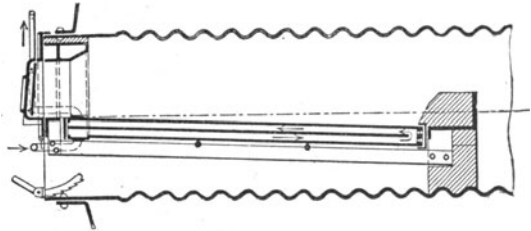


Abb. 37.

Die Rostbalken liegen quer zu den Stäben und dienen ihnen als Auf-

lager. Sie werden aus Gußeisen oder Walzeisen so hergestellt, daß sie eine (Taf. I und Abb. 30) oder zwei (Abb. 39 u. 40) Luftspalten erhalten,

An der Schürplatte und an der Feuerbrücke werden die Stabköpfe auf Leisten gelagert, die an jenen angegossen (Abb. 4), angenietet (Taf. I) oder auch, wie in Abb. 7 u. 9, mit ihnen gar nicht verbunden sind.

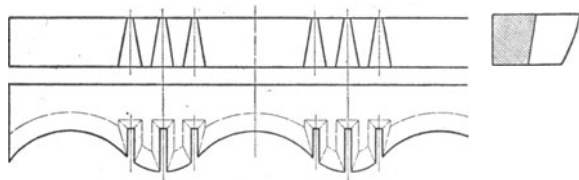


Abb. 38.

Die Rostbalkenträger. Während man früher die Rostbalken bei

Flammrohrinnenfeuerung mit den Enden auf die Flammrohrwandung und bei Unterfeuerung in den Seitenmauern lagerte, legt man sie jetzt allgemein auf besondere schmiedeeiserne Rostbalkenträger, die an der Schürplatte und an der Feuerbrücke befestigt werden (vgl. Taf. I, II und Abb. 4, 6, 9). Man erzielt dadurch eine sicherere Lagerung der Roststäbe und gut ausgerichtete Rostflächen.

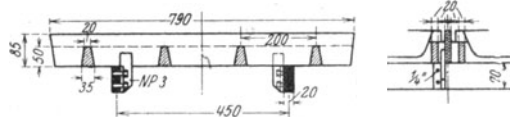


Abb. 39 u. 40.

γ) Die Feuerbrücke

bildet den Abschluß des Rostes. Sie soll verhindern, daß der Brennstoff über das Rostende hinwegfällt. Ferner bewirkt sie, daß die Luft auch den vorderen, nach der Schürplatte zu gelegenen Teil der Rostfläche durchstreicht, während beim Fehlen der Feuerbrücke eine lebhaftere Verbrennung nur auf dem hinteren Teil des Rostes eintritt. Mit Hilfe der Feuerbrücke läßt sich außerdem eine Einschnürung des Zugquerschnittes herstellen, die für die innige Mischung der Feuergase und der Luft vorteilhaft ist.

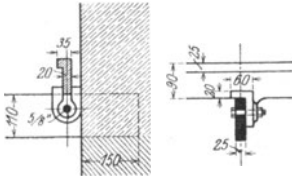


Abb. 41 u. 42.

Bei Flammrohrinnenfeuerung besteht die Feuerbrücke aus einem gußeisernen Gestell (Taf. I), das aus einer senkrechten Wand und einer daran angegossenen wagerechten Platte gebildet wird. Die letztere liegt nach der Schürplatte zu und ist für die Lagerung der hinteren Roststabsköpfe und für die Befestigung der Rostbalkenträger eingerichtet.

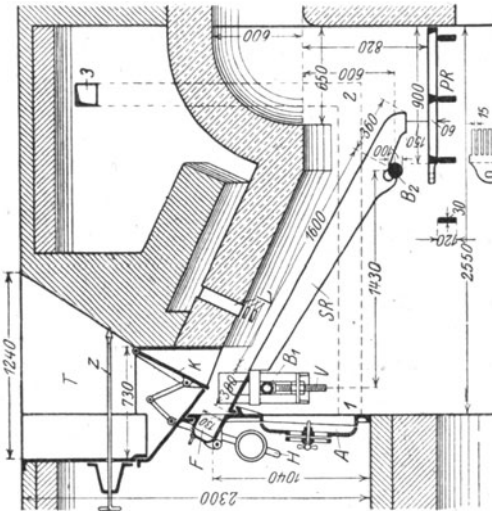
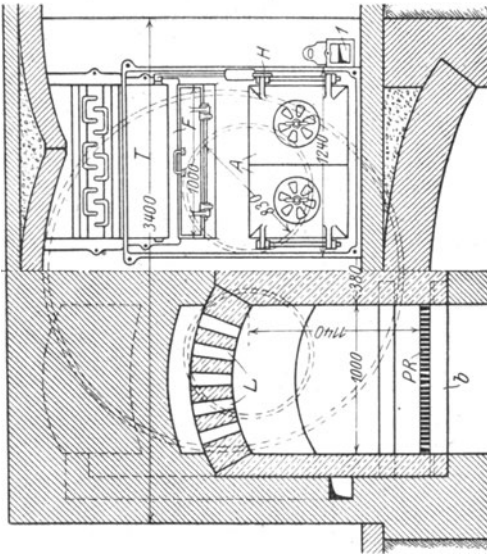


Abb. 43 u. 44. Schrägrostfeuerung von O. Thost, Zwickau.

Auf diese Platte wird eine bis etwa 300 mm starke Schamotteschicht aufgebracht, deren vordere Kante durch Einsetzen von Formsteinen abgerundet wird. In der senkrechten Wand ist gewöhnlich, unterhalb des Rostes, eine Öffnung angebracht, die zum Entfernen der Flugasche aus dem Flammrohr dienen soll. Während des Betriebes wird sie durch eine Klappe verschlossen, die meistens nicht mit der Feuerbrücke verbunden ist.

Bei Vor- und Unterfeuerung besteht die Feuerbrücke nur aus einer Abschlußwand, in welche die Enden der Rostbalkenträger eingemauert werden. Dicht an der Wand liegt ein Rostbalken (Abb. 41 u. 42).

C. Der Schrägrost.

a) Allgemeines. Gibt man einem Planrost eine Neigung, die dem Böschungswinkel des zu

verfeuernden Brennstoffs entspricht, so wird dieser auf der Rostfläche nach der Feuerbrücke zu hinabgleiten. Ein so aufgebauter Rost heißt Schrägrost. Man wendet ihn bei allen drei Feuerungsarten an, jedoch ist seine Verbreitung nur eine beschränkte, da sich nur ganz bestimmte Brennstoffarten zur Verfeuerung auf Schrägrosten eignen. Es sind dies hauptsächlich Steinkohlensorten, die nicht zu stark backen und nicht viel, namentlich keine leicht fließenden Schlacken absondern. Die Länge der Schrägroste beträgt gewöhnlich nicht über 2 m. Ihre Bedienung ist, vom Anfeuern abgesehen, einfacher als beim Planrost. Vor allem hat der Heizer darauf zu achten, daß der Schütt-Trichter stets gefüllt ist. Nur dann wird der Hauptvorteil dieser Rostart gewahrt, nämlich daß sich beim Beschicken das Eindringen kalter Luft in den Feuerraum vermeiden läßt.

b) Einzelteile. Wie Abb. 43 und 44 zeigen, gelangt die Kohle aus einem Schütt-Trichter *T* in die Feuerung, und zwar bei der vorliegenden Ausführung periodisch durch Öffnen der Klappe *K* mittels des Hebels *H* (vgl. damit die in Abb. 51 dargestellte Bauart, bei welcher kein Trichterverschluß vorhanden ist, die Kohle also ununterbrochen nachgleiten kann). Der im Trichterschacht eingebaute Siebrost *Z* soll größere Kohlenstücke zurückhalten, da solche nicht oben auf dem

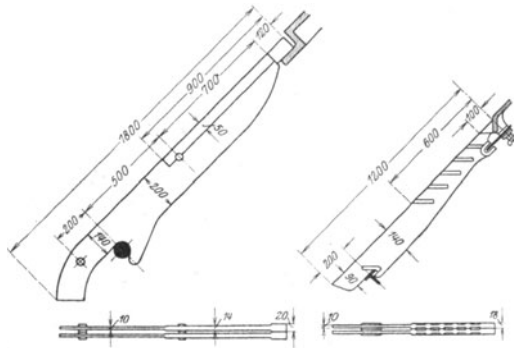


Abb. 45 u. 46.

Abb. 47 u. 48.

Schrägrost liegenbleiben und langsam nachgleiten, sondern sogleich hinabrollen würden. In der Rahmenplatte sind eine Schüröffnung *F* und Aschfalltüren *A* angebracht. Die Schürplatte ist am Rahmen beweglich gelagert, damit sie stets auf den Roststabsköpfen aufliegen kann. Die Schrägroststäbe *SR* liegen gewöhnlich unter 40 bis 45° geneigt. Um die für einen bestimmten Brennstoff günstige Neigung einstellen zu können, sind hier die oberen Stabsköpfe auf dem querliegenden Rohr *B*₁ gelagert, dessen Enden sich auf je eine Stellschraube *V* stützen. Die unteren Stäbenden liegen auf einem Rundeisen *B*₂ auf. Statt dessen wird vielfach ebenfalls ein Rohr angewandt, durch welches bei einigen Ausführungen Kühlwasser geleitet wird. Überhaupt zeigt Form und Auflagerung der Roststäbe große Verschiedenheiten. Gewöhnlich ist nur eine Roststablage vorhanden, doch sind auch Ausführungen nicht selten, bei denen der Rost, wie in Abb. 51 u. 52, aus mehreren Stablagen zusammengesetzt wird. Die Stäbe sind oft so gestaltet, daß die Weite der Luftspalten im oberen Teil geringer ist als im unteren (Abb. 45 u. 46). Man will dadurch die unteren Stäbenden, die

sehr unter der Einwirkung der Glut zu leiden haben, vor dem Abbrennen schützen. Sehr häufig gibt man den Stäben im oberen Teil stufenartige Ansätze (Abb. 47 u. 48), um dort, wo ein Zusammen-

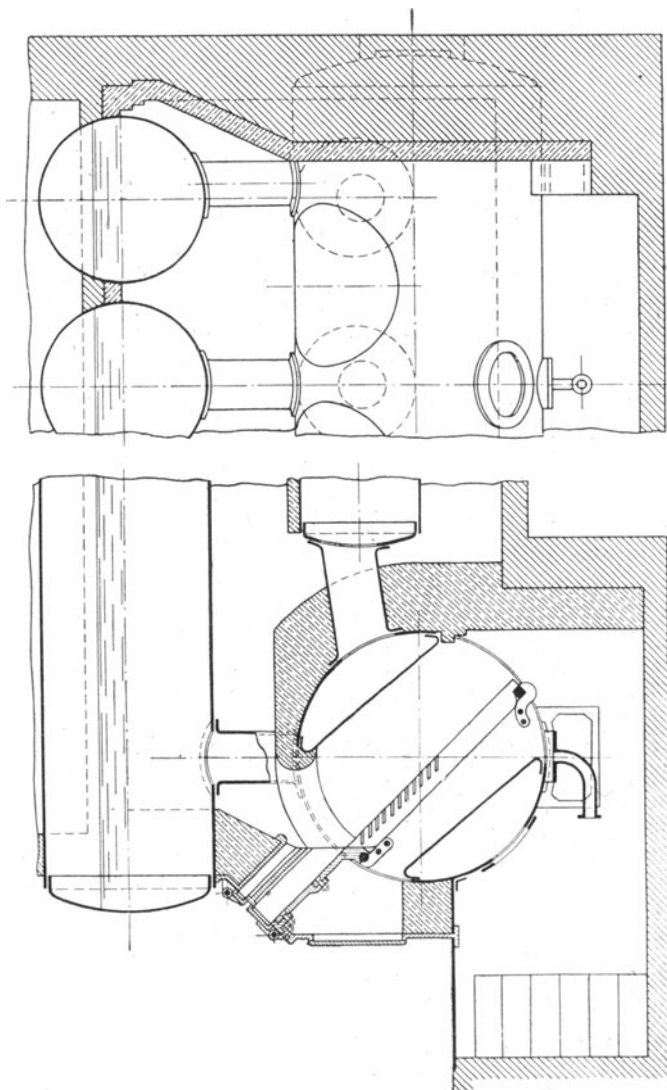


Abb. 49 u. 50.

backen des Brennstoffes noch nicht stattgefunden hat, das Hindurchfallen unverbrannter Brennstoffteile zu verhindern. Spaltweite und Dicke der Stäbe wählt man etwa wie beim Planrost. Ihre Länge schwankt gewöhnlich zwischen 1 und 1,6 m. Ihre Querschnittshöhe beträgt etwa $\frac{1}{9}$ der Länge.

Der Feuerraum wird unten durch einen Planrost *PR* (Abb. 43), Fangrost oder Schlackenrost genannt, abgeschlossen, der gewöhnlich aus gegossenen Rostplatten besteht. Die Platten sind so gelagert, daß sie der Heizer mittels eines Hakens vorziehen kann. Dieser Planrost fehlt bei vielen Schrägrostfeuerungen ganz (Abb. 49). Als Abschluß dient dann ein Schlackenhaufen.

Durch den Kanal 1—2—3 (Abb. 43) im Seitenmauerwerk strömt Luft, die das Feuergewölbe kühlt, um dann bei *L* gut vorgewärmt als Oberluft in den Feuerraum einzutreten.

c) **Tenbrink-Feuerung.** Bei der in Abb. 49 und 50 dargestellten, früher viel ausgeführten Feuerung wird der Schrägrost für Innenfeuerung benutzt. Der Brenn-

stoff wird durch eine Feuertür aufgeschüttet, die um eine wagerechte, an ihrem unteren

Rande liegende Achse drehbar ist und, aufgeklappt, eine Art Schütt-Trichter bildet. Über der Feuertür liegt eine durch verstellbare Klappe zu regelnde Öffnung zur Einführung von Oberluft. Die auf dem unteren Rost-

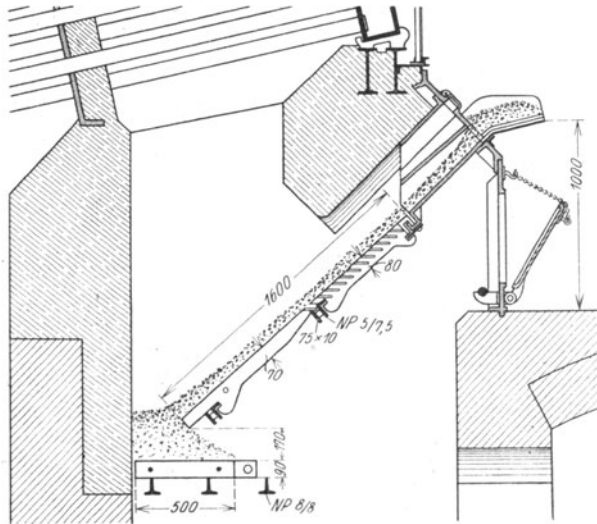


Abb. 51.

Flammen steigen empor und schlagen dabei über den Brennstoff hinweg, der auf dem oberen Teil des Rostes entgast. Auf diese Weise wird eine recht gute Verbrennung der Kohlendase erreicht. Dem steht leider der Nachteil gegenüber, daß die Naht an der oberen Krempe des in den Quersieder schräg eingebauten Flammrohres, soweit sie im Feuer liegt, sehr stark der Beschädigung durch Bildung von Nietloch-, Nietkanten- und Krempebrissen ausgesetzt ist. Umhüllendes Mauerwerk wird durch Stichflammen bald zerstört und bietet daher wenig Schutz.

Zahlreich sind die Versuche gewesen, den geschilderten Mangel dieser Feuerung durch bauliche Änderungen des Kesselkörpers zu vermeiden und sie dabei nicht nur für Walzenkessel, sondern vor allem auch für Flammrohr- und Feuerbuchskessel verwendbar zu machen.

d) Die Verwendung des Schrägrostes bei Unterfeuerung ist in Abb. 51 u. 52 dargestellt. Als Brennstoff kommt für die in Abb. 51 gezeigte Feuerung Steinkohle (Nußkohle), für die in Abb. 52 wiedergegebene Lohe und Holzspäne in Betracht. Bei der letzteren läßt sich die Neigung der Trichterwand V verändern, um stets eine selbsttätige Entleerung des Trichters bewirken zu können. Ferner kann die Höhe der Brennschicht mittels der Abschlußplatte S eingestellt werden. Die Breite des Rostes beträgt bei dieser Feuerung bis zu 2 m.

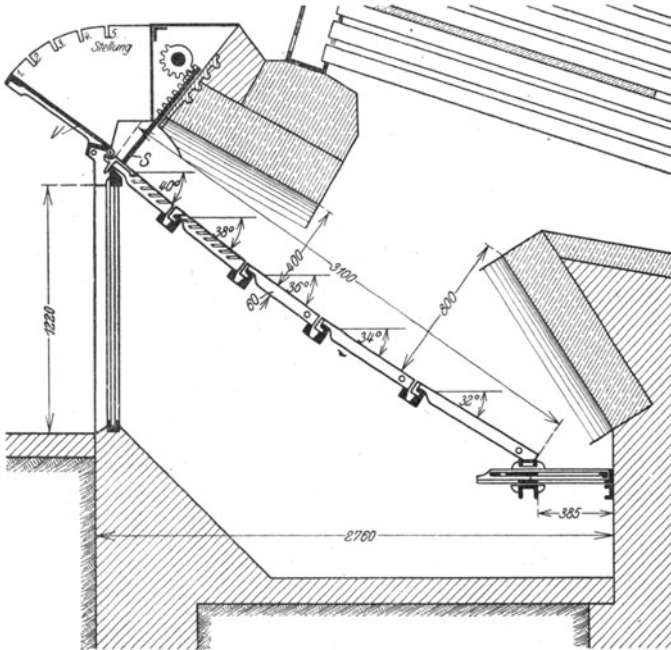


Abb. 52 Schrägrostfeuerung. Bauart: Herm. Böttger & Co., Dresden.

D. Der Treppenrost.

a) **Allgemeines.** Der Treppenrost ist ein ebenfalls für Schüttfeuerung eingerichteter schräger Rost. Seine Roststäbe liegen wie die Trittstufen einer Treppe. Die Luftspalten zwischen ihnen sind wagerecht, so daß nichts zwischen den Stäben hindurchfallen kann. Er ist daher besonders für staubige oder zerfallende Brennstoffe geeignet, dagegen nicht für solche, die zur Schlackenbildung neigen, da sonst die Roststäbe sehr stark dem Verschleiß ausgesetzt sind und der Brennstoff nicht von selbst auf den Rost hinabgleitet. Braunkohlen entsprechen diesen Bedingungen am vollkommensten und kommen daher für die Verfeuerung auf Treppenrosten ganz besonders in Betracht.

Der Treppenrost findet sich nur bei Vor- und bei Unterfeuerung. Er wird bis zu 2,5 m lang und 2 m breit ausgeführt.

b) **Einzelteile.** Der Aufbau einer Treppenrostfeuerung ist in Taf. III dargestellt. Die Rostneigung wird hier etwas geringer gewählt als beim Schrägrost, sie beträgt gewöhnlich 30 bis 35°. Die Roststäbe werden aus Gußeisen hergestellt und sind plattenförmig gestaltet (Abb. 53, 54). Um die Roststabplatten besser zu kühlen und dadurch haltbarer zu machen, versieht man sie vielfach mit quer zu ihrer Längsrichtung laufenden Luftschlitzen und verstärkt sie an der vorderen Kante.

Die Rostbalken zeigen dem Schrägrroststab ähnliche Formen und werden auch ebenso gelagert (vgl. Abb. 55 bis 58). Ihr Querschnitt schwankt etwa zwischen 100×20 und 200×25 mm. Der Fangrost fehlt bei den Treppenrostfeuerungen selten.

Er besteht aus einem 400 bis 500 mm langen Planrost, der entweder, wie beim Schrägrrost gezeigt wurde, aus Rostplatten oder aus Roststäben zusammengesetzt wird, die in einen Rahmen eingelegt werden. Die Rostplatte oder der Rahmen liegen in einer Führung und sind mit einer Öse versehen, so daß sie zur Entfernung von Herdrückständen vom Heizer vorgezogen werden können. Damit dabei nicht zu viel Unausgebranntes mit hinabfallen kann, wird vielfach unter dem Planrost eine Kammer angeordnet, die bei der Ausführung auf Taf. III vor dem Herausziehen des Planrostes vorn durch eine Klappe und unten durch eine volle Schieberplatte geschlossen werden soll. Ist der Rost wieder hineingeschoben, so wird die Kammer durch Ziehen des Schiebers entleert.

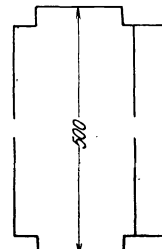
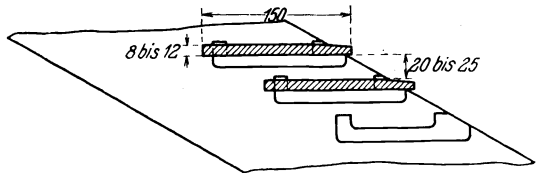
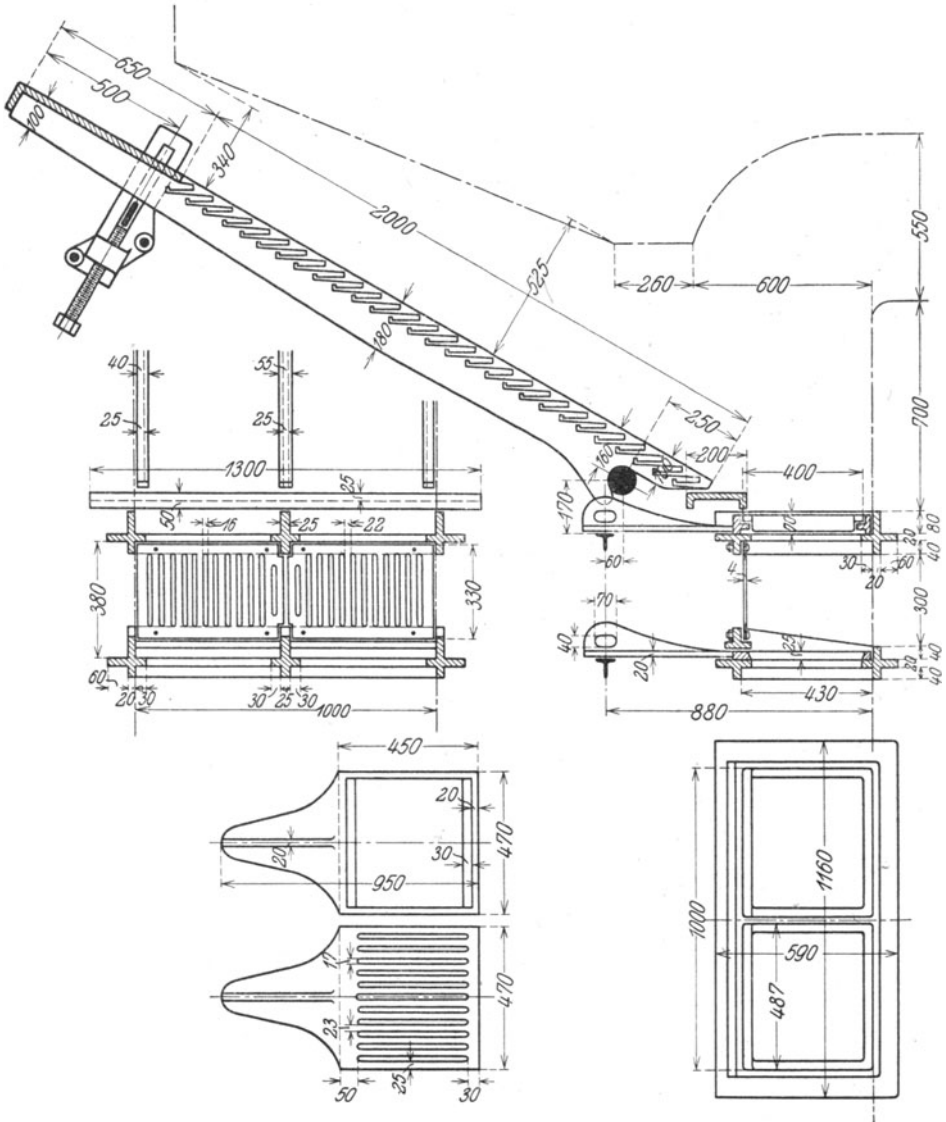


Abb. 53 u. 54.

Abb. 55 zeigt einen Fangrost, bei dem die Kammer vorn durch eine feste, mit Luftschlitzen versehene Wand und unten durch eine Rostplatte abgeschlossen wird. Das gewährt den Vorteil, daß man den Inhalt der Kammer erst völlig ausbrennen lassen kann, ehe man den Planrost wieder schließt, und daß man die Kammer nicht erst vor dem Ziehen des Planrostes zu schließen hat, sondern während des Betriebes in dem zur Aufnahme der Rückstände geeigneten Zustand belassen kann.

c) **Halbgasfeuerungen** nennt man solche Schüttfeuerungen, bei denen der Brennstoff auf dem oberen Teil des Rostes nur entgast, die Verbrennung dagegen erst auf dem mittleren Teil beginnt, um am unteren Rostende bis zum völligen Abbrand der Glut gesteigert zu werden. Es wird damit bezweckt, daß jedes Stück Brennstoff möglichst bis an das Ende

des Rostes gelangt, ehe es vollständig verbrannt ist. Dies läßt sich bei Schräg- und Treppenrostfeuerungen schon durch geeignete Gestaltung des Feuerraumes (zunehmende Höhe des Feuergewölbes über dem Rost,



vgl. Abb. 43 und 55) bis zu einem gewissen Grade erreichen. Wird dann außerdem die Rostneigung dem Brennstoff und die Schütthöhe den Betriebsverhältnissen richtig angepaßt, so kann man eine gleichmäßige

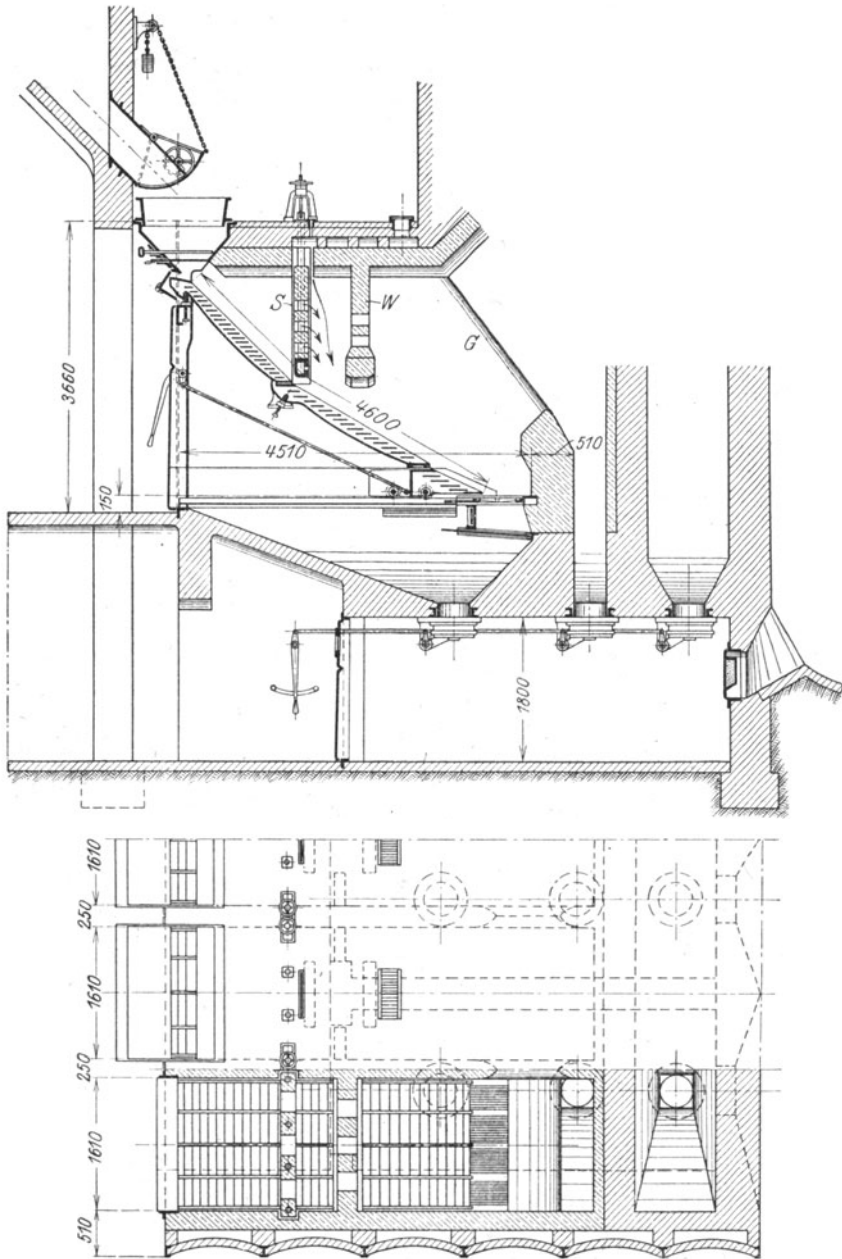


Abb. 59 u. 60. Halbgasfeuerung. Bauart der Keilmann & Völcker G. m. b. H. in Bernburg.

ununterbrochene Kohlenzufuhr erzielen und dabei unbedeckte Stellen auf dem Rost vermeiden, d. h. die Bedingungen für dauernd gute und rauchfreie Verbrennung erfüllen.

Durch besondere Einrichtungen hat man die Halbgasfeuerung vielfach zu vervollkommen versucht. Als Beispiel hierfür sei der Treppenrost von E. Völcker in Bernburg (Abb. 59, 60) genannt.

Die Kohle gelangt zunächst auf steilem Rost in dicker Schicht in eine Schwelkammer, wo sie entgast, dann in dünnerer Schicht auf einen weniger geneigten Treppenrost, auf dem sie, allmählich hinabgleitend, abbrennt. Als Abschluß der Schwelkammer dient ein zur Regelung der Brennschichtstärke in senkrechter Richtung verstellbarer Schieber *S*. In einigem Abstand davon befindet sich ein festes Wehr *W*. Zwischen beiden wird dem entstandenen Schwelgase Oberluft zugeführt. Das Gemisch gelangt sodann in die über dem Fangrost liegende Kammer *G*, wo es verbrennt. Dem Vorteil guter Ausnutzung des Brennstoffes bei rauchfreier Verbrennung stehen die hohen Unterhaltungskosten der Wehre nachteilig gegenüber.

d) Treppenroste für Steinkohle. Zur Verfeuerung gewisser Steinkohlensorten mit hohem Aschengehalt hat man mit Erfolg versucht, den Treppenrost zu benutzen. Um dabei ein Festbrennen der Kohlen auf den Rostplatten zu verhindern, baut man sie nach abwärts geneigt ein und wählt diese Neigung um so größer, je näher die Stäbe dem Rostende liegen. Als Abschluß des Rostes dient bei einigen Bauarten der Schlackenhaufen, so z. B. beim Münchener Stufenrost.

15. Besondere Feuerungseinrichtungen für feste Brennstoffe.

Um bei den festen Brennstoffen eine möglichst vollkommene Ausnutzung und rauchfreie Verbrennung zu erzielen, sind Einrichtungen mannigfachster Art geschaffen worden, über welche nachstehend ein Überblick gegeben werden soll¹⁾. In den Überschriften der einzelnen Abschnitte finden sich die Hauptgesichtspunkte, unter denen man die Vervollkommnung der Feuerungen zu erreichen versucht hat.

A. Verminderung des Luftüberschusses.

a) Verminderung der durch die offene Feuertür eindringenden Luftmenge kann nur durch Drosselung des Zuges erreicht werden. Man findet daher Einrichtungen, durch welche der Heizer gezwungen wird, den Rauchschieber oder eine besondere Zugabsperrklappe (vgl. Abb. 61—63) vor dem Öffnen der Tür zu schließen, oder durch welche das Zugabsperrorgan beim Öffnen der Tür zwangsläufig geschlossen wird.

Abb. 61 bis 63. Zugabsperrklappe von J. Piedbœuf, Aachen und Düsseldorf. Durch den vor dem Feuergeschränk angebrachten Griffhebel kann die Drehklappe hinter der Feuerbrücke betätigt werden. Ist die Klappe offen, so steht der Hebel vor der Feuertür. Letztere kann also erst geöffnet werden, nachdem der Griffhebel nach abwärts

¹⁾ Ausführliches findet sich in Haier, Dampfkesselfeuerungen, Springer, Berlin.

gedreht und dadurch die Klappe geschlossen wurde. Durch zwei unter dem Rost entlanggeführte Rohre wird in den Raum zwischen Feuerbrücke und Drehklappe ein kühlender Luftstrom (Oberluft) eingeführt.

b) **Regelung des Zuges** erfolgt derart, daß Zugregulvorrichtungen (Abb. 64 u. 65) den nach dem Aufwerfen frischer Kohle völlig geöffneten Rauchschieber in einer einstellbaren Zeit, entsprechend dem mit fortschreitender Verbrennung immer geringer werdenden Luftbedarf, allmählich wieder schließen.

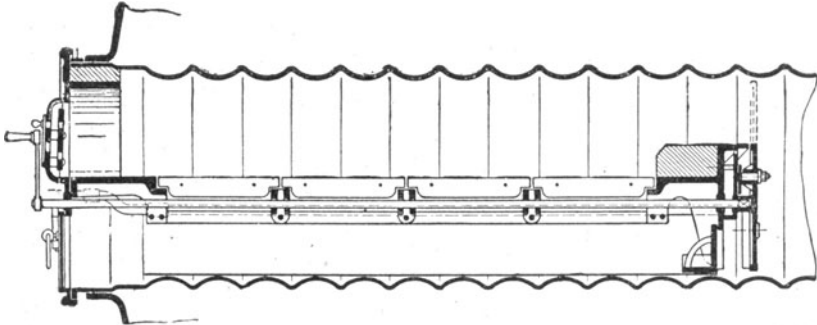


Abb. 61.

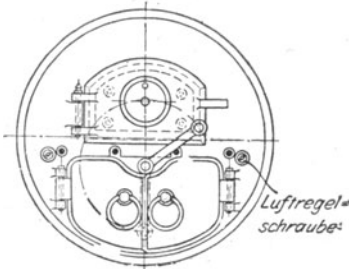


Abb. 62.

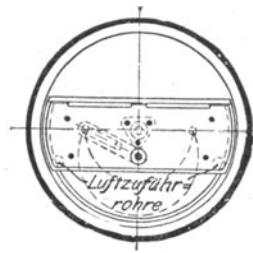


Abb. 63.

Abb. 64. Schema eines Zugreglers mit Flüssigkeitskatarakt. Das Eigengewicht des Rauchschiebers oder ein an der Zugklappe dazu besonders angebrachtes Gewicht zieht mittels Kette *Z* an Kolbenstange *S* den Kolben *K* empor. Dabei hat dieser die Flüssigkeit im Zylinder *C* aus Raum *O* auf dem Wege *R*₁ durch Feineinstellventil *FV* hindurch nach Raum *U* zu treiben. Schieberschluß erfolgt, bis die auf Nebengestänge *S*₁ und *S*₂ veränderliche Traverse *T* an *C* anstößt. Wird Feuertür geöffnet, so öffnet ein von Türachse ausgehendes Gestänge Hahn *H* im Rohr *R*₂, wodurch sich der Schieber schnell schließt. Durch Schließung der Tür schließt sich auch *H* wieder. Mittels Steigbügels *B* wird dann Kolben *K* zwecks Öffnung des Rauchschiebers vom Heizer wieder abwärts bewegt soweit verstellbarer Anschlag *A* auf Kolbenstange *S* dies gestattet. Dabei strömt Flüssigkeit aus Raum *U* durch Rückschlagventile *RV* im Kolben ungehindert nach Raum *O*.

Abb. 65. Schema des Zugreglers von O. Hörenz, Dresden. Der Schieberablauf wird durch ein Uhrwerk gehemmt, dessen Widerstand durch Veränderung der Tiefe geregelt werden kann, bis zu welcher die Flügel *F* eines an das Räderwerk angeschlossenen

Hemmrades in die Flüssigkeit eintauchen. Das dazu erforderliche Heben oder Senken des Flüssigkeitsspiegels geschieht durch Abwärts- oder Aufwärtsbewegen der Büchse *B* mittels des Einstellrades *S*. Durch Rechtsdrehung der Kurbel *H* bei ausgeschaltetem Uhrwerk läßt sich der Rauchschieber wieder öffnen. *Z* Schieberkette. *K*₁ und *K*₂ Kettenräder. *G* Ausgleichgewicht zur Entlastung des Uhrwerks. *A*₁ und *A*₂ Anschlagstifte zur Hubbegrenzung.

Diese Bauart vermeidet die Nachteile, welche die Abdichtung der Kolbenstange durch eine Stopfbüchse bei den Zugreglern mit Flüssigkeitskatarakt immer mit sich bringt, namentlich weil die Stange der Einwirkung von Staub ausgesetzt ist.

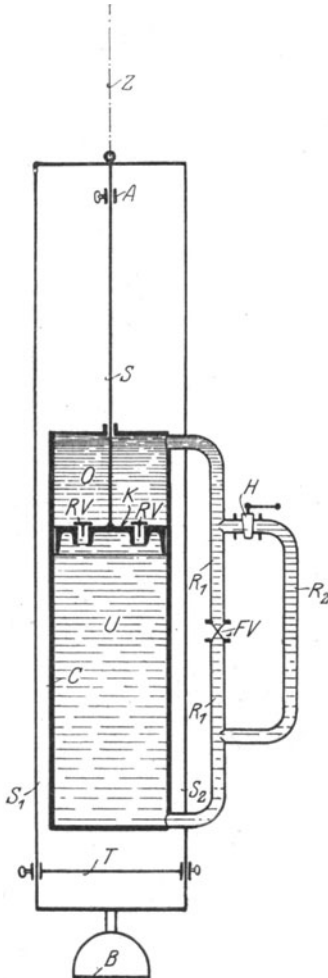


Abb. 64.

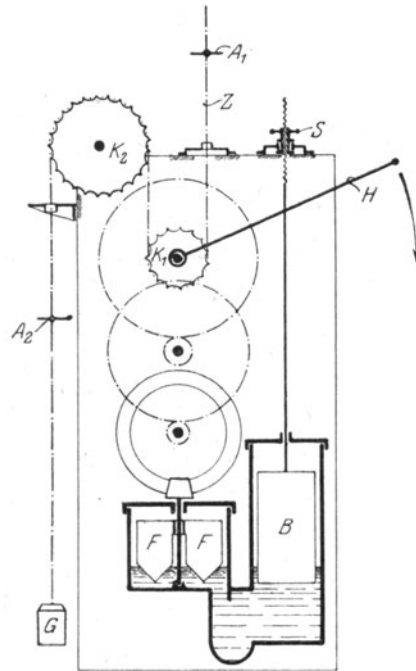


Abb. 65.

Die Zugregler sind mit Vorteil nur bei nicht zu hoch belasteten Kesseln zu verwenden. Bei hoher Beanspruchung dagegen ist es praktisch am richtigsten, die Zugstärke unverändert zu lassen, bis eine Änderung des Anstrengungsgrades erfolgt. Zugregler und auch die unter a) vorstehend genannten Einrichtungen zur Verminderung des Eindringens kalter Luft, die für den Heizer doch immerhin unbequem zu handhaben sind, sind dort nicht am Platze.

e) **Regelung der Oberluft.** Wird bei einer Feuerung zur besseren Verbrennung der Kohlendase Oberluft (vgl. Abschnitt 6 auf S. 18) zugeführt, so ist dies natürlich nur immer erforderlich, so lange die Ausscheidung von Gasen aus dem aufgegebenen Brennstoff dauert. Nachher noch einströmende Oberluft wirkt durch Erhöhung des Luftüberschusses nur schädlich. Die Zugregler müssen auch nach Beendigung der Entgasung noch Luft zuströmen lassen, können also die Zufuhr der Oberluft

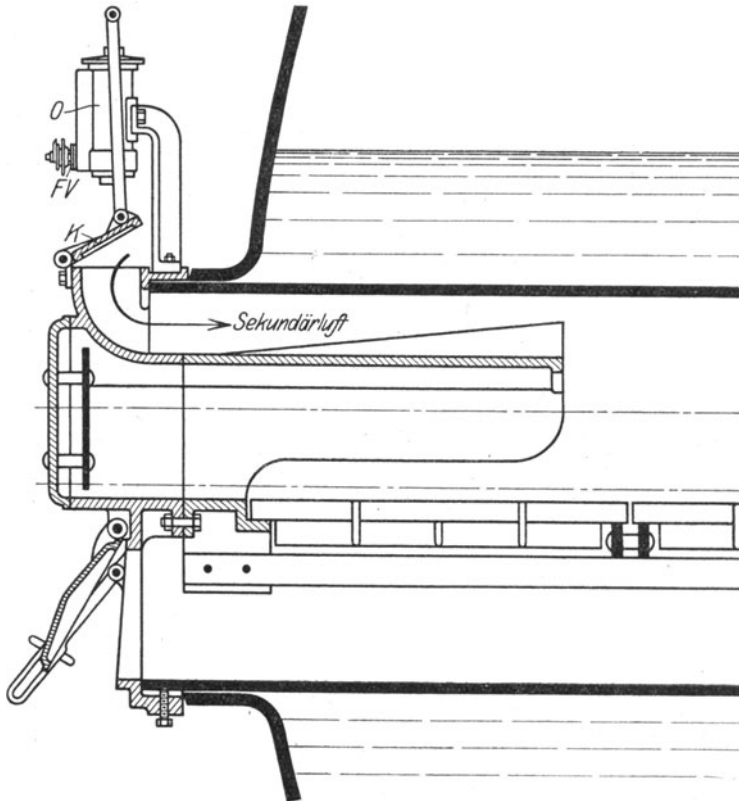


Abb. 66. Planrostfeuerung mit Oberluftautomat von J. A. Topf & Söhne in Erfurt.

nicht rechtzeitig abstellen. Man hat deshalb dazu besondere, ähnlich wie die Zugregler wirkende Vorrichtungen gebaut.

Bei Flammrohrinnenfeuerung wird die Oberluft entweder an der Feuertür oder an der Feuerbrücke, bei Vor- und Unterfeuerungen von den Seitenwänden, dem Feuergewölbe oder der Feuerbrückenwand, seltener von der Feuertür aus in den Flammenraum eingeführt. Sehr wichtig ist es, daß die Luft möglichst hoch vorgewärmt wird, ehe sie mit den Gasen in Berührung kommt. Man führt sie dazu vorher am besten an solchen Teilen der Feuerung entlang, die besonders hoher Temperatur ausgesetzt

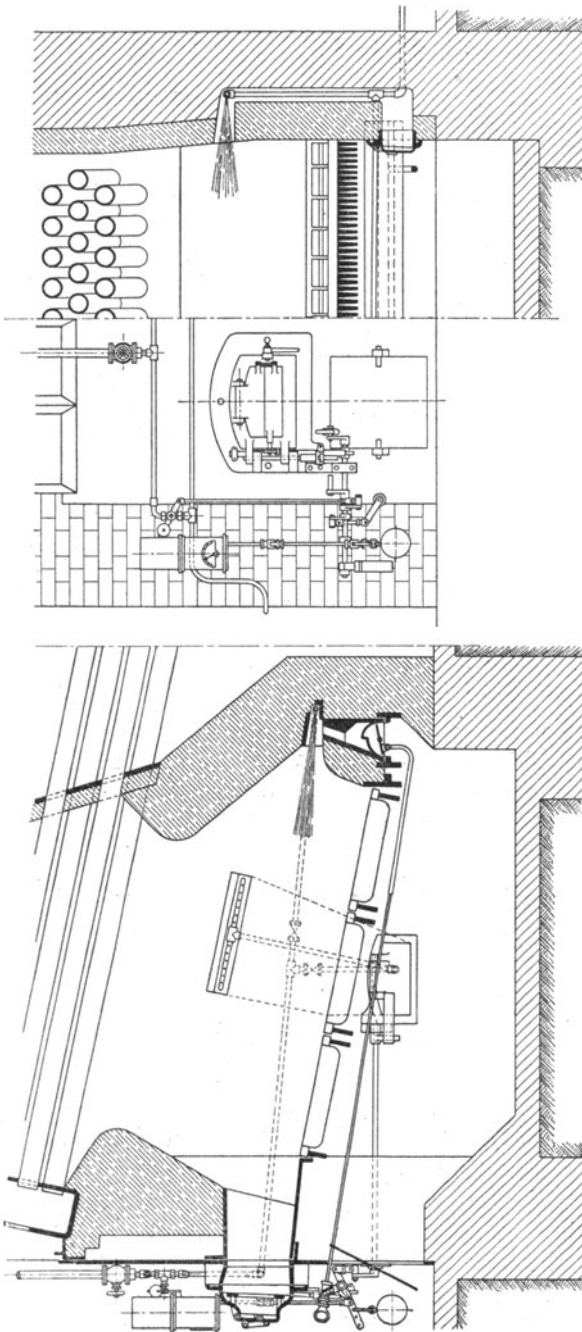


Abb. 67 u. 68. - Planrostunterfeuerung mit Oberluft- und Dampfschleierregelung von Kowitzke & Co., Berlin.

sind, bei denen daher eine durch die vorbeiströmende Luft bewirkte Wärmezuziehung im Hinblick auf ihre Erhaltung besonders erwünscht ist.

Ein Beispiel für Oberluftregelung bei Innenfeuerung findet sich in Abb. 66.

Die über der Feuertür liegende Zuführungsklappe *K* wird durch Schließen der Tür von selbst geöffnet und durch den Ölkatarakt *O* allmählich wieder geschlossen. Die Geschwindigkeit, mit der das erfolgt, kann am Ventil *FV* eingestellt werden.

Abb. 67 und 68 zeigen ebenfalls eine durch Ölkatarakt geregelte Oberluftzuführung, und zwar für Unterfeuerung. Die Luft tritt hier durch die Feuertür, die hohle Feuerbrücke und von den Seitenwänden aus in den Flammenraum. An den letztgenannten Stellen strömt gleichzeitig Dampf, fein verteilt ein, dessen Zufuhr auch von dem Regler betätigt wird. Die Dampfschleier sollen eine möglichst innige Mischung der Oberluft mit den Kohlendämpfen bewirken und diese von den kalten Kesselwänden abhalten, solange sie noch nicht verbrannt sind.

d) Besondere Gestaltung der Planroste, um beim Beschieken das Einströmen von Luft zu verhindern.

Die **Cario-Feuerung** (Abb. 69—72). Der aus querliegenden Stäben zusammengesetzte Rost fällt nach beiden Seiten dachförmig ab.

Im Rahmen des Feuergeräts sind statt der sonst üblichen Feuertür zwei kleinere Türen zum Ziehen der Schlacke und zwischen beiden, etwas höherliegend, eine kreisrunde Tür zum Beschieken des Rostes angebracht. Die letztere wird durch eine senkrecht geteilte Klappe verschlossen, deren Hälften seitlich ausweichen, wenn der Heizer den hier zum Einbringen der Kohle dienenden, vorn auf eine senkrechte Kante zugeschärften Löffel dagegenstößt. Nachdem der Löffel bis an die Feuerbrücke vorgeschoben, wird er vom Heizer gedreht und dadurch eine Rosthälfte in ihrer ganzen Länge mit Kohle beschiekt. Beim Einführen und Herausziehen des Löffels hat die Luft nur sehr wenig Gelegenheit, in den Feuerraum einzudringen. Auch beim Abschlacken ist dies in erheblich geringerem Maße der Fall als beim gewöhnlichen Planrost.

Für die **Cario-Feuerung** sind alle wenig bakenden und schlackenden Kohlsorten in Nußsiebung geeignet.

Der Muldenrost. Wird die Oberfläche des Planrostes in der Querrichtung muldenförmig gesenkt, so ist er für Schüttfeuerung geeignet.

Bei der in Abb. 73 und 74 dargestellten Gartnerfeuerung wird die Kohle von beiden Seiten aus aufgeschüttet, gelangt aus den Schüttrümpfen zunächst auf Roststreifen, denen weniger Luft zugeführt werden kann als dem Mittelrost, auf dem die Verbrennung ausschließlich stattfinden soll. Es ist somit für den geordneten

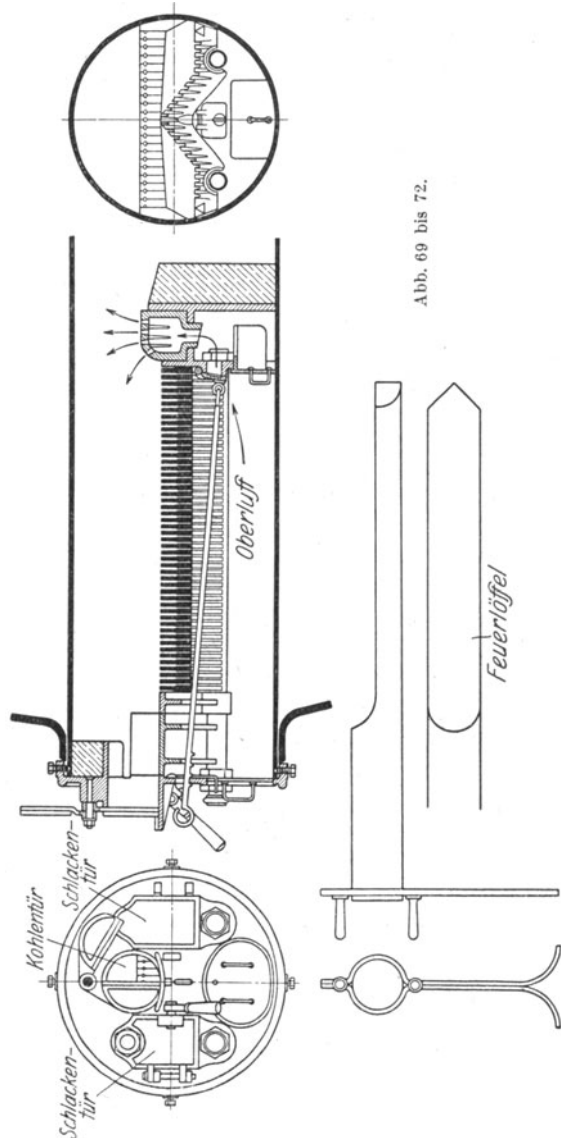


Abb. 69 bis 72.

Nachschub des Brennstoffs ähnlich gesorgt wie bei den Halbgasfeuerungen (siehe S. 45). Ein weiterer Vorzug der Feuerung ist die reichliche Kühlung des Mauerwerks, wobei die gesamte Unterluft und Oberluft vorgewärmt wird.

Für den Muldenrost geeignete Brennstoffe sollen vor allem wenig Nachhilfe beim Herabgleiten erfordern.

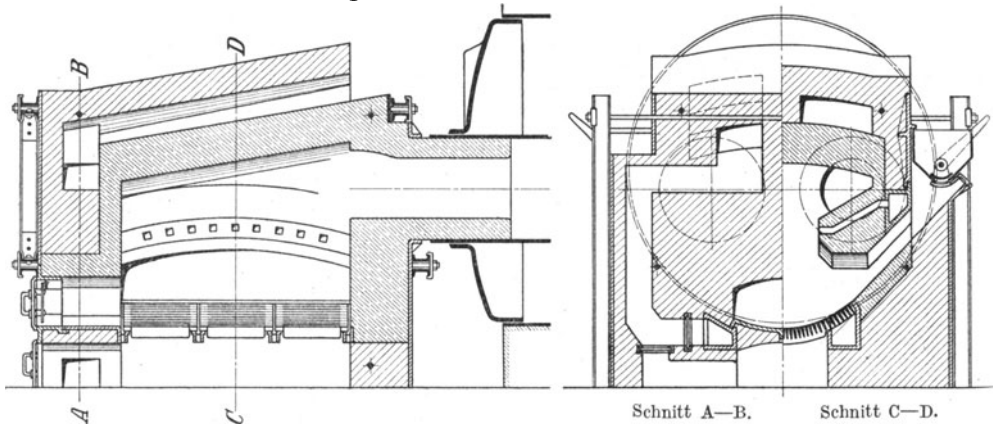


Abb. 73 u. 74. Schüttfeuerang, Patent W. Gartner in Düsseldorf.

B. Auflockerung der Brennschicht bei der Verfeuerung schwer brennender Stoffe.

a) Allgemeines. Als schwer brennende Stoffe sind alle Brennstoffe in sehr kleiner Korngröße anzusehen, z. B. Kohlenstaub, Kohlschlamm, erdiger

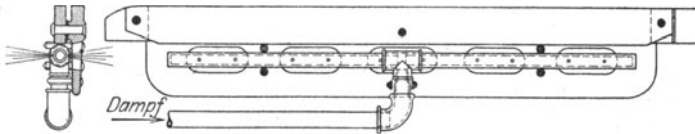


Abb. 75. Mittelstab eines Planrostes mit Dampfbrause. Ausführung der Eßlinger Maschinenfabrik.

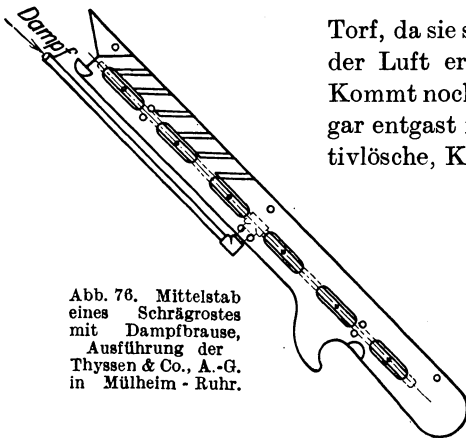


Abb. 76. Mittelstab eines Schrägrostes mit Dampfbrause, Ausführung der Thyssen & Co., A.-G. in Mülheim - Ruhr.

Torf, da sie schon in dünner Schicht dem Durchtritt der Luft erheblichen Widerstand entgegensetzen. Kommt noch hinzu, daß der Brennstoff gasarm oder gar entgast ist, wie beim Anthrazitstaub, Lokomotivlösch, Koksasche oder daß er reichlich Schlacke absetzt, so ist es überhaupt nicht möglich, ihn ohne Anwendung besonderer Einrichtungen zu verbrennen, durch welche die Brennstoffschicht dauernd aufgelockert wird. Man benutzt dazu: Dampfbrausen, Unterwind (siehe Abschnitt 20B) und gegeneinander bewegte Roststäbe.

b) **Feuerungen mit Dampfbräusen.** Läßt man unter dem Rost Wasserdampf in feinen Strahlen austreten, so erhält die Verbrennungsluft einen hohen Feuchtigkeitsgehalt. Sie kann dann die Roststäbe gut kühlen, wodurch das Anbacken der Schlacken an den Stäben verhindert wird. Die Stäbe erhalten dabei vielfach die in Abb. 75 und 76 dargestellte Form.

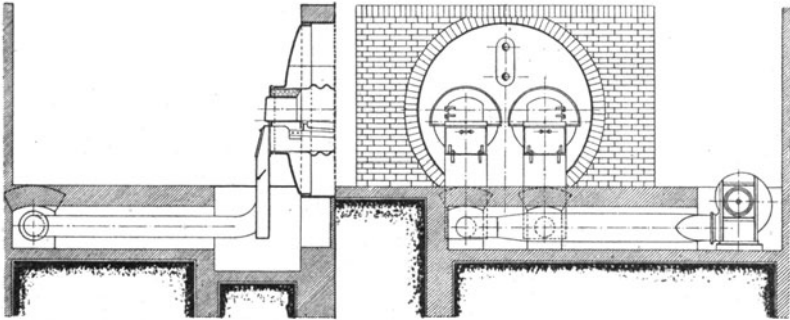


Abb. 77 u. 78.

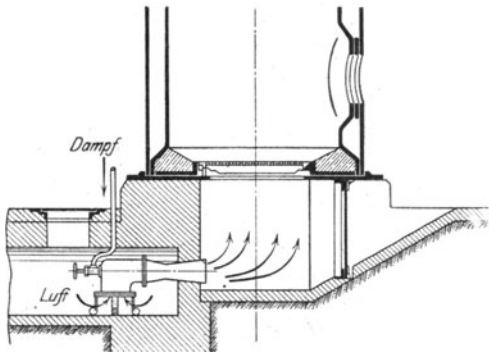


Abb. 79.

Unterwindfeuerungen von
Müller & Korte, Berlin-Pankow.

c) **Feuerungen mit Unterwind.** In dem dicht abgeschlossenen Aschfall wird durch Ventilator oder Dampfstrahlgebläse ein geringer Überdruck erzeugt.

Abb. 77 und 78 zeigen die allgemeine Anordnung einer Unterwindfeuerung mit Ventilator, während in Abb. 79 eine solche mit Dampfstrahlgebläse wiedergegeben ist.

Durch besondere Gestaltung des Rostes sucht man zu verhindern, daß die Brennstoffkörnchen unverbrannt mit dem Luftstrom mitgerissen werden. So hat man dazu z. B. bei der Hydrowirbelfeuerung in dem an die Feuerbrücke angrenzenden Teil des Rostes Luftdüsen angeordnet, die nach der Feuertür zu gerichtet sind (Abb. 80). Außerdem gibt man dort hin höhere Windpressung als nach der übrigen Rostfläche.

Die Kridlofeuerung (Abb. 81). Der Rost wird aus durchlöchernten Platten zusammengesetzt.

Die Anzahl der Windlöcher ist so groß — $R_f = \infty, 0,15 R$ — gewählt, daß man mit einer Windpressung von höchstens 15 mm Wassersäule auskommt. Die gruppen-

weise Anordnung der Löcher gestattet die Herstellung haltbarer, durch Längs- und Querrippen gegen Verziehen geschützter Rostplatten (Abb. 82). Die Luftzuführung

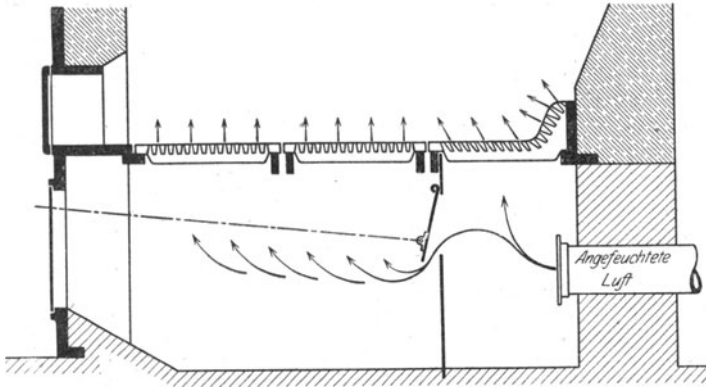


Abb. 80.

erfolgt so, daß aus einer Windleitung W durch eingebaute krümmertartige Luftfänger F angefeuchteter Wind entnommen wird, um in einem Rohr R , dessen Querschnitt

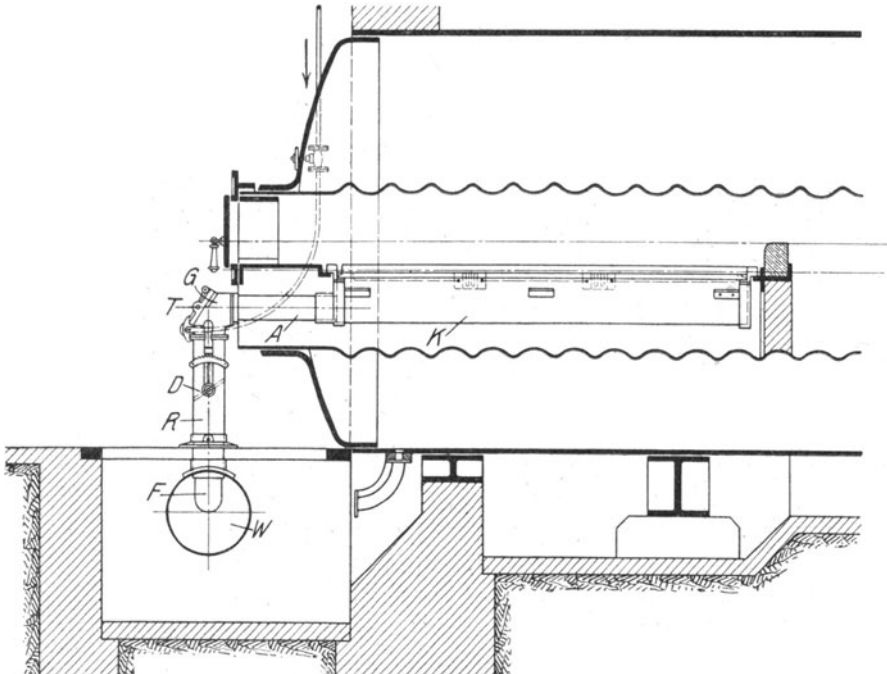


Abb. 81.

durch die Drosselklappe D veränderlich ist, jeder Feuerung zugeführt zu werden. Der Wind gelangt vorher in ein Gehäuse G , in welches ein Hilfsdampfgebläse eingebaut werden kann. Das Innere des Gehäuses ist durch eine Tür T leicht zugänglich.

An das Gehäuse *G* schließt sich ein Rohr *A* an, durch welches der Wind entweder in einen Windkasten *K*, der mit den Rostplatten belegt ist, oder bei Unterfeuerung gewöhnlich in den geschlossenen Aschfall strömt. — Die Feuerung wird auch für Schräg- und Treppenroste gebaut.

Die Wiltonfeuerung. Der Aufbau des Rostes und die Art der Windzuführung geht aus Abb. 83 und 84 hervor.

Von dem Gehäuse *G*, das nicht ganz so breit wie der Rost ist, gehen so viele nebeneinanderliegende, mischdüsenartig geformte Anschlußrohre *A* ab, wie der Rost Längskammern hat. Das sind gewöhnlich drei, bei größeren Rostbreiten fünf. Vor jedem Anschlußrohr ist ein Dampfstrahlgebläse *D* angeordnet. Der Windkasten, in den die Rohre führen, besteht gewöhnlich aus einer Schale *S*, auf welche schmale Rostplatten gelegt werden. Diese sind so geformt, daß in der Rostoberfläche mehrere Längsmulden entstehen, in denen sich die Schlacken ansammeln sollen. Die gleichmäßig verteilten Windlöcher ergeben eine freie Rostfläche von nur 5—7%. Da außerdem mit ziemlich hoher Brennschicht gefeuert werden soll, so ist hier für höhere Rostbelastungen ein Überdruck im Windkasten von 30 mm Wassersäule und mehr anzulegen. Der Einbau des Rostes erfolgt so, daß das Gehäuse *G*

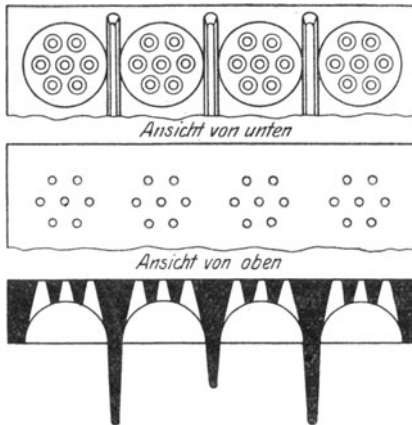


Abb. 82.

aus dem Rahmen des Feuergeschrankes herausragt und daß die Anschlußrohre *A* unter der Schürplatte liegen. — Die Feuerung wird von der Deutschen Evaporator-Gesellschaft, Berlin, geliefert.

Der Pluto-Stocker (Abb. 85). Ein für Schüttfeuerungen eingerichteter schräger Rost ist aus nebeneinanderliegenden Hohlroststäben zusammengesetzt, in welche der Wind von beiden Enden eingeführt wird.

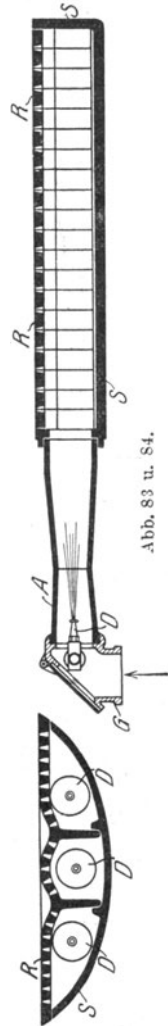
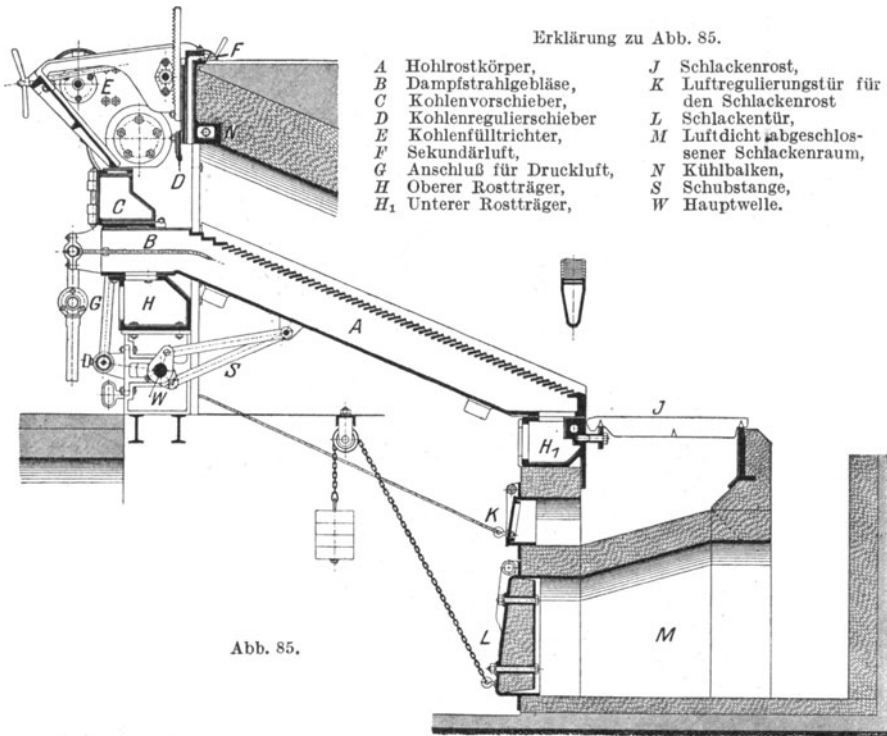


Abb. 83 u. 84.

Die Winddüsen sind wie die Luftspalten eines Treppenrostes angeordnet. Der aus dem Schüttrichter herabfallende Brennstoff wird durch einen hin und her gehenden Schieber auf den Rost geschoben, wodurch das Hinabgleiten des Brennstoffs gefördert wird. Die Roststäbe werden in wagerechter Richtung bewegt, und zwar geht der erste, dritte usw. Roststab vorwärts, während der zweite, vierte usw. Stab nach rückwärts läuft. Dadurch werden die Schlacken beständig aufgebrochen, so daß



sie allmählich über den Fangrost hinweg in eine hinter diesem befindliche Schlackenkammer gelangen können. Der Pluto-Stocker eignet sich daher auch für schlackenreichen Brennstoff, wie z. B. Lokomotivlösch.

C. Selbstbedienung der Feuerungen.

a) **Allgemeines.** Die Ausnutzung des Brennstoffs und die Erzielung einer möglichst rauchlosen Verbrennung hängt bei den bisher besprochenen Feuerungen zum großen Teil von dem Verständnis, der Geschicklichkeit und der Gewissenhaftigkeit des Heizers ab. Um die Bedeutung dieses Umstandes möglichst einzuschränken, um ferner im Großbetrieb an Bedienungsmannschaften zu sparen, hat man Einrichtungen getroffen, welche dem Heizer die Arbeit am Feuer zum Teil oder auch ganz abnehmen sollen. Man bezeichnet sie als mechanische oder automatische Feuerungen. Mit ihnen lassen sich in sehr vielen Fällen für den Kessel-

betrieb so wesentliche Vorteile erreichen, daß die höheren Anlage- und Unterhaltungskosten, ferner die laufenden Ausgaben für den Kraftbedarf des Feuerungsmechanismus reichlich aufgewogen werden. Sie haben daher die weiteste Verbreitung gefunden.

Vor allem hat man sich bemüht, den schwierigsten Teil der Feuerarbeit, das Beschicken bei der am meisten ausgeführten Rostart, dem Planrost, durch maschinelle Vorrichtungen ausführen zu lassen (siehe nachstehenden Abschnitt b). Es bleibt dann für den Heizer übrig: die Beseitigung von Ungleichheiten in der Brennschicht, die durch ungleichmäßigen Abbrand entstehen; das Auflockern der Schlacken und das Herausziehen der Herdrückstände. Da der Feuerraum bei diesen wiederkehrenden Arbeiten durch die eindringende Luft jedesmal abgekühlt wird, so kann man das Rauchen des Schornsteines bei solchen nurlselbstbeschickenden Feuerungen niemals gänzlich vermeiden. Das läßt sich erst erreichen, wenn auch die übrigen Feuerarbeiten maschinell ausgeführt und dadurch Feuerungen mit stets gleichmäßig hoher Temperatur im Feuerraum geschaffen werden (siehe den folgenden Abschnitt c).

Die mechanischen Feuerungen eignen sich naturgemäß am besten für gleichmäßigen Betrieb, sind jedoch jetzt so weit ausgebildet, daß sie sich bei verständiger Wartung Betriebsschwankungen in ziemlich weiten Grenzen anpassen lassen. Ganz besonders ist das der Fall, wenn sie in Verbindung mit künstlichem Zuge — neuerdings namentlich mit Unterwind — benutzt werden.

Für kleinere Betriebe, in denen Reservekessel nicht in Bereitschaft stehen, ist solchen mechanischen Feuerungen der Vorzug zu geben, die bei Störungen im Feuerungsmechanismus oder im Antriebe ohne weiteres von Hand bedient werden können.

b) Selbstbeschickung von Planrosten. Der Brennstoff gelangt dazu aus einem Fülltrichter entweder vor ein Flügelrad oder eine Schaufelklappe, welche ihn auf den Rost werfen (Wurffeuierungen), oder in ein Gehäuse, aus dem er in den Feuerraum hineingeschoben wird (Unterschubfeuerungen).

α) Wurffeuierungen mit Schleuderrad. Zur Erläuterung ihrer Arbeitsweise diene die in Abb. 86 dargestellte Leach-Feuerung.

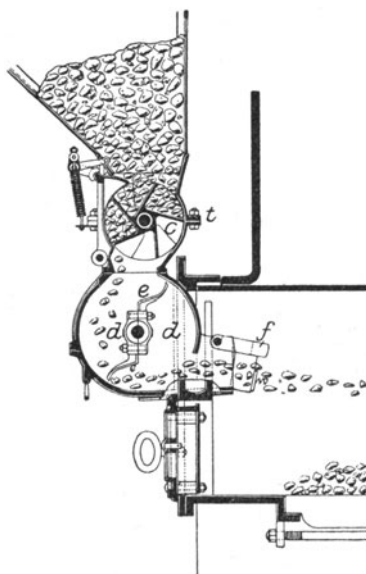


Abb. 86. Leach-Feuerung. Ausführung der Sächsischen Maschinenfabrik vorm. Rich. Hartmann, Akt.-Ges. in Chemnitz.

Unter dem Schütttrichter befindet sich im Gehäuse *t* eine Zuführungswalze *c*. Ihre Umdrehungsgeschwindigkeit läßt sich verändern und damit die Brennstoffmenge, welche in das darunterliegende Gehäuse *d* und dort vor das mit 300—400 Umdrehungen laufende Schleuderrad *e* gelangt. Der Brennstoffstrom, der von den Flügeln des Rades ausgeht, ist gegen eine langsam auf und nieder bewegte Prellklappe *f* gerichtet und soll dadurch gleichmäßig auf die ganze Rostlänge verteilt werden. Zum Antriebe der Schleuderradwelle, von der aus die Bewegung auf die Zubringerwalze übertragen wird, dient eine mittels Reibungskupplung ausrückbare Stufenscheibe. Der Kraftbedarf beläuft sich auf $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ PS für zwei nebeneinanderliegende Feuerungen. Die Leach-Feuerung eignet sich am besten für Kohlen gleicher Korngröße in Siebungen von 2—30 mm.

β) Wurffeuerungen mit Schleuderschaukel werden in sehr vielen verschiedenen Ausführungen gebaut. Sie arbeiten in folgender Weise:

Durch einen unter dem Schütttrichter eingebauten Zubringer wird in regelmäßiger Wiederkehr eine kleine Kohlenmenge in ein Gehäuse geschüttet, in welchem ein viereckiges Wurfblech um eine wagerechte, an seiner oberen Kante befestigte Achse hin und her schwingt. Die Kohlenzufuhr dorthin findet statt, während das Blech langsam zurückgeht. Plötzlich schnellt es unter der Wirkung starker, gespannter Federn wieder nach vorn und wirft dabei die Kohle in den Feuerraum. Damit sie über die Breite des Rostes verteilt wird, ist das Wurfblech meistens mit einer dachförmigen Nase versehen. Statt dessen hat man auch durch Teilung des Bleches in mehrere nebeneinanderliegende Schaufeln einzelne Längsstreifen der Rostfläche für sich zu befeuern versucht. Damit ferner die Kohle über die Länge des Rostes richtig verteilt wird, werden die Federn zu den einzelnen Schlägen des Wurfbleches verschieden gespannt und die Schläge dadurch verschieden kräftig ausgeführt. Bei der stärksten Feder Spannung sollen die Kohlen bis an die Feuerbrücke und bei der kleinsten Spannung auf den an der Schürplatte gelegenen Teil der Rostfläche geworfen werden. Am gleichmäßigsten wird sich die Verteilung des Brennstoffes über den Rost auch hier bei Kohle gleicher Korngröße erzielen lassen. Staubige Beimengungen und kleinere Stücke dagegen werden an der Schürplatte niederfallen, so daß der Heizer dann das Feuer häufig abgleichen muß. Im ganzen genommen sind jedoch die Wurfschaukeln gegen nicht ganz gleichmäßig sortierte Kohlen weniger empfindlich als die Schleuderräder. Namentlich lassen sich auch größere Kohlenstücke mit ihnen verarbeiten, so daß sie neuerdings auch für die Verfeuerung von Industriebriketts mit gutem Erfolge verwandt worden sind. — Wurfschaukelfeuerungen sind daher jetzt ziemlich häufig anzutreffen, und zwar hauptsächlich bei Flammrohrinnenfeuerungen, für welche sich die ihnen sonst in vieler Beziehung überlegenen Kettenroste (siehe S. 66) nicht eignen.

Als Beispiel einer Wurfschaukelfeuerungen ist in Abb. 87 und 88 der von J. A. Topf & Söhne in Erfurt hergestellte „Ballist“ wiedergegeben.

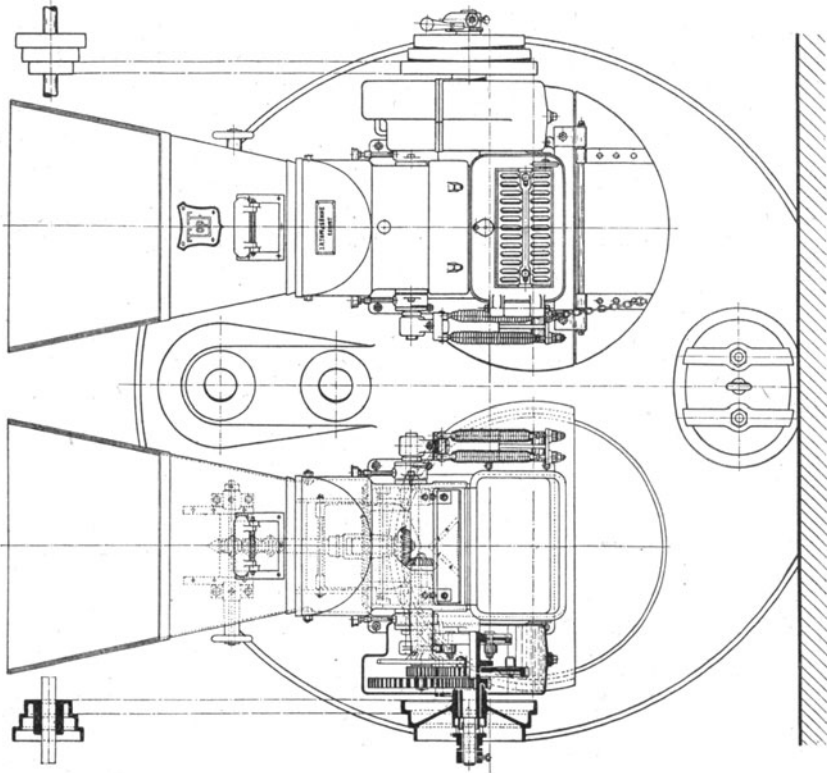
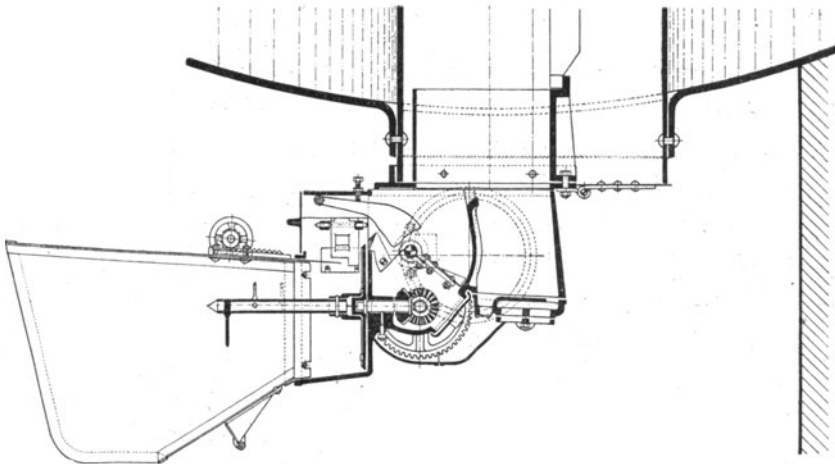


Abb. 87 u. 88.



Der Zubringer besteht hier aus einer wagerecht liegenden Scheibe, einem sog. Tellerschieber, der sich hin und her dreht, und zwar an einem als Abstreicher dienenden Blech vorbei. Dadurch gelangt die aus dem Trichter auf den Teller herabgefallene

Kohle über seinen Rand hinweg auf Leitbleche, um von ihnen vor die Wurfschaufel geführt zu werden. In der dargestellten Ausführung ist die Tellerachse nach oben in den Trichterraum hinein verlängert, um bei nasser Kohle als Rührwerk zu dienen. Der Schaufelantrieb erfolgt durch Vermittlung einer Knaggenscheibe. Auf ihr sind drei verschieden hohe Knaggen angebracht, so daß die Federn mit drei verschieden starken Spannungen auf die Schaufel einwirken. Die Rostfläche ist hier also in drei Wurfzonen eingeteilt. Um ferner bei ungleicher Stückgröße der Kohle eine Anhäufung von Brennstoff vorn auf dem Rost zu verhindern, ist bei den Topfschen Wurff Feuerungen noch die Einrichtung getroffen, daß der Zubringer die Kohle

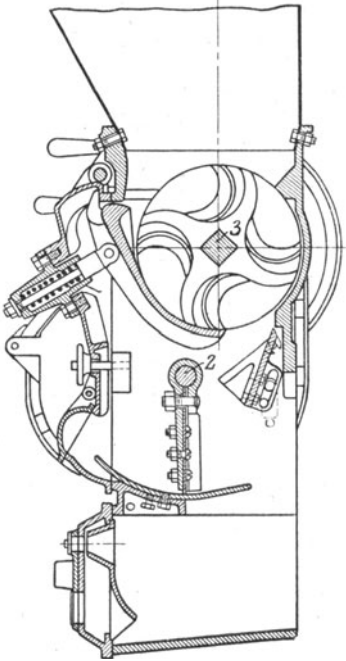


Abb. 89.

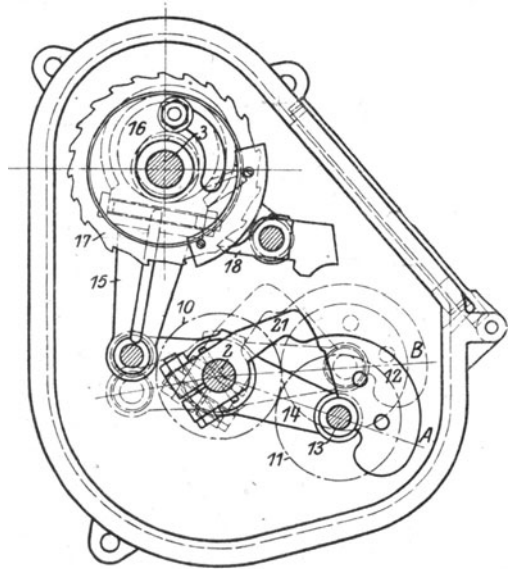


Abb. 90.

in drei verschiedenen Mengen vor die Schaufel bringt, derart, daß ihr für den mit geringster Federspannung erfolgenden Wurf die kleinste Kohlenmenge zugeführt wird. Beim Ballist wird das dadurch erreicht, daß der Tellerschieber drei verschieden große Winkeldrehungen ausführt. Für den Antrieb, dessen Kraftbedarf zu etwa $\frac{1}{4}$ PS je Feuerung angegeben wird, sind zwei Stirnräderpaare angewandt, die gemeinsam mit den Antriebselementen für Zubringer und Schaufel in staubdichten Gehäusen gelagert sind und im Ölbad laufen.

Die Verteilung der Kohle auf die Rostlänge hat man dadurch zu vervollkommen versucht, daß man die Anzahl der Federspannungen, also der Wurfzonen, wesentlich erhöhte. Eine sehr bemerkenswerte, darauf gerichtete Bauart wird bei den von Seyboth & Co., Zwickau i. S. (Abb. 89), gebauten Wurfschaufel Feuerungen angewandt. Sie arbeiten gewöhnlich mit zwanzig verschiedenen Wurfweiten. Das dazu angewandte Wurfwerksgetriebe findet sich in Abb. 90.

Auf der durch Riemen angetriebenen Welle 3 des hier als Kammerwalze ausgeführten Zubringers sitzt lose das Sperrrad 17, mit dem der Exzenterkörper 16 fest verbunden wird. Durch Vermittlung eines Zahnradpaares und eines anderen Exzenters wird von der Antriebswelle 3 aus die Sperrklinke 18 in hin und her schwingende Bewegung versetzt. Dadurch wird Sperrrad 17 und gleichzeitig Exzenter 16 verstellt. Dabei wirkt die Exzenterstange 15 auf einen Doppelhebel 14 ein, der auf der Wurfschaufelwelle 2 drehbar gelagert ist. — Auf Welle 2 steckt ferner lose ein Zahnrad 10, das von der Welle 3 aus angetrieben, in ein auf Bolzen 13 gelagertes Zahnrad 11 eingreift und es ununterbrochen umdreht. Mit Rad 11 fest verbunden ist eine unrunde Scheibe 12, auf welcher der Daumenhebel 21 schleift. Er ist mit der Schaufelwelle 2 fest verbunden, ebenso wie auf der anderen Seite der Feuertür ein Hebel, an welchem zwei Spiralfedern angreifen. Wird nun Spanndaumen 21 bei Rechtsdrehung der unrunder Scheibe 12 allmählich angehoben, so werden sich die Federn spannen. Gleichzeitig geht die Schaufel zurück. Sobald aber die Schlußkante der Scheibe 12 an dem Spanndaumen vorbeigeglitten ist, wird dieser samt Welle 2 und Wurfschaufel von den Federn wieder in die ursprüngliche Lage zurückgerissen und so bei jeder ganzen Umdrehung des Rades 11 ein Schaufelschlag ausgeführt. — Da nun, wie oben angegeben, der Doppelhebel 14 um Welle 2 langsam schwingt, so wird die unrunde Scheibe 12 dabei aus der gezeichneten tiefsten Lage *A* allmählich in ihre höchste, punktiert gezeichnete Lage *B* gelangen, wodurch der Spanndaumen für jeden folgenden Schlag immer höher angehoben wird; bis die Scheibe ihre höchste Lage *B* erreicht hat und dann ebenso langsam wieder nach *A* zurückkehrt. Jedem Zahn des Sperrades 17 entspricht also eine besondere Federspannung und damit eine Wurfszone. Nun sind aber die zwanzig Zähne des Sperrades nicht gleichmäßig auf seinen Umfang verteilt, sondern so, daß auf eine Hälfte zwölf, auf die andere acht Zähne kommen. Außerdem wird es so eingestellt, daß die engen Zähne zum Eingriff gelangen, solange Scheibe 12 oberhalb der Mitte ihres Weges *AB* steht. Infolgedessen gelangen immer abwechselnd zwölf Kohlenwürfe auf die hintere Rosthälfte und acht auf die vordere Hälfte, und zwar jeder Wurf mit einer anderen Wurfweite. Dadurch soll die Feuerung imstande sein, auch Förderkohle und das durch Zerkleinern von Briketts entstandene Gemisch größerer und kleinerer Stücke gleichmäßig über den Rost zu verteilen.

γ) **Die Unterschubfeuerungen.** Der frische Brennstoff gelangt hier unter die im Feuerraum vorhandene Brennschicht. Dadurch werden die entweichenden Schwelgase gezwungen, an glühenden Kohlenstücken vorbeizustreichen, und so auf ihre Entzündungstemperatur gebracht. In diesem Zustande gelangen sie sodann in eine Zone, wo sie energisch mit vorgewärmter Luft gemischt werden, so daß alle Bedingungen für ihre rauchfreie Verbrennung als erfüllt anzusehen sind. — Der Bau solcher Feuerungen soll an der Ausführung der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-Akt.-Ges. (Abb. 91 bis 93) gezeigt werden.

Die Kohle fällt in einen Trog, in dem eine durch Exzenter, Schaltwerk und Kegelhäderpaar von einer Welle aus angetriebene Förderschnecke langsam umläuft. Der Trog ist nur auf einer kurzen Strecke völlig geschlossen. Hinter diesem als Schürplatte dienenden Stück ist er oben offen, so daß die mittels der Schnecke hineingepreßte Kohle nach oben herausquillt. An den Trog schließt sich zu beiden Seiten der Öffnung ein aus längsliegenden Stäben gebildeter Rost an, und zwar zunächst mit je einem Düsenroststab. Auf diese folgen Stäbe mit Γ -förmigem Querschnitt. Die Roststäbe überdecken sich, um Brennstoff und Herdrückstände nicht hindurchfallen zu lassen, liegen aber so, daß Luftspalten zwischen ihnen vorhanden sind.

Die aus dem Troge emporsteigenden Kohlen gelangen allmählich auf die nach beiden Seiten dachförmig abfallenden Rostflächen, um dort völlig auszubrennen. Zum Schlackeziehen sind zu beiden Seiten des Trichters Türen im Rahmen angebracht. —

Der Wind wird vorn unterhalb des Kohlentroges mit einer Pressung von 10—20 mm Wassersäule eingeführt. In den Zuführungskanal ist eine Drosselklappe eingebaut. Er gelangt zum Teil in den zwischen den Schlackentüren hohlen Rahmen des Feuergeschränks und kann von dort aus durch ein Einstellventil als Oberluft in den Flammraum treten. Der übrige Teil des Windes strömt in die unter dem Rost liegende Druckluftkammer, um durch die Spalten der Düsenroststäbe und zwischen den Winkelstäben hindurch als Unterluft in den Feuerraum einzutreten. Der Kraftbedarf einer Schnecke beträgt etwa $\frac{1}{2}$ PS.

c) Selbsttätiges Beschicken und Abschlacken von Planrosten. Um eine völlige Selbstbedienung der Feuerungen zu erreichen, also Eingriffe des Heizers in den Feuerraum möglichst ganz unnötig zu machen, wendet man bewegte Roste an. Auf ihnen brennt die Kohle ab, während sie langsam von der Schürplatte nach dem Rostende zu vorrückt, um dort schließlich als ausgebrannter Rückstand vom Rost herunterzufallen. Die hinter dem Rost angesammelten Schlacken können ohne Eingriff in den Feuerraum, also ohne daß eine Abkühlung desselben stattfindet, entfernt werden.

Das Vorschieben des Brennstoffes kann entweder durch Bewegungen der einzelnen Roststäbe, z. B. bei der Düsseldorfer Sparfeuerung, oder, wie bei den Kettenrosten, durch eine ununterbrochene Bewegung der gesamten Rostfläche bewirkt werden.

α) Die Sparfeuerung Düsseldorf ist in Abb. 94 und 95 in der Ausführung der Gesellschaft für Dampftechnik, Berlin-Wilmersdorf, dargestellt.

Die Kohle fällt vor einen vierkantigen Kolben *K*, der sie stoßweise über die wassergekühlte Verteilungsschiene *V* hinweg in einen aus Schürplatte *P* und Schutzbogen *B* gebildeten Entgasungsraum befördert. Aus ihm wird sie allmählich von der nachdrängenden Kohle auf den Rost hinausgetrieben. Um sie weiter fortzubewegen, ist der Rost folgendermaßen eingerichtet: Er hat nur eine Lage Roststäbe. Diese sind an der Brennbahn mit vier bis sechs flachen Zähnen versehen. Die vorderen Stabköpfe sind so geformt, daß sie eine Daumenwelle *D* umfassen und von den Daumen hin und her bewegt werden können. Das

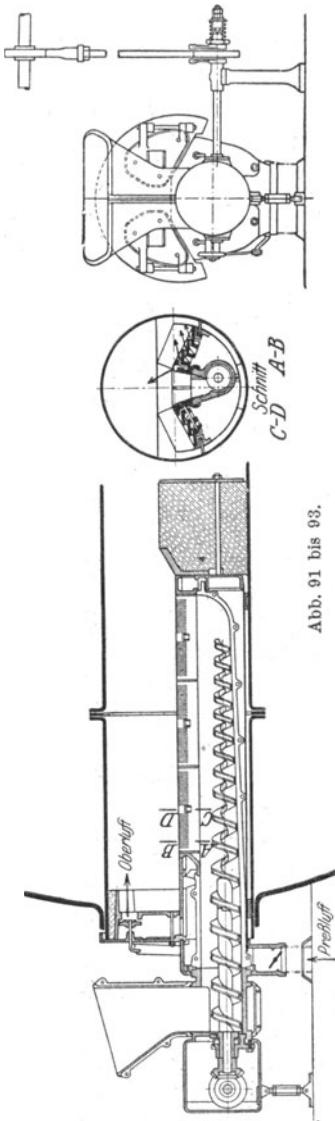


Abb. 91 bis 93.

geschieht in wiederkehrendem Spiel so, daß alle Stäbe zusammen vorwärts wandern, daß darauf aber zunächst nur jeder zweite Stab in die Anfangslage zurückkehrt und die anderen Stäbe dann erst folgen. Beim Hingang der Stäbe wird die gesamte Brennschicht vorwärts bewegt. Gleichzeitig wird auf die Teile der Roststäbe, welche dabei an der Schürplatte in den Feuerraum gelangen, Kohle aus dem Entgasungsraum nachfallen. Infolgedessen staut sich die Kohle beim Rückgang der Stäbe an der Schürplatte. Da außerdem die Zähne der stehbleibenden Stäbe einer Rückwärtsbewegung des Brennstoffes hinderlich sind, so kehrt die Brennschicht nicht mit den Roststäben zurück und der am Rostende angrenzende Teil der Schicht fällt vom Rost herunter. Die herunterfallenden Schlacken häufen sich hinter dem Rost an und schließen ihn gegen den Aschfall ab, sollen also die fehlende Feuerbrückenwand ersetzen.

Die Feuerung eignet sich für alle drei Feuerungsarten. Sie kann auch mit Kohlen von sehr ungleicher Stückgröße — Gries bis Stücke von etwa 100 mm — eine gleichmäßige

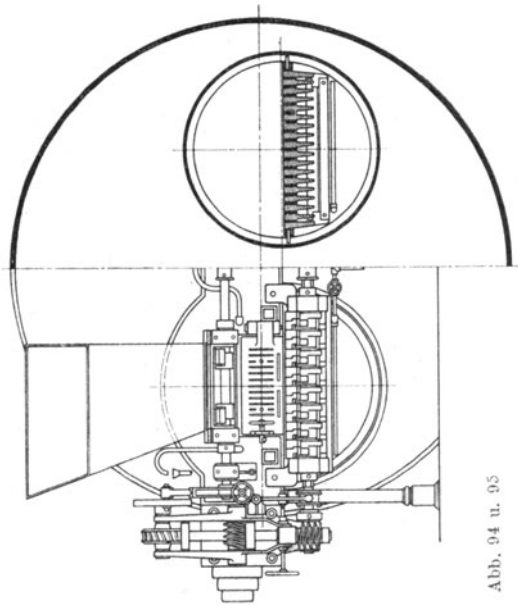
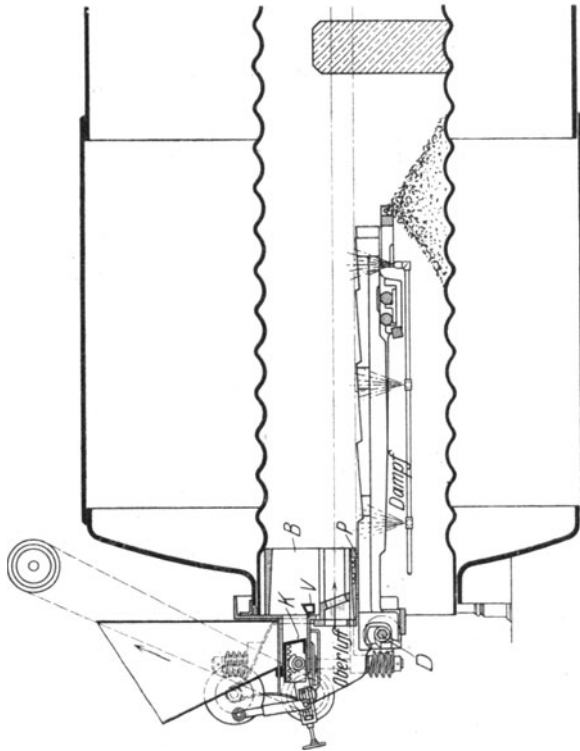


Abb. 94 u. 95



Rostbedeckung bewirken. Im übrigen arbeitet sie am vorteilhaftesten bei nicht zu stark schwankendem Betriebe und bei Verfeuerung ziemlich rückstandsreicher und gashaltiger Kohlenarten mit lockerer Schlacke. Festbrennende Schlacken haben eine schnelle Abnutzung der Stäbe und eine beträchtliche Steigerung des Kraftbedarfs für den Antrieb zur Folge. Weiter macht sich nachteilig bemerkbar, daß die Rostfläche infolge des auf der Schürplatte liegenden Kohlenhaufens schlecht zu übersehen und dadurch die Einstellung der günstigsten Brennschichtstärke und Vorschubgeschwindigkeit sehr erschwert ist. Tritt ferner ein Zusammenbacken im Schlackenhaufen ein, so kann auch das Schlackenziehen große Schwierigkeiten bereiten.

β) Die **Kettenroste** haben sich am meisten von allen mechanischen Feuerungen eingeführt. Namentlich im Großbetriebe finden sie jetzt fast allgemein Verwendung. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß sie eine gute Ausnutzung und rauchfreie Verbrennung der Kohle ermöglichen, keine hochwertigen, teuren Brennstoffe erfordern, in der Wartung ziemlich einfach sind und daß man bei ihnen die Größe der Rostfläche über das bei anderen Feuerungen erreichbare Maß wesentlich steigern konnte. Letzteres gewann eine besondere Bedeutung, weil es dadurch möglich wurde, sehr große Kesseleinheiten zu schaffen, wie sie zur Herstellung gut übersichtlicher Großanlagen erforderlich sind. Leider eignen sich die Kettenroste nicht für Innenfeuerung. Alle Versuche, sie dafür einzurichten, sind wegen der Schwierigkeit, welche dabei die Entfernung der Herdrückstände bietet, erfolglos gewesen.

An die auf Kettenrosten zu verfeuernden Kohlen sind folgende Anforderungen zu stellen: Um ungleichmäßigen Abbrand zu vermeiden, soll die Kohle gut sortiert sein. Alle Siebungen von Gries bis zu Stücken von etwa Faustgröße sind verwendbar, doch ist feinstückigem Brennstoff im allgemeinen der Vorzug zu geben. Im übrigen soll die Kohle nicht besonders gasarm und backend sein und vor allem keine fließenden Schlacken bilden. Ein nicht zu niedriger Gehalt an Unverbrenlichem ist erwünscht, da er eine gute Bedeckung des hinteren Teiles der Rostfläche begünstigt.

Der Aufbau der Kettenroste soll an der in Abb. 96 wiedergegebenen Ausführung der Deutschen Babcock & Wilcox Dampfkesselwerke in Oberhausen besprochen werden.

Die Kohle fällt in ganzer Rostbreite auf ein Kettenband, das aus etwa 250 mm langen Roststäben endlos zusammengesetzt ist. Vorn, unterhalb des Schüttrichters und am hinteren Rostende läuft es über Wellen, welche einige auf die Rostbreite gleichmäßig verteilte Kettenräder tragen. Die Wellen sind in Rahmenblechen gelagert, welche auf Rädern stehen. Diese Räder laufen auf Schienen, so daß die ganze Feuerung aus dem Kesselmauerwerk herausgezogen werden kann. Die vordere Welle wird

vermittels eines Exzenters, Schaltwerks und Schneckengetriebes von einer Transmissionswelle aus stoßweise angetrieben.

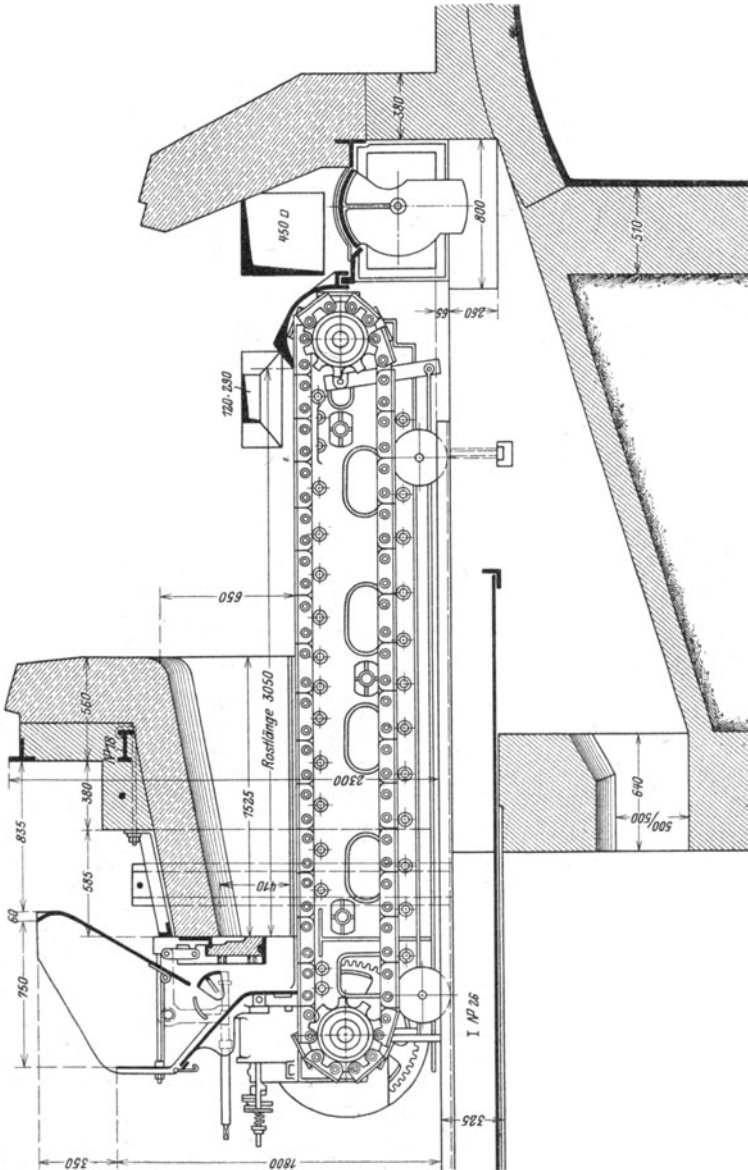


Abb. 96.

Abweichend hiervon leitet man die Bewegung von der bei großen Anlagen für mehrere Kessel gemeinsamen, unter Flur gelegenen Transmissionswelle vielfach auch durch Ketten ab oder man wählt für jeden

Kettenrost Einzelantrieb durch besonderen Motor und läßt den Vorschub des Rostes ununterbrochen erfolgen. Im Mittel beträgt der minutliche Vorschub etwa 100 mm.

Um eine recht ebene Rostfläche zu erzielen, ist die hintere Kettenradwelle im Rahmen verstellbar gelagert, so daß also das Kettenband gespannt gehalten werden kann. Außerdem wird es zwischen den Wellen von einer Anzahl Rollen getragen.

Der durch Einstellen eines in senkrechter Richtung beweglichen Schiebers auf eine bestimmte Stärke — gewöhnlich 100 bis 150 mm — auf den Rost geschichtete Brennstoff wird beim Vorrücken unter der Einwirkung des glühenden Feuergewölbes zunächst trocknen, entgasen, dann verbrennen und schließlich als Rückstand am hinteren Rostende anlangen. Dort befindet sich statt der Feuerbrücke ein Schlackenabstreicher, vor dem sich die Rückstände anstauen, bis sie darüber hinweg

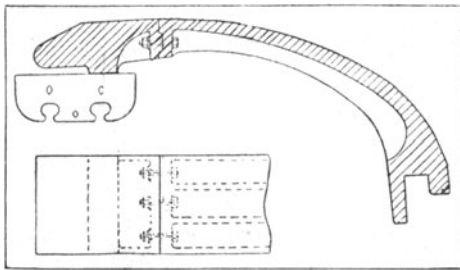


Abb. 97.

in eine Schlackenkammer fallen. Diese ist zur Entleerung mit beweglichem Boden versehen. Die Roststäbe bewegen sich unter dem Schlackenabstreicher über die hintere Kettenradwelle fort und kehren unterhalb der Brennbahn, in kühlendem Luftstrom liegend, nach vorn zurück.

Die Schlackenabstreicher sind dem Abbrande ausgesetzt und erleiden häufig Beschädigungen durch Schlackenstücke, welche auf dem Rost festkleben. Infolgedessen hat man sich besonders bemüht, sie haltbar zu machen und ihren Ersatz auf einfache und billige Weise zu ermöglichen. Sie werden dazu aus einzelnen nebeneinanderliegenden Teilen zusammengesetzt, aus feuerbeständigen Gußeisensorten hergestellt und mit ange-setzter, besonders harter Spitze versehen (vgl. die in Abb. 97 dargestellte Ausführung von Thyssen & Co. in Mülheim a. d. Ruhr).

Sie werden so gelagert, daß sie nach oben etwas ausweichen oder auch derart, daß sie mittels einer darunterliegenden Welle angehoben werden können. Bei der in Abb. 100 dargestellten Ausführung von Steinmüller werden sie sogar, zur Auflockerung der angestauten Schlacken, dauernd bewegt. Neuerdings ist die genannte Firma dazu übergegangen, den Schlackenabstreicher durch eine Feuerbrücke zu ersetzen (Abb. 98).

Über dem Rostende ist eine senkrechte Wand eingebaut, an deren unteren Rande ein über die ganze Rostbreite durchgeführter, wassergekühlter Hohlkörper angebracht ist. An der dem Feuer abgewandten Seite dieses aus Walzeisen zusammengeschweißten Hohlkörpers sind

nebeneinander Gußstücke pendelnd aufgehängt, die wie Rostplatten mit Luftschlitzen versehen sind. Jedes Pendel trägt an der Rückseite einen gewichtsbelasteten Hebel. Alle Hebel schlagen an ein Winkel-eisen, so daß die Pendel nur bis zu einer bestimmten Lage nach vorn durchschwingen können. Die Schlacken werden sich vor den Pendeln nur so lange anstauen, bis sie den Widerstand derselben überwinden können. Wo das eintritt, wird das betreffende Pendel angehoben, so daß sich die Schlacke darunter hinweg nach dem Schlackenfall zu bewegen kann.

Besondere Schwierigkeiten bietet die Erneuerung einzelner Roststäbe und zwar um so mehr, je weiter sie vom Rande des Kettenbandes entfernt liegen. Dem versucht

man durch besondere Gestaltung der Stäbe zu begegnen. Als Beispiel hierfür zeigt Abb. 99 einen von der Ba mag ausgeführten, geteilten Roststab, dessen Teile durch einen schwalbenschwanzförmigen Keil zusammengehalten werden.

Auch die neuerdings am meisten gebräuchlichen Bauarten der Kettenroste, die sogen. Wanderplanroste, wollen vor allem das Auswechseln der Stäbe erleichtern, dabei aber die Verwendung einfach geformter, billiger Stäbe ermöglichen. Abb. 100 und 101 zeigen einen solchen von L. & C. Steinmüller, Gummersbach erbauten Wanderrost. Der Rost wird aus einzelnen hintereinander angeordneten Plan-

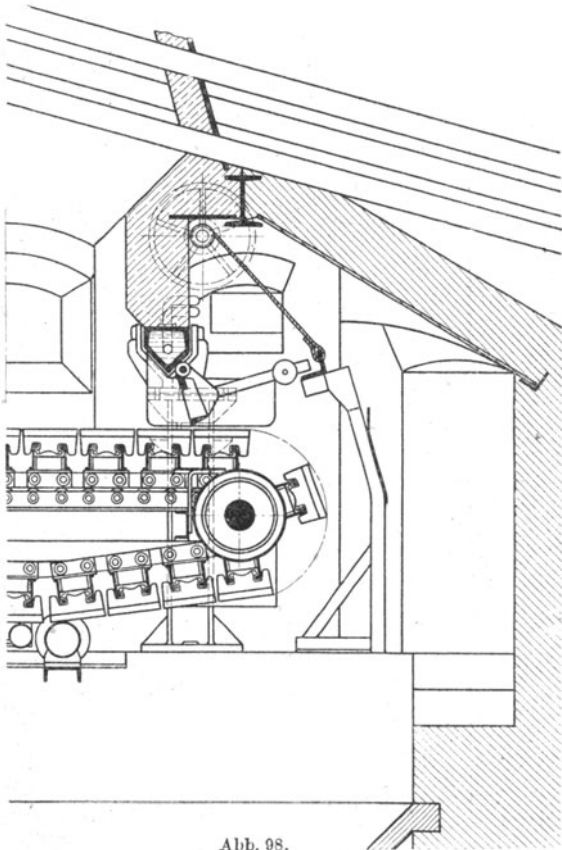


Abb. 98.

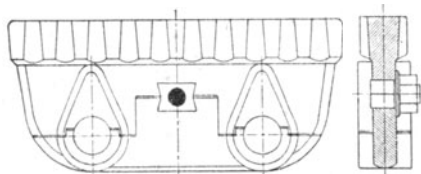
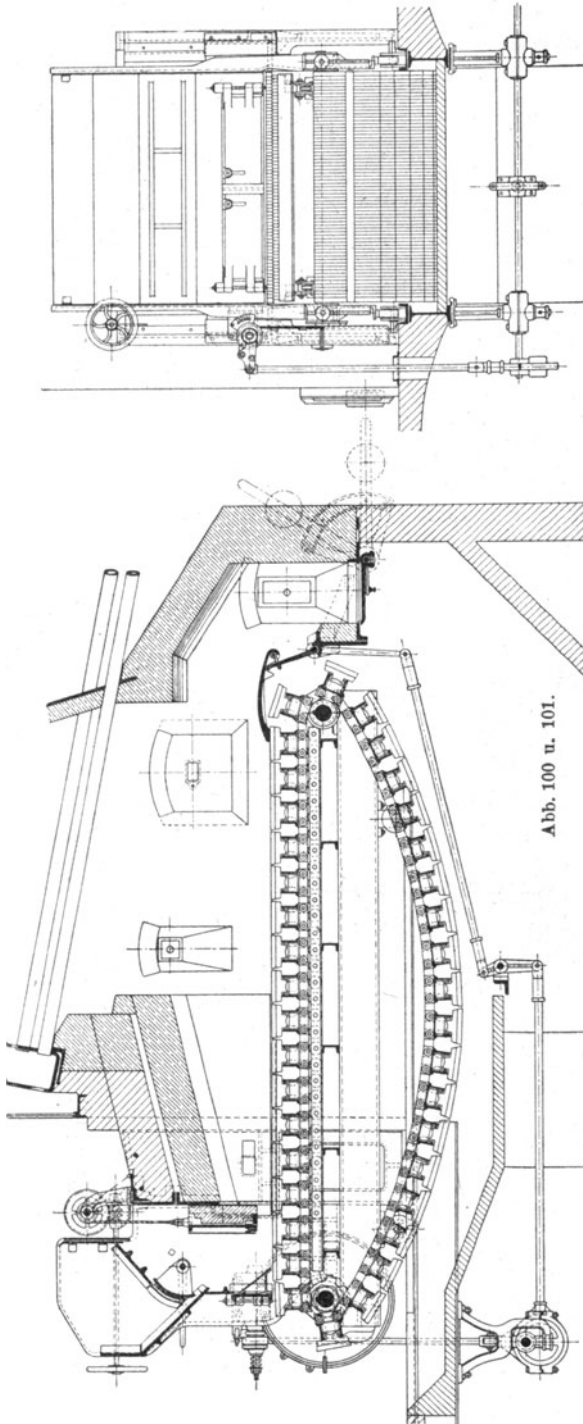


Abb. 99.



roststreifen zusammengesetzt, die durch zwei Gelenkketten verbunden, in gleicher Weise wie die Roststabbänder bewegt werden. Die Roststäbe erfahren dabei keinerlei Zugbeanspruchung mehr und können daher dünner ausgeführt werden, als bei den gewöhnlichen Kettenrosten. Dadurch aber läßt sich die Größe der freien Rostfläche über das bei diesen mögliche Maß erheblich steigern. Da ferner die als Zugorgane dienenden Ketten nicht der unmittelbaren Einwirkung des Feuers ausgesetzt sind, so kommen Störungen in der Rostbewegung hier seltener vor als bei den Roststabbändern. An der gezeigten Ausführung ist noch besonders bemerkenswert, daß der zurückkehrende Teil des Rostes nicht auf Tragwalzen geführt ist, sondern freidurchhängt. Man hat dadurch bei kürzeren Rosten eine bessere Kühlung der Roststäbe und einen leichteren Gang des Rostes erzielt. Bei größeren Rostlängen würde jedoch das Gewicht des durchhängenden Rostteiles die Zugketten so

hoch beanspruchen, daß Reckungen der Ketten und damit Störungen beim Eingriff der Kettenräder unvermeidlich wären. In solchen Fällen wird daher der Rost auch unten stets auf Rollen geführt (vgl. Abb. 98).

Bei niedriger Rostbelastung liegt die Gefahr vor, daß auf dem hinteren Teile der Rostfläche unbedeckte Stellen entstehen, so daß durch die dort einströmende, nicht für die Verbrennung ausgenutzte Luft die Güte der Kesselleistung vermindert wird.

Das macht sich namentlich geltend, wenn man Roststabformen gewählt hat, die eine große freie Rostfläche ergeben. Diesem Mangel will die Firma C. H. Weck in Dörlau durch Regelung der Luftmenge abhelfen, welche dem hinteren Rostteile zugeführt wird. Abb. 102—104 zeigen zunächst den Aufbau eines Rostelementes in der Weckschen Ausführung.

Die aus Profileisen bestehenden Rostträger *a* werden durch Kopfstücke *k* und Stehbolzen *g* zusammengehalten. In die Wulst eines Rostträgers ist in der Nähe des Kopfstückes ein Schlitz eingefräst, der das Einlegen der Roststäbe *d* in den Rahmen ermöglicht. Der Schlitz wird danach durch eine Schraube *s* verschlossen, wodurch das Herausfallen der Stäbe verhindert wird. Mit Hilfe der Kopfstücke werden die Rostträger auf den Ketten befestigt.

Der Luftregler (Abb. 105—107) liegt unmittelbar unter den Rostträgern und besteht aus einem Schiebegitter mit längs liegenden festen T-Eisen *b* und darüber liegenden, beweglich gelagerten Flacheisen *c*. Dieses Schiebegitter liegt nur unter den beiden letzten Dritteln der Rostfläche. Ist es, so wie in der Abbildung

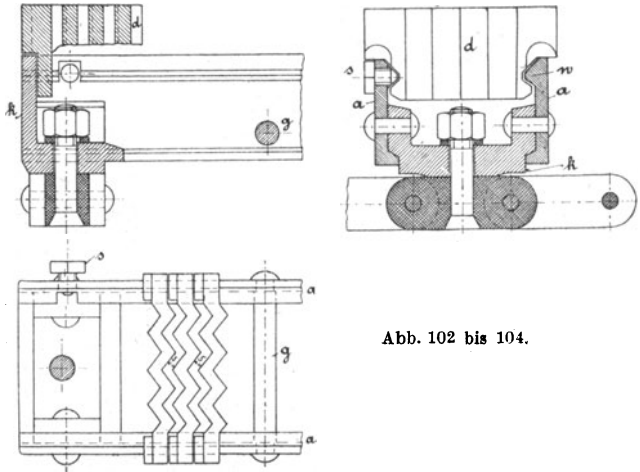


Abb. 102 bis 104.

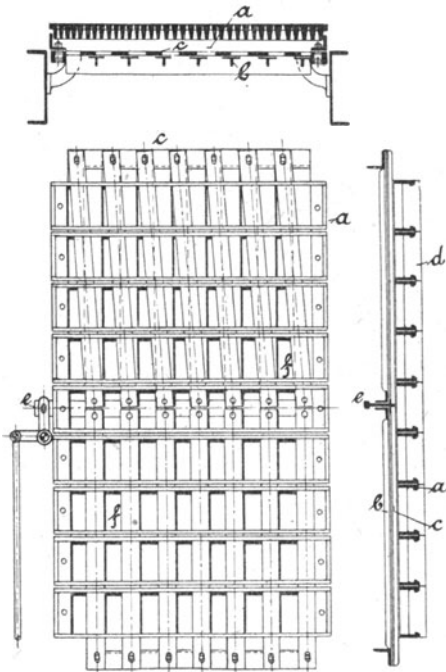


Abb. 105 bis 107.

angegeben, ganz geöffnet, so strömt die Luft zum zweiten Drittel der Rostfläche durch lauter gleichgroße Öffnungen *f*, dagegen nimmt die Luftzufuhr auf dem letzten Drittel nach hinten zu ab. Durch Stellen an einem Handhebel können mit

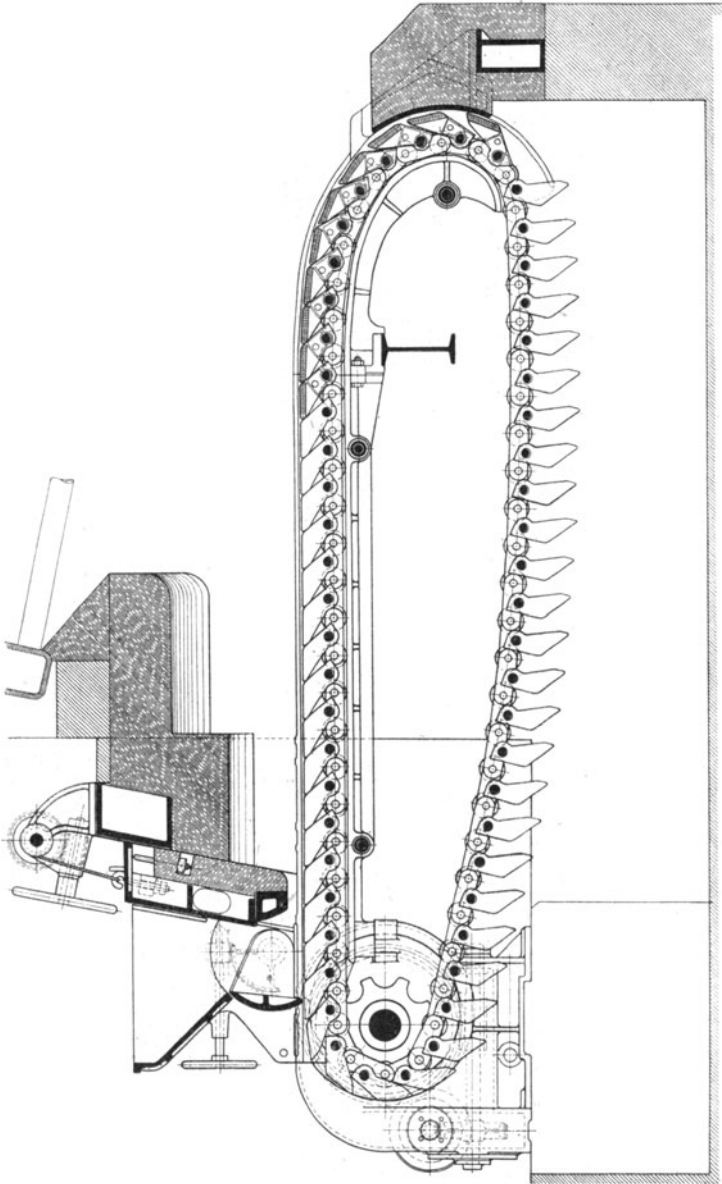


Abb. 108.

Hilfe des Gestänges *e* die mittleren Enden der Flacheisen *c* nach links verschoben werden, so daß sich dann die Öffnungen *f* auf dem mittleren Drittel nach hinten zu verengen, während auf dem letzten Rostdrittel gar keine Luft zuströmt.

Einen Kettenrost besonderer Bauart, den Placzek-Rost (Abb. 108) liefert die Firma Büttner in Ürdingen am Rhein.

Er wird aus Roststäben zusammengesetzt, deren Form in den Abb. 109 bis 111 veranschaulicht ist. Die Stäbe werden auf Drehachsen aufgereiht und diese an beiden Enden an den Zugketten befestigt. Zur Auswechslung schadhafter Stäbe kann die betreffende Stabreihe leicht heraus genommen und dafür eine breitgehaltene Ersatzreihe eingelegt werden. Als Vorzüge der Bauart gelten: Geringer Bewegungswiderstand des Rostes; für das Auskühlen besonders vorteilhafte Lage der Roststäbe beim Rückgange; größere Haltbarkeit des Schlackenabstreichers, der wegen der Eigenart des Rostes tiefer gelegt, mithin der unmittelbaren Einwirkung des Feuers entzogen werden kann.

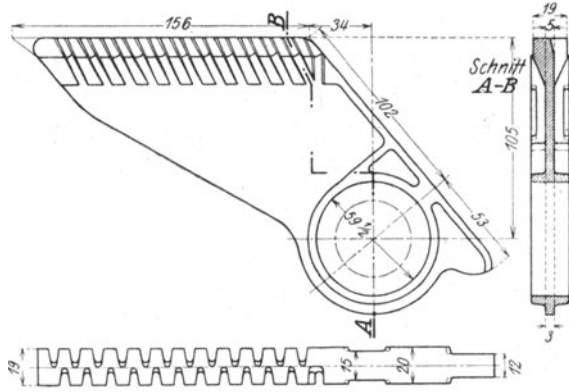


Abb. 109 bis 111.

16. Die Kohlenstaubfeuerungen.

Kohlenstaub läßt sich ohne Rost verbrennen, wenn man ihn in Form von Staubwolken in einen mit Schamotte gefütterten Feuerraum einführt. Man erhält dann recht einfache Feuerungen, die folgende Vorteile bieten:

Die Brennstoffzufuhr und damit die Wärmeentwicklung läßt sich dem Bedarf genau anpassen. Da der Staub auf das innigste mit Luft gemischt werden kann, kommt man mit ganz geringem Luftüberschuß aus. Es lassen sich Kohlen mit sehr hohem Aschengehalt verfeuern.

Dem stehen als wesentlichster Nachteil die hohen Aufbereitungskosten des Staubes gegenüber. Dieser muß nicht nur durch feinste Vermahlung hergestellt, sondern auch möglichst vollkommen getrocknet werden. — Sodann lagert sich fast der gesamte Rückstand als Flugasche in den Zügen ab. Seine Entfernung ist daher hier kostspieliger und umständlicher, als wenn man ihn vom Rost und aus dem Aschenfall zu ziehen hat. Ferner verbrennt und zwar vornehmlich wenn der Staub nicht trocken ist, ein Teil desselben nur mangelhaft und fällt angekockt ebenfalls in den Zügen nieder.

Die Staubfeuerungen haben sich daher bisher nicht auf die Dauer einführen können, welchen Erfolg die gegenwärtigen, auf ihre Einführung gerichteten Bestrebungen zeitigen werden, läßt sich noch nicht übersehen.

17. Die Feuerungen für flüssige Brennstoffe.

A. Allgemeines.

Infolge der Bestrebungen, welche auf eine allgemeinere Weiterverarbeitung der Rohkohlen hinzielen, dürfte sich die Erzeugung von Teerölen weiter steigern, wodurch die Verfeuerung flüssiger Brennstoffe auch für Deutschland immer mehr an Bedeutung gewinnen würde. Sie bietet viele Vorteile, von denen die wichtigsten nachstehend zusammengestellt sind:

Wegen des hohen Heizwertes der Heizöle stellen sich die Frachtkosten für die Wärmeeinheit niedriger als bei anderen Brennstoffen, auch wird am wenigsten Raum für die Lagerung der Brennstoffvorräte gebraucht. Eine Abnahme des Heizwertes infolge der Lagerung, die bei Kohle nicht unerheblich sein kann, findet hier gar nicht statt. Der Brennstoff kann der Feuerung bequem und ohne Staubbelästigung zugeführt werden. Der Fortfall des Rostes vereinfacht den Aufbau der Feuerung und verringert ihre Unterhaltungskosten. Die Verbrennung der Öle ist mit ganz geringem Luftüberschuß und dabei rauchfrei möglich. Die Bedienung und Regelung des Feuers ist einfach. Verbrennungsrückstände sind nicht vorhanden. Diese Vorteile gewinnen noch an Bedeutung bei Schiffskesseln und Lokomotiven (kein Funkenauswurf), so daß eine allgemeinere Verwendung der Teeröle als Brennstoff durchaus erwünscht wäre.

Das Öl läßt man der Feuerung gewöhnlich aus einem 2 bis 3 m höher gelegenen Behälter zulaufen. Damit dabei keine Verstopfung der Rohrleitungen eintritt, ist es nötig, die mehr oder weniger zähflüssigen Heizöle vorher anzuwärmen (auf etwa 60 bis 70°). Dazu wird meistens Kesseldampf durch eine in den Behälter eingebaute Rohrschlange geführt. Außerdem werden Siebfilter in der Ölleitung angebracht, durch welche mitgeführte feste Stücke — teils Verunreinigungen, teils Ausscheidungen — zurückgehalten werden.

Die Verbrennung des Öles wurde ursprünglich so versucht, daß man dasselbe flachen Gefäßen zuführte und dort entzündete — Schalenfeuerung. Auf diese Weise läßt sich aber nur eine recht unvollkommene Verbrennung bei stark rauchender Flamme erzielen. Auch dadurch, daß man das Öl in ganz dünner Schicht über eine große Brennfläche laufen — Rieselfeuerung — oder durch eine poröse Wand von unten in den Feuerraum eintreten — Sickerfeuerung — oder tropfenweise in eine Verbrennungskammer fallen ließ — Tropffeuerung — wurde eine wesentliche Verbesserung nicht erreicht, jedenfalls keine Feuerungen geschaffen, die sich für höhere Dauerleistungen eigneten. Dies ist bisher nur möglich gewesen durch Zerstäubung oder Verdampfung des Öles.

B. Ölstaubfeuerungen.

Das Öl gelangt in feinste Tröpfchen verteilt in den Feuerraum. Diese sollen dort schnell verdampfen und der auf das innigste mit Luft gemischte Öldampf restlos verbrennen. Die dazu nötige Zerstäubung des Öles kann erfolgen durch:

a) **Zerstäubung mittels Öldruckes.** Das Öl wird mittels Pumpe unter einen Druck bis zu 10 Atm. gesetzt und einem Brenner zugeführt. Vor demselben wird es noch so hoch erwärmt, daß ein möglichst großer Teil desselben nach dem Austritt aus der Brennerdüse infolge der dabei stattfindenden Druckentlastung verdampft. Um Dampfbildung vor dem Brenner und damit Stöße im Zuleitungsrohr zu vermeiden, begnügt man sich bei Teeröl mit einer Vorwärmung von etwa 80, bei Naphtha von 140°. Die Zerstäubung des nicht verdampfenden Anteils wird dadurch herbeigeführt, daß man das Öl im Brenner durch einen schraubenförmig gewundenen Kanal preßt und ihm so eine Schleuderbewegung erteilt, mit der es den Brenner verläßt.

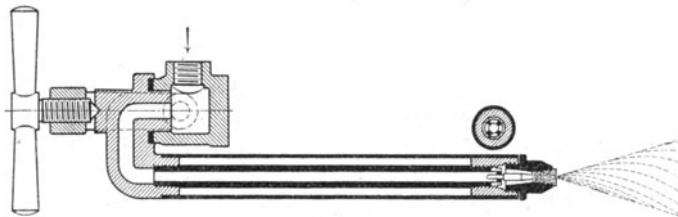


Abb. 112.

Abb. 112 zeigt einen solchen Brenner in der Bauart der Gebr. Körting, Hannover. Er wird meistens in einen Trommelschieber zentrisch eingebaut, das ist ein nach dem Kessel zu erweitertes gußeisernes Rohr, das mit Längsschlitz versehen ist. Auf demselben ist ein ebenfalls geschlitzter Blechmantel angeordnet, der zwecks Einstellung der Verbrennungsluftmenge gedreht werden kann.

Diese Art der Zerstäubung läßt sich nur für nicht allzu dickflüssige Öle anwenden und nur für stündliche Leistungen von mindestens 50 kg Öl, weil praktisch weder Öldruck noch Düsenquerschnitt weiter verkleinert werden können. Sie bietet den Vorteil geringer Betriebskosten, dafür sind aber die Kosten der Anlage ziemlich hohe, da je ein Vorwärmer in Saug- und Druckleitung, eine Dampfpumpe mit Windkessel, eine Reservepumpe und dazu ein ausgedehntes Leitungsnetz gebraucht werden.

b) **Zerstäubung mittels Preßluft.** Sie erfordert einen Winddruck-erzeuger, der die Verbrennungsluft einem Brenner zuführt. Die dabei angewandten Pressungen bewegen sich in den Grenzen von etwa 150 bis 700 mm Wassersäule. Die Luft wird zuweilen ebenfalls vorgewärmt. Bei vielen Ausführungen strömt sie, ebenso wie der Dampf bei dem in Abb. 114 gezeichneten Brenner, am Brennerkopf aus einem sehr schmalen, ring-

förmigen Querschnitt aus, trifft dort auf das innerhalb des Ringes aus tretende Heizöl, zerreißt es in feine Tröpfchen und führt es als Nebel in den Feuerraum. Eine davon abweichende Einrichtung zeigt Abb. 113.

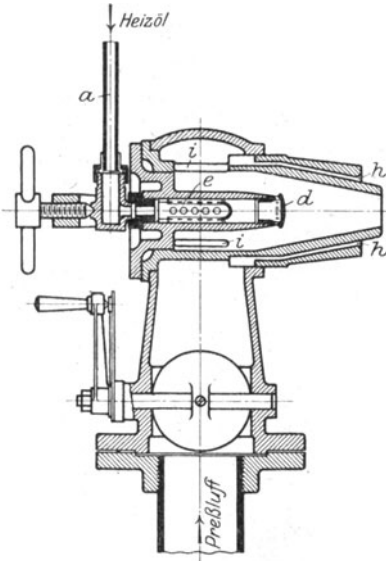


Abb. 113.

Bei diesem von Carl Schmidt, Heilbronn gebauten Brenner strömt die Luft an einer Drosselklappe vorbei zum Teil in einen die Düse umgebenden Mantel, zum anderen Teil aber durch Öffnungen *i* in das Innere der Düse. Dorthin gelangt ebenfalls das Öl und zwar aus dem Rohr *a* durch das Filter *e* und den Verteilerkopf *d*. Die dort dem Luftstrom entgegertretenden Ölstrahlen werden in Staub aufgelöst und so fortgeführt, um an der Düsenöffnung umgeben von dem bei *h* austretenden Luftmantel, in den Feuerraum zu gelangen.

Die Betriebskosten stellen sich bei der Preßluftzerstäubung etwas höher als bei der mittels Öldruckes, dagegen sind die Anlagekosten geringer. Der Luftüberschuß läßt sich hier am geringsten halten, somit höhere Feuertemperaturen erzielen

als bei den anderen Zerstäubungsarten. Da sich auch die Mischung des Ölnebels mit Luft am vollkommensten erreichen läßt, so bietet diese Zerstäubungsart am meisten die Möglichkeit restloser und völlig rauch-

freier Verbrennung der Heizöle.

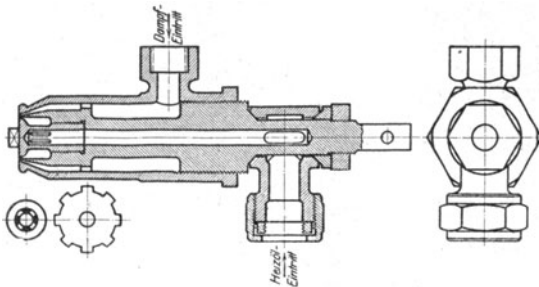


Abb. 114 u. 115.

c) Zerstäubung durch Dampf.

Bei dieser wird ein Dampfstrahl — am zweckmäßigsten von überhitztem Dampf — zur Erzeugung des Ölnebels angewandt. Manche dickflüssigen Öle lassen sich überhaupt nur

auf diese Weise zerstäuben. Die dafür aufzuwendende Dampfmenge beträgt durchschnittlich 4% des erzeugten Dampfes, ist also ziemlich beträchtlich. Infolgedessen läßt man bei dünnflüssigeren Ölen den Dampfstrahl vor dem Brenner Luft ansaugen und zerstäubt das Öl mit dem so entstandenen Dampf-Luftgemisch. Die Energie des Dampfes kann auf diese Weise besser ausgenutzt und der Dampfverbrauch für die Zerstäubung bis auf etwa 1% vermindert werden.

In Abb. 114 und 115 ist ein für Naphthafeuerung benutzter Brenner, Bauart Simonis & Lanz, Frankfurt a. M., wiedergegeben. Der Brennerkopf zeigt zwei konzentrisch liegende, ringförmige Öffnungen. Aus der inneren tritt das Heizöl, aus der äußeren der Dampf aus.

Die Dampfstrahlzerstäubung ist in der Anlage am einfachsten und billigsten. Neben den hohen Betriebskosten besitzt sie aber den Nachteil, daß der eingeblasene Dampf, der doch an sich für den Verbrennungsvorgang wertlos ist, Wärme in den Schornstein abführt, also zur Erhöhung des Schornsteinverlustes beiträgt und daß ferner die für den Zerstäubungsdampf erforderliche Wassermenge für den Maschinenbetrieb verloren geht. Das letztere ist auf Schiffen von wesentlicher Bedeutung.

d) Das Inbetriebsetzen der Ölstaubfeuerungen bietet insofern Schwierigkeiten, als man zunächst doch keinen Dampf für die Ölvorwärmung, ferner bei Öldruckzerstäubung zum Betriebe der Dampfmaschine und bei der mittels Dampfstrahles für diesen selbst zur Verfügung hat. Man hilft sich dann so, daß man den Kessel mit einem kleinen Schalenfeuer oder mit Holz anheizt oder man führt bei Öldruckzerstäubung zum Anfeuern Petroleum durch

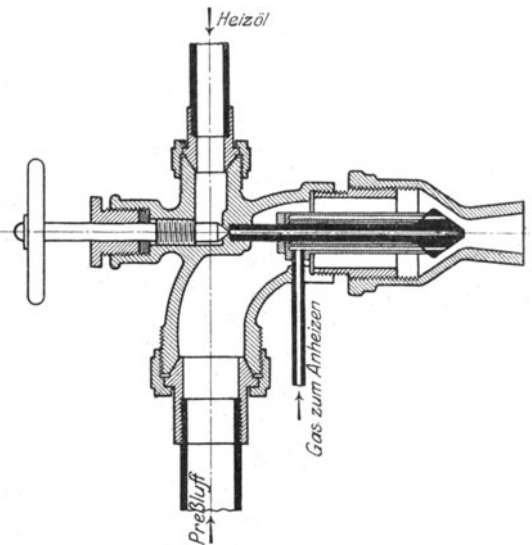


Abb. 116.

eine Handpumpe zu. Bei Preßluftzerstäubern erfolgt das Anheizen, falls Winddruck erzeugt werden kann, ebenfalls mit Petroleum oder wohl auch mit Brenngas. Einen dafür eingerichteten Brenner, Bauart Urb-scheit, zeigt Abb. 116.

Um mit dem Heizöl anfeuern zu können, trifft man auch Einrichtungen, bei denen der Ölvorwärmer zunächst durch die Abgase eines Kohlenfeuers beheizt wird.

In Abb. 117 bis 119 findet sich die Gesamtanordnung einer Ölstaubinnenfeuerung mit Dampfstrahlzerstäuber, wie sie von Borsig, Berlin-Tegel gebaut wird. Die Ausmauerung des Feuerraumes bietet den Vorteil, daß sich das nach etwaigen kurzen Betriebsunterbrechungen in den Feuerraum eingeblasene Öl von selbst wieder entzündet.

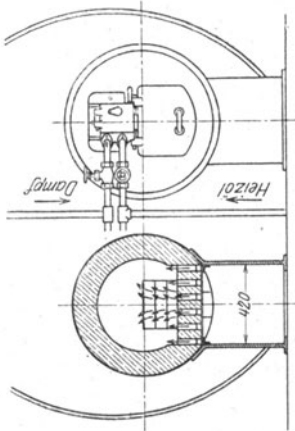


Abb. 117 bis 119.

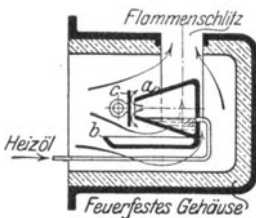
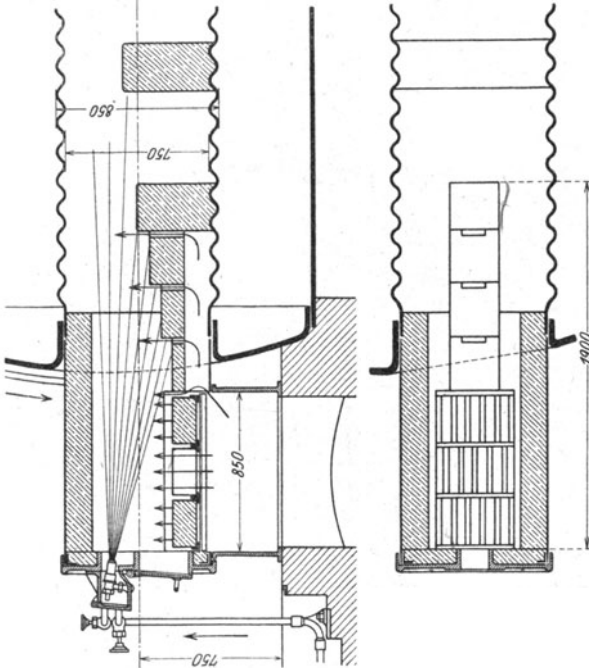


Abb. 120.

C. Öldampff Feuerungen.

Am leichtesten läßt sich die innige Mischung des Öles mit Luft erreichen, wenn man dasselbe dazu, ehe es in den Feuerraum gelangt, in Dampfform bringt. Eine brauchbare Lösung dieser Aufgabe liegt im Irinyi-Brenner (Abb. 120) vor.

Das Heizöl fließt dem Gefäß *a* zu, in welchem es verdampft. Der Dampf tritt aus einer düsenartigen Öffnung des Gefäßes aus, vor welcher eine zum Regeln der Flammengröße verstellbare Platte *c* angebracht ist. Die Flammen sind so geführt, daß sie zunächst das Gefäß *a* bestreichen und dann durch einen Schlitz des Brennergehäuses in den eigentlichen Feuerraum treten. Beim Anheizen unterhält man in der Schale *b* ein Ölfeuer, das die Verdampfung des Öles in *a* und die Entzündung des austretenden Dampfes herbeiführt.

Für alle Öle, die sich ohne Rückstand verdampfen lassen, bietet diese Art der Verfeuerung große Vorteile, da die Kosten für die Zerstäubung fortfallen.

18. Die Feuerungen für gasförmige Brennstoffe.

A. Allgemeines.

Brenngase ergeben ebenfalls den Vorteil bequemer und reinlicher Zuführung des Brennstoffes zur Feuerung, ferner gut zu regelnder und leicht zu bedienender Feuerungen, in denen der Brennstoff bei geringstem

Luftüberschuß rauchfrei verbrannt werden kann und aus denen keinerlei Herdrückstände fortzuschaffen sind. — Dem steht als Nachteil die Explosionsgefahr gegenüber, die namentlich beim Anzünden besteht, wenn sich vorher Knallgasgemisch in den Zugkanälen angesammelt hat und die Züge vor dem Einführen der Zündflamme in die Feuerung nicht gut mit Luft durchspült werden. Bei einiger Vorsicht lassen sich jedoch die Explosionen vermeiden und der Betrieb der Gasfeuerungen durchaus gefahrlos gestalten.

Als Brenngase kommen in Betracht: Generatorgas und die aus Hochöfen und Koksöfen gewonnenen „Industriegase“ (vgl. Abschnitt 4 C, S. 15).

B. Gasfeuerungen mit besonderem Gaserzeuger.

Gasfeuerungen mit besonderem Gaserzeuger haben sich nur wenig eingeführt, da die Vorteile dieser Feuerung: gute Verwertung gering-

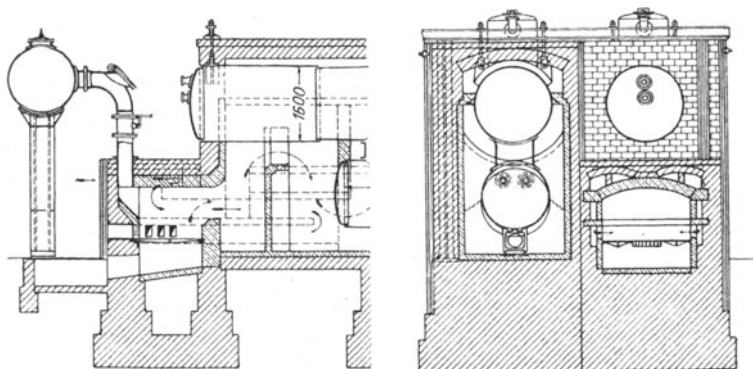


Abb. 121 u. 122.

wertiger Brennstoffe, sich auch in Feuerungen für feste Brennstoffe erreichen lassen, ferner die Anlage- und Unterhaltungskosten solcher Einrichtungen groß und die Wärmeverluste größer als bei den anderen Feuerungen sind.

C. Verfeuerung der Industriegase.

a) **Gasfeuerungen mit Hilfsfeuer.** Abgase von Hochöfen und Koksöfen wurden früher allgemein in der einfachsten aber auch unwirtschaftlichsten Weise, wie in Abb. 121 und 122 angegeben, zum Beheizen von Dampfkesseln verwandt.

Das Gas und die vorgewärmte Verbrennungsluft werden dabei in eine Verbrennungskammer geleitet, in welcher auf einem Rost zum Entzünden des Gases ein Hilfsfeuer unterhalten wird. Die so erzielte Ausnutzung des Brenngases betrug meistens unter 50%.

b) **Gasfeuerungen mit Brenner.** Es gelang den Heizwert des Brenngases mit durchschnittlich 75% auszunutzen, nachdem die Feuerungen so eingerichtet waren, daß Gas und Luft gut miteinander gemischt und die Luft-

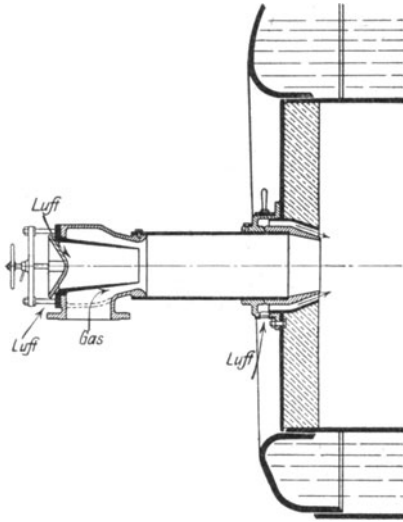


Abb. 123.

zufuhr nach der Menge und Güte des zuströmenden Gases genau geregelt werden können. Bei der größten Zahl dieser Feuerungen wird die Arbeitsweise des Bunsenbrenners angewandt, so z. B. bei der viel ausgeführten Terbeckfeuerung (Abb. 123) und bei den neuerdings eingeführten Gasfeuerungen der Gustav Moll & Co. Akt.-Ges. Neubeckum (Abb. 124, 125, 126).

Die Verbrennungsluft wird gewöhnlich durch das aus einer Düse ausströmende Gas angesaugt, nur wenn der Gasdruck weniger als etwa 50 mm Wassersäule beträgt, wird sie unter Druck zugeführt. Gas und Luft strömen zusammen durch ein Mischrohr, ehe sie in den Feuerraum gelangen.

Beim Terbeckbrenner kann dem Gasluftgemisch beim Verlassen des Mischrohres wiederum Luft zugeführt werden. Beide Luftzuführungen sind regelbar.

Der Mollbrenner ist mit einem Mischrohr versehen, das mittels eines Griffes *G* (Abb. 124) in achsialer Richtung verschoben werden kann. Dabei wird das Rohr

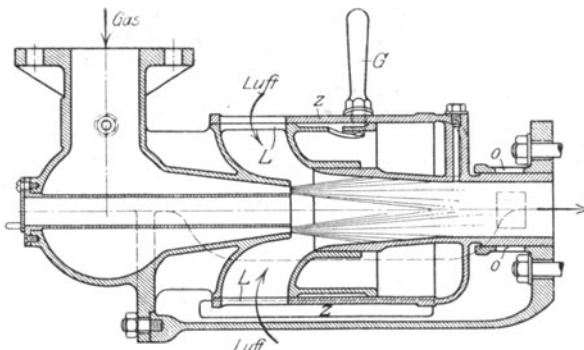


Abb. 124.

und der mit ihm zusammenhängende Zylinder *Z* gleichzeitig gedreht. Hat man das Mischrohr zurückgezogen, so sind einerseits die Luftschlitz *L* geschlossen, andererseits Öffnungen *O* im Führungsrohr freigegeben. Durch diese kann man dann das eingelassene Gas entzünden. Es ist dabei nicht mit Luft gemischt, brennt also zunächst mit reduzierender,

begierig Sauerstoff aufnehmender Flamme, die man einige Zeit fortbrennen läßt. Dadurch sollen Explosionen beim Anfeuern vermieden werden. Zur Erreichung dieses Zweckes sind andere Ausführungen der Moll-Gasfeuerungen außerdem so eingerichtet, daß der ganze Brenner, nachdem das Mischrohr aus dem Führungsrohr herausgezogen wurde, um die senkrechte Achse des Gaszuleitungsrohres gedreht und das Gas außerhalb des Feuerraumes angezündet werden kann.

Dies ist bei dem mittleren Brenner der in Abb. 125 und 126 gezeichneten Feuerung der Fall.

Er läßt sich zum Anzünden ausschwenken (unterer Drehzapfen *D*, oberer Zapfen mit Flüssigkeitsverschluß *V* versehen) und kann unabhängig von den übrigen um ihn herum angeordneten Außenbrennern mit Gas versehen werden. Bei den letzteren kann das erst erfolgen, nachdem der Mittelbrenner wieder eingeschwenkt wurde, da das Handrad *H* des Absperrschiebers in der die Außenbrenner versorgenden Gasleitung beim Ausschwenken des Mittelbrenners mit Hilfe der Steuerung *S* verriegelt wird.

Die bei der vorliegenden Ausführung durchgeführte Verteilung des Gasstromes auf mehrere Brenner ist zur gleichmäßigen Mischung von Gas

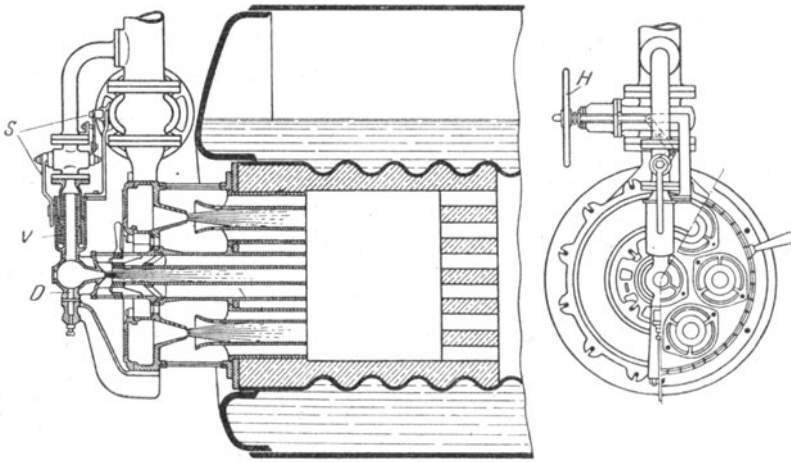


Abb. 125 u. 126.

und Luft und zur Erzielung ruhigen Brennens bei allen Feuerungen notwendig, in denen große Gasmengen verbrannt werden sollen.

Das Gittermauerwerk, welches den Feuerraum abschließt, wird in Betriebe glühend und soll so verhindern, daß bei stärkeren Druckschwankungen oder nach zweitweiligem Ausbleiben des Brenngases Unverbranntes in die Heizkanäle gelangt. Dem gleichen Zweck dienen bei anderen Bauarten Zündflammen, die an jedem Brenner angebracht und aus einem besonderen Gasbehälter gespeist werden.

Beim Bau der Gasfeuerungen ist noch besondere Rücksicht auf die Verunreinigungen zu nehmen, welche die Brenngase mit sich führen und durch welche Verstopfungen an den Düsen verursacht werden können. Alle Teile der Feuerung müssen daher zugänglich sein. Besonders störend macht sich der in den Gichtgasen enthaltene Staub bemerkbar. Es wird daher im allgemeinen eine Reinigung dieser Gase bis auf einen Staubgehalt von höchstens 3 g im cbm Gas vor der Feuerung als notwendig angesehen. Seit einigen Jahren hat aber die Firma Rheinischer Vulkan,

Oberdollendorf a. Rh. Feuerungen auf den Markt gebracht, die auch bei jedem Gehalt der Brenngase an Staub, Ruß und schweren Kohlenwasserstoffen ohne Gefahr der Verstopfung arbeiten sollen.

D. Flammlöse Oberfläcnenverbrennung.¹⁾

Die in den Jahren 1911/12 für die Beheizung von Dampfkesseln versuchte „flammlöse Oberfläcnenverbrennung“, bei der ein Gasluftgemisch in einer porösen, schamotteartigen Masse ohne Flammbildung auf einer sehr kurzen Strecke verbrennt, hat bis jetzt praktische Bedeutung nicht erlangt, da sich die Heizröhren, welche mit Stücken der genannten Masse angefüllt waren und als Verbrennungsraum dienten, sehr bald völlig verstopften.

E. Ausnutzung der Abhitze.

Im Hüttenbetriebe nützt man die in den Abgasen der Öfen enthaltenen, oft recht beträchtlichen Wärmemengen dadurch aus, daß man diese Gase an den Heizfläcnen von Dampfkesseln entlang führt. Solche Abhitzkessel werden am zweckmäßigsten über dem Ofen aufgestellt, welcher die Abhitze liefert. Wasserrohrkessel eignen sich dazu am besten²⁾.

19. Die Heizkanäle.

Die Heizkanäle, Feuerzüge oder Züge sind Kanäle, in denen sich die Heizgase zwischen Rost und Fuchs bewegen. Sie haben den Zweck, die Heizgase in eine lange und innige Berührung mit der vom Wasser benetzten Kesselwand zu bringen. Sie müssen so eingerichtet werden, daß sie behufs Reinigung und Besichtigung der Kesselwände leicht befahren werden können.

Die Größe des Querschnittes ist, wenn möglich, so zu bemessen, daß die Geschwindigkeit der Heizgase in den gemauerten Zügen bei natürlichem Luftzuge 3 bis 4, höchstens 6 m in der Sekunde beträgt. Hiermit ergibt sich bei 3 gemauerten Zügen und bei einer Beanspruchung der Rostfläcne von 60 bis 120 kg Kohlen in der Stunde und auf das qm Rostfläcne der Querschnitt des letzten Zuges und des Fuchses zu $f = \frac{1}{4}$ der Rostfläcne, des zweiten Zuges = 1,25 f bis 1,5 f und des ersten Zuges = 1,5 f bis 1,75 f . Ausgenommen sind hiervon diejenigen Stellen, an denen man, wie z. B. über der Feuerbrücke, die Heizgase behufs Mischung und Vervollständigung der Verbrennung zusammenziehen will. Ausgenommen ist ebenfalls der Querschnitt der Heizrohre bei Heizrohrkesseln usw. An diesen Stellen tritt eine Verengung der Querschnitte bis auf $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ der Rostfläcne ein. Andererseits sind an solchen Stellen, an denen die Gase ihre

¹⁾ Vgl. Feuerungstechnik I. Jahrg., S. 39, 62, 118, 259.

²⁾ Näheres hierüber in: F. Peter, Die Abhitzkessel; W. Knapp, Halle a. S., 1913.

Richtung ändern, die Querschnitte zu vergrößern. In vielen Fällen ist die Größe des Zugquerschnitts schon durch andere Vorbedingungen (z. B. Befahrbarkeit) bestimmt.

Die Geschwindigkeit c der Heizgase berechnet sich, wenn man mit f den Querschnitt des Kanals, mit B die in der Stunde verfeuerte Kohlenmenge in kg und mit G das aus 1 kg Brennstoff sich ergebende Gasvolumen bei der zugehörigen Temperatur in cbm bezeichnet, aus:

$$c \cdot f \cdot 3600 = B \cdot G ;$$

Setzt man $a = \frac{f}{R}$, also $f = a \cdot R$, so wird:

$$c = \frac{B}{R} \cdot \frac{G}{a \cdot 3600} .$$

Die höchste Stelle der Feuerzüge soll mindestens 100 mm unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserstande liegen. Nicht wasserberührte Kesselwände dürfen den Heizgasen nur dann ausgesetzt werden, wenn die vorher bestrichene Heizfläche bei natürlichem Zuge das 20fache, bei künstlichem das 40fache der Rostfläche beträgt (vgl. § 3 der A. P. B., S. 303).

Richtungsänderungen des Gasweges, besonders solche um scharfe Ecken, und Einschnürungen des Kanals erhöhen den Zugwiderstand nicht unerheblich. Andererseits findet aber an jeder derartigen Stelle eine Durchwirbelung der Heizgase statt, wodurch immer neue Gasteilchen zur Wärmeabgabe an die Kesselwand gelangen. Es finden sich daher Einmauerungen, bei denen zur Verbesserung der Wärmeübertragung in längeren geraden Kanälen mehrere kurze Verengungen durch — $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein starke — Zwischenwände erzeugt oder die Gase unter mehrmaligem Richtungswechsel so geführt sind, daß sie immer wieder in senkrechter Richtung auf die Kesselwand stoßen (vgl. Batteriekessel, Abb. 146 und Kestnerkessel Abb. 207).

In Anbetracht des mit abnehmender Heizgastemperatur sinkenden Wärmedurchganges ist es nicht von Vorteil, die Gesamtlänge des Gasweges an einem Kessel über 35 m zu machen.

Da sich in den Zügen Flugasche absetzt, so sind einzelne Erweiterungen zur Aufnahme der Asche (Aschensäcke) vorzusehen. Am zweckmäßigsten ordnet man sie an den Stellen an, wo die Gase ihre Strömungsrichtung ändern. Ihre Entleerung wird wesentlich erleichtert, wenn sie am Boden mit einer Verschlussklappe versehen sind (vgl. Abb. 196, 205, 217 und Taf. XIX). Weiter sind Einfahröffnungen anzubringen. Sie werden entweder mit Mauerwerk zugesetzt oder vorteilhafter durch gußeiserne Türen verschlossen (Abb. 127 bis 130 und 131, 132).

Die Verbindung der Züge mit dem Schornstein geschieht durch einen gewöhnlich unter Flur gelegenen, gemauerten Abgaskanal, den Fuchs. Er soll auf kürzestem Wege und möglichst ohne Richtungsänderungen

in den Schornstein führen. Bei der Vereinigung mehrerer Abgaskanäle vor dem Schornstein sind scharfe Ecken zu vermeiden. Um die Zugstärke

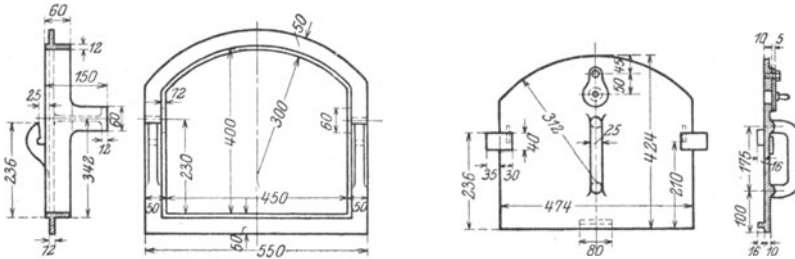


Abb. 127 bis 130.

regeln zu können, wird entweder in den letzten Kesselzug eine Drosselklappe (vgl. Taf. XVIII) oder in den Fuchs ein Rauchschieber (Abb. 133) eingebaut. Die Klappen lassen sich gewöhnlich durch ein Gestänge, die

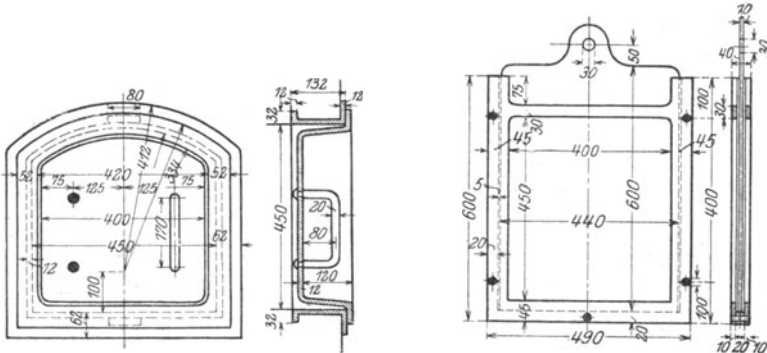


Abb. 131 u. 132.

Abb. 133.

Schieber mit Hilfe einer über Rollen geführten, am Ende mit Gegengewicht versehenen Kette (vgl. Taf. XII) oder eines Drahtseiles vom Heizerstande aus bewegen.

Die Schieber verziehen sich leicht und klemmen dann, wenn der Führungsspalt sehr eng bemessen ist. Macht man ihn aber weiter, so dringt zwischen Schieber und Führungsrahmen viel kalte Luft ein. Um diesen Nachteil zu beseitigen, setzt man vielfach oben auf den Rahmen einen aus Blech hergestellten, dicht schließenden Kasten auf, durch dessen obere Wand das Schieberseil hindurchgeführt wird. Statt der Schieber werden auch Jalousieverschlüsse in den Fuchs eingesetzt. Sie bestehen aus Rahmen, in denen sich schmale, übereinander angeordnete Klappen drehen können. Alle diese Klappen lassen sich gleichzeitig von außen betätigen.

20. Die Zugerzeugung.

A. Natürlicher Zug.

a) **Allgemeines.** Die Erzeugung des zur Unterhaltung des Verbrennungsvorganges nötigen Zuges besorgt gewöhnlich ein Schornstein. Zugleich führt er die Rauchgase hoch in die Luft, also so ab, daß sie für die Umgebung möglichst wenig schädlich sind. Der Zug im Schornstein entsteht dadurch, daß die Temperatur und damit das Gewicht der Gase im Schornstein von dem der Außenluft verschieden ist. Je höher der Schornstein, desto größer ist der Unterschied zwischen dem Gesamtgewicht der Gassäule und einer Luftsäule gleicher Abmessungen und desto heftiger ist der Zug.

b) **Die Zugstärke** wird als Druckunterschied der Luft und der Gase im Schornstein in Millimeter Wassersäule gemessen. Am einfachsten bedient man sich dazu eines U-förmig gebogenen, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllten Glasrohres von ungefähr 100 mm Schenkellänge. Der eine Schenkel bleibt offen, während der andere mittels Gummischlauches und eisernen Rohres mit der Stelle des Gaskanals verbunden wird, an welcher die Zugstärke bestimmt werden soll.

Der am Schornsteinfuß vorhandene nutzbare Zug, der zur Überwindung der Widerstände in der Brennschicht und in den Zugkanälen bis zum Schornstein zur Verfügung steht, ergibt sich nach v. Reiche für mittlere Verhältnisse angenähert zu:

$$Z_n = (h - 6d) \frac{1000}{2,93} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right) \text{ mm WS.}$$

Darin bedeuten h in m die Schornsteinhöhe, d in m den mittleren lichten Schornsteindurchmesser, T_a die absolute Außentemperatur, T_s die absolute mittlere Temperatur der Gase im Schornstein.

c) **Der Schornsteinquerschnitt** berechnet sich wie folgt:

Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Rauchgase im Schornstein c soll nicht unter 4 m in der Sekunde betragen. Werden nun B kg Brennstoff stündlich verfeuert, die $B \cdot V$ cbm Verbrennungsgase bei 0° ergeben würden und ist t_s die Schornsteintemperatur, so ergibt sich für den Schornsteinquerschnitt:

$$F = \frac{B \cdot V \cdot (273 + t_s)}{3600 \cdot c \cdot 273} \text{ qm.}$$

Für die Berechnung eines zu erbauenden Schornsteines kann angenommen werden:

$V = \infty 15$ cbm bei Koks und Steinkohle

12 cbm bei böhmischer Braunkohle und Braunkohlenbriketts

8 cbm bei erdiger Braunkohle, Torf und Holz.

$t_s = \infty 250 \div 300^\circ$, wenn ein Abgasvorwärmer nicht vorhanden ist

180 \div 200 $^\circ$, wenn ein Abgasvorwärmer vorhanden ist.

Schornsteine mit weniger als 600 mm Durchmesser werden im allgemeinen nicht ausgeführt.

d) Die Schornsteinhöhe wird vielfach erfahrungsgemäß gewählt zu

$$h = 25 \div 30 \cdot d \text{ für } d \leq 2,5 \text{ m}$$

$$= 20 \cdot d \quad \text{,, } d > 2,5 \text{ m.}$$

Von sonstigen im Gebrauch befindlichen Annäherungsformeln gibt die nachstehende recht brauchbare Werte:

$$h = [\alpha \cdot d + 5 + 0,05 \cdot (l - 20)] \cdot \frac{700 - t_s}{200 + t_s} + \beta,$$

worin zu setzen ist für

$\alpha = 15 \div 20$, je nach dem von der Art der Zuführung und der Kanalweite abhängigen Widerstände der Gase in den Zugkanälen.

l in m, die gesamte Länge der Zugkanäle aller an den Schornstein angeschlossenen Kessel und der Fuchskanäle bis zum Schornsteinfuß.

$\beta = 5$ m, wenn ein Abgasvorwärmer vorhanden ist, sonst $\beta = 0$.

Die geringste Schornsteinhöhe sei etwa 16 m.

Genauer über die Berechnung der Schornsteine findet sich in G. Lang, Der Schornsteinbau, Helwing, Hannover.

e) Die gemauerten Schornsteine (vgl. Abb. 134) bestehen aus Grundbau und Schornsteinsäule.

Der Grundbau erhält quadratischen oder, falls er ganz in Beton ausgeführt wird, kreisrunden Querschnitt und wird an der Sohle so breit gemacht, wie es für die Standsicherheit des Schornsteines erforderlich ist; gewöhnlich genügt es, wenn die Sohlenbreite gleich $\frac{1}{8}$ der Schornsteinhöhe gemacht wird. Wird er aus Ziegel- oder Hausteinen hergestellt, so ist bei feuchtem Baugrunde unter das Mauerwerk eine etwa 1 m starke Betonschicht zu geben, die nötigenfalls auf Pfahlrost zu setzen ist.

In den Grundbau werden gewöhnlich nicht mehr als zwei Fuchskanäle eingeführt. Außerdem wird in demselben, zum Entfernen der Flugasche, eine Einfahröffnung angebracht, die mit Mauerwerk zugesetzt wird.

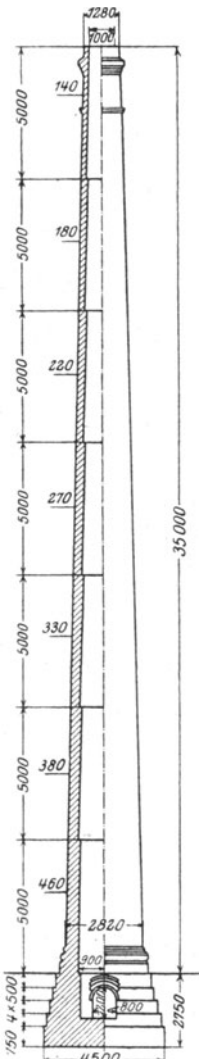


Abb. 134.

Die Schornsteinsäule setzte sich früher allgemein aus einem meistens quadratischen Sockel von etwa $\frac{1}{7}$ ihrer Höhe und einem nach oben zu schwach verjüngtem Schaft zusammen. Bei modernen Ausführungen fehlt der für die Standsicherheit nicht notwendige Sockel entweder ganz oder er wird sehr niedrig

und mit rundem Querschnitt ausgeführt. Für den Schaft wird jetzt ebenfalls fast nur noch der runde Querschnitt gewählt, weil bei dieser Form der Einfluß des Winddruckes, die Größe der wärmeabgebenden Fläche und der Rauminhalt des Mauerwerks am geringsten ist. Die Schornsteinsäule wird gewöhnlich aus Ziegelmauerwerk (klinkerharte Formsteine in verlängertem Zementmörtel), selten aus Eisenbeton hergestellt. Die Wandstärke wird in 5 bis 10 m hohen Absätzen — Trommeln — nach der Mündung zu verringert. Um das Mauerwerk der Säule vor der Einwirkung der heißen Gase zu schützen, ist es vorteilhaft, bis auf etwa $\frac{1}{4}$ der Höhe ein feuerfestes Futter einzusetzen, das ohne Verband mit der Säule frei hochzuführen ist. Der Schornsteinkopf wird am zweckmäßigsten nur mit einem leichten Gesims versehen und in reinem Zementmörtel aufgemauert. An der Schornsteinsäule sollen ein Blitzableiter und neben diesem Steig-eisen angebracht werden.

f) **Eiserne Schornsteine** werden meistens nur bei schlechtem Baugrunde, beschränkter Bauzeit oder bei vorübergehend aufgestellten Anlagen angewendet. Infolge der größeren Abkühlung, welche die Heizgase in ihnen erleiden, ergeben sie geringere Zugstärken als die gemauerten Schornsteine. Um dem etwas abzuhelfen und gleichzeitig die Blechwandung vor den Gasen zu schützen, werden sie zuweilen bei Anlagen, die längere Zeit an einem Orte aufgestellt bleiben sollen, innen mit Ziegeln ausgemauert.

Ausgeführt werden die eisernen Schornsteine (vgl. Abb. 135) gewöhnlich so, daß der Schaft mit Hilfe eines gußeisernen Rahmens auf einem gemauerten Sockel befestigt wird. Die etwa 1 m hohen, aus 3 bis 7 mm starkem Blech konisch hergestellten Schüsse des Schaftes werden so zusammengenietet, daß jeder Schuß den darunter liegenden von außen umfaßt. Es kann dann der Regen nicht in die Fugen eindringen und die im Innern aufsteigenden Gase stoßen nicht gegen die Blechkanten. Die Standfähigkeit wird hier durch 3 bis 4 Spannanker erzielt, die an einem in etwa $\frac{2}{3}$ der Schornsteinhöhe um den Schaft gelegten Winkel-eisenringe angreifen.

Lokomobilen erhalten im allgemeinen umlegbare Schornsteine von 3 bis 4 m Höhe und 300 bis 500 mm Durchmesser. Dicht unter der Mündung oder am Fuße des Schornsteins wird der behördlich vorgeschriebene Funkenfänger eingesetzt.

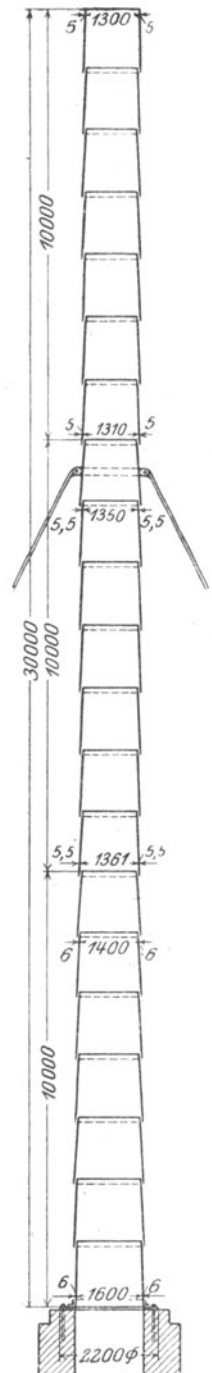


Abb. 135.

g) Die Standsicherheit der Schornsteine ist nachzuweisen durch eine Berechnung, welche das Eigengewicht und die Wirkung des Winddruckes auf die Schornsteinsäule berücksichtigt. Da Entwurf und Bau gemauerter Schornsteine stets Hochbaufirmen übertragen wird, die sich insbesondere mit Schornsteinbau beschäftigen, so ist für den Maschinentechniker vor allem die statische Berechnung eiserner Schornsteine von Bedeutung. Auf diese soll daher in nachstehendem näher eingegangen werden.

h) Statische Berechnung eiserner Schornsteine (siehe Abb. 136).

Der auf die Schornsteinsäule wirkende Winddruck betrage \mathfrak{B} kg. Er berechnet sich aus:

$$\mathfrak{B} = \frac{w}{10000} \cdot n \cdot F,$$

wenn

w den spezifischen Winddruck, der nach behördlichen Vorschriften mit 150 kg/qm in Rechnung zu stellen ist,

n eine von der äußeren Form des Querschnittes abhängige und zwar für kreisförmigen Umfang gleich $\frac{2}{3}$ zu setzende Zahl und

F in qcm die rechtwinklige Projektion der vom Winde getroffenen Mantelfläche auf eine senkrechte Ebene bedeutet.

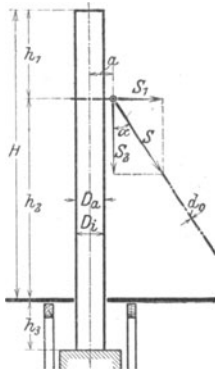


Abb. 136.

Es wird hier also:

$$\mathfrak{B} = \frac{150}{10000} \cdot \frac{2}{3} \cdot F = \frac{F}{100} = \frac{H \cdot D_a}{100},$$

worin H und D_a gemäß Abb. 136, ebenso wie alle anderen in der Rechnung vorkommenden Längenabmessungen in cm einzusetzen sind.

\mathfrak{B} ist im Schwerpunkt der bestrichenen Fläche, also $(\frac{1}{2}H + h_3)$ cm über Sockeloberkante angreifend, anzusehen.

Der Winddruck soll nun von den aus Ketten, Seilen oder Rundeisen bestehenden Spannankern, ungünstigenfalls also von 1 Anker aufgenommen werden. Die dabei in dem Anker entstehende Zugkraft sei S und ihre wagerechte Teilkraft S_1 . Dann ist:

$$S_1 = \frac{H \cdot D_a}{200} \cdot \frac{H + 2h_3}{h_2 + h_3}.$$

Der Querschnitt des Ankers ergibt sich dann zu

$$\frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{S_1}{k_2 \cdot \sin \alpha},$$

hierhin ist im allgemeinen für $kz \leq 1000$ kg/qcm zulässig, während für den Kernquerschnitt der Spannschraube eine erheblich niedrigere Zug-

spannung zuzulassen und infolgedessen der Kerndurchmesser

$$d_1 = 0,067 \sqrt{\frac{S_1}{\sin \alpha}}$$

auszuführen ist.

Das Schornsteinrohr wird hauptsächlich auf Biegung beansprucht. Biegende Kräfte: Der Winddruck auf den Schornsteinmantel von der Mündung bis zu dem jeweils betrachteten Querschnitt, ferner S_1 und S_2 . Die außerdem noch vorhandene Knickbeanspruchung durch S_2 und das Eigengewicht ist so klein, daß ihr genügend Rechnung getragen wird, wenn man das Schornsteinrohr für die Ermittlung der Biegungsbeanspruchungen, am Fuße nicht als fest eingespannt ansieht.

Der Winddruck auf 1 cm der Schornsteinhöhe sei p kg oder

$$p = \frac{w}{10000} \cdot n \cdot D_a \cdot 1 = \frac{150}{10000} \cdot \frac{2}{3} \cdot D_a = \frac{D_a}{100} \text{ kg.}$$

Dann ergibt sich für die gefährlichen Querschnitte des Rohres:

1. Querschnitt, in welchem die Anker angreifen.

$$\text{Biegemoment } M_1 = \frac{p \cdot h_1^2}{2}$$

2. Querschnitt, der $\left[h_3 + \frac{h_2^2 - h_1^2}{2(h_2 + h_3)} \right]$ cm über Sockeloberkante liegt.

$$\text{Biegemoment } M_2 = S_1 \cdot \text{ctg} \alpha \cdot a + \frac{p}{8} \frac{h_2^2 - h_1^2}{(h_2 + h_3)^2} \cdot [(h_2 + 2h_3)^2 - h_1^2].$$

Für beide Querschnitte ist dann zu untersuchen, ob die aus den Momenten zu errechnende Biegungsbeanspruchung

$$\sigma_b = \frac{M}{W}$$

nicht höher als die zulässige Biegungsbeanspruchung von 800 kg/qcm ist.

Für das Widerstandsmoment ist

$$W = 0,1 \frac{D_a^4 - D_i^4}{D_a}$$

zu setzen.

Da die Säule gegen Winddruck sicher verankert wird, genügt es, die Grundbausoehle nur für den Druck durch das Eigengewicht $G = G_1 + G_2$ zu berechnen. G_1 , das Gewicht des Rohres ist aus dessen Abmessungen zu berechnen mit einem Zuschlag von etwa 25% für Niete und Überlappungen. G_2 , das Gewicht des Sockels und des Grundbaues ist unter Zugrundelegung folgender Raumgewichte in kg/cbm zu bestimmen: 1600 für gewöhnliches Ziegelmauerwerk, 1800 für Hartbrandziegelmauerwerk

und 2000 für Beton. Als mittlere Bodenbelastung kann dabei 0,75 bis 1,5 kg/qcm zugelassen werden.

Beispiel. Für eine mit 3 Kesseln herzustellende Kesselanlage, die stündlich 3000 kg Dampf von 8 at Überdruck liefern soll, ist die Feuerungsanlage zu berechnen, unter der Annahme, daß Steinkohle von 7300 WE und einem theoretischen Luftbedarf von 10,3 kg verfeuert wird.

Der stündliche Kohlenverbrauch hängt von der zu erreichenden Verdampfungsziffer ab. Für diese ist aus der Tabelle auf Seite 25 bei Steinkohle mit 7300 WE Heizwert und bei einem Wärmeinhalte des Dampfes von etwa 650 WE je kg (entsprechend der Dampfspannung von 9 at abs.) der Wert

$$d = \frac{5,6 + 8,2}{2} = \approx 7$$

zu entnehmen.

Somit werden, da $d = \frac{D}{B}$ ist

$$B = \frac{D}{d} = \frac{3000}{7} = \approx 429 \text{ kg}$$

insgesamt oder für einen Kessel $\frac{429}{3} = 143$ kg Kohle stündlich verbraucht.

Die Rostfläche bestimmt sich, wenn für $\frac{B}{R} = 80$ kg zugelassen wird (vgl. die Tabelle auf S. 23), zu

$$R = \frac{143}{80} = \approx 1,8 \text{ qm}$$

je Kessel.

Querschnitt der Feuerzüge. Der letzte Feuerzug, sowie der Fuchs eines jeden Kessels kann den Querschnitt

$$f = \frac{R}{4} = \frac{1,8}{4} = 0,45 \text{ qm}$$

erhalten. Der gemeinsame Fuchs für alle drei Kessel bekommt dann die Größe $F = 3 \cdot 0,45 = 1,36$ qm.

Der erste Kesselzug kann etwa mit

$$(1,5 \div 1,75) f = 0,675 \text{ bis } 0,79,$$

also mit etwa 0,7 qm Querschnittsfläche ausgeführt werden. Die Größe der dazwischenliegenden Züge ist zwischen 0,7 und 0,45 qm abzustufen.

Lichtweite und Höhe des Schornsteins. 1 kg der zu verfeuernenden Kohle soll theoretisch 10,3 kg Luft zur Verbrennung bedürfen. Nimmt man nun an, daß durchschnittlich mit der zweifachen theoretischen Luftmenge gefeuert wird, so ergibt 1 kg Kohle : $1 + 2 \cdot 10,3 = 21,6$ kg

Rauchgase. Ihr spezifisches Gewicht kann annähernd gleich dem der Luft gesetzt werden. Dann ist nach Abschnitt 8

$$V = \frac{21,6}{1,29} = \approx 17 \text{ cbm Gas bei } 0^\circ.$$

Demnach berechnet sich der lichte Schornsteindurchmesser:

$$\text{für } B = 429 \text{ kg; } t_s = 300^\circ \text{ und } c = 4 \text{ m,}$$

$$F = \frac{B \cdot V \cdot (273 + t_s)}{3600 \cdot c \cdot 273} = \frac{429 \cdot 17 \cdot 573}{3600 \cdot 4 \cdot 273} = 1,064 \text{ qm}$$

oder

$$d = 1,17 = \approx 1,2 \text{ m.}$$

Die Schornsteinhöhe wird dann

$$h = [\alpha \cdot d + 5 + 0,05(l - 20)] \frac{700 - t_s}{200 + t_s} + \beta,$$

wenn man (vgl. S. 86) für $\alpha = 20$ und $l = 120$ m annimmt und $\beta = 0$ setzt

$$h = [20 \cdot 1,2 + 5 + 0,05(120 - 20)] \frac{700 - 300}{200 + 300} = \approx 27 \text{ m.}$$

B. Künstlicher Zug.

a) Allgemeines. Im allgemeinen ist der natürliche, durch einen Schornstein erzeugte Zug vorzuziehen, da er der billigste und zuverlässigste ist. Man kann auch bei den besten Kesselanlagen den Gasen praktisch nicht alle Wärme entziehen, so daß man bei neuen Anlagen immer in der Lage ist, mit Hilfe dieser Abwärme im Schornstein den nötigen Zug zu erzeugen. Beim künstlichen Zug muß aber außer dem unvermeidlichen Verlust dieser Abwärme immer noch eine gewisse Dampfmenge zum Betriebe der erforderlichen Gebläse aufgewandt werden, außerdem ist mit der Abnutzung und mit der Wartung der erforderlichen maschinellen Einrichtung zu rechnen, so daß trotz der billigeren Anlage der ganze Betrieb meistens teurer kommt als bei Anwendung des natürlichen Schornsteinzuges. Nicht außer acht zu lassen ist auch eine gewisse Unsicherheit des Betriebes bei künstlichem Zuge. Wenn z. B. der den Zug erzeugende Ventilator während des vollen Betriebes, bei dem auf dem Rost helle Glut herrscht, vielleicht durch Schmelzen einer Sicherung plötzlich stehen bleibt, dann wird in ganz kurzer Zeit der Rost vollständig verbrennen, was bei der Zugerzeugung durch den Schornstein nicht vorkommen kann.

Trotzdem kann aber in vielen Fällen der künstliche Zug von erheblichem Nutzen sein. Außer für bewegliche Anlagen, wie Lokomotiven, Lokomobilen, Schiffe, kann das zutreffen, wenn der vorhandene Schornsteinzug infolge Vergrößerung der Anlage oder infolge Vermehrung der

Widerstände durch späteren Einbau von Rauchgasvorwärmern nicht mehr ausreicht, ferner bei Anlagen, bei denen der Betrieb außerordentlich schwankt, besonders wenn nur kurze Zeit eine große Arbeit geleistet werden muß, so daß dann die Betriebskosten des Gebläses verschwinden gegenüber den sonst auftretenden Kosten für die Unterdampfhaltung von Reservekesseln, ferner auch dann, wenn eine minderwertige feine Kohle verbrannt werden soll, die ohne starken Zug nicht zu verbrennen ist, schließlich dann, wenn man wegen eines schlechten Baugrundes oder Platzmangels einen Schornstein nicht bauen kann.

An Ausführungsformen unterscheidet man Druckzug und Saugzug.

b) Der Druckzug. Ihm fällt meistens nur die Aufgabe zu, die Verbrennungsluft durch die Brennschicht hindurch zu befördern, also den Schornstein von der Überwindung des Rostwiderstandes zu entlasten. Er kann hervorgebracht werden durch Oberwind oder Unterwind.

Beim Oberwind, den man ausschließlich auf Seeschiffen anwendet, wird in den dichtgesetzten Heizraum durch Ventilatoren ein geringer Überdruck (bis zu 120 mm WS für sehr hohe Rostbelastungen von etwa 400 kg) erzeugt und dadurch nicht nur eine sehr lebhaftere Verbrennung ermöglicht, sondern auch für ständige Lüfterneuerung im Heizraum gesorgt.

Beim Unterwind wird nur der Aschfall unter Überdruck gesetzt, und zwar kann das, wie schon bei den Feuerungen mit Unterwind erwähnt, durch Dampfstrahlgebläse oder Ventilator erfolgen (vgl. Abb. 77, 78 und 79). Die Luftpressung unter dem Rost wird dabei mit Vorteil so eingestellt, daß im Feuerraum gerade der atmosphärische oder ein nur ganz wenig höherer Druck entsteht. In diesem Falle kann der Heizer die Feuertür auch bei nicht abgestelltem Unterwind öffnen, ohne von herausschlagenden Flammen oder herausgeschleuderter Glut gefährdet zu werden. Auch genügt ein solcher Druck im Feuerraum meistens, um in dem ganzen Zugkanal einen Druck zu erhalten, der so wenig von dem der Außenluft verschieden ist, daß etwaige Undichtheiten des Mauerwerks fast ganz ihre durch das Eindringen kalter Nebenluft sonst vorhandene schädliche Wirkung verlieren werden. Wird dagegen in dem Bestreben, die Rostbelastungen noch weiter zu erhöhen, der Druck unter dem Rost so weit gesteigert, daß im Feuerraum Überdruck entsteht, so ist es nötig, den Unterwind vor jedem Öffnen der Feuertür abzustellen. Außerdem wird dann ein nicht unbeträchtlicher Teil feiner Brennstoffstücke unverbrannt aus dem Feuerraum hinweggeführt und bleibt als Flugkoks in den Zügen liegen.

Über den Dampfverbrauch bei Erzeugung des Unterwindes durch Dampfstrahlgebläse, die, weil in der Anlage einfach und billig, vielfach Anwendung gefunden haben, und demgegenüber durch Ventilator ist viel gestritten worden. Jedenfalls dürfte es als feststehend anzusehen sein, daß das Dampfstrahlgebläse nicht unter 5% der im Kessel erzeugten

Dampfmenge, dagegen der Ventilator vielfach weniger als 1% für den in Rede stehenden Zweck verbraucht. Der Dampfverbrauch des Gebläses erhöht sich ziemlich erheblich, sobald der Dampfstrahl die Düsen ausgeschliffen und ihren Querschnitt erweitert hat. Letzteres tritt häufig schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit ein. Als besonderer Vorzug der Dampfstrahlgebläse wurde hervorgehoben, daß ihre Leistung in einfacher Weise den Betriebsbedürfnissen angepaßt werden kann. Das läßt sich aber ebenfalls bei den Ventilatoren erreichen. Durch Zugabe einer ganz geringen Dampfmenge kann der von ihnen erzeugte Wind auch hinreichend befeuchtet werden, um für die Verbrennung stark schlackender und bäckender Kohlsorten geeignet zu sein.

c) **Der Saugzug** gleicht in seiner Wirkungsweise dem natürlichen Zuge. Er wird durch besondere Einrichtungen erzeugt, welche die Abgase ins Freie befördern, und zwar kann dazu wiederum die Bewegungsenergie des Dampfes oder ein Ventilator dienen.

Der Dampfstrahl wird dazu stets benutzt bei Lokomotiven und Lokomobilen. Bei ihnen pufft der Abdampf in einem Blasrohr aus, das in der Rauchkammer unter dem Schornstein angebracht ist. In Abb. 137 ist der Schornstein unten durch einen als Funkenfänger dienenden Siebkorb *b* abgeschlossen, in dessen Boden das Auspuffrohr *a* mündet. Um beim Stillstande, also beim Fehlen des Abdampfes, das Feuer anfachen zu können, ist um die Blasrohrmündung ein oben mit feinen Löchern versehenes Ringrohr angeordnet, in welches durch die Leitung *c* Frischdampf gegeben werden kann. Diese Hilfsblaseinrichtung findet sich ebenfalls bei den Kesseln der Flußdampfer, auch werden diese vielfach mit Abdampfblasrohr eingerichtet. Bei feststehenden Anlagen wird in vereinzelt Fällen zur Verstärkung des Zuges ein Dampfstrahlgebläse in den Schornstein eingebaut. Von Vorteil kann das jedoch nur sein, wenn Abdampf zum Betriebe des Strahlgebläses zur Verfügung steht.

Der Ventilator kann zur Erzeugung des künstlichen Sauggases, wie in Abb. 138 angegeben, so verwandt werden, daß er die Gase aus dem

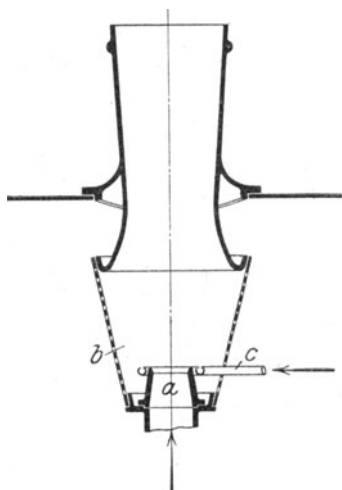


Abb. 137.

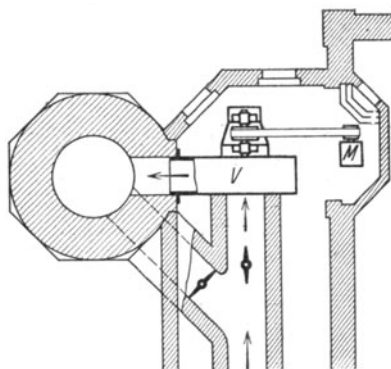


Abb. 138.

M Motor, V Ventilator.

Fuchs ansaugt, um sie in den Schornstein zu drücken — direkter Saugzug — oder er saugt aus dem Heizraum Luft an, um sie einer in das Schornsteinrohr eingebauten Ejektordüse zuzuführen. Der aus der Düse austretende Luftstrahl saugt dann die Gase an (Abb. 139) — indirekter Saugzug. Um bei plötzlichen Betriebsstörungen am Ventilator ein Verbrennen des Rostes verhindern zu können, werden die Luftstrahlejektoren vielfach mit einer Hilfsdampfzuleitung versehen, durch welche nötigenfalls vorübergehend Frischdampf gegeben wird. Die Abb. 140 u. 141 zeigen eine mit indirektem Saugzug ausgerüstete Anlage, die von der Gesellschaft für

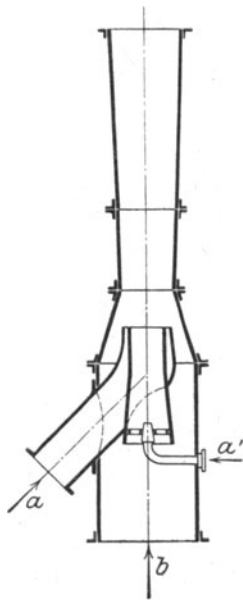


Abb. 139.

a Luftstrom vom Ventilator,
a' Hilfsdampfzuleitung,
b Rauchgasstrom.

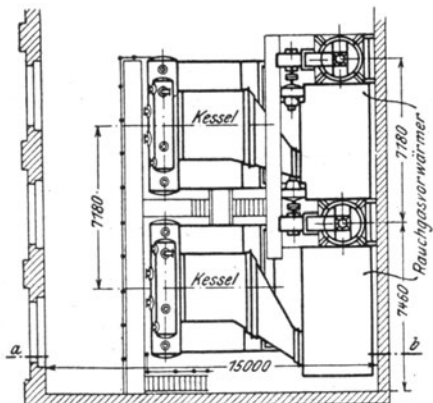
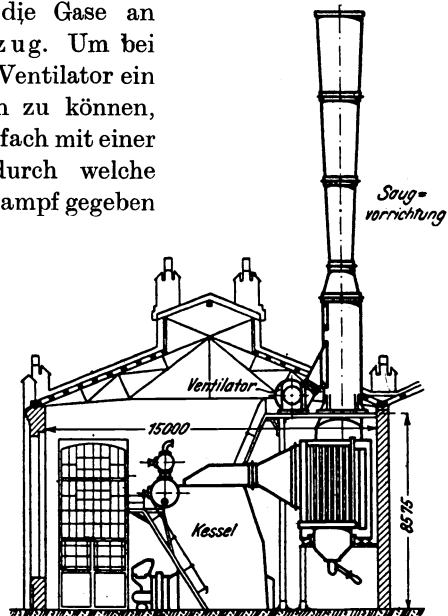


Abb. 140 u. 141.

künstlichen Zug in Berlin für das Kraftwerk Schöneberg geliefert wurde¹⁾. Hier ist die ganze Saugvorrichtung über dem Rauchgasvorwärmer angebracht und nimmt deshalb keine Grundfläche in Anspruch.

¹⁾ Näheres Generlich, Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1909, S. 1453 u. f.

Bei allen Saugzuganlagen ist es von besonderer Wichtigkeit, dafür zu sorgen, daß keine Risse und undichten Stellen im Kesselmauerwerk vorhanden sind, da sonst leicht viel kalte Luft angesaugt und der Wirkungsgrad des Kessels stark heruntergedrückt wird.

Dem indirekten Saugzug wird als besonderer Vorteil nachgerühmt, daß bei ihm die heißen und wegen ihres Gehaltes an schwefliger Säure schädlichen Abgase nicht mit dem Ventilator in Berührung kommen. Da es aber möglich ist, die Ventilatoren so einzurichten, daß ihr Inneres gegen die schweflige Säure geschützt ist und die Wellenlager bei nicht außergewöhnlich hohen Abgastemperaturen ohne Störung laufen, so ist der direkte Saugzug im allgemeinen vorzuziehen, und zwar weil bei ihm nur die Abgasmenge zu bewegen und der Kraftbedarf infolgedessen geringer ist. Dieser wird von M. Gensch¹⁾ zu 0,4 bis 0,8, dagegen für indirekten Saugzug zu 1,2 bis 2,5% der Kesselleistung angegeben.

V. Abschnitt.

Die Dampfkessel.

21. Gemeinsames der Dampfkessel.

A. Die Heizfläche.

Heizfläche nennt man den Teil der Kesseloberfläche, der innen vom Wasser und außen von den Heizgasen berührt wird. Bei ihrer Berechnung ist, gemäß den gesetzlichen Bestimmungen, für Landkessel die den Gasen zugekehrte, für Schiffskessel die vom Wasser bespülte Seite der Wand in Betracht zu ziehen. Teile der Oberfläche, die zwar beheizt werden, innen aber nur von Dampf berührt werden, gelten nicht als Heizfläche. Unter welchen Bedingungen die Heizung des Dampftraumes gesetzlich gestattet ist, wurde im Abschnitt 19 angegeben.

Die Wärmeaufnahme erfolgt durch Wärmestrahlung unmittelbar aus dem Feuer — direkte Heizfläche — durch Wärmeleitung bei der Berührung der Heizfläche mit den Heizgasen und durch Strahlung vom Mauerwerk aus — indirekte Heizfläche. Die Wärmeabgabe an den Kesselinhalt vollzieht sich durch die Berührung der geheizten Wandung mit Wasser oder mit Dampf. Eine Heizfläche kann um so mehr Wärme aufnehmen und abgeben, je reiner sie auf beiden Seiten und je höher das Wärmeleitungsvermögen des zu erwärmenden Stoffes ist. Daraus folgt für den Dampfkessel, daß seine Wandung außen frei von Ruß

¹⁾ M. Gensch, Berechnung, Entwurf und Betrieb rationeller Kesselanlagen. Julius Springer, Berlin 1913.

und Aschenbelag, innen frei von Kesselstein, Schlamm und auch von Dampfblasen zu halten ist. Letzteres kann durch lebhaften Umlauf des Wassers im Kessel erreicht werden.

Die Größe der Heizfläche $\rightarrow H$ qm — für eine verlangte stündliche Dampfmenge — D kg — wird nach Erfahrungswerten für die bei den verschiedenen Kesselbauarten erreichte Heizflächenbeanspruchung — D/H — bestimmt (Tabelle S. 24).

B. Der Wasserraum.

Der Wasserraum eines Kessels ist der im Betriebe stets mit Wasser angefüllte Teil seines Innenraumes. Welche Bedeutung er für den Kesselbetrieb hat, erhellt aus Beispiel 5 auf S. 8. Es ergibt sich daraus, daß der Druck im Kessel um so weniger zu sinken braucht, um bei plötzlich gesteigerter Dampfentnahme die zur Nachverdampfung erforderliche Wärmemenge freizugeben, je größer der Wasserinhalt des Kessels ist. Diese aus dem Wärmevorrat im Wasser bestrittene Zunahme der Dampfbildung ist aber für einen schnellen Druckausgleich erforderlich, da sich die Wärmeabgabe aus dem Feuer dazu nicht schnell genug steigern läßt. Wird daher aus einem Kessel der Dampf sehr unregelmäßig und dabei plötzlich in großer Menge entnommen, wie z. B. beim Betriebe von Fördermaschinen, Walzenzugmaschinen, Dampfhämmern und Schmiedepressen, so ist ein recht großer Wasserraum von besonderem Nutzen. Der Vorteil, daß bei solchen Großwasserraumkesseln der Druck und auch der Stand des Wassers im Kessel nicht starken Schwankungen unterliegt, wiegt den Nachteil größerer Abkühlungsverluste während der Betriebspausen in den meisten Fällen reichlich auf. — Demgegenüber ist ein im Verhältnis zur Heizfläche kleiner Wasserraum vorzuziehen für Betriebe mit gleichmäßiger Dampfentnahme und langen Betriebspausen, ferner, wenn es darauf ankommt, den kalten Kessel schnell bis zum vollen Betriebsdruck anzuheizen zu können. Kleinwasserraumkessel bieten außerdem den Vorteil, daß sie die Unterbringung großer Heizflächen auf kleinem Raum und somit auf kleiner Grundfläche gestatten, was für große Anlagen besonders ins Gewicht fällt. Da ferner vom Walzwerk fertig zu beziehende Röhren einen wesentlichen Bestandteil dieser Kessel bilden, so stellt sich auch der Preis für das qm Heizfläche bei ihnen im allgemeinen wesentlich niedriger als bei den Großwasserraumkesseln.

Als Großwasserraumkessel sind hauptsächlich die Walzen- und die Flammrohrkessel, als Kleinwasserraumkessel die Heizrohr- und die Wasserrohrkessel anzusehen.

C. Der Dampfraum.

Der Teil des Kesselhohlraumes, welcher im Betriebe stets mit Dampf gefüllt ist, heißt der Dampfraum. Er hat den Zweck, dem Dampfe Zeit

zur Absonderung von dem mitgerissenen Wasser zu lassen. Er ist daher für Betriebe mit häufig oder plötzlich gesteigerter Dampfentnahme besonders groß zu wählen.

Die im Wasserspiegel liegende Trennungsfäche zwischen Dampf- und Wasserraum wird Verdampfungsoberfläche genannt.

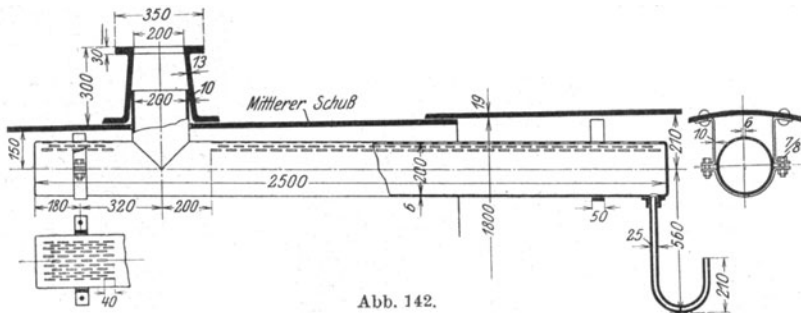


Abb. 142.

Von ihrer Größe hängt die Trockenheit des erzeugten Dampfes ebenfalls wesentlich ab.

Zur Vergrößerung des Dampfraumes wurde früher allgemein auf den Kessel ein stehender Dampfdom oder ein liegender Dampfsammler aufgesetzt.

Da diese jedoch einen sorgsamsten Wärmeschutz erfordern, wenn sie keine besonderen Abkühlungsverluste verursachen sollen, so verzichtet man bei Kesseln, die mit Überhitzer ausgerüstet sind, immer häufiger auf ihre Anbringung.

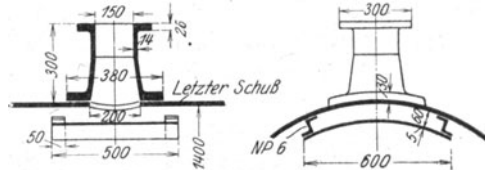


Abb. 143 u. 144.

Fast allgemein geschieht es bei den Wasserrohrkesseln. Man begnügt sich dann damit, unter dem Dampfentnahmestutzen ein Rohr anzuordnen, das oben mit feinen Öffnungen versehen ist (Abb. 142), oder andere Einrichtungen zu treffen, z. B. Prallbleche (Abb. 143, 144) darunterzusetzen, durch welche die emporgeschleuderten Wasserteilchen zurückgehalten werden sollen.

D. Der Speiseraum.

Der Speiseraum liegt zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wasserstande (vgl. Einleitung S. 1), kann daher abwechselnd mit Wasser oder mit Dampf angefüllt sein. Er gibt dem Heizer die Möglichkeit, die Zuführung des Speisewassers nach den Betriebsverhältnissen einzurichten. Je größer der Speiseraum ist, um so mehr ist es möglich, Perioden höchster Kesselbeanspruchung mit abgestellter Speisung zu überwinden und um so länger läßt sich bei Betriebspausen durch Zuführung von Speisewasser das Abblasen der Sicherheitsventile vermeiden.

E. Das Gewicht des Kessels.

Das Gewicht eines Kessels erhält man annähernd richtig, wenn man zu den aus den reinen Abmessungen ermittelten Gewichten noch 22 bis 25% für Überlappungen, Nietköpfe usw. hinzuschlägt. Für die Fundierung sind außerdem die Gewichte der am Kesselkörper angebrachten Ausrüstungsstücke und der anschließenden Rohrleitungen zu berücksichtigen.

22. Die Kesselbauarten.

A. Die Walzenkessel.

Unter einer Walze versteht man ein zylindrisches Gefäß, das an beiden Enden durch Böden geschlossen ist.

a) **Der einfache Walzenkessel** besteht aus einer weiten liegenden Walze, deren Mantel im hinteren Teil einen Dampfdom trägt. Im Domboden befindet sich gewöhnlich die Einsteigöffnung, das Mannloch. Der Kessel kann nur mit Unterfeuerung versehen werden.

Konstruktion. Die Walzenkessel bekommen bis zu etwa 1,5 m Durchmesser und bis zu 10 m Länge. Das Verhältnis des Durchmessers zur Länge ist 1 : 6 bis 1 : 8. Der niedrigste Wasserstand liegt etwa $\frac{1}{4}$ des Durchmessers über Kesselmitte. Die Mantelschüsse werden konisch gemacht und so angeordnet, daß die Gase nicht gegen die Blechkanten stoßen. Um keine Nietnaht der unmittelbaren Einwirkung des Feuers auszusetzen, versieht man die vorderen 2 bis 3 Schüsse mit einer längs durchgehenden gemeinsamen Feuerplatte (vgl. den mehrfachen Walzenkessel auf Taf. IX, Fig. 2). Die Lagerung des Kessels erfolgt gewöhnlich mittels Tragpratzen, die zu beiden Seiten an den Kesselmantel in etwa 2 m Abstand voneinander angenietet werden und sich auf die Seitenmauern stützen (Abb. 332 und Taf. IX, Fig. 2).

Zugführung. Entweder gehen die Gase nur in einem glatten Zuge am Mantel entlang oder sie werden mit Hilfe senkrechter Kulissenwände mehrmals aufsteigend und absteigend bis zum Kesselende geführt.

Vorteile. Der Kessel ist einfach und billig herzustellen und läßt sich bequem im Innern reinigen. Sein Wasserraum und Dampfraum sind im Verhältnis zur Heizfläche größer als bei allen anderen Kesselbauarten. Daher eignet er sich gut für stark wechselnden Betrieb und liefert sehr trockenen Dampf.

Nachteile. Infolge des sehr kurzen Gasweges ergibt der Kessel eine sehr mäßige Wärmeausnutzung. Er gestattet nur sehr geringe Heizflächenbeanspruchungen ($D : H \leq 8$). Außerdem zeigt er den Nachteil aller Unterfeuerungskessel: häufige Schäden an den Unterplatten. Auch das Verhältnis von Heizfläche zur Kesselgrundfläche ist viel ungünstiger als bei allen übrigen Bauarten ($H : Gr \leq 0,9$).

Anwendung. Der Walzenkessel wurde früher für kleine Anlagen mit einer Heizfläche bis zu 25 qm ausgeführt, jetzt findet er, seiner bedeutenden Nachteile wegen, kaum noch Anwendung.

b) Der mehrfache Walzenkessel oder Batterieessel (Abb. 145, 146 und Taf. IX, Fig. 2) besteht aus mehreren übereinander und nebeneinander gelagerten Walzen. Je zwei übereinanderliegende werden durch 2 bis 4 senkrechte Stützen verbunden, so daß die in der unteren Walze entstandenen Dampfblasen nach oben entweichen können. Außerdem stehen die untersten Walzen an ihrem hinteren Ende durch je einen wagerechten Stützen in Verbindung. In jedem Oberkessel befindet sich ein gesonderter Dampfraum, aus dem der Dampf in einen gemeinsamen, quer über den Walzen liegenden Dampfsammler gelangt.

Die Anzahl der zu einem Kessel vereinigten Walzen beträgt im allgemeinen entweder 4, 6 oder 9.

Während die Oberkessel wagerecht liegen, werden die übrigen

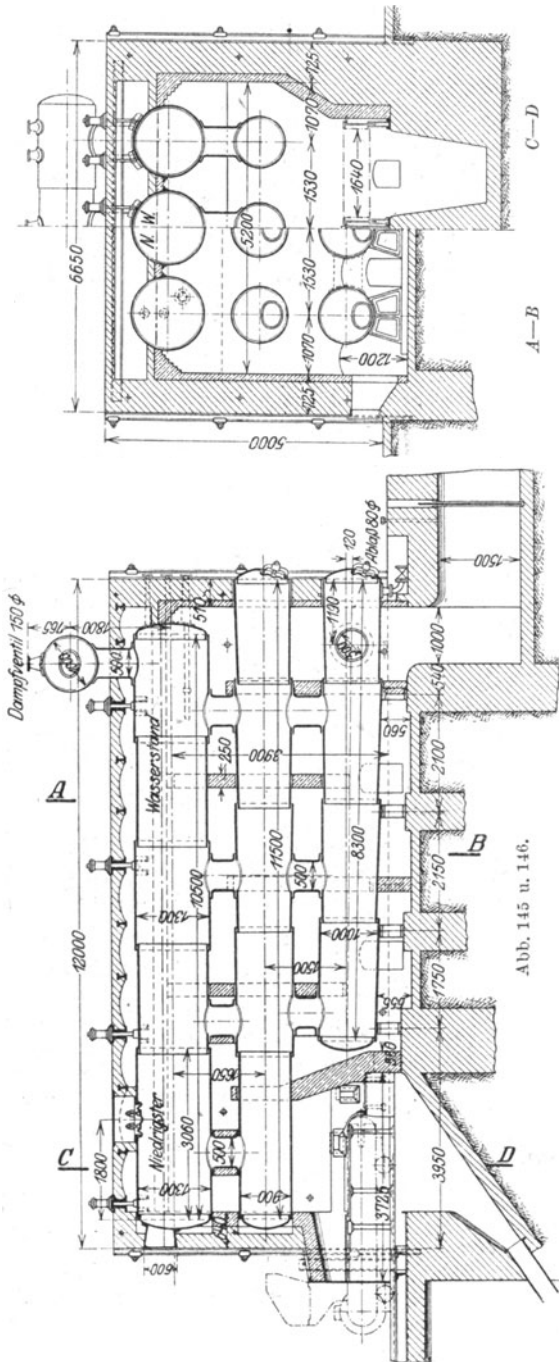


Abb. 145 u. 146.

Walzen zur Erhöhung des Wasserumlaufs meistens nach hinten zu etwas gesenkt. Die Walzen der untersten Reihe macht man jetzt stets, die der mittleren häufig ebenfalls kürzer als die Oberkessel, und zwar geschieht das, um die Feuerung unterbringen zu können. Als solche wird sowohl Planrost oder Kettenrost, als auch namentlich Schrägrost angewandt. Letzterer wurde dabei früher vielfach in eine Tenbrink-Quervorlage (Abb. 49, 50) eingebaut.

Im Hinblick auf das Verhältnis $D : Gr$, erhalten als Produkt der Heizflächenbeanspruchung $D : H \leq 22$ und der Grundflächenausnutzung $H : Gr \leq 3,7$ stellt der Batteriekessel zwar gegenüber dem einfachen Walzenkessel einen bedeutenden Fortschritt dar, ist darin aber von den übrigen Kesselbauarten nur dem Ein- und Zweiflammrohrkessel überlegen.

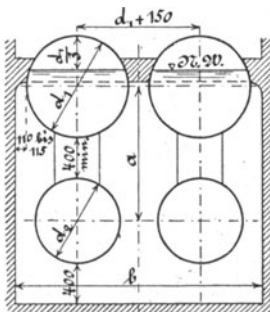


Abb. 147.

Konstruktion. Für Heizflächen bis zu 100 qm genügen 2 Oberkessel und 2 Unterkessel (Taf. IX, Fig. 2), bis zu etwa 160 qm wählt man 2 Oberkessel, 2 Mittelkessel und 2 Unterkessel und für die größten Ausführungen bis zu etwa 300 qm 9 Walzen, und zwar je 3 nebeneinander.

Die Oberkessel erhalten $d_1 = 0,8$ bis 1,5 m (Abb. 147) Durchmesser. Ihre Länge beträgt $8 \div 10 \cdot d_1$. Für den Durchmesser der übrigen Walzen und des Dampfsammlers gilt etwa: $d_2 = 0,8 \cdot d_1$. Die Höhe der senkrechten Verbindungsstutzen ist mindestens 0,4 m, ihr Durchmesser $0,4 \div 0,5$ m, der Zwischenraum zwischen den Walzen der mittleren und der unteren Reihe mindestens 0,35 m. Der niedrigste Wasserstand liegt etwa $d_{1/3}$ unter dem Scheitel des Oberkessels.

Bei der Anordnung der Schüsse ist wiederum darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Blechkanten an den Nietnähten nicht vom Gasstrom getroffen werden. Konische Schüsse wendet man dazu jedoch nur an den Stellen an, wo es nicht zu umgehen ist.

Zur Lagerung dienen Kesselstühle unter den Unterkesseln. Außerdem werden die Oberkessel häufig noch federnd an Trägern aufgehängt, die quer in die Mauerwerksdecke eingelegt sind (vgl. Abb. 333).

Als Überhitzer haben sich für Batteriekessel solche mit liegenden Rohrschlangen am besten bewährt. Sie werden oben auf dem Kesselmauerwerk aufgebaut und so in den Gasweg eingeschaltet, daß die Gase vorher etwa $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$ der Heizfläche zu bestreichen haben.

Die Speisung erfolgt entweder oben vom Mantel oder von einem Boden aus in jeden Oberkessel. Bei der früher gebräuchlichen Zuführung des Speisewassers in die Unterkessel zeigten sich bald pockennarbige Anrostungen in diesen Walzen. Sie entstehen durch die aus dem Wasser

freiwerdenden Luft- und Kohlensäureblasen, die sich wegen mangelnden Wasserumlaufs an den Wandungen festsetzen können. Die damals meistens nach dem Gegenstromprinzip eingerichtete Zuführung, bei der die Unterkessel zuletzt von den Gasen bestrichen wurden, begünstigte nicht nur die Rostbildung in den Unterkesseln, sondern gab unter Umständen noch Anlaß dazu, daß diese Kessel auch von außen rosteten. War nämlich das Speisewasser nicht vorgewärmt, so schlug sich außen an den kalten Wandungen der in den Heizgasen enthaltene Wasserdampf nieder.

Zugführung. Bei neueren Ausführungen wird fast allgemein die Kammereinmauerung gewählt, bei der die Heizgase schlangenförmig so geführt werden, daß sie die Walzen rechtwinklig treffen. Die Scheidewände zwischen den Kammern werden $\frac{1}{2}$ Stein stark in Schamotte ausgeführt. Im ersten Zuge liegende Stützen werden zum Schutz der Nietnähte mit Mauerwerk umgeben. Das gleiche ist notwendig, wo die Gase zuerst auf die Unterkessel treffen, da sich im Scheitel dieser Kessel Dampf ansammelt, die Wandungen dort also nicht genügend gekühlt sind.

Vorteile. Die Kessel haben große Wasser- und Dampfäume, eignen sich daher für stark wechselnden Betrieb und liefern trockenen Dampf. Infolge der kleinen Durchmesser der Walzen lassen sie sich auch für hohe Dampfspannungen aus verhältnismäßig dünnen Blechen herstellen.

Nachteile. Für hartes Wasser sind die Kessel wenig geeignet, da sonst die im ersten Feuer liegenden Platten leicht beschädigt werden und die Entfernung des Kesselsteins aus den mittleren und unteren Walzen recht unbequem und daher kostspielig ist. — Ferner erfordert jede Walze ein Mannloch, ebenso wie jede Zugkammer eine Einsteigöffnung im Mauerwerk nötig macht. — An den Nähten, mit denen die Stützen aufgenietet sind, treten infolge ungleichmäßiger Erwärmung der einzelnen Walzen häufig Undichtheiten auf. Sind nun gar Nietnähte der unmittelbaren Einwirkung des Feuers ausgesetzt, wie es bei Tenbrinkvorkesseln oder den an ihrer Stelle angewandten, über dem Schrägrost eingebauten Schrägsiedern nicht zu vermeiden ist, so machen sich so häufig teure Instandsetzungen notwendig, daß man deswegen von der Verwendung dieser sonst sehr guten Bauart, die eine vorzügliche Ausnutzung der Kohle gestattet, immer mehr Abstand genommen hat.

Anwendung. Der Batteriekessel ist da am Platze, wo man die Vorteile des Großraumkessels ausnutzen will, der Nachteil dieser Kessel — langsames und kostspieliges Anfeuern — nicht ins Gewicht fällt und wo es nicht auf einen möglichst kleinen Raumbedarf des Kessels ankommt.

B. Die Flammrohrkessel.

Die Flammrohrkessel sind Walzenkessel, in welche weite, von einem Boden bis zum anderen reichende Rohre eingebaut sind. Durch diese

„Flammrohre“ ziehen die Heizgase. Je nach der Anzahl der Flammrohre eines Kessels unterscheidet man:

Ein-, Zwei- und Dreiflammrohrkessel.

Die Feuerungen der Flammrohrkessel sind meistens Planrost-Innenfeuerungen, seltener Treppenrost-Vorfeuerungen. Die ersteren werden häufig mit mechanischen Wurfbeschickern ausgestattet.

Die Grundflächenausnutzung $H : Gr$ ergibt sich beim Einflammrohrkessel zu 1,3 bis 2,1, beim Zweiflammrohrkessel zu 1,9 bis 2,4 und beim Dreiflammrohrkessel zu 2,4 bis 2,7 qm Heizfläche auf 1 qm Grundfläche.

Konstruktion. Es werden im allgemeinen angewandt für Heizflächen von 25 bis etwa 50 qm Einflammrohrkessel,

50 „ „ 100 qm Zweiflammrohrkessel,

100 „ „ 250 qm Dreiflammrohrkessel.

Die zuweilen für mehr als 50 qm Heizfläche gebauten Einflammrohrkessel mit Wellrohr haben sich weniger bewährt als die übrigen, vor allem wegen ihres kleinen Speiseraumes, ihrer kleinen Verdampfungsoberfläche und ihres geringen Dampfzuges.

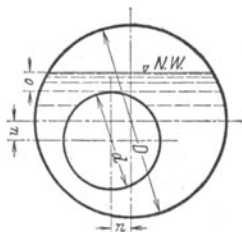


Abb. 148.

Einflammrohrkessel (Taf. IV, V). Die Rohrmitte wird jetzt allgemein seitlich von der senkrechten Mittellinie des Kesselmantels gelegt — Seitrohrkessel. Durch diese Anordnung des Flammrohres werden die Kessel bequemer befahrbar, ferner wird eine Bewegung des Wassers um das Flammrohr herum erzielt, da das Wasser an der engsten Stelle zwischen Flammrohr und Kesselmantel stärker erwärmt wird als an der anderen Seite.

Die Querschnittsabmessungen (vgl. Abb. 148) wählt man unter Berücksichtigung der Bodentabellen (Abschnitt 28, S. 209) für H qm Heizfläche im allgemeinen folgendermaßen:

$D = (0,25 \div 0,26 \cdot \sqrt{H})$ m, mit Rücksicht auf die Befahrbarkeit jedoch nicht unter 1400 mm. Für Heizflächen, welche einen kleineren Manteldurchmesser ergeben würden, wendet man am besten Flammrohrkessel überhaupt nicht an.

$d = 0,5 \cdot D$ m, mindestens 600 mm, da sonst der Feuerraum bei Innenfeuerung für die Flammenentwicklung zu klein wird. Für Wellrohre werden gemäß der Bodentabelle auf S. 209 auch größere Durchmesser als $0,5 D$ gewählt, doch entstehen dadurch gerade die oben angeführten Mängel der großen Einflammrohr-Wellrohrkessel. $u = n = 0,1 \cdot D$ m, doch muß der Spielraum zwischen Rohr und Mantel an der engsten Stelle mindestens 125 mm betragen. $o = (0,1 \cdot D + 0,01)$ m.

Zweiflammrohrkessel (Taf. VI, VII). Um den Dampfzug möglichst groß zu erhalten, werden die Flammrohrmitten unter die wagerechte Mittellinie des Mantels gelegt.

Für die Querschnittsabmessungen (vgl. Abb. 149) gilt im allgemeinen:

$$\begin{aligned} D &= (0,22 \div 0,24 \cdot \sqrt{H}) \text{ m}, & d &= [0,5 \cdot D - (0,25 \div 0,30)] \text{ m}, \\ u &= (0,1 \cdot D - 0,07) \text{ m}, & 2n &= [0,5 \cdot D - (0,06 \div 0,075)] \text{ m}, \\ o &= (0,1 \cdot D + 0,02) \text{ m}. \end{aligned}$$

Der Spielraum zwischen den beiden Flammrohren soll mindestens 150 mm, der zwischen Rohr und Mantel mindestens 125 mm groß sein.

Dreiflammrohrkessel (Taf. VIII) sind mit Manteldurchmessern von 2,1 bis etwa 3,2 m hergestellt worden. Die oberen Flammrohre erhalten dabei 0,8 \div 1,1 m und das untere Rohr 0,7 \div 1,0 m Durchmesser.

Besonders bemerkenswert ist der von der Aktien-Gesellschaft H. Paucksch in Landsberg a./W. gebaute Dreiflammrohrkessel. Bei ihm ist das untere Flammrohr nicht bis zum vorderen Kesselboden durchgeführt, sondern bei etwa $\frac{2}{3}$ der Kessellänge durch einen Krümmer unten mit dem Mantel verbunden. Diese Bauart behebt vor allem die Schwierigkeiten, die sich sonst bei den Dreiflammrohrkesseln aus der verschiedenen Höhenlage der Feuerungen für ihre Bedienung ergeben. Die oberen müssen nämlich verhältnismäßig hoch gelegt werden, wenn die untere nicht gar zu tief liegen soll.

Der Kesselmantel wird am zweckmäßigsten nur aus zylindrischen Schüssen zusammengesetzt. Damit die umzogenen Böden dabei gleiche Durchmesser erhalten können, nimmt man eine ungerade Zahl von Mantelschüssen. Letztere werden möglichst aus je einem Blech hergestellt. Der dabei vielleicht für sehr große Bleche zu zahlende Überpreis wird meist schon durch den Wegfall einer Nietnaht und die somit verringerten Kosten der Zusammenfügung aufgewogen. Die Längsnähte werden so angeordnet, daß sie nicht in das Mauerwerk zu liegen kommen.

Die Flammrohre liegen stets im ersten Feuerzuge, werden sich daher stärker erwärmen und mehr ausdehnen als der Mantel. Es entstehen dadurch Spannungen in der Flammrohrwandung, die Undichtigkeiten in den Nietverbindungen hervorrufen würden, falls nicht entweder die Böden nachgiebig geformt werden (ebene Böden) oder aber, wo das nicht der Fall ist (gewölbte Böden), die Flammrohre ein gewisses Maß von Elastizität in der Längsrichtung besitzen. In Deutschland werden starre, aus überlappt zusammengenieteten Schüssen hergestellte Flammrohre und ebene Böden nicht mehr verwandt. Man setzt in die glatten Rohre stets zwischen den Schüssen federnde Ringe ein oder man stellt die Rohre entweder ganz oder zum Teil aus Wellrohr (Taf. IV) her. Diese Ringe lassen sich außerdem so formen, daß sie dem durch äußeren Druck beanspruchten Rohr als wirksame Versteifungen dienen. Auf das beste

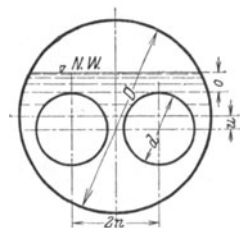


Abb. 149.

hat sich hierfür der Adamson-Ring (Taf. V) bewährt, durch dessen Verwendung außerdem die Rundnähte der Einwirkung des Feuers ganz entzogen sind.

Die Längsnähte der Flammrohrschüsse werden ebenfalls nicht mehr überlappt genietet, sondern geschweißt. Sie werden immer nahe dem unteren Scheitel des Rohres gelegt.

Für die Befahrbarkeit eines Zweiflammrohrkessels ist es von besonderem Vorteil, wenn die Flammrohre hinten so weit verengt werden, daß ein Mann zwischen ihnen hindurchschlüpfen kann. Dazu sind mindestens 250 mm Zwischenraum erforderlich.

In die Flammrohre baute man früher häufig als Versteifungen konische, nach oben erweiterte Querrohre — Gallowayrohre — ein. Sie stellen zugleich eine wirksame Vergrößerung der Heizfläche dar, erschweren aber die Reinigung des Flammrohres von Ruß und Asche so sehr und sind selbst im Innern so schwer von Kesselstein zu reinigen, daß man solche oder ähnliche Querrohre heute kaum noch anwendet.

Durch die Verwendung des Wellrohres läßt sich ebenfalls eine nicht unwesentliche Vergrößerung der Flammrohrheizfläche erreichen, da diese bei Wellrohr 1,14 mal so groß ist als bei einem glatten Rohr, dessen Lichtweite gleich dem mittleren inneren Durchmesser des Wellrohres ist,

Die Kesselböden werden bei uns nur noch in kugelig gewölbter, mit Mantel- und Flammrohrkrempe versehener Form (siehe Abb. 271 und 272) angewandt. Die Flammrohrkrempe werden entweder nach außen (ausgehalst) oder nach innen (eingehalst) umgezogen. Eingehalste Böden verwendet man stets für die hinteren Böden, für die vorderen meistens nur dann, wenn der Kessel Vorfeuerung erhalten soll. Gegenüber den früher gebräuchlichen ebenen Böden (vgl. Abb. 220) besitzen die gewölbten die Vorteile, daß sie sich infolge der angebrachten Krempe mit weniger Nieten in den Kessel einfügen lassen und daß sie keinerlei Verankerungen verlangen, welche wie die bei den ebenen Böden angewandten Längsanker und Eckanker bei der Reinigung des Kessellinnern recht störend sind. Außerdem bogen sich die ebenen Böden trotz reichlicher Verankerung während des Betriebes stets etwas nach außen durch, um beim Erkalten des Kessels wieder in ihre ebene Form zurückzukehren. Dadurch aber entstanden fast regelmäßig Undichtheiten an den Nietverbindungen oder gar Kremperisse in den Winkelringen, mittels derer die Flammrohre an dem Boden befestigt wurden.

Lagerung. Die Flammrohrkessel werden auf gußeiserne Kesselstühle gelegt. Diese sind, besonders wenn sie in der Nähe einer Rundnaht aufgestellt werden, unter den Außenschuß zu setzen, damit die Blechkante an der Naht gut zugänglich bleibt.

Speisung. Die Zuführung des Speisewassers erfolgt beim Einflammrohrkessel am besten durch die vordere Stirnwand hindurch an der Seite

des Flammrohrs, an der der weiteste Zwischenraum zwischen Flammrohr und Mantel ist. Das Speiserohr rage etwa 2 bis 3 m weit in den Kessel hinein und münde etwa 120 mm unter dem Niedrigwasserspiegel horizontal. Beim Zwei- und beim Dreiflammrohrkessel mündet das Speiserohr am besten in derselben Höhe, aber zwischen den beiden Flammrohren. Man hängt entweder von oben her ein Einhängerohr in den Kessel, das unten mit einem kleinen Krümmer versehen ist, oder man bringt das Speiserohr wie beim Einflammrohrkessel in der vorderen Stirnwand seitwärts an, führt es einige Meter gerade aus oder kröpft es im Kesselinnern über das eine Flammrohr so, daß es zwischen beiden Flammrohren ausmündet.

Zugführung. Der erste Zug liegt stets in den Flammrohren. Die Weiterführung der Heizgase kann geschehen:

a) Durch zwei Seitenzüge und einen Unterzug, und zwar können die Seitenzüge den zweiten Zug und der Unterzug den letzten Zug bilden oder umgekehrt. Letztere Anordnung empfiehlt sich mehr, da man hierbei eine gleichmäßigere Erwärmung des Kesselwassers und einen etwas besseren

Wirkungsgrad erhält, ist aber seltener ausgeführt worden, wegen der Schwierigkeiten, die sich für die Gestaltung der Einmauerung am hinteren Kesselende ergeben.

b) Durch zwei Seitenzüge, welche symmetrisch zum Querschnitt des Kesselmantels angeordnet werden (Abb. 150). Beide Kanäle werden unter der Kesselmitte durch eine Mauerzunge getrennt. Beim Einflammrohrkessel soll der Kanal, der dem Flammrohr am nächsten liegt, den zweiten Zug bilden. Die Heizkanäle sind bei dieser Anordnung bequem befahrbar, während das bei den Seitenzügen im Falle a) nur möglich wäre, wenn die Seitenwände des Kesselmauerwerks weiter auseinandergerückt würden. Die Einmauerung mit zwei Seitenzügen wird jetzt fast ausschließlich für alle Flammrohrkessel gewählt.

c) Durch einen Unterzug und einen Oberzug (Abb. 151). Die Gase umspülen, nachdem sie das Flammrohr oder die Flammrohre verlassen

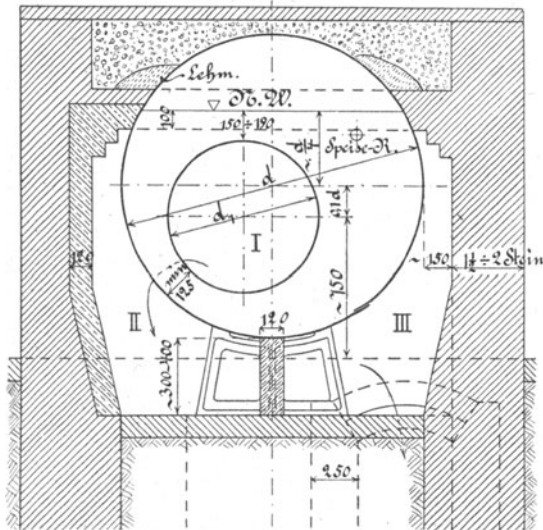


Abb. 150.

haben, den ganzen vom Wasser berührten Mantel bis zu einer ziemlich vorn liegenden gemauerten Querwand, gehen durch eine unten in der Wand angebrachte Öffnung hindurch, steigen an dieser Wand empor und beheizen dann in einem Oberzuge den Dampfraum des Kessels.

Da der Nutzen der Oberzüge nur recht gering ist und nicht im Verhältnis zu der durch sie bedingten Verteuerung des Mauerwerks steht, so werden sie jetzt, auch wenn die Kessel nicht mit Überhitzern versehen werden, kaum noch angewendet.

Überhitzer mit liegenden Rohrschlangen haben sich für Flammrohrkessel am geeignetsten erwiesen. Sie werden am hinteren Kesselende so

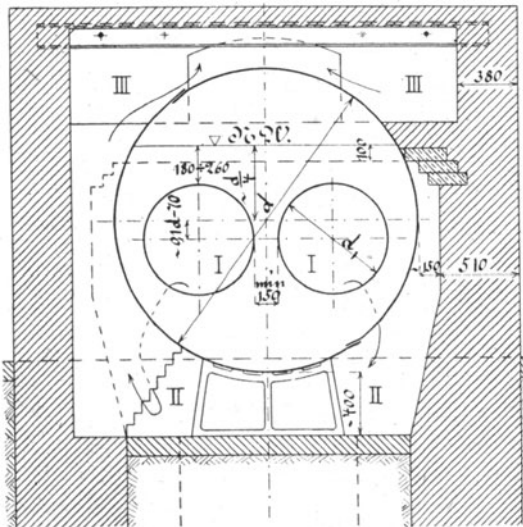


Abb. 151.

angeordnet, daß sie von den Gasen bestrichen werden, ehe diese in den zweiten Zug strömen.

Vorteile. Der Wassergehalt der Flammrohrkessel genügt, um sie für ungleichmäßige Dampfenahme geeignet zu machen, auch kann, bis auf die oben genannte Ausnahme, die Verdampfungsoberfläche und der Dampfraum bei ihnen so groß gestaltet werden, daß sie recht trockenen Dampf liefern. Sie sind gegen hartes Wasser ziemlich wenig empfindlich

und lassen sich im allgemeinen gut reinigen. Ihre Wartung ist einfach und leicht, so daß sie wenig Instandsetzungen nötig machen. Dabei besitzen sie im Flammrohr eine sehr wirksame Heizfläche, welche nicht unwesentlich zu der guten, in ihnen erreichten Wärmeausnutzung beiträgt.

Nachteile. Die im ersten Feuer liegenden Teile der Kesselwandung, welche bei eintretendem Wassermangel zuerst vom Wasser entblößt werden, sind hier nicht wie bei den anderen Innenfeuerungskesseln noch besonders verankert. Nachlässige Wartung kann daher die Kessel in große Gefahr bringen und infolge des großen Wassergehaltes schwere Explosionsschäden herbeiführen. Der Wasserumlauf ist besonders im Zweiflammrohrkessel äußerst gering.

Anwendung. Die Ein- und Zweiflammrohrkessel haben in kleinen und mittleren Anlagen die weiteste Verbreitung gefunden, dagegen wird der Dreiflammrohrkessel verhältnismäßig wenig angewandt, trotzdem er

den anderen Flammrohrkesseln bezüglich der Wärmeausnutzung und der Schnelligkeit des Anfeuerns überlegen ist. Der Grund hierfür ist einerseits in seiner schlechten Befahrbarkeit, andererseits darin zu suchen, daß man für große Anlagen jetzt immer mehr solchen Bauarten den Vorzug gibt, die bei hoher Dampfleistung eine möglichst geringe Grundfläche beanspruchen.

C. Der Heizrohrkessel.

Zwischen den Böden eines zylindrischen Kessels (Abb. 152) ist eine große Zahl enger Rohre so eingebaut, daß sie im Innern die Heizgase führen und außen vom Wasser umgeben sind. Um die innere Reinigung des Kessels zu erleichtern, werden die Rohre in zwei symmetrisch zur senkrechten Mittellinie des Querschnitts liegenden Gruppen angeordnet,

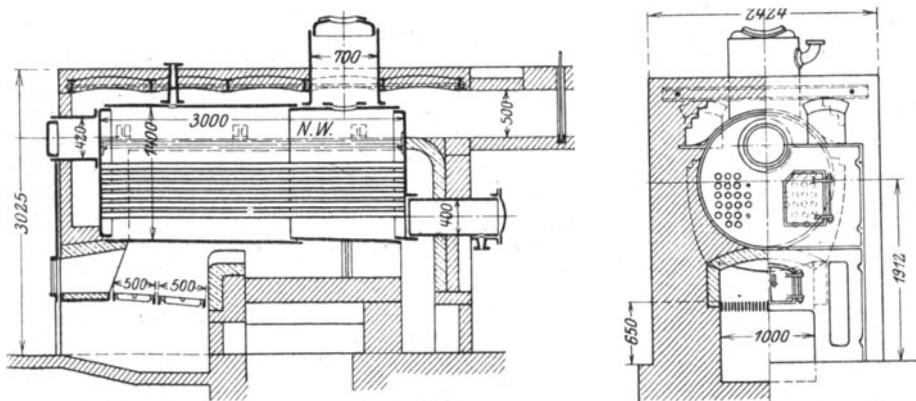


Abb. 152.

zwischen denen ein zum Durchfahren ausreichender Zwischenraum verbleibt. Zum Anbringen der Abblasevorrichtung dient ein meistens am vorderen Boden angebrachter wagerechter Stutzen.

Die Feuerung ist entweder Planrost- oder Treppenrostunterfeuerung.

Die Grundflächenausnutzung $H : Gr$ schwankt zwischen 2 und 5 qm Heizfläche auf 1 qm Grundfläche.

Konstruktion. Heizrohrkessel sind für Heizflächen von 20 bis 150 qm ausgeführt worden. Der Durchmesser des Kesselmantels beträgt etwa 1,25 bis 2 m, seine Länge bis zu 5 m, die Anzahl der Heizrohre bis zu 100, ihr Durchmesser zwischen 64/70 und 94,5/102 mm (vgl. die Röhrentabelle auf S. 206). Der freie Querschnitt sämtlicher Rohre soll möglichst nicht kleiner als $R/6$ sein.

Die Rohre werden in die Kesselböden durch Einwalzen dicht eingesetzt. Man bedient sich dazu einer mit drei bis vier kleinen auseinanderstellbaren Rollen versehenen „Rohrwalze“, welche in das Rohr hineingesteckt und dann gedreht wird. Das Rohrende wird dadurch ganz wenig aufgeweitet und fest in dem Loche eingepreßt.

Bei gewölbten Böden ist das Einwalzen der Rohre um so schwieriger, je weiter diese vom Mittelpunkt des Bodens entfernt liegen. Man wendet daher für Heizrohrkessel im allgemeinen ebene Böden an. Nur bei größeren Kesseldurchmessern, wie sie bei Heizrohrkesseln vorkommen, die als Oberkessel zusammengesetzter Kessel (siehe den folgenden Abschnitt *D*) verwendet werden, wählt man aus Festigkeitsrücksichten gewölbte Böden, in welche aber ebene Flächen zur Aufnahme der Rohre eingepreßt sind (Bodentabelle S. 210). Die Rohrenden läßt man einige Millimeter aus dem Kesselboden herausragen, bördelt sie aber am besten stets auf der Seite um,

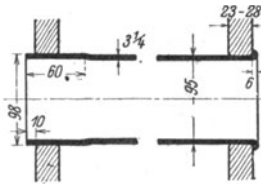


Abb. 153.

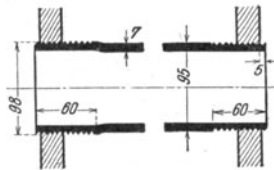


Abb. 154.

gegen welche die Heizgase stoßen. Um das Einsetzen und Herausziehen der Rohre zu erleichtern, werden die Löcher im vorderen Boden etwas größer gemacht als die im anderen und die Rohre vor dem

Einziehen an einem Ende entsprechend aufgeweitet. (Abb. 153.)

Die Verankerung der ebenen Kesselböden gegeneinander läßt sich hier am zweckmäßigsten durch „Ankerrohre“ (Abb. 154) erreichen. Dazu erhalten einzelne Rohre eine größere Wandstärke — mindestens 5 mm — und werden in beide Wände eingeschraubt. Das ist so sorgfältig auszuführen, daß sich das Aufsetzen von Gegenmuttern erübrigt. Letzteres ist zu verwerfen, da die vorstehenden Muttern sehr bald verbrennen. Die Rohrmitten können, wie in den Abb. 155—158 angegeben, auf den Ecken von Quadraten und von Sechsecken angeordnet werden. Die erstgenannte Anordnung hat den Vorteil weiterer Spalten zwischen den Rohrreihen

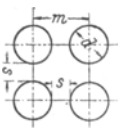


Abb. 155.

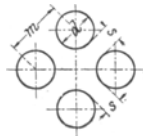


Abb. 156.

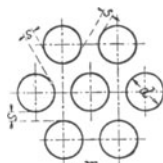


Abb. 157.

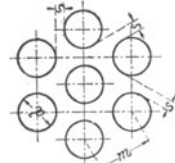


Abb. 158.

($s = m - d$), während bei Sechseckanordnung mehr Rohre auf engem Raum, allerdings nur mit Spaltweite $s = 0,87 m - d$, untergebracht werden können. Für Heizrohrkessel ist fast nur die Anordnung nach Abb. 155 gebräuchlich. Infolge der senkrechten Straßen zwischen den Rohrreihen begünstigt sie, ebenso wie die in Abb. 158 gezeigte, das Emporsteigen der Dampfblasen. Die Stegstärke ($m - d$) zwischen zwei Rohren wird im allgemeinen nicht unter 25 mm gewählt.

Der Kesselmantel wird aus 2 oder 3 Schüssen zusammengesetzt und unten mit einer meistens bis auf $\frac{2}{3}$ der Kessellänge, zuweilen aber auch ganz durchgehenden Feuerplatte versehen.

Der niedrigste Wasserstand soll nicht mehr als um die Hälfte des Halbmessers über der Kesselmitte und dabei, gemäß den gesetzlichen Bestimmungen, mindestens 100 mm über der Oberkante der obersten Rohrreihe liegen.

Lagerung. Die Heizrohrkessel wurden früher gewöhnlich an angetieteten Tragpratzen aufgehängt. Bei neueren Ausführungen jedoch

liegt der Kessel längs auf den Mauerzungen, welche den Unterzug von den Seitenzügen trennen. Man baut in jene zur Lagerung größerer Kessel je 2 bis 3 gußeiserne Kesselstühle ein.

Speisung. Das oben vom Kesselmantel ausgehende senkrechte Einhängerrohr mündet, mittels eines kurzen Krümmers, unter dem niedrigsten Wasserstande, wagrecht aus.

Zugführung. Die Gase ziehen zuerst unter dem Kessel entlang, kehren dann in den Heizrohren nach vorn zurück. Von dort aus werden sie gewöhnlich in zwei Seitenzügen geführt, an deren hinterem Ende sich senkrechte Abfallkanäle anschließen. Diese vereinigen sich unter dem hinteren Kesselende im Fuchs. Die in Abb. 152 wiedergegebene Einmauerung mit Oberzug ist selten anzutreffen.

Überhitzer mit liegenden Rohrschlangen werden hinter den Kessel gelegt und von den Gasen bestrichen, bevor sie in die Heizrohre gelangen. Um die Überhitzer nötigenfalls aus dem Gasstrom ausschalten zu können, liegen sie, wie bei den Flammrohrkesseln, höher als der Kessel.

Vorteile. Der Kessel läßt sich schnell anheizen, nutzt den Brennstoff sehr gut aus und ist dabei billig.

Nachteile. Die Ausscheidungen des Wassers machen sich bei dem Kessel besonders schädlich bemerkbar, einmal wegen der nicht zu umgehenden Unterfeuerung, sodann aber, weil die Einwalzstellen der Heizrohre leicht undicht werden, wenn der Wärmedurchgang dort durch eine auf der Wasserseite entstandene Kesselsteinschicht behindert wird. Außer den Instandsetzungen zur Behebung von Schäden an den Unterplattén des Kesselmantels wird daher auch recht häufig ein Nachwalzen der Rohre nötig. Wird das aber nicht vorsichtig ausgeführt, so entstehen Stegrisse zwischen den Rohrlöchern, die schließlich eine Erneuerung des Kesselbodens notwendig machen. Solche kostspieligen Arbeiten lassen sich nur durch sorgfältigste regelmäßige Reinigung des Kessellinnern vermeiden. Unter Umständen ist es dazu nötig, nach einigen Jahren Betriebszeit einen Teil der Rohre aus dem Kessel herauszunehmen. — Auch die Wartung des Kessels im Betriebe erfordert besondere Aufmerksamkeit, da Wasser-, Speise- und Dampfraum verhältnismäßig klein sind. Da ferner die Zugstärke durch Ablagerung von Flugasche in den Rohren wesentlich beeinträchtigt wird, so ist es im allgemeinen notwendig, die Rohre täglich mindestens einmal mit einer Bürste zu durchstoßen oder mittels Dampfstrahles zu reinigen.

Anwendung. Der Heizrohrkessel wurde früher viel in kleineren Anlagen benutzt, wenn es darauf ankam, die Grundfläche besser auszunutzen, als es mit Flammrohrkesseln möglich ist. Er ist aber von anderen Kesselbauarten, die gegen unreines Speisewasser und hochwertige Brennstoffe weniger empfindlich sind, fast ganz verdrängt worden.

D. Zusammensetzung der Kessel unter A bis C.

Um einzelne Mängel der bisher besprochenen Bauarten zu beseitigen, oder aber um an Grundfläche zu sparen, hat man Kessel gebaut, die aus Walzen-, Flammrohr- und Heizrohrkesseln in der mannigfaltigsten Weise zusammengesetzt sind. Von den so entstandenen Kesseln sollen in nachstehendem diejenigen besprochen werden, welche in Deutschland allgemeinere Verwendung gefunden haben.

a) Flammrohrkessel mit Heizrohren sind aus dem Bestreben entstanden, den Heizrohrkessel für Innenfeuerung einzurichten.

α) Flammrohr-(Feuerbuchs)kessel mit vorgehenden Heizrohren.

Einer der gebräuchlichsten Kessel dieser Art ist

der ausziehbare Feuerbuchsessel,

wie er in Taf. IX, Fig. 1 nach einer Ausführungsform der Maschinenbau-Anstalt Humboldt in Kalk bei Köln dargestellt ist. In ungefähr derselben Weise werden solche Kessel von R. Wolf, Magdeburg-Buckau und H. Lanz, Mannheim ausgeführt.

Der Rost liegt im Innern einer flammrohrartigen Feuerbüchse, an die sich in der Verlängerung ein Heizrohrbündel anschließt. Feuerbüchse und Rohrbündel bilden ein zusammenhängendes Stück, das man aus dem Kessel herausziehen kann. Die Verbindung des herausziehbaren Stückes mit den Kesselböden erfolgt durch Verschraubungen. An den Kessel schließt sich nach hinten eine Rauchkammer an, die gewöhnlich den eisernen Schornstein trägt.

Mit diesem Kessel ist eine Grundflächenausnutzung $H : Gr$ von etwa 2,5 bis 6 zu erzielen.

Konstruktion. Die Kessel sind für Heizflächen von etwa 10 bis zu 130 qm gebaut worden. Den Manteldurchmesser d findet man mit 0,65 bis 2,2 m ausgeführt, die Länge mit $2,5 \div 3 d$ und bis zu $4 d$, wenn ein zum Teil in den Kessel hineingebauter Rauchkammerüberhitzer vorhanden ist. Der Durchmesser der Feuerbüchse kann etwa $d_1 = 0,6 d$, ihre Länge $l_1 = 2 d_1$ und die Rostlänge etwa $0,6 \cdot l_1$ betragen. Die Heizrohre erhalten 43/47,5 bis 64/70 mm Durchmesser. Ihre Anzahl schwankt zwischen 30 und 120 Stück. Zwischen den Rohren verbleibt ein Zwischenraum von 20 bis 25 mm.

Bei den weitaus meisten Ausführungen wird oben auf dem Kesselmantel die Dampfmaschine gelagert. Der Dom fehlt dann.

Lagerung. Der Kessel ruht auf gußeisernen Tragfüßen. Kleinere Ausführungen werden fahrbar eingerichtet und sind dazu auf Radachsen gelagert.

Spelsung. Das Speisewasser wird meistens seitlich vom Kesselmantel aus eingeführt.

Zugführung. Die Heizgase ziehen durch Feuerbüchse und Heizrohre zur Rauchkammer. Zuweilen legt man unter den Kessel einen

gemauerten Zug, den die Heizgase durchstreichen, bevor sie in den Schornstein gelangen. In diesem Falle trägt die Rauchkammer keinen Schornstein.

Als **Überhitzer** wird eine spiralig gewundene Rohrschlange in die entsprechend erweiterte Rauchkammer eingebaut.

Vorteile. Die Wärmeausnutzung ist trotz der geringen Zuglänge eine gute, da die Heizfläche sehr wirksam ist. Die Kessel lassen sich ziemlich schnell und ohne großen Wärmearaufwand anfeuern und sind bei herausgezogenem Rohrbündel bequem im Innern zu reinigen.

Nachteile. Die Feuerbuchse ist nur sehr kurz und bietet daher wenig Raum für die Flammenentwicklung, so daß die Feuerung bei gasreicherem Brennstoff ziemlich stark raucht. Die Verdampfungsoberfläche ist klein, daher wird der erzeugte Dampf leicht naß. Wegen des sehr geringen Wasserumlaufs im Kessel und der fehlenden Mantelheizung haften die aus dem Speisewasser ausgeschiedenen Luftblasen am Mantel und rufen dort Anrostungen hervor. Auf dieselben Ursachen und die dadurch besonders beim Anfeuern¹⁾ hervorgerufenen bedeutenden Temperaturspannungen sind auch Undichtigkeiten zurückzuführen, die sich nicht selten an den Mantelnähten zeigen.

Anwendung. Die Kessel haben in der oben angegebenen Verbindung mit der Dampfmaschine, fest aufgestellt, eine weitgehende Verbreitung gefunden. Der Grund hierfür ist in dem geringen Platzbedarf für Kessel und Maschine, sodann auch darin zu suchen, daß infolge Fehlens jeglicher Dampfleitung zwischen beiden ein hoher Grad von Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann. Das ist besonders der Fall, seitdem man durch Anwendung von Überhitzern den sonst etwas höheren Schornsteinverlust vermindert und der Maschine trockenen Dampf zugeführt hat. — Weniger bewährt haben sie sich als fahrbare Kessel, da die ziemlich teuren Dichtungen zwischen Rohrbündel und Kessel durch das Fahren, besonders auf Pflasterwegen, leicht beschädigt werden.

Als Abart dieses Kessels kann der Kessel mit quaderförmiger Feuerbuchse bezeichnet werden. Diese läßt sich geräumiger als die flammrohrartige, also für die Flammrohrentwicklung günstiger gestalten. Sie wird in einen stehenden Kesselteil mit viereckigem Querschnitt — die äußere Feuerbuchse — eingebaut, an welche sich der zylindrische Heizrohrkessel — der Langkessel — anschließt. Die ebenen Feuerbuchswände machen dabei zahlreiche Verankerungen notwendig (siehe

¹⁾ In der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1901, Nr. 1, S. 22 berichtet C. v. Bach über einen von ihm mit solchem Kessel angestellten Versuch folgendes: Der Kessel war mit 12 Thermometern versehen. Das Anheizen bis zu 10 at Überdruck dauerte 135 Minuten. Zum Schlusse war der mittlere Temperaturunterschied an den 6 oben angebrachten und den 6 unten im Kessel angebrachten Thermometern noch 141° C. Sobald darauf gespeist wurde, verringerte sich der Unterschied bedeutend, und der Druck sank um etwa 1 at.

Abschnitt 26 B). Solche Feuerbuchskessel, bei denen also das Rohrbündel nicht herausgezogen werden kann, werden als bewegliche Kessel für die verschiedensten Zwecke, z. B. bei Lokomotiven, Dreschlokomobilen, Dampfpflügen, Straßenwalzen fast allgemein verwandt.

Der Lokomotivkessel.

Auf Taf. X ist ein Kessel einer älteren Schnellzuglokomotive der preußischen Staatsbahn dargestellt. Er gibt die Bauart wieder, welche in Deutschland auf Lokomotiven allgemein, von unwesentlichen Abweichungen abgesehen, Anwendung findet. Die inneren Feuerbuchsen der Kessel wurden früher immer aus Kupfer hergestellt, ebenso die Stehbolzen, welche die Seitenwände der Feuerbuchse gegen die äußeren Kesselwände versteifen. Die guten Erfahrungen, die man mit den kupfernen Feuerbuchsen bezüglich Dichthaltens der Nähte und der Rohreinwalzstellen gemacht hat, gründen sich auf der großen Formänderungsfähigkeit des Kupfers und seiner daraus folgenden geringen Empfindlichkeit gegen die in den Feuerbuchsen der Lokomotivkessel auftretenden starken Temperaturschwankungen. Unter der Einwirkung des Krieges ist man nunmehr dazu übergegangen, die Feuerbuchsen aus Flußeisen herzustellen, was in Amerika schon seit langem üblich ist.

Konstruktion. Lokomotivkessel werden für Dampfdrucke von 8 bis zu 16 at mit Heizflächen von 15 bis zu etwa 300 qm hergestellt. Die äußere Feuerbüchse wird dabei ausgeführt mit einer Länge von $0,6 \div 2,8$ m und einer Breite von $0,7 \div 2,3$ m, die innere Feuerbuchse $0,45 \div 2,6$ m lang und $0,55 \div 2,1$ m breit. Der Langkessel erhält $0,7 \div 2,0$ m Durchmesser bei $2 \div 5$ m Länge. Es finden sich 50 bis 350 Heizrohre von $35/40 \div 45/51$ mm Durchmesser und etwa $2 \div 5$ m Länge. Sie werden auf den Ecken regelmäßiger Sechsecke angeordnet (Abb. 158). Der Dampfdom zeigt $0,25 \div 0,8$ m Durchmesser und $0,4 \div 1$ m Mantelhöhe. Um den Kopf des in ihm eingebauten Dampfentnahmerohres zugänglich zu machen, ist der Mantel geteilt, so daß der obere Teil abnehmbar ist.

Das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche ist bei Güterzuglokomotiven $R : H = 1/60 \div 1/90$, bei Personenzuglokomotiven $R : H = 1/50 \div 1/70$.

An Brennstoffen kommen auf Lokomotiven hauptsächlich Steinkohlen, sonst auch Heizöle namentlich aus der Petroleumgruppe zur Verwendung.

Lagerung. Der Kessel wird fest mit dem darunterliegenden Maschinenrahmen verbunden, der federnd auf den Radachsen gelagert ist.

Speisung. Das Speisewasser wird dem Langkessel seitlich etwa in Höhe der Kesselmitte nahe der Rauchkammer zugeführt.

Überhitzer. Es finden sich entweder Rauchkammer- oder Rauchrohr-Überhitzer. Die ersteren bestehen aus Röhren, die konzentrisch zum

Rauchkammermantel liegen und von den Heizgasen bestrichen werden, ehe sie in den Schornstein strömen. Bei den zuletzt genannten sind die einzelnen Überhitzerrohrschlangen in weitere Rauchrohre eingebaut, durch welche der obere Teil der engen Heizrohre ersetzt ist.

Vorteile. Der Kessel ist außerordentlich leistungsfähig, dabei leicht und unempfindlich gegen Erschütterungen. Er läßt sich schnell anheizen

Nachteile. Die Reinigung des Kessels ist so schwierig, daß es nötig ist, die Heizrohre in regelmäßiger Wiederkehr herauszunehmen. Dadurch werden die laufenden Instandsetzungskosten, die schon wegen der dauernd hohen Beanspruchung ziemlich groß sind, nicht unwesentlich erhöht. Die engen Heizrohre verursachen den Heizgasen einen so großen Strömungswiderstand, daß zu seiner Überwindung eine verhältnismäßig große Zugstärke nötig ist.

Anwendung. Der vorstehend beschriebene Kessel ist der einzige, der sich zum Betriebe von Eisenbahnen dauernd bewährt hat.

Der Lokomobilkessel.

Abb. 159, 160 zeigen die Form des Feuerbuchskessels, in welcher er für Lokomobilen verwandt wird. Sie unterscheidet sich von der des

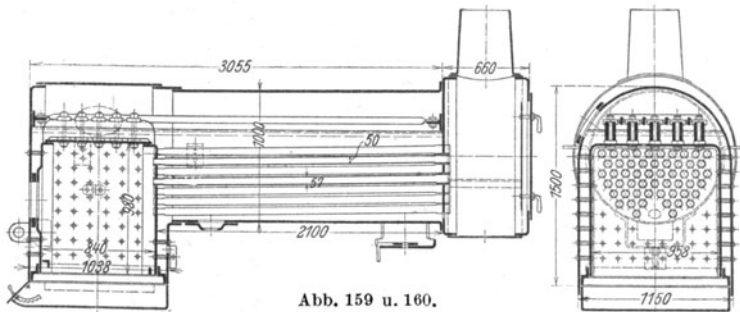


Abb. 159 u. 160.

Lokomotivkessels hauptsächlich in der Verankerung der Feuerbuchsdecke und durch den fehlenden Dom. Auch die Lagerung des Kessels ist eine andere. Er ist hier unmittelbar und ohne Zwischenschaltung von Federn mit den Radachsen verbunden.

Konstruktion. Die Kessel werden jetzt gewöhnlich für $8 \div 10$ at Dampfdruck mit 10 bis etwa 50 qm Heizfläche hergestellt. Ihre äußere Feuerbuche erhält $0,7 \div 1,3$ m Länge und $0,8 \div 1,5$ m Breite. Die innere Feuerbuche wird aus Eisen hergestellt und $0,5 \div 1,1$ m lang und $0,65 \div 1,3$ m breit gemacht. Der Durchmesser des Langkessels beträgt $0,7 \div 1,1$ m, seine Länge $1,5 \div 2,5$ m; ihn durchziehen 25 bis 100 Stück $1,6 \div 2,7$ m lange Heizrohre von $51/57 \div 57/63$ mm Durchmesser.

Mit Überhitzern werden die Kessel im allgemeinen nicht ausgestattet.

Anwendung. Diese Kessel, denen die Dampfmaschine aufmontiert ist, finden als Lokomobilen in landwirtschaftlichen und auch in industriellen Betrieben die mannigfachste Verwendung und haben bis jetzt, trotz des Fortschreitens der Versorgung mit elektrischer Kraft, wenig an Bedeutung verloren.

β) Flammrohrkessel mit rückkehrenden Heizrohren.

Die Heizrohre sind bei diesen Kesseln so angeordnet, daß die Gase, nachdem sie den Kessel in Flammrohren durchzogen haben, durch die Heizrohre zum Heizerstande zurückkehren. Läßt man dabei alle Rohre von einem Kesselboden bis zum anderen durchgehen, so erhält man schlecht zu reinigende Kessel. Um diesem Übelstande abzuhelpen, hat man sie so hergestellt, daß das Flammrohr, das Heizrohrbündel und eine Umkehrkammer, welche beide am hinteren Ende verbindet, aus dem Kessel herausgezogen werden kann. Man hat dann den weiter oben beschriebenen ausziehbaren Kesseln gegenüber den Vorteil, den herausnehmbaren Kesselteil nur durch Verschraubungen am vorderen Kesselboden abdichten zu können. Trotzdem hat sich der Kessel mit rückkehrenden Heizröhren auch in dieser Form nicht allgemein eingeführt. Für Lokomobilen, für welche er noch am ehesten in Frage käme, hat er sich als wenig geeignet erwiesen, da er zur Überwindung des durch seine Konstruktion erheblich vergrößerten Strömungswiderstandes im Gaswege zu große Zugstärken erfordert. Außerdem ist die Kesselform, mit im Verhältnis zur Länge großem Durchmesser, welche durch die Unterbringung der Heizrohre neben dem Flammrohr bedingt wird, nicht für die Aufstellung der Dampfmaschine auf dem Kessel geeignet. Dagegen befähigt sie den Kessel, sich in den auf Schiffen zur Verfügung stehenden Raum gut einzufügen. Er wird daher für diesen Zweck viel angewandt, doch hat man ihn dabei nicht ausziehbar eingerichtet.

Der zylindrische oder schottische Schiffskessel.

Tafel XI und Abb. 161, 162.

Die mit ebenen Böden versehenen Kessel besitzen 1 bis 4 Flammrohre, die meistens aus Wellrohr hergestellt werden. Die Flammrohre münden hinten in gemeinsame oder getrennte Wendekammern, von deren vorderer ebener Wand aus eine große Anzahl Heizrohre nach der über den Feuer-türen liegenden Rauchkammer führen. Getrennte Wendekammern bieten vor allem den Vorteil, daß beim Reinigen eines Feuers die kalte Luft nur in die Züge dieses Feuers dringt, sie machen aber ein besonders vorsichtiges Anheizen nötig, da sonst leicht die Stehbolzen zwischen den Kammern abreißen. — Die großen ebenen Wände verlangen zahlreiche Verankerungen. Insbesondere ist das bei den Decken der Wendekammern der Fall. Sie müssen bei höheren Kesseldrucken am Kesselmantel angehängt werden, um Formänderungen in den Rohrwänden zu verhindern.

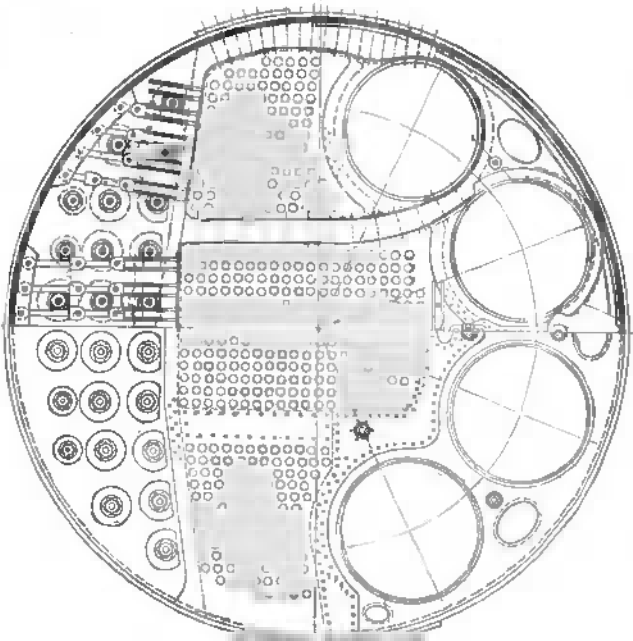
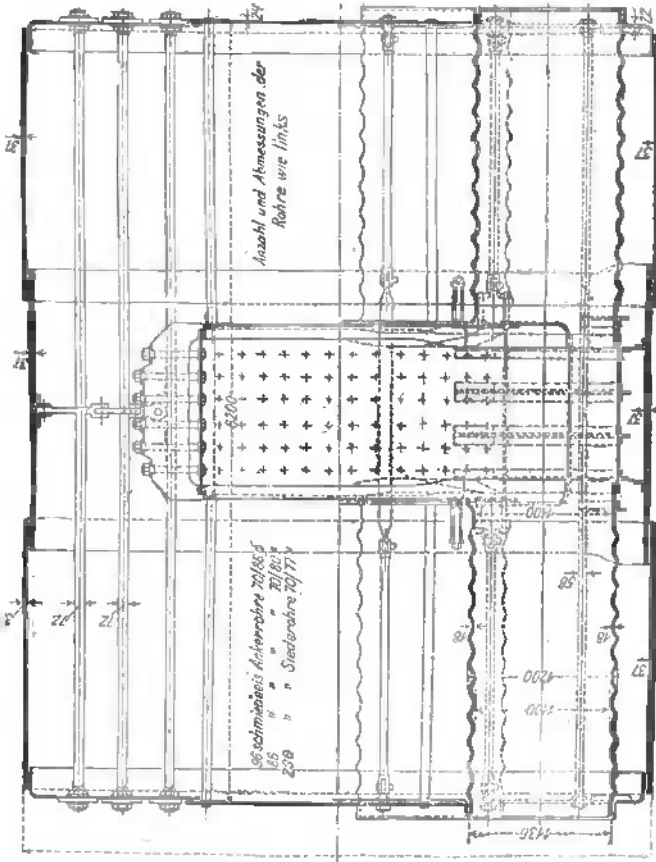


Abb 161 u. 162.

Als Besonderheit dieser Kessel ist das Schamottegewölbe zwischen dem Rostende und der gegenüberliegenden Kammerwand zu erwähnen (siehe Taf. XI). Fehlt es, so wird die Zugstärke empfindlich verschlechtert.

Bei der Zusammenfügung der Wände ist vor allem auf Gewichtsersparnis Rücksicht zu nehmen. Man stellt daher bei kleineren Kesseln den Mantel möglichst aus einem Blech her.

Für größere Ausführungen wählt man „Doppelender“ (Abb. 161, 162),¹⁾ die von beiden Stirnseiten aus befeuert werden. Meistens werden dabei die Wendekammern für beide Kesselenden gemeinsam ausgeführt, was für die Flammenentwicklung von Vorteil ist.

Die Kessel ergeben eine Grundflächenausnutzung von $H : Gr = 3,6 \div 13$.

Konstruktion. Für Heizflächen bis zu 300 qm werden Einender, und bis zu etwa 600 qm Doppelender gebaut. Der Kesselmantel erhält 1,2 \div 5 m Durchmesser und wird bei Einendern 1,8 \div 3,4 m, bei Doppelendern bis 6,5 m lang gemacht. Die Flammrohre finden sich mit 0,5 bis 1,2 m Durchmesser und 1 \div 2,5 m Länge. Die Wendekammern erhalten bei Einendern 0,4 \div 0,7 m, bei Doppelendern bis zu 1,3 m Tiefe. Bei der ersteren Bauart werden 40 bis 400, bei der zuletzt genannten bis 950 Heizröhren von 57/63 \div 80/89 mm Durchmesser eingesetzt.

Das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche beträgt etwa $R : H = 1/30 \div 1/40$.

Lagerung. Es dienen dazu 2 bis 6 Paar am Kesselmantel angelegte Lagerböcke, die mit den Spanten oder den Bodenstücken verbunden werden.

Speisung erfolgt von der vorderen Stirnwand aus. Ein Rohr führt das Wasser im Kesselinnern so weiter, daß es etwa 100 mm unter dem Niedrigwasserspiegel austritt.

Überhitzer werden sowohl in der Form von Rauchkammer-, als auch in der von Rauchrohrüberhitzern angewandt.

Vorteile. Gegenüber den sonst noch auf Schiffen gebräuchlichen Wasserrohrkesseln ist der Zylinderkessel verhältnismäßig einfach und erfordert weniger Instandsetzungen, auch machen sich Unreinigkeiten des Speisewassers bei ihm weniger schädlich bemerkbar. Er eignet sich daher besser als jene für einen wochenlangen ununterbrochenen Betrieb.

Nachteile. Er gestattet nicht so hohe Dampfspannungen wie die Wasserrohrkessel und wird bei gleicher Heizfläche ganz erheblich schwerer als diese. Ferner steht er ihnen in der erreichbaren Heizflächenbeanspru-

¹⁾ Doppelender, aufgestellt auf dem Doppelschrauben-Schnelldampfer „Deutschland“ der Hamburg-Amerika-Linie. Das Schiff wurde ausgestattet mit zwölf solcher Kessel von je 566 qm H und 14,52 qm R und mit 4 Einendern von je 287 qm H und 7,26 qm R. Der Höchstdruck betrug 15 at. (Zeitschr. d. V. D. J. 1900, S. 1501.)

chung wesentlich nach. Im übrigen besitzt er im Vergleich mit anderen Kesselbauarten so große Nachteile — schlechte Befahrbarkeit, wenig Wasserumlauf, nasser Dampf — daß er für eine Verwendung als feststehender Kessel nicht in Frage kommt.

Anwendung. Die Handelsmarine wendet diesen Kessel wegen seiner größeren Betriebssicherheit fast ausschließlich an, während die Kriegsmarine den Schulz-Kesseln den Vorzug gibt, weil sie sich schneller anheizen lassen, weniger Raum beanspruchen und höhere Leistungen ergeben; sodann auch, weil es möglich ist, diese Kessel in einzelne Teile zerlegt durch die Luken zu befördern. Letzteres ist bei größeren Instandsetzungen oder vollständigem Ersatz eines solchen Kessels von großem Vorteil, da es die sonst durch das Ausbauen der Decks verursachten Arbeiten und Kosten erspart.

b) Stehende Feuerbuchskessel.

Von den recht verschiedenen Bauarten, in denen Kessel mit senkrecht gestellter Längsachse ausgeführt worden sind, haben die mit flammrohrartiger Feuerbuchse am meisten Anwendung gefunden. Bei ihnen dient die Feuerbuchse ebenfalls zur Unterbringung des Rostes. Von dort aus steigen die Rauchgase senkrecht empor, um durch einen an den oberen Kesselboden angeschlossenen Abzug in den Schornstein zu gelangen. Auf dem Wege durch den Kessel werden die Gase also durch den Dampfraum geführt. Die vorher bestrichene Heizfläche muß daher, gemäß den gesetzlichen Bestimmungen (vgl. § 3, Abs. 2 der A. P. B. auf S. 303), bei natürlichem Zuge mindestens das 20fache, und bei künstlichem das 40fache der Rostfläche betragen.

Im allgemeinen hatten diesen Kesseln erhebliche Mängel an; als das sind: schlechte Zugänglichkeit des Kesselinnern, kurzer Gasweg, sehr kleine Verdampfungsoberfläche. Dem stehen als Vorteile ein ziemlich geringer Grundflächenbedarf und die infolge der fehlenden Einmauerung sehr einfache Aufstellung gegenüber. Diese Vorzüge können für die Anwendung stehender Kessel ausschlaggebend sein, namentlich in allen Fällen, wo Kessel mit geringer Heizfläche benötigt werden. Sie wurden daher früher sehr viel als Betriebskessel für kleine Dampfanlagen benutzt. Als solche sind sie aber durch die Einführung des wirtschaftlicheren elektrischen Antriebes fast ganz verdrängt worden. Nur in den Kleinbetrieben, wo Dampf nicht zum Maschinenbetriebe, sondern z. B. zu Kochzwecken, für Strahlgebläse oder ähnliches mehr gebraucht wird, ferner bei bestimmten ortsbeweglichen Dampfkraftanlagen, auf Kranen, Rammen, Feuerspritzen, Baggern, Gießpfannenwagen usw., endlich als Hilfskessel auf Schiffen finden sie auch jetzt noch Verwendung. Im letztgenannten Fall sogar mit Heizflächen bis zu 100 qm, während sie sonst gewöhnlich nicht mehr als 20 qm Heizfläche erhalten,

Um ihre innere Reinigung zu ermöglichen, sind die Kessel bisweilen auseinandernehmbar gemacht worden. Dies hat sich jedoch wenig bewährt, weil sich das Abheben und Wiederaufsetzen des Mantels nicht mit so einfachen Mitteln und so gefahrlos ausführen läßt, wie etwa das Herausziehen des Rohrbündels bei liegenden Kesseln.

Die Nässe des Dampfes, die sich schon bei Heizflächenbeanspruchungen von mehr als etwa 12 kg Dampf recht fühlbar macht, hat man durch Einbau von Überhitzern zu beseitigen versucht. Da die Betriebsverhältnisse, unter denen die Kessel meistens arbeiten, jedoch möglichste Einfachheit der Anlage verlangen, so wird sich ihre Ausrüstung mit Überhitzern immer nur auf einzelne Fälle beschränken.

Die Grundfläche läßt sich mit stehenden Feuerbuchskesseln bis zu etwa $H : Gr = 15$ ausnutzen.

Ihr Aufbau soll nachstehend an zwei besonders häufig anzutreffenden Bauarten erläutert werden.

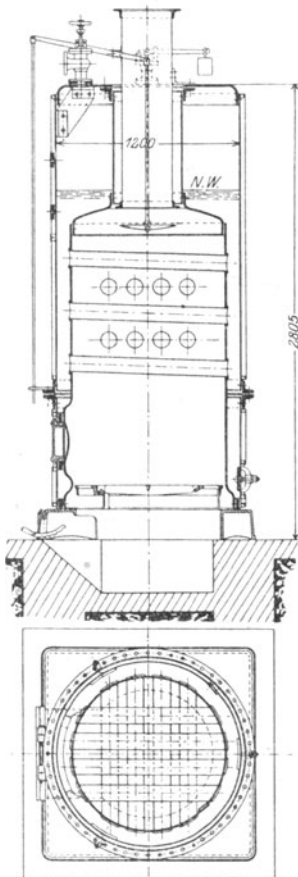


Abb. 163 u. 164.

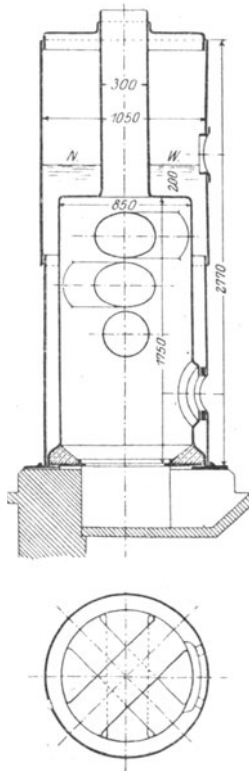


Abb. 165 u. 166.

Stehender Feuerbuchskessel mit Quersiedern.

Abb. 163, 164 und 165, 166.

In einem stehenden Zylinder ist als Feuerbuchse zentrisch ein stehendes Flammrohr eingebaut, dessen unterer Rand mit dem Kesselmantel verbunden ist. Quer zur Feuerbuchse sind entweder zwei bis sechs weitere Rohre oder etwa zwanzig bis dreißig enge Wasserrohre eingezogen und zwar so, daß die Rohre der verschiedenen Höhenstufen gegeneinander versetzt sind. Die Quersieder (Abb. 165) werden in den Mantel eingienietet oder eingeschweißt, während die Wasserrohre (Abb. 163) ein-

gewalzt und ihre Enden umgebördelt werden. Die Feuerbuchse wird in etwa $\frac{2}{3}$ der Kesselhöhe durch einen Boden abgeschlossen, der mit dem Kesselboden durch ein Rauchrohr verbunden ist.

Konstruktion. Der Durchmesser des Kesselmantels beträgt etwa $0,7 \div 1,5$ m, seine Höhe $2 \div 4$ m. Der Durchmesser der Feuerbuchse wird so groß gemacht, daß zwischen ihr und dem Kesselmantel ein $75 \div 100$ mm weiter Zwischenraum verbleibt. Der Durchmesser der Quersieder beträgt $250 \div 400$ mm, der der Wasserrohre $64/70 \div 101/108$ mm.

Nachteile. Die Feuerbuchse rostet unten leicht durch und im Rauchrohr treten häufig, infolge Erglühens seiner im Dampfraum liegenden Wandung, Ausbeulungen ein.

Stehender Feuerbuchskessel mit Heizrohren.

Abb. 167, 168.

Die Feuerbuchse ist nur etwa $\frac{1}{3}$ so hoch wie der Kessel, also für die Entwicklung der Flamme noch ungünstiger gestaltet als bei der vorher beschriebenen Bauart. Von der Feuerbuchse führen etwa 20 bis 30 Heizrohre von $64/70 \div 70/76$ mm Durchmesser zum Kesselboden.

Nachteile. Gasreichere Brennstoffe lassen sich in diesen Kesseln nur schlecht ausnutzen und rauchen stark. Sowohl die oberen als namentlich die unteren Einwalzstellen der Heizrohre werden sehr leicht undicht.

c) Flammrohrkessel mit darüberliegendem Heizrohrkessel.

Der Kessel besteht aus einem Zwei- oder Dreiflammrohrkessel als Unterkessel und einem Heizrohrkessel als Oberkessel. Beide wurden früher durch zwei senkrechte Stützen verbunden und erhielten nur im Oberkessel einen Dampfraum. So gebaute Kessel haben zwar einen besseren Wasserumlauf als die nachgenannten Doppelkessel mit zwei Dampfäumen, liefern aber wegen der verhältnismäßig kleinen Wasseroberfläche ziemlich nassen Dampf. — Jetzt baut man die Doppelkessel stets so, daß sich auch im Unterkessel ein Dampfraum befindet; wodurch gegenüber der früheren Bauart eine mehr als doppelt so große Verdampfungsfläche erzielt wird. Außerdem erreicht man durch den Fortfall des zweiten Verbindungsstützens zwischen Ober- und Unterkessel, daß sich die Kesselmäntel ungehindert ausdehnen

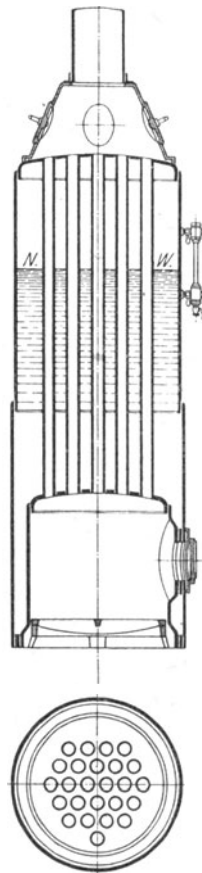


Abb. 167 u. 168.

können. Ein solcher Kessel ist in Taf. XII nach einer Ausführungsform der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln dargestellt. Die beiden Dampf Räume sind durch ein 240 mm weites senkrechttes Rohr verbunden, das etwa 200 mm über den Niedrigwasserspiegel des Oberkessels hinausragt. In dieses Dampfrohr ist ein 100 mm weites

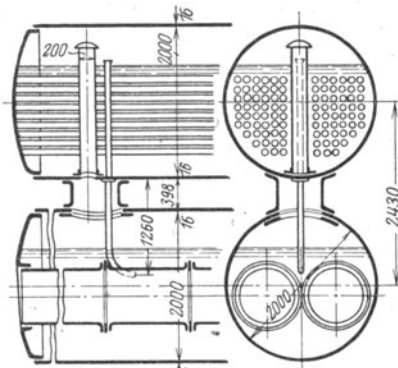


Abb. 169 u. 170.

Überfallrohr eingebaut, das im Oberkessel in Höhe des mittleren Wasserspiegels und im Unterkessel etwa 100 mm unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserstande mündet. Eine ähnliche Verbindung der Wasser- und der Dampf räume ist in Abb. 169 bis 171 wiedergegeben. Im gewöhnlichen Betriebe wird nur in den Oberkessel gespeist. Dabei beurteilt man die Notwendigkeit der Speisung nach dem Wasserstande im

Unterkessel. Nur im Notfalle, wenn etwa durch Unachtsamkeit der Wasserspiegel in beiden Kesseln stark gesunken ist und die Speisung des Unterkessels durch den Oberkessel zu lange dauern würde, speist man unmittelbar in den Unterkessel durch ein an seiner vorderen Stirnwand angebrachtes zweites Speiserohr.

Als ein besonderer Mangel dieser Kessel ist es anzusehen, daß der hintere Boden des Unterkessels in seinem oberen Teile, wo er nicht von

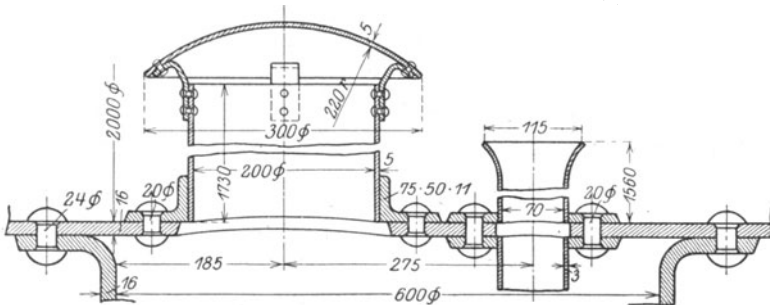


Abb. 171.

Wasser gekühlt wird, gut durch Mauerwerk vor der Einwirkung der emporziehenden, dort noch recht heißen Gase geschützt werden muß. Dem half die von der Firma J. Piedboeuf herrührende, in Taf. XIII dargestellte Bauart ab. Bei dieser wird der untere Dampfraum mit Hilfe einer im Unterkessel eingebauten senkrechten Wand gebildet, bis zu deren unteren Rande der im Unterkessel angesammelte Dampf den Wasserspiegel höchstens herabdrücken kann.

Der Dampf gelangt aus dem Unterkessel durch ein an der Scheidewand befestigtes Rohr in den Oberkessel. Dieses Dampfrohr ist auf Tafel VIII in Fig. 12 genauer dargestellt. In der Scheidewand befindet sich vor der Öffnung des Gehäuses, das den Rohrkrümmer trägt, ein 20 mm breiter, nach unten auf 80 mm erweiterter Schlitz. An dem Schlitz ist ein in der Höhe verschiebbares Blechstück angebracht, mittels dessen die Lage des Wasserspiegels im Unterkessel vor Inbetriebnahme des Kessels festgelegt werden kann. Bei Beginn des Anheizens ist das Überströmungsrohr mit Wasser gefüllt. Mit beginnender Verdampfung füllt sich der durch die Scheidewand abgeteilte Raum des Unterkessels allmählich mit Dampf, bis schließlich der dadurch sinkende Wasserspiegel den Schlitz in der Scheidewand erreicht hat. Von nun an tritt Dampf in das Rohr ein, so daß nach kurzer Zeit alles Wasser aus dem Rohr verdrängt ist und die Dampfüberströmung nach dem Oberkessel regelrecht stattfindet.

Die Speisung kann bei diesen Kesseln, deren Wasserräume durch den weiten Stutzen in Verbindung stehen, in den Unterkessel erfolgen. Das hat den Vorteil, daß sich die Hauptmenge der Niederschläge im Unterkessel absondert, der sich leichter reinigen läßt als der Heizrohrkessel. Für die Speisung ist hier der Stand des Wassers im Oberkessel maßgebend. Der Wasserspiegel im Unterkessel ist größeren Schwankungen nicht unterworfen.

Mit Doppelkesseln, die aus Heizrohrkessel über Flammrohrkessel bestehen, lassen sich $4 \div 11,5$ qm Heizfläche auf 1 qm Grundfläche unterbringen.

Konstruktion. Die Kessel werden gewöhnlich für Heizflächen von etwa 100 bis 250 qm mit einem Zweiflammrohrkessel und bis zu 500 qm und darüber¹⁾ mit einem Dreiflammrohrkessel als Unterkessel gebaut. Erstere erhalten etwa $1,9 \div 2,4$ m, letztere bis 3,2 m Durchmesser. Ihre Mantellänge schwankt zwischen 5 und 7,5 m. Der Oberkessel erhält gewöhnlich denselben Durchmesser wie der Unterkessel, wird aber im Mantel etwa $1 \div 1,5$ m kürzer als dieser gemacht. Der Durchmesser des Verbindungsstutzens beträgt mindestens 0,5 m.

Zugführung. Der Weg der Heizgase ist gewöhnlich folgender: I. Zug: Die Flammrohre, II. Zug: die Heizrohre, III. Zug: Mantel des Oberkessels, IV. Zug: Mantel des Unterkessels im oberen Teil, V. Zug: Mantel des Unterkessels unten.

Überhitzer werden am hinteren Kesselende so eingebaut, daß sie ausschaltbar sind und von den Heizgasen nach deren Austritt aus den Flammrohren bestrichen werden.

Vorteile. Infolge der sehr wirksamen Flammrohrheizfläche und der Zerlegung des Gasstromes in den Heizrohren ergibt der Kessel eine recht gute Ausnutzung des Brennstoffes. Er ist gegen Unreinigkeiten des Speisewassers weniger empfindlich als die Wasserrohrkessel, welche jetzt für die

¹⁾ Zwei solche Kessel von 720 qm Heizfläche, von der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz gebaut, sind im städtischen Elektrizitätswerk in Chemnitz aufgestellt. Die Durchmesser der Ober- und Unterkessel betragen 3200 mm.

Herstellung großer Kesseleinheiten bevorzugt werden, ist einfacher in der Wartung und verursacht weniger Instandhaltungskosten als diese.

Nachteile. Um einigermaßen genügend große Rostflächen — $R : H = 1/60 \div 1/65$ — unterbringen zu können, muß man die Rostlänge stets sehr groß wählen, so daß die Feuer, besonders bei mechanisch beschickten, bis zu 2,5 m lang ausgeführten Rostflächen, schwer zu bearbeiten und abzuschlacken sind.

Anwendung. Der Kessel wurde früher viel in großen Anlagen aufgestellt, wird aber aus diesen immer mehr durch andere, weiter unten beschriebene Bauarten verdrängt, welche eine wesentlich größere Dampfleistung auf der Grundflächeneinheit ermöglichen.

d) Doppelflammrohrkessel.

Diese selten ausgeführte Kessel unterscheidet sich von dem vorigen nur dadurch, daß als Oberkessel ein Flammrohrkessel verwandt wird. Dem einfachen Flammrohrkessel gegenüber zeichnet er sich durch geringeren Grundflächenbedarf aus, auch gestattet er die Herstellung größerer Kesseleinheiten (bis etwa 180 qm Heizfläche) als jener. Als Manteldurchmesser der Zweiflammrohrkessel wird hier etwa $d = 0,2 \cdot \sqrt{H}$ gewählt.

E. Die Wasserrohrkessel.

Den kennzeichnenden Bestandteil dieser Kessel bilden enge, mit Wasser gefüllte Rohre, welche beheizt werden. Die Einführung dieser „Wasserrohre“ in den Kesselbau war für seine Weiterentwicklung von einschneidendster Bedeutung. Es war nämlich dadurch möglich, Kessel herzustellen, die den Großwasserraumkesseln in vielen Beziehungen überlegen sind. Vor allem ist das der Fall hinsichtlich Grundflächenbedarf und Betriebsbereitschaft. Da es ferner gelang, die den Wasserrohrkesseln allgemein anhaftenden Mängel: nasser Dampf infolge kleiner Verdampfungsoberfläche und geringere Leistungsfähigkeit, so weit zu beheben, daß sie den Großraumkesseln auch darin gleichwertig geworden sind, so ist es erklärlich, daß die Wasserrohrkessel den übrigen Kesselbauarten nur noch wenige Anwendungsgebiete übrig gelassen haben.

Die einzelnen Arten der Wasserrohrkessel unterscheiden sich hauptsächlich in der Verbindung der Rohre zu einem Ganzen und in der Lage der Rohre. Diese können entweder nur wenig geneigt gegen die Waagrechte liegen (Schrägrohrkessel) oder sehr stark geneigt bis senkrecht angewandt sein (Steilrohrkessel).

a) Die Schrägrohrkessel.

Bündel gerader Wasserrohre sind in den Kessel mit einer Neigung von 1 : 5 bis 1 : 3,5 eingebaut.

α) Gliederkessel.

Am bekanntesten von ihnen ist in Deutschland der Rootkessel geworden. Ein solcher von Walther & Co. in Dellbrück bei Köln

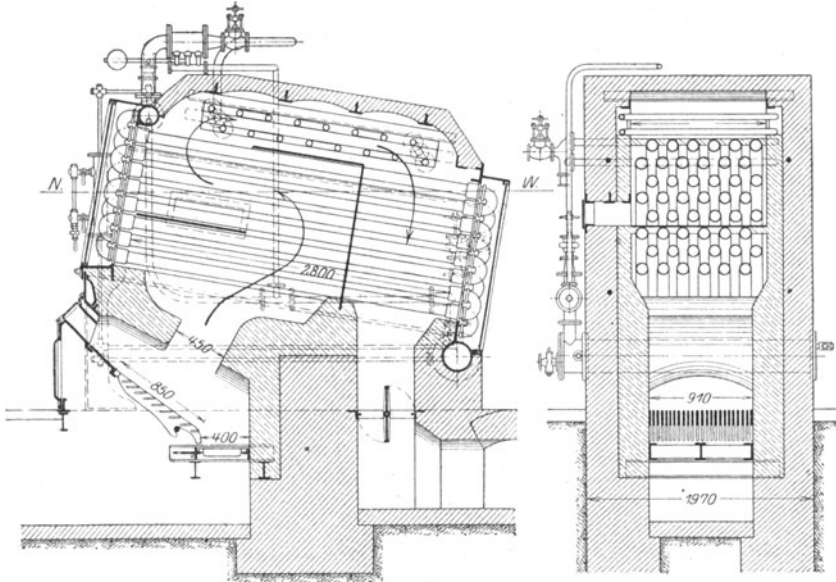


Abb. 172 u. 173.

erbauter Kessel ist in Abb. 172, 173 wiedergegeben. Wasserrohre von 102 mm äußerem Durchmesser sind an beiden Enden in viereckige, gegossene Kästen eingewalzt. Jeder Kasten faßt die Enden zweier nebeneinander liegender Rohre. Die Verbindung dieser Kästen miteinander

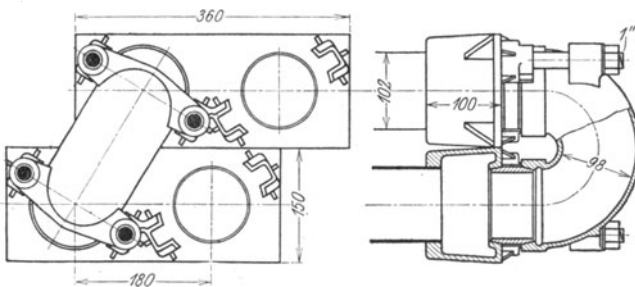


Abb. 174 u. 175.

geschieht durch gegossene Krümmen. (Abb. 174 und 175.) Sie werden mit Hilfe von Ringen abgedichtet, welche nach beiden Seiten schwach konisch gestaltet sind. Hinten sind alle Kästen der unteren Rohrreihe mit einem querliegenden Schlammsammler verbunden, in den gespeist wird. Ebenso stehen vorn die Kästen der obersten Rohrreihe mit einem

gegossenen Dampfsammler in Verbindung. In die Dampfleitung ist zwischen Kessel und Überhitzer ein Wasserabscheider eingesetzt.

Der niedrigste Wasserstand ist so angeordnet, daß die vorderen Kästen der vier obersten Rohrreihen mit Dampf und sämtliche hinten liegenden Kästen mit Wasser gefüllt sind.

Die Grundflächenausnutzung ist bei Rootkesseln ziemlich hoch, sie beträgt etwa: $H : Gr = 10 \div 15$.

Zugführung. Das Rohrbündel liegt zwischen zwei Längsmauern. Der vordere und der hintere Abschluß wird durch die Kästen gebildet. Durch gußeiserne Platten, die zwischen den Rohren eingelegt sind, werden die Gase gezwungen, die Rohre auf dem in Abb. 172 gekennzeichneten Wege zu bestreichen.

Vorteile. Der Kessel läßt sich aus Einzelteilen von kleinen Abmessungen leicht zusammensetzen.

Nachteile. Er liefert sehr nassen Dampf, weil die Dampfblasen einen ziemlich verwickelten Weg bis zum Dampfraum zurückzulegen haben und weil die Verdampfungsoberfläche sehr klein ist. Seine Reinigung von Kesselstein ist recht umständlich, ganz besonders gilt das für die Krümmer.

Anwendung. Seiner schwerwiegenden Mängel wegen, die auch durch die zuweilen angewandte Ausstattung mit einem Oberkessel nicht beseitigt werden können, gelangt der Rootkessel, ebenso wie alle anderen Gliederkessel nur noch in ganz besonderen Fällen zur Aufstellung und zwar in der oben beschriebenen Form, also ohne Oberkessel. Nach den gesetzlichen Bestimmungen (§ 15, Ziff. 2 der A. P. B., S. 311) darf er dann nämlich über oder unter bewohnten Räumen aufgestellt werden, ohne daß eine Grenze für Dampfdruck und Heizfläche festgesetzt ist. — Ferner kann die schlechte Zugänglichkeit des Aufstellungsortes wohl einmal Anlaß zur Wahl eines Gliederkessels geben.

β) Einkammerkessel.

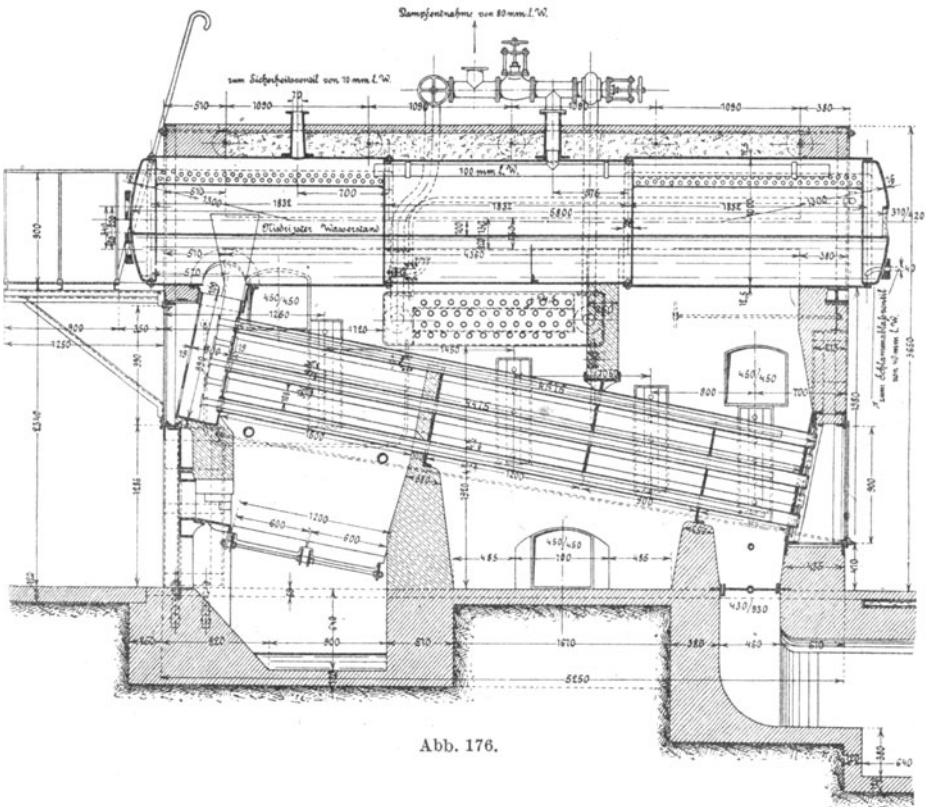
Abb. 176 zeigt einen solchen Kessel in der Ausführung der Düsseldorf-Rätinger Röhrenkesselfabrik, vormals Dürr & Co.

Die vorderen Rohrenden werden untereinander und mit dem Oberkessel durch eine Wasserkammer verbunden. So bezeichnet man einen mit ebenen Wänden hergestellten flachen Kesselteil, in dessen Rückwand sämtliche Wasserrohre senkrecht eingesetzt sind und der durch einen weiten Hals an den Oberkessel angeschlossen ist. Um das Innere der Rohre zugänglich zu machen, ist in der Vorderwand der Kammer vor jedem Rohr ein Putzloch angebracht. Zur Verankerung dieser Wand gegen die Rohrwand ist eine große Anzahl Stehbolzen erforderlich.

Beim Einkammerkessel stehen die Rohre am hinteren Ende weder untereinander noch mit dem Oberkessel in Verbindung. Jedes Rohr wird dort besonders verschlossen.

Um einen geregelten Wasserumlauf im Kessel zu erzielen, ist folgende Einrichtung getroffen:

In die etwa 100 mm weiten Wasserrohre sind etwas kürzere, 50 mm weite Rohre lose hineingeschoben. Letztere münden vorn in einer Zwischenwand, welche mitten zwischen Rohrwand und Putzlochwand in die Kammer eingesetzt ist. Da die Heizgase ihre Wärme an die Wandungen der Wasserrohre abgeben, so wird sich an deren Innenfläche das Wasser er-



wärmen und mit Dampfblasen mischen. Das Gemisch steigt nun in dem Ringraum zwischen Wasserrohr und Einlegerohr nach vorn empord und gelangt in den hinteren Teil der Kammer. Dieser endigt oben in einem bis in den Dampfraum ragenden Trichter, wodurch die Abführung des heißen Wassers und des Dampfes in den Oberkessel bewirkt wird. Dampf und Wasser werden sich dort voneinander trennen. Das letztere wird schließlich aus dem Oberkessel wieder in den vorderen Teil der Kammer gelangen, dort herabsinken, in die engen Einlegerohre fließen, um in ihnen an die hinteren Enden der Wasserrohre zu gelangen und von dort aus den Kreislauf von neuem zu beginnen.

Die Kessel sind auch mit zwei, am hinteren Ende durch einen waagrechten weiten Stutzen verbundenen Oberkesseln ausgestattet worden. Wird dann jeder Teil der Wasserkammer mit einem der Oberkessel verbunden, so zwingt man das heiße Wasser beide Oberkessel nacheinander zu durchfließen, ehe es wieder in die Kammer gelangt. Durch diesen langen Weg soll eine bessere Trennung des Wassers vom Dampf erreicht werden. Um ihn möglichst trocken zu erhalten, wird der Dampf dann nur aus dem Oberkessel entnommen, der an den vorderen Teil der Wasserkammer angeschlossen ist.

Vorteile. Die Rohre können sich frei ausdehnen.

Nachteile. Die Einlegeröhre verrosten leicht. Der Kessel ist schwer zu reinigen. Aus dem Rohrbündel läßt sich das Wasser nur durch Öffnen sämtlicher hinteren Verschlüsse ablassen.

Anwendung. Einkammerkessel wurden früher, besonders als Schiffskessel, vielfach benutzt, sind aber ihrer großen Nachteile wegen überall durch andere Wasserrohrkessel verdrängt worden.

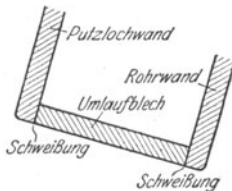


Abb. 177.

γ) Zweikammerkessel.

Die Wasserrohre sind an beiden Enden in Wasserkammern eingesetzt und beide Kammern oberhalb des Rohrbündels mit ein oder zwei längsgerichteten Walzenkesseln verbunden. Der Wasserspiegel liegt etwa in Höhe der Oberkesselachse.

Infolge der nach vorn ansteigenden Lage der Rohre strömen die in ihnen entstehenden Dampfblasen mit dem heißen Wasser zur vorderen Wasserkammer. In ihr steigt das Gemisch hoch, um durch den Kammerhals in den Oberkessel zu gelangen. Über der Öffnung des Kammerhalses ist eine Blechhaube angeordnet, durch welche die Scheidung von Wasser und Dampf gefördert werden soll. Das heiße Wasser strömt nun zusammen mit dem frisch eingespeisten im Oberkessel nach hinten und fällt in einem dort angesetzten senkrechten Stutzen ab, der es der hinteren Wasserkammer und damit den Wasserrohren zuführt.

Um die Wasserrohre leichter auswechseln zu können, erhalten die Rohrlöcher in der vorderen etwa 3 mm größeren Durchmesser als in der hinteren Wasserkammer und die vorderen Rohrenden werden dementsprechend aufgeweitet. Die Wasserkammern wurden früher allgemein aus drei Blechen hergestellt, welche durch Schweißung miteinander verbunden wurden (Abb. 177). Da jedoch in Deutschland in den Jahren 1912 bis 1918 eine Anzahl sehr folgenschwere Kesselexplosionen dadurch entstanden, daß sich das eingeschweißte Umlaufblech unten aus der vorderen Wasserkammer (Abb. 178, 179) löste, so ist behördlicherseits (Preuß. Ministerialerlaß vom 26. Juni 1918, Bayerischer Ministerial-Entschließung vom 8. Februar 1919 u. a.) folgendes bestimmt worden:

Bei neuen Kammerkesseln sollen Schweißverbindungen des Umlaufbleches mit den Rohrplatten möglichst vermieden werden. Mindestens muß dies erfolgen im unteren Teil der vorderen Wasserkammer auf der dem Feuer zugewandten Seite.

Auch für bereits bestehende Anlagen mit hoher Belastung wurden Sicherheitsmaßnahmen vorgeschrieben, die sich zum Teil nur durch besondere Hilfskonstruktionen ¹⁾ am unteren Teil der vorderen Kammer erfüllen lassen. Bei diesen mechanischen Sicherungen sollen allgemein solche Bauausführungen vermieden werden, welche:

1. die Kammer verengen, daher die Reinigung erschweren;

2. die Belastung des Bodens ausschließlich durch Stiftschrauben aufnehmen, deren Sicherheit daher nur auf der Scherfestigkeit des Gewindes beruht;

3. so beschaffen sind, daß bei ihrer Anbringung in den Schweißnähten oder im Umlaufblech starke Erschütterungen eintreten, die das Gefüge der Schweißnähte zu lockern geeignet sind;

4. keine genügende, mindestens fünffache Sicherung gegen den Bodendruck oder den seitlichen Flächendruck (von Bodenunterkante bis zur nächsten wirksamen Unterstützung gerechnet) gewähren.

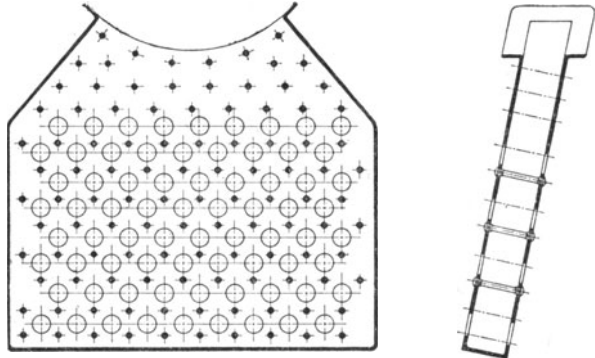


Abb. 178. u. 179.

Eine sehr bemerkenswerte Änderung in der Herstellung der Wasserkammern hat daraufhin die Firma L. & C. Steinmüller vorgenommen (Abb. 180). Die Rohrwand wird so umgezogen, daß ein besonderes Umlaufblech unnötig wird. Die Putzlochwand wird dann als Deckplatte aufgelegt und ringsherum durch die äußersten Stehholzen gefaßt.

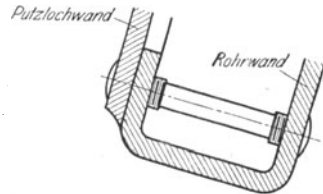


Abb. 180.

Die Putzlöcher erhalten Innenverschlüsse. Ausführungen solcher Verschlüsse sind in Abb. 183—185 — Babcock & Wilcox — Taf. XIV, Fig. 2 u. 3 — Steinmüller — und Taf. XV, Fig. 2 u. 3 — Büttner — wiedergegeben.

Auf den Rohren lagert sich im Betriebe Ruß und Flugasche ab, wodurch der Wärmedurchgang beeinträchtigt wird. Man bläst daher die Rohre regelmäßig mittels Dampfstrahles ab. Dazu wird aus dem Kessel Dampf entnommen und in einen Metallschlauch geleitet, der vorn ein zweckmäßig geformtes Strahlrohr trägt. Zur Einführung des Strahlrohres zwischen die einzelnen Rohrreihen dienen Löcher, die man

¹⁾ Vgl. dazu den Aufsatz von H. Bußmann in der Berg- und Hüttenmännischen Zeitschrift Glückauf, Jahrg. 1918, S. 493 u. ff.

entweder in der einen Seitenmauer (Taf. XVIII) oder neben den Wasserkammern (Taf. XIV) anbringt. Zuweilen werden dazu einzelne Stehbolzen der Kammern mit durchgehender Bohrung versehen oder besondere Rohrstücke stehbolzenartig in die Wasserkammern eingesetzt. Letzteres führt die Firma J. Piedboeuf aus, welche z. B. einen Kessel, wie den auf Taf. XVI dargestellten in jeder Kammer mit zwanzig solcher Rohrstücke von 25 mm lichter Weite versieht.

Das Verhältnis von Heizfläche zur Grundfläche $H : Gr$ schwankt bei den Kammerkesseln zwischen 3,2 und 14.

Konstruktion. Es finden sich bei einem Kessel bis 400 Wasserrohre in vier bis fünf übereinander liegenden Reihen so angeordnet, daß die wagerechte Entfernung der Rohrmitten 150 ÷ 170 mm, der senkrechte Abstand der Reihen 130 ÷ 150 mm beträgt. Der äußere Durchmesser der Rohre schwankt zwischen 76 und 102 mm, wird jedoch meistens 95 mm ausgeführt. Dabei erhalten die der untersten Reihe 87 mm, die übrigen 88,5 mm lichte Weite. Die Rohrlänge beträgt im allgemeinen nicht über 5 m.

Die Wasserkammern erhalten, wenn sie nur an einen Oberkessel angeschlossen werden, 1,2 ÷ 4 m und für den Anschluß an zwei Oberkessel bis 7 m Breite. Der Abstand der Putzlochwand von der Rohrwand beträgt 150 ÷ 350 mm. Der Querschnitt des Kammerhalses soll möglichst groß gewählt werden, mindestens zu $\frac{1}{8}$ des Gesamtrohrquerschnittes.

Der Oberkessel liegt wagerecht oder wenig nach hinten geneigt. Bis zu etwa 250 qm Heizfläche wählt man einen Oberkessel von 0,7 ÷ 1,8 m Durchmesser und 5 ÷ 7 m Länge, für größere Heizflächen, bis etwa 500 qm, zwei Oberkessel von 1 ÷ 1,5 m Durchmesser.

Lagerung. Nach dem oben angeführten Erlaß vom 26. VI. 18 (siehe S. 126) ist die vordere Kammer jetzt stets so zu lagern, daß etwa auftretende Undichtheiten der vorderen und hinteren Kante des Bodenbleches beobachtet werden können, ferner soll die hintere untere Naht der vorderen Kammer bei allen Anlagen mit starker Beanspruchung¹⁾ durch Mauerwerk dauernd wirksam dem Einfluß hoher Temperaturen und namentlich der unmittelbaren Einwirkung des Feuers entzogen werden. Dieses Schutzmauerwerk soll so ausgeführt werden, daß im Falle seiner Beschädigung (Abbrand, Einsturz) die dadurch bedingte Gefahr durch Einblick in den Feuerherd bemerkbar wird (vgl. Abb. 181).

Infolgedessen können die vorderen Kammern, wie es früher noch vereinzelt ausgeführt wurde, nicht so gelagert werden, daß sie das Kesselgewicht auf das Mauerwerk übertragen. Das Gewicht muß daher jetzt allgemein am vorderen Ende des Kessels abgefangen werden. Gewöhnlich

¹⁾ Als stark beanspruchte Kessel sollen solche von 24 kg Heizflächenbeanspruchung an, außerdem alle mit Wanderrosten oder Unterwind ausgerüsteten angesehen werden.

geschieht das dadurch, daß man dicht am vorderen Boden um den Mantel des Oberkessels ein flaches Band oder ein Rundeisen legt und an Trägern aufhängt. Diese quer über dem Kessel liegenden Träger stützen sich auf genietete Ständer, die in den beiden vorderen Ecken des Mauerwerks aufgestellt werden. Am hinteren Ende stützt sich der Kessel gewöhnlich mit der Kammer auf das Mauerwerk, und zwar wird die hintere Kammer entweder auf Rollen (Taf. XVII) oder pendelnd (Taf. XVI) gelagert, um dem Kessel die freie Ausdehnung zu ermöglichen.

Speisung. Das Speisewasser wird gewöhnlich vom vorderen Boden aus in den Oberkessel eingeführt. Ein im Kessel wagerecht geführtes Speiserohr endigt etwa 1 m hinter der Öffnung, durch welche heißes Wasser und Dampf aus der vorderen Kammer in den Oberkessel gelangen.

Zugführung. Man baut zwischen die Rohre oder senkrecht zu ihnen dünne Schmottewände oder, wo es die Temperatur der Heizgase gestattet, gußeiserne Plattenein, durch welche man „Horizontalzüge“, parallel zu den Rohren, und „Vertikalzüge“, senkrecht zu den Rohren gerichtet, herstellen kann. Die letzteren sind für die Wärmeübertragung vorteilhafter, da die Gase beim Durchstreichen zwischen den gegeneinander versetzten Rohren fortwährend durchgewirbelt werden, ferner gewährleisten sie eine ziemlich gleichmäßige Erwärmung aller Rohre und ermöglichen dadurch, alle Rohrreihen in annähernd gleichem Maße an der Dampfentwicklung zu beteiligen. Die Größe der Zugquerschnitte läßt sich mit Vertikalzügen, entsprechend der abnehmenden Temperatur der Gase, gut abstimmen. Dagegen ist ein derartiger Zug, unmittelbar über dem Rost angeordnet, für den Verbrennungsvorgang nicht vorteilhaft, da die Flammen bei der Berührung mit den untersten Rohren verlöschen und so Anlaß zur Rauchbildung geben. Demgegenüber läßt sich mit Horizontalzügen der Gasweg länger gestalten. Nachteilig macht sich aber bei ihnen die stärkere Ablagerung von Ruß und Flugasche auf den Rohren bemerkbar.

Überhitzer. Der Aufbau des Kammerkessels gestattet die Unterbringung eines Überhitzers ohne jede Vergrößerung der Wärme aus-

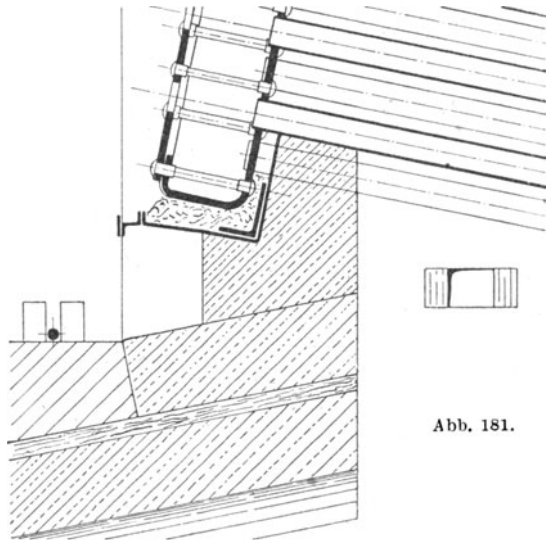


Abb. 181.

strahlenden Mauerwerksflächen. Da außerdem bei diesen Kesseln die Anwendung der Überhitzung erforderlich war, um den Nachteil zu beheben, der in der Nässe des in ihnen erzeugten Dampfes bestand, so ist der Überhitzer jetzt zu einem regelmäßigen Bestandteil solcher Kesselanlagen geworden. Er besteht gewöhnlich aus Rohrschlangen, die in senkrechten Ebenen nebeneinander liegen und wird von den Gasen getroffen, nachdem sie etwa ein bis zwei Drittel der Kesselheizfläche bestrichen haben.

Vorteile. Die Kessel haben einen guten Wasserumlauf.

Nachteile. Die Rohre können sich nicht einzeln ausdehnen, deswegen ziehen sich die in der untersten Reihe liegenden häufig krumm. Dann aber lassen sie sich im Innern schlecht reinigen und neigen infolge des stärkeren Kesselsteinansatzes leicht zum Durchbrennen.

Anwendung. Der Kammerkessel wird meistens für Heizflächen von etwa 80 qm an aufwärts ausgeführt. Er eignet sich besonders für Großanlagen mit nicht allzu stark schwankender Dampfentnahme.

Ausführungsbeispiele.

Zweikammerkessel L. & C. Steinmüller in Gummersbach. (Taf. XIV.)

Der Oberkessel ist nicht eingemauert und daher durch Umhüllung mit Wärmeschutzmasse vor Abkühlung zu bewahren. Der Hals der vorderen Kammer erweitert sich stark nach oben. Dadurch soll der Strömungswiderstand vermindert werden, den das Gemisch aus Dampf und heißem Wasser dort auf seinem Wege zum Oberkessel zu überwinden hat und die Absonderung des Dampfes begünstigt werden. Dicht vor der Mündung des Stützens, der zur hinteren Wasserkammer führt, liegt im Oberkessel eine niedrige Querwand, welche verhindern soll, daß der aus dem Speisewasser ausgefallene Schlamm in die Wasserrohre gelangt. Um den angesammelten Schlamm entfernen zu können, ist der Raum vor der Querwand mit einer Ablaßvorrichtung versehen.

Zum Verschließen der Putzlöcher dienen kreisrunde Deckel (Taf. XIV, Fig. 2). Damit sie eingesetzt werden können, wird eine Anzahl Löcher etwas größer und oval gestaltet (Fig. 3) und nach Art von Handlöchern verschlossen.

Eigenartig ist die Anordnung der Rohre, da die Rohrreihen fortgelassen sind, welche unmittelbar über den zur Bildung der Horizontalzüge eingelegten Decken liegen würden. Da diese Reihen in den Zugecken nicht im Gasstrom liegen, so soll durch die gewählte Anordnung die Dampferzeugung auf alle Rohre gleichmäßiger verteilt werden. Vor allem aber will man dadurch erreichen, daß das in der hinteren Kammer herabsinkende Wasser stets in genügender Menge zu der untersten, der Einwirkung des Feuers unmittelbar ausgesetzten Rohrreihe gelangt, deren Wasserbedarf am größten ist.

Nach Versuchen der Firma ergibt dieser Kessel bei normaler Heizflächenbeanspruchung von 23 kg eine Ausnutzung von $73 \div 78\%$ und läßt Beanspruchungen bis zu 28 kg bei einem um etwa 5% niedrigeren Wirkungsgrade zu.

Zweikammerkessel der Büttner-Gesellschaft m. b. H. in Uerdingen a. Rh.
(Taf. XV.)

Das vorn emporsteigende Wasser gelangt im Oberkessel in eine Rinne, die oben offen ist, um den Dampf entweichen zu lassen. Sie führt das Wasser unmittelbar der hinteren Kammer zu. Dadurch bleibt die lebendige Kraft des Wassers erhalten und die Lebhaftigkeit des Wasserumlaufes im Kessel wird erhöht. Das Speisewasser wird im vorderen Teil des Oberkessels durch eine unter der Mündung des Speiserohres angebrachte Schale verteilt. Es bewegt sich allmählich nach der hinteren Wasserkammer zu, die wäh-

rährendessen ausfallenden Verunreinigungen sinken zu Boden und werden im Oberkessel durch eine niedrige Querwand zurückgehalten, die dicht vor dem Abfallstutzen eingebaut ist. Über diese Wand hinweg gelangt das Wasser an den Abfallstutzen heran, in den es durch zwei seitliche Öffnungen eintreten kann, um dann an dem Kreislauf teilzunehmen. Unter dem Dampfentnahmestutzen ist ein Wasserabscheider (Abb. 182) angebracht. In diesem ist der Dampf in schraubenförmig gewundenen Kanälen geführt, so daß das mitgerissene Wasser durch die Zentrifugalkraft vom Dampf abgesondert wird. Es fließt dann durch das Rohr α in den Wasserraum des Kessels zurück.

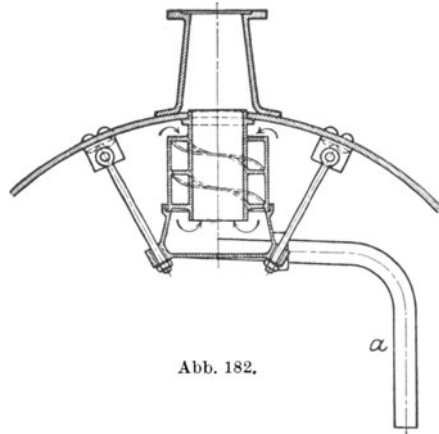


Abb. 182.

dem Dampfentnahmestutzen ist ein Wasserabscheider (Abb. 182) angebracht. In diesem ist der Dampf in schraubenförmig gewundenen Kanälen geführt, so daß das mitgerissene Wasser durch die Zentrifugalkraft vom Dampf abgesondert wird. Es fließt dann durch das Rohr α in den Wasserraum des Kessels zurück.

Die hier angewandten Rohrverschlüsse sind auf Taf. XV in Fig. 2 genauer dargestellt. Die Abdichtung wird durch konisch abgedrehte Flächen ohne dazwischen gelegten Dichtungsring erzielt. Zum Einsetzen dieser Verschlußdeckel dienen einige größere kreisrunde Öffnungen, deren Verschluß in Fig. 3 gezeigt wird. Der an ihrem Deckel angebrachte Rand ist an zwei Seiten abgeschnitten, so daß man den Deckel in schräger Lage durch das Loch hindurchstecken kann. Nachdem das erfolgt ist, wird ein zur Abdichtung bestimmter geschlossener Kupfering durch das Loch hindurchgezwängt und in der Kammer auf den Deckel geschoben. Nach Aufsetzen der Kappe kann der Verschluß dann festgezogen werden.

Zweikammerkessel von J. Piedboeuf, Aachen und Düsseldorf.
(Taf. XVI.)

Der gezeichnete Kessel ist aus zwei nebeneinanderliegenden Zweikammerkesseln zusammengesetzt, deren Oberkessel am hinteren Ende durch einen wagerechten Stützen in Verbindung stehen und welche einen gemeinsamen Überhitzer haben.

An der Anordnung der Vertikalzüge ist die nach oben vorgenommene Verjüngung des ersten Zuges besonders bemerkenswert. Sie trägt dem dort sehr schnell erfolgenden Temperaturabfall der Gase Rechnung und gestattet den Anfangsquerschnitt dieses Zuges größer zu wählen, als sonst mit Rücksicht auf die anderen Züge möglich wäre. — Die Firma bevorzugt die Querzüge und wählt Längszüge nur dann, wenn die örtlichen Verhältnisse oder die Art des Brennstoffes nicht gestatten, den Feuerraum so zu gestalten, daß die Gase schon vollkommen verbrannt sind, ehe sie in das Rohrbündel eintreten. Dieser Fall liegt vor bei Braunkohle, wenn man den Rost nicht tief genug unter die Rohre legen kann, oder bei Verfeuerung langflammiger Steinkohle.

Im Interesse eines möglichst wenig gehinderten Wasserumlaufes sind die Wasserkammern sehr weit bemessert. Aus dem gleichen Grunde erhält der Hals der vorderen Kammer einen Querschnitt, der etwa 50% und derjenige der hinteren Kammer einen solchen, der etwa 25% des Gesamtquerschnittes der Rohre beträgt.

Der Überhitzer liegt neben und zwischen den Oberkesseln, wodurch das Abblasen seiner Rohre erleichtert und die Unterbringung sehr großer Überhitzerflächen ermöglicht wird. Beim Anheizen wird der Überhitzer aus dem Gasweg ausgeschaltet: Die Heizgase strömen dann durch zwei-flügelige Tore, welche unter den Oberkesseln liegen, aus dem ersten Zuge unmittelbar in den zweiten über. Die Überhitzerschlangen sind aus nahtlosen Rohren von 35/42 mm Durchmesser hergestellt. Die Sammelkammern, in welche die Rohre eingewalzt werden, bestehen aus nahtlos gezogenen Vierkantrohren. Um die Wirkung des Überhitzers zu verbessern, werden in seine Rohre schraubenförmig gewundene Blechstreifen eingeschoben. Sie versetzen den Dampfstrom in drehende Bewegung, wodurch die mitgeführten Wassertröpfchen und die schweren, also kälteren Dampfteilchen an die beheizte Rohrwand gedrängt werden.

Besonderes bietet noch die Einmauerung der Piedboeuf-Kammerkessel insofern, als sich das Mauerwerk weder an die vordere noch an die hintere Wasserkammer fest anschließt. Es soll dadurch eine ungehinderte Ausdehnung des Rohrbündels ermöglicht werden. Um aber das Entstehen von Fugen zu vermeiden, sind am Mauerwerk gebogene Bleche angebracht, die sich federnd gegen die Wandung der Wasserkammer legen, und zwar eines oben an der vorderen und weitere oben und unten (vgl. Taf. XVI, Fig. 2) an der hinteren Kammer.

Bezüglich der Leistungsfähigkeit wird von der Firma angegeben, daß die Kessel mit Planrosten bei gewöhnlichem Betrieb $18 \div 20$ kg, bei angestregtem Dauerbetriebe 25 kg überhitzten Dampf je qm Heizfläche und Stunde und mit Kettenrost bis 35 kg erzeugen können. Die Ausnutzung guter, für Kettenrost geeigneter Steinkohle durch Feuerung, Kessel und Überhitzer soll bei 25 kg Beanspruchung $75 \div 77\%$ und bei 30 bis 35 kg Verdampfung noch $73 \div 75\%$ betragen.

Zweikammerkessel der Deutschen Babcock & Wilcox-Dampfkesselwerke in Oberhausen. (Taf. XVIII.)

Beide Wasserkammern sind in einzelne nebeneinanderliegende, wegen der versetzten Rohre wellig gestaltete Abteilungen zerlegt. Jede

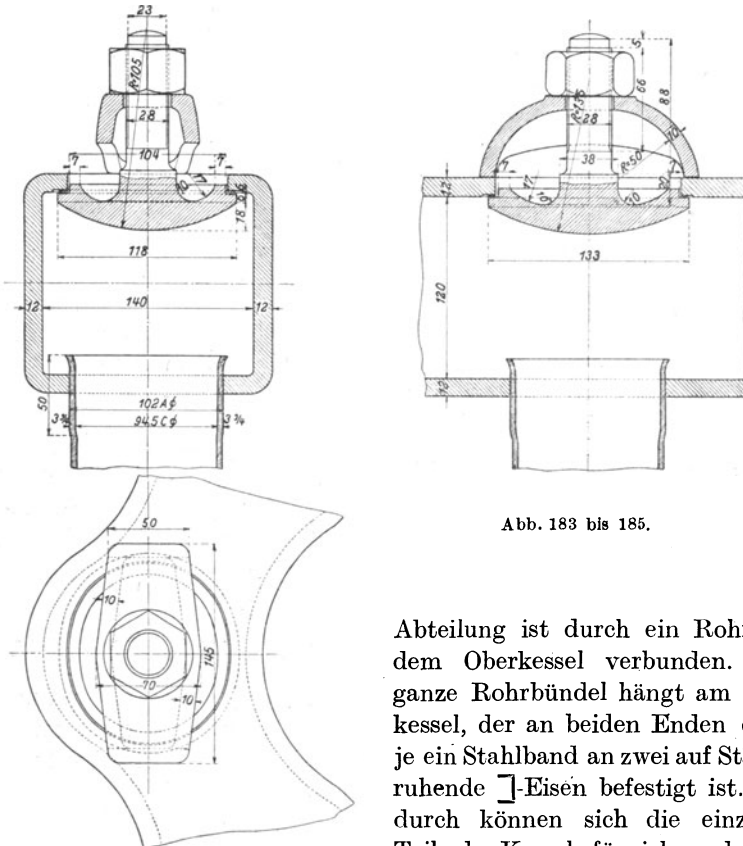


Abb. 183 bis 185.

Abteilung ist durch ein Rohr mit dem Oberkessel verbunden. Das ganze Rohrbündel hängt am Oberkessel, der an beiden Enden durch je ein Stahlband an zwei auf Ständer ruhende \square -Eisen befestigt ist. Dadurch können sich die einzelnen Teile des Kessels für sich ausdehnen, und die sonst bei Zweikammerkesseln häufig auftretenden Temperaturspannungen sollen vermieden werden. Ferner ist hier eine Versteifung der Kammerwände durch Stehbolzen unnötig, wodurch der Kessel an Sicherheit gewinnt. Der Kessel besitzt aber den Nachteil, daß die Querschnitte

in den Anschlüssen zwischen Kammer und Oberkessel nicht unwesentlich kleiner sind, als sie sich bei ungeteilten Kammern ausführen lassen.

Die von der Firma sowohl an den Wasserkammern als auch an den Sammelrohren der Überhitzer verwendeten Putzlochverschlüsse sind in den Abb. 183 bis 185 wiedergegeben.

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Ausführungen sind die Gase hier so geführt, daß beide Seiten der hinteren Wasserkammer beheizt werden.

Das von der Firma angewandte Verfahren zur Regelung der Temperatur des überhitzten Dampfes ist in Abschnitt 29 C (S. 227) besprochen.

5) Hochleistungskammerkessel.

Mit Kammerkesseln ließen sich im Dauerbetriebe zunächst nur mäßige Heizflächenbeanspruchungen erreichen, die jedenfalls niedriger waren als die guter Großraumkessel z. B. der Flammrohrkessel. Da es aber bei den Großanlagen, für welche sich der Kammerkessel besonders geeignet erwies, immer mehr darauf ankam, die auf der Kesselgrundfläche erzeugte Dampfmenge zu steigern, so war man bestrebt, den Kessel nach dieser Richtung hin zu vervollkommen. Die so entstandenen Bauarten hat man als Hochleistungskessel bezeichnet. Welche Grundsätze für ihre Konstruktion maßgebend sind, geht aus Nachstehendem hervor:

1. Anwendung einer Feuerung, die die Herstellung sehr großer Rostflächen und dabei eine möglichst gleichmäßige und hohe Temperatur im Feuerraum zu halten gestattet (Kettenrost, Halbgasfeuerungen).

2. Steigerung der Wärmeübertragung auf den Kesselinhalt einerseits durch Erhöhung des Anteils, der durch Strahlung übertragen wird, andererseits durch Verbesserung der Wärmeabgabe, welche bei der Berührung der Gase mit der Heizfläche erfolgt. Das Letztere erfordert gute Durchwirbelung der Gase, wie sie am besten bei Vertikalzügen durch häufigen Richtungswechsel erzielt werden kann, außerdem hohe Gasgeschwindigkeit in den Zugkanälen. Dabei wachsen allerdings die Strömungswiderstände in den Zügen derart, daß zu ihrer Überwindung in vielen Fällen die Anwendung künstlichen Zuges nötig ist. — Die strahlende Wirkung des Feuers läßt sich dadurch erhöhen, daß man einen möglichst großen Teil der Rostfläche unverdeckt unter das Rohrbündel legt. Um sehr große Rostflächen so unterbringen zu können, müssen die Kessel recht breit gebaut werden.

3. Führung der Gase derartig, daß alle Teile der Heizfläche im Gasstrom liegen.

4. Verbesserung des Wasserumlaufs im Kessel durch Verkürzung des Umlaufweges — Wasserrohre dazu auf 4,5 m, vereinzelt bis auf 3 m verkürzt — und durch Verminderung der Strömungswiderstände — daher weite Kammern, reichliche Querschnitte in den Kammeranschlüssen, besondere Wasserzuführung zu den untersten Rohrreihen.

5. Sorgfältigste Ausführung des Mauerwerks, um den Strahlungsverlust herabzumindern und das Eindringen kalter Luft durch Risse und klaffende Fugen zu vermeiden. Ihrer Entstehung kann am wirksamsten vorgebeugt werden dadurch, daß man das Mauerwerk möglichst vollständig vom Kesselgewicht entlastet.

Durch die angeführten, auf eine Steigerung der Dampfentwicklung gerichteten Mittel wächst aber auch die Nässe des erzeugten Dampfes und außerdem die Temperatur der Abgase. Daher ist für solche Hochleistungskessel unbedingt erforderlich:

6. Anwendung von Dampfsammlern oder besonderen Einbauten in den Dampfraum, durch welche das in ziemlicher Menge mitgerissene Wasser am Eindringen in die Dampfentnahmeleitung verhindert wird.

7. Reichlich groß bemessene Überhitzer.

8. Abgasvorwärmer.

Ausführungsbeispiele ¹⁾.

Hochleistungskessel der Deutschen Babcock & Wilcox-Werke.

(Abb. 186.)

Dampf und heißes Wasser steigen aus der hinteren Kammer empor und gelangen durch zwei über dem Rohrbündel getrennt liegende Rohrreihen in einen quergelegten Oberkessel. Aus diesem strömt der Dampf in einen Dampfsammler, sodann in den Überhitzer.

— Die beiden unteren Rohrreihen sind in ihrer ganzen Länge der Wärmeausstrahlung des Feuers ausgesetzt. Die Feuergase werden zunächst in einem nach oben verjüngten Zuge quer durch den hinteren Teil des Rohrbündels aufwärts geführt, bestreichen dann den Überhitzer und darauf in weiteren zwei Querzügen die Rohre. Nun steigen sie zum Abgasvorwärmer empor, der ähnlich wie der Kessel aus einem Bündel schmiedeeiserner, in geteilten Wasserkammern gefaßter Rohre aufgebaut ist. Nachdem sie den Vorwärmer ebenfalls

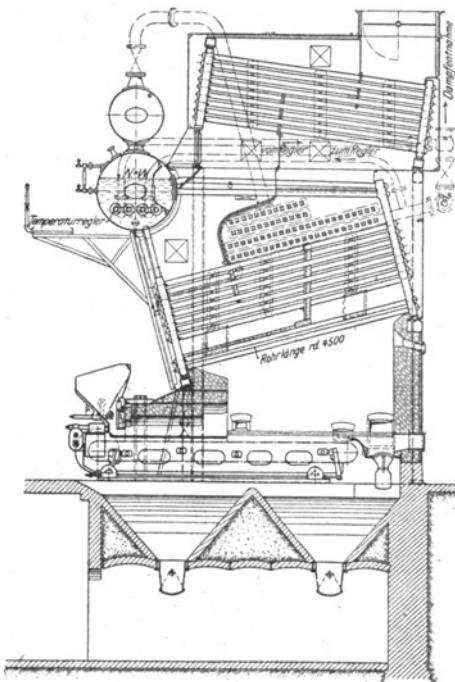


Abb. 186.

¹⁾ Vgl. Münzinger, Neuere Bestrebungen im Dampfkesselbau, Zeitschrift d. V. D. I. 1912, S. 1730.

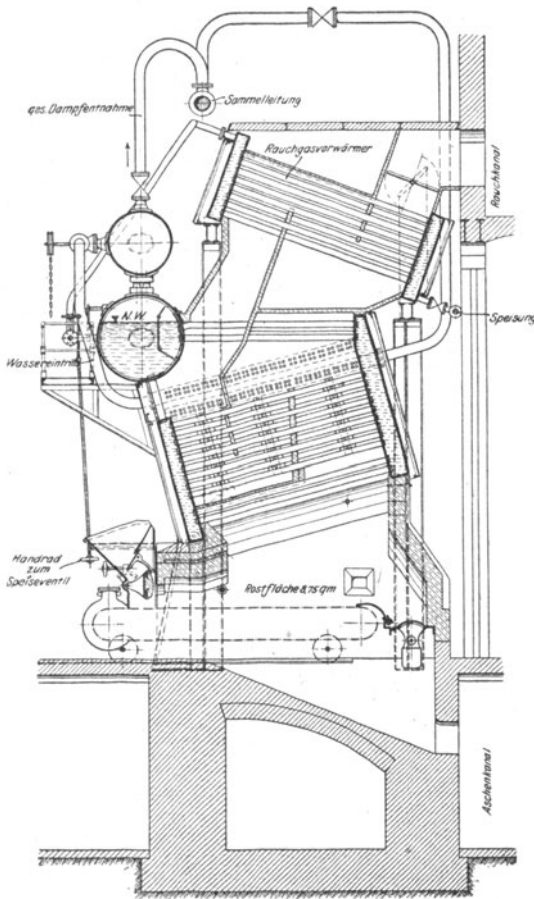


Abb. 187.

in drei Querzügen beheizt haben, ziehen sie schließlich in den Schornstein.

Mit dem Kessel können Dampfleistungen von $D:H = 35 \div 40$ kg/qm erzielt werden.

Hochleistungskammerkessel von A. Borsig, Berlin-Tegel.
(Abb. 187.)

Er unterscheidet sich von den vorigen hauptsächlich durch die steilere Lage der Vorwärmerrohre. Dadurch soll das Entweichen der Luftblasen, die sich im Vorwärmer aus dem Wasser ausscheiden, erleichtert und das Entstehen von Anrostungen in den Rohren möglichst verhindert werden.

Hochleistungskammerkessel von Büttner in Uerdingen.
(Abb. 188.)

Seine Eigentümlichkeit besteht darin, daß die oberste Reihe der Wasserrohre mit größerem Durchmesser — 119/127 mm — ausgeführt

wird. Durch diese weiteren Rohre soll ein Teil des vom Dampf mitgerissenen Wassers nach der hinteren Kammer zurückfließen.

ε) Verbindung von Kammerkesseln mit Walzenkesseln.

Abb. 189 zeigt einen solchen, nach dem Erfinder benannten Mac-Nicol-Kessel. An einen Zweikammerkessel schließt sich ein mehrfacher Walzenkessel an. Dazu hat man den Oberkessel des Wasserrohrkessels über die hintere Wasserkammer hinaus verlängert und an die Rückseite dieser Kammer zwei engere Walzen angenietet. Diese Walzen werden durch Stützen mit dem Oberkessel verbunden.

Die Heizgase werden in zwei Längszügen über das Rohrbündel, sodann am Mantel des Oberkessels entlang nach hinten, weiter in zwei Kanälen getrennt an den außenliegenden Mantelhälften der Unterkessel

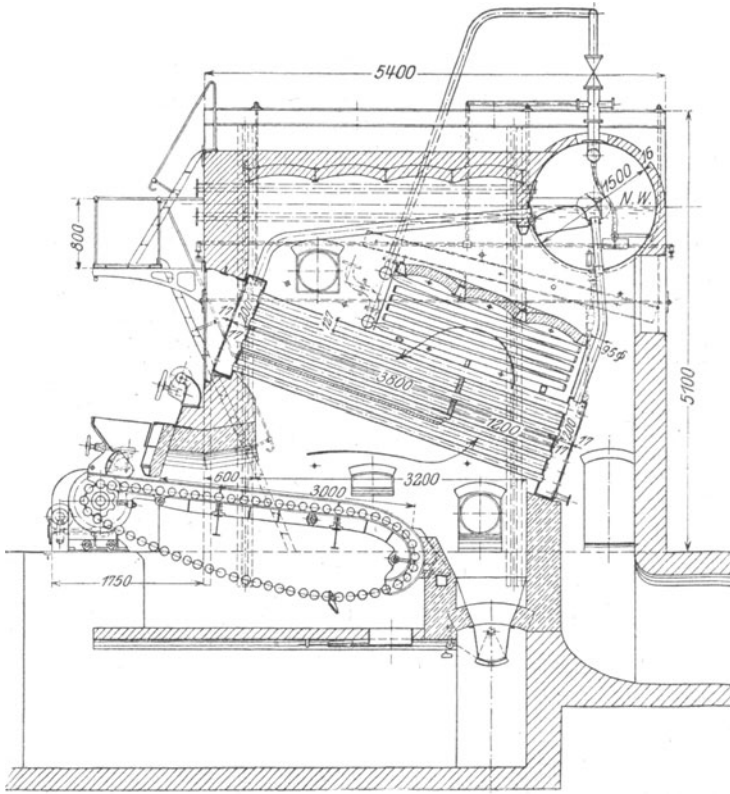


Abb. 188.

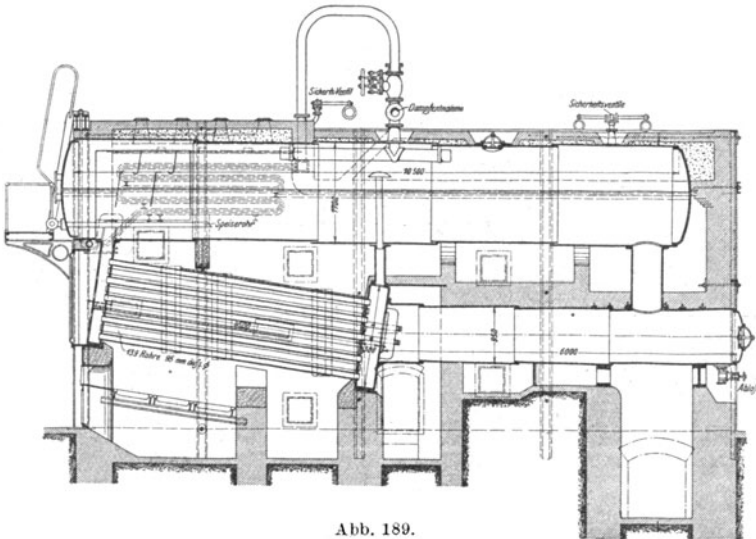


Abb. 189.

nach vorn und schließlich wieder vereinigt an den innenliegenden Mantelhälften der Unterkessel entlang zum Fuchs geführt; oder sie gehen am Mantel des Oberkessels entlang nur bis hinter den Querkanal, der an der hinteren Wasserkammer angeordnet ist, um die Rohrverschlüsse nötigenfalls während des Betriebes nachziehen zu können. Darauf werden die Gase mittels zweier Kulissenwände so geleitet, daß sie zu den Unterkesseln hinabziehen, wieder zum Oberkessel emporsteigen und endlich an den Unterkesseln vorbei zum Fuchs abfallen.

Die Überhitzer werden vorn zu beiden Seiten des Oberkessels angeordnet, also unmittelbar hinter dem Rohrbündel in den Gasweg eingeschaltet.

Der Kessel vereinigt bis zu einem gewissen Grade in sich die Vorteile des Wasserrohrkessels und die des Walzenkessels. Durch das Rohrbündel entsteht ein geregelter Wasserumlauf und durch den Walzenkessel mit seinem großen Wasserinhalt werden größere Druckschwankungen bei unregelmäßiger Dampfantnahme verhindert. Ferner ist der erzeugte Dampf infolge der großen Verdampfungsoberfläche recht trocken.

Trotz dieser Vorzüge haben die Kessel keine weite Verbreitung gefunden, vornehmlich weil sie gegen Unreinigkeiten des Speisewassers ebenso empfindlich sind wie alle übrigen Wasserrohrkessel, dabei aber die Grundfläche schlechter ausnutzen als jene.

b) Steilrohrkessel.

Die weitere Entwicklung des Wasserrohrkessels führte schließlich dazu, die Rohre möglichst in senkrechter Lage einzubauen und die flachen Kammern mit ihren zahlreichen Verankerungen und Putzlochverschlüssen durch Walzenkessel zu ersetzen.

Fast alle größeren Kesselbaufirmen stellen jetzt Steilrohrkessel her, und zwar in sehr voneinander verschiedenen Konstruktionen. Im folgenden kann daher nur auf einige von ihnen näher eingegangen werden.

α) Steilrohrkessel mit geraden Rohren. Garbekessel.

(Abb. 192 bis 194 und 195, 196.)

Die Konstruktion dieses Kessels rührt vom Ingenieur Garbe-Berlin her, der sich damit das Hauptverdienst um die Einführung der Steilrohrkessel in Deutschland erworben hat. Sein Kessel wird von verschiedenen deutschen Firmen, u. a. von Dürr & Co. in Ratingen gebaut.

Eine Besonderheit dieses Kessels sind die abgestuften Buckelplatten, in welche die Rohre am Ober- und Unterkessel befestigt sind. Sie ermöglichen, alle Rohrenden in dazu senkrechten Flächen einzuwalzen und lassen jedes Rohr, an welcher Stelle des Bündels es auch liegen mag, zur Auswechslung zugänglich (vgl. Abb. 190, 191). Die Garbeplatten werden von

Thyssen & Co. in Mülheim a. Ruhr in verschiedenen Größen hergestellt.

Die Kessel werden mit einem Rohrbündel (Abb. 192 bis 194) und mit zwei Bündeln (Abb. 195, 196) ausgeführt.

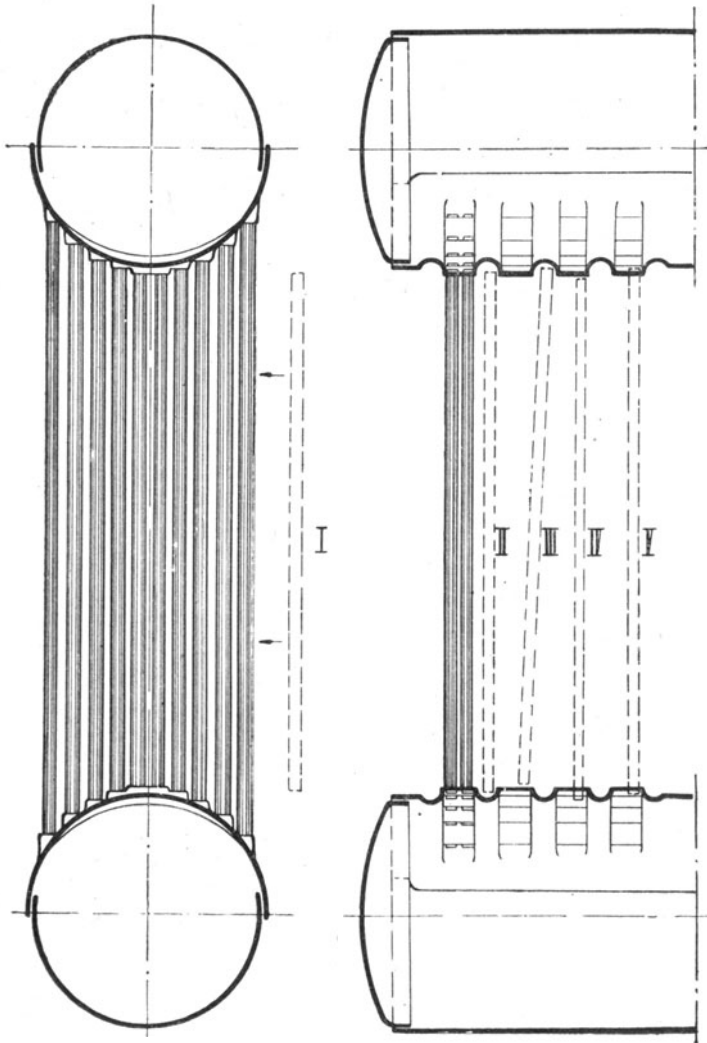


Abb. 190 u. 191.

Beim einfachen Garbekessel wird in die Mitte des Rohrbündels eine Schamottewand gelegt, so daß die Gase zuerst an den vor der Wand liegenden Rohren emporziehen. Oben durchqueren sie dann das ganze Rohrbündel, strömen weiter zum Überhitzer und beheizen zum Schluß

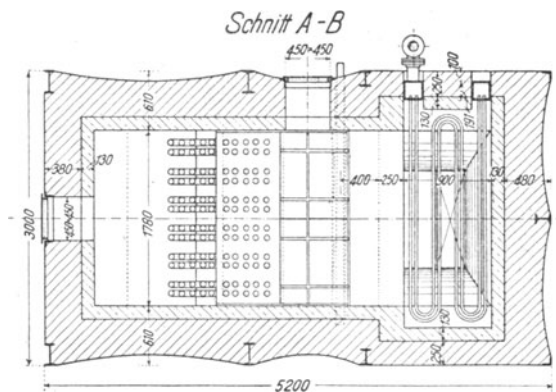
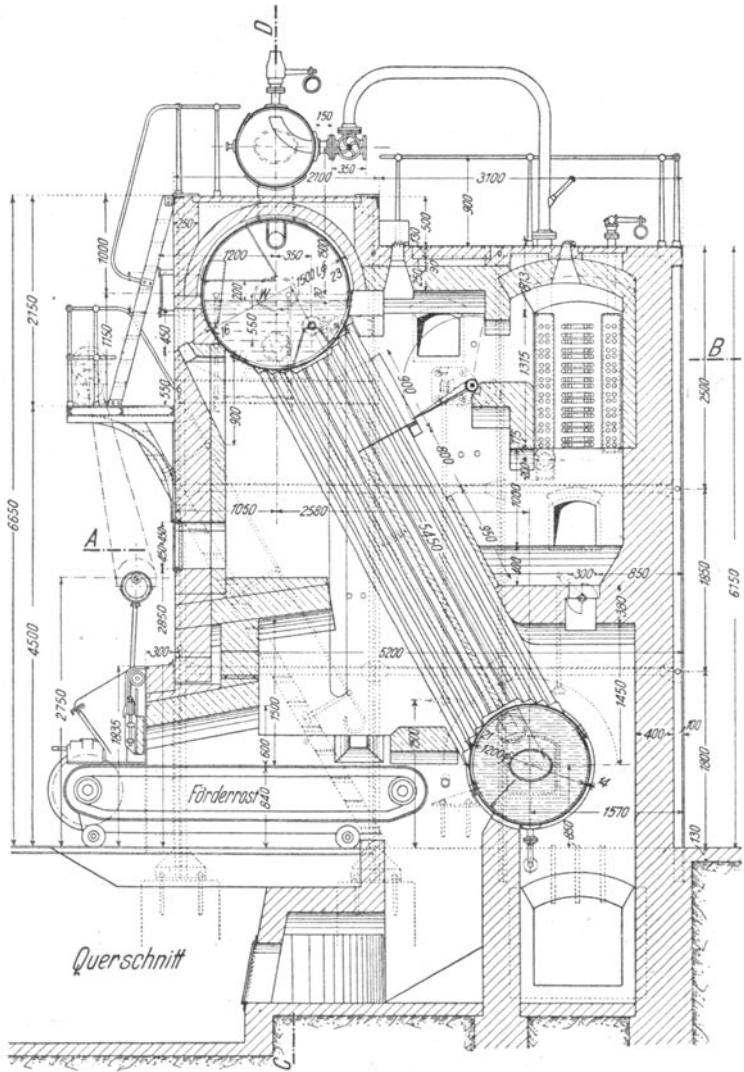
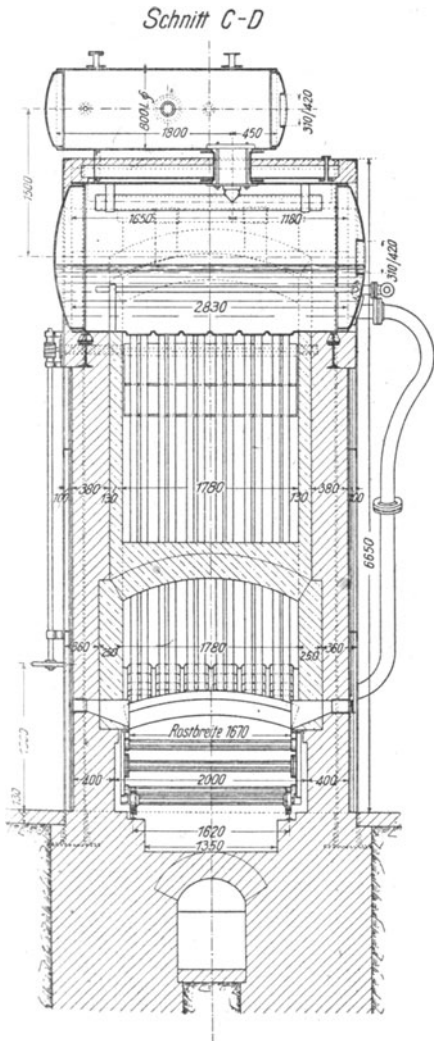


Abb. 192 bis 194.



die bisher noch nicht getroffenen Teile der hinter der Wand liegenden Rohre und den Unterkessel. Man versucht dadurch den Umlauf des Wassers im Kessel so zu gestalten, daß es in den vorderen Rohren emporsteigt und in der hinteren Hälfte des Rohrbündels wieder zum Unterkessel hinabfließt. Da aber bei starker Beanspruchung auch in den hinter der Wand liegenden Rohren eine lebhaftere Verdampfung stattfinden kann, so ist der angestrebte Wasserumlauf nicht immer gesichert. Man hat daher vielfach beim einfachen Garbessel ein 200 ÷ 300 mm weites, außerhalb des Mauerwerks liegendes Rücklaufrohr vom Ober- zum Unterkessel geführt. Das Wasser gelangt aus den Steigrohren mit großer Geschwindigkeit in den Oberkessel, der Wasserspiegel muß daher durch besondere Blecheinbauten beruhigt werden.

Einen weit gesicherten Wasserumlauf besitzt der Zweibündelkessel (Abb. 195, 196). Bei diesem umspülen die Gase zuerst das vordere Rohrbündel, dann den Überhitzer und schließlich das hintere Rohrbündel. Zuweilen wird vom vorderen Bündel durch Einlegen einer Schamottewand noch ein Teil der Rohre hinter den Überhitzer geschaltet. Die Oberkessel wie die Unterkessel sind durch genügend weite Rohr-

stützen miteinander verbunden, so daß ein einfacher Kreislauf durch den Kessel in der Weise entsteht, daß das Wasser im vorderen Rohrbündel emporsteigt und im hinteren Rohrbündel wieder hinabsinkt. Das Speisewasser wird in den hinteren Oberkessel gespeist, aus diesem wird auch der Dampf unter Einschaltung eines Dampfsammlers entnommen.

Der Einbündelkessel ist für Heizflächen bis zu 600 qm ausgeführt worden, wird aber jetzt wegen der sehr großen Nässe des in ihm erzeugten Dampfes nur noch wenig und dann nur für kleinere Heizflächen angewandt. Zweibündelkessel dagegen haben für Heizflächen bis zu etwa 800 qm sehr weite Verbreitung gefunden.

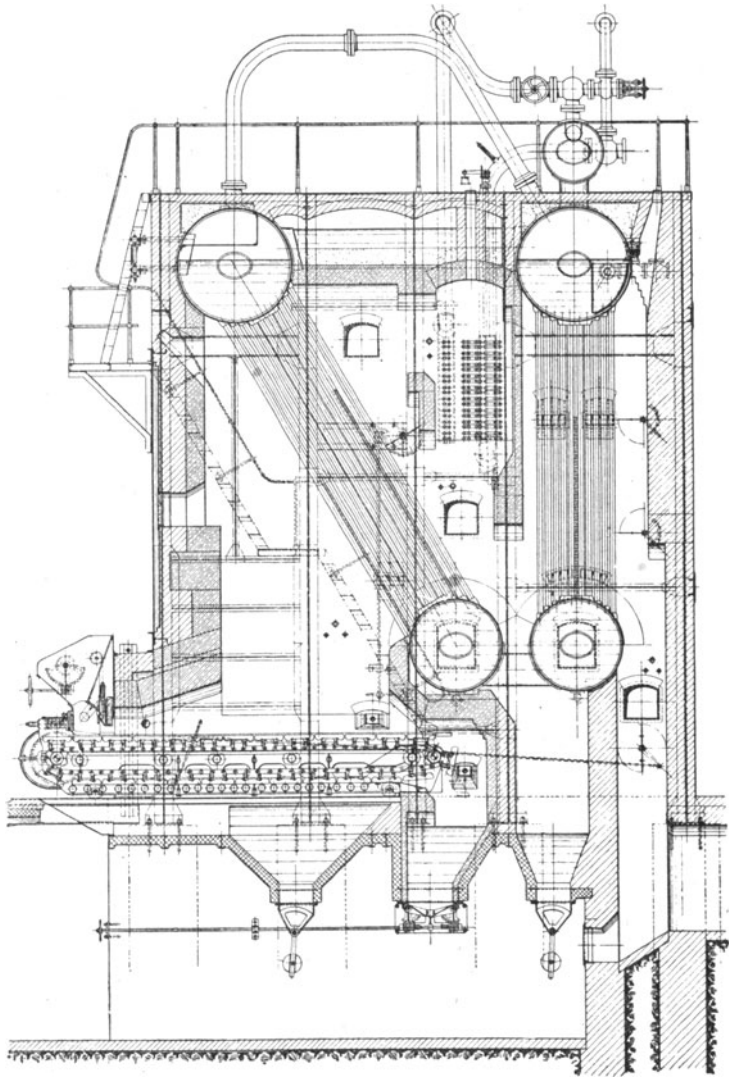


Abb. 195.

Konstruktion. Die Oberkessel erhalten meistens 1,5 m, die Unterkessel 1,2 m Durchmesser. Ihre Länge beträgt bis zu etwa 6,5 m. Die Kesselmitte eines Bündels erhalten 5 ÷ 6 m Abstand. Die Wasserrohre haben 53,5/60 mm Durchmesser.

Lagerung. Die Oberkessel werden auf einem genieteten Gestell gelagert, in welches die Mauerwerkswände eingesetzt werden. Rohr-bündel und Unterkessel hängen am Oberkessel.

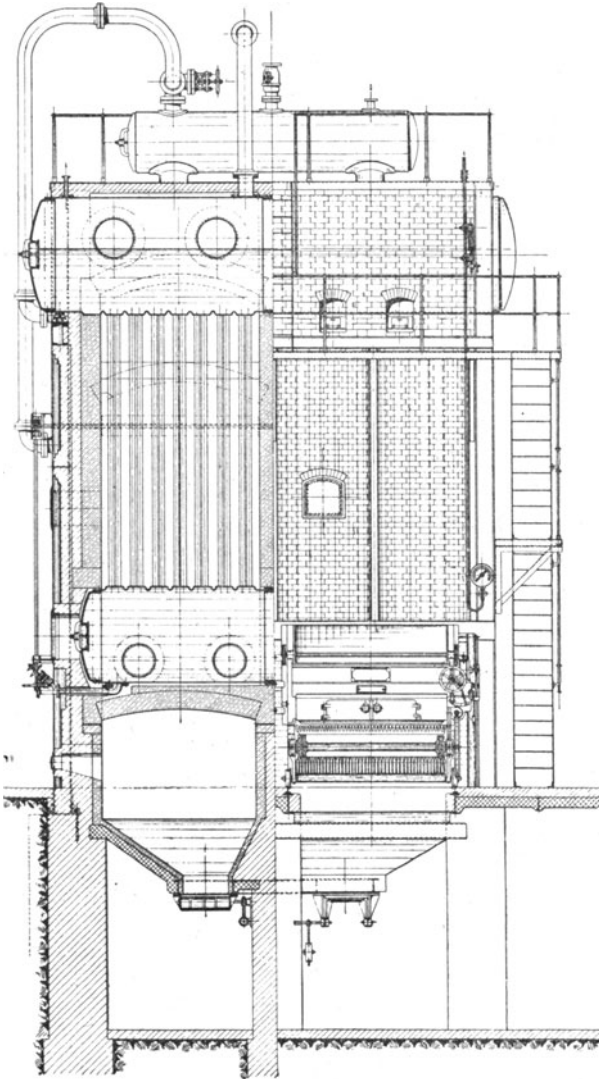


Abb. 196.

Dampfleistung. Nach vielfachen, von Dampfkesselüberwachungsvereinen angestellten Versuchen kann man mindestens folgende Leistungen der Garbekessel annehmen:

Einfacher Kessel:

Verwendung von Braunkohle von etwa 2500 WE normal 10 bis 20 kg, maximal bis 25 kg Dampf auf 1 qm Heizfläche,

Verwendung von Steinkohle von 6500 WE normal 25 bis 30 kg, maximal bis 35 kg Dampf auf 1 qm Heizfläche bei einem Wirkungsgrad des Kessels mit Überhitzer bis 73%.

Doppelter Garbekessel:

Verwendung von Steinkohle normal 30 bis 35 kg auf 1 qm Heizfläche, Wirkungsgrad 75 bis 80% von Kessel mit Überhitzer, mit Rauchgasvorwärmer bis 86%.

Es sind auch verschiedentlich höhere Zahlen erreicht worden, so wurde bei einem Kessel von Dürr & Co. von 540 qm Heizfläche beim Feuern mit Naphtha mit einem Heizwert von 9726 WE ein Wirkungsgrad des Kessels mit Überhitzer von 76,7%, mit Rauchgasvorwärmer sogar von 90,2% ermittelt bei einer Verdampfung von 44,8 kg Wasser auf 1 qm Heizfläche.

Kestnerkessel. (Abb. 197, 198.)

Der Kessel wird von der Firma Humboldt in Kalk bei Köln und von H. W. Seiffert in Halle gebaut.

Zwei senkrecht übereinander liegende Walzenkessel sind durch Rohre verbunden, die auf doppelten Zickzacklinien und daher gut zugänglich angeordnet sind. Damit die geraden Rohre in die zylindrischen Kesselmäntel sicher eingewalzt werden können, legt man die äußersten Rohre nicht mehr als etwa $\frac{2}{3}$ des Kesselhalbmessers neben die Kesselachse und fügt stärkere Rohrplatten in die Mäntel ein. Die Gase bestreichen das Rohrbündel in wellenförmiger Bahn, so daß sie immer senkrecht auf die Rohre treffen und gut durchgewirbelt werden. Dadurch wird für eine möglichst gute Wärmeübertragung und eine gleichmäßige Ausdehnung aller Rohre gesorgt. Der Überhitzer liegt über der Feuerung derart, daß er zwischen dem zweiten und dritten Zuge in den Gasweg eingeschaltet werden kann. Der Wasserzuführung zum Unterkessel dienen besondere Abfallrohre, die in etwa dem vierten Teil der Wasserrohre eingesetzt sind. Das hinabströmende Wasser wird im Unterkessel auf einer Rinne aufgefangen, damit es den dort lagernden Schlamm nicht aufwirbelt.

Konstruktion. 270 qm Heizfläche wurden mit einem Kestnerkessel bei folgenden Abmessungen erreicht. Zwischen einem Oberkessel von 1,8 m Durchmesser und 4,5 m Länge und einem Unterkessel von 1,5 m Durchmesser und 3,7 m Länge, deren Mitten etwa 8,5 m Abstand hatten, waren insgesamt 176 Wasserrohre angebracht, und zwar 132 einfache von 53,5/60 mm Durchmesser und 44 Doppelrohre von 76/83 mm Durchmesser im Außenrohr und 46/51 mm Durchmesser im Abfallrohr. Die Enden der letzteren ragten aus den Kesselmänteln um je 250 mm heraus.

Lagerung. Der Oberkessel liegt an beiden Enden auf den Seitenwänden des Kesselmauerwerks auf. Rohrbündel und Unterkessel hängen frei.

Dampfleistung. Bei einem Versuch, den der Dampfkesselüberwachungsverein zu Halle auf Grube Pfännerhall im Jahre 1912 an einem Kestnerkessel vornahm, wurde mit Braunkohle von 2553 WE. eine stündliche Dampfleistung von 23,23 kg/qm und ein Wirkungsgrad für Kessel und Überhitzer von 74,47% erreicht¹⁾.

Werner-Hartmann-Kessel.

Ein solcher, von der Sächsischen Maschinenfabrik, vormals R. Hartmann in Chemnitz erbauter Kessel von 400 qm Heizfläche und 190 qm Überhitzerfläche ist in Abb. 199 bis 202 dargestellt. Die Rohre der beiden Bündel sind an den beiden Oberkesseln und am Unterkessel in starke Rohrplatten eingewalzt. Das Speisewasser wird dem hinteren

¹⁾ Näheres siehe in dem Aufsatz von Tetzner in der „Feuerungstechnik“, II. Jahrg. S. 6.

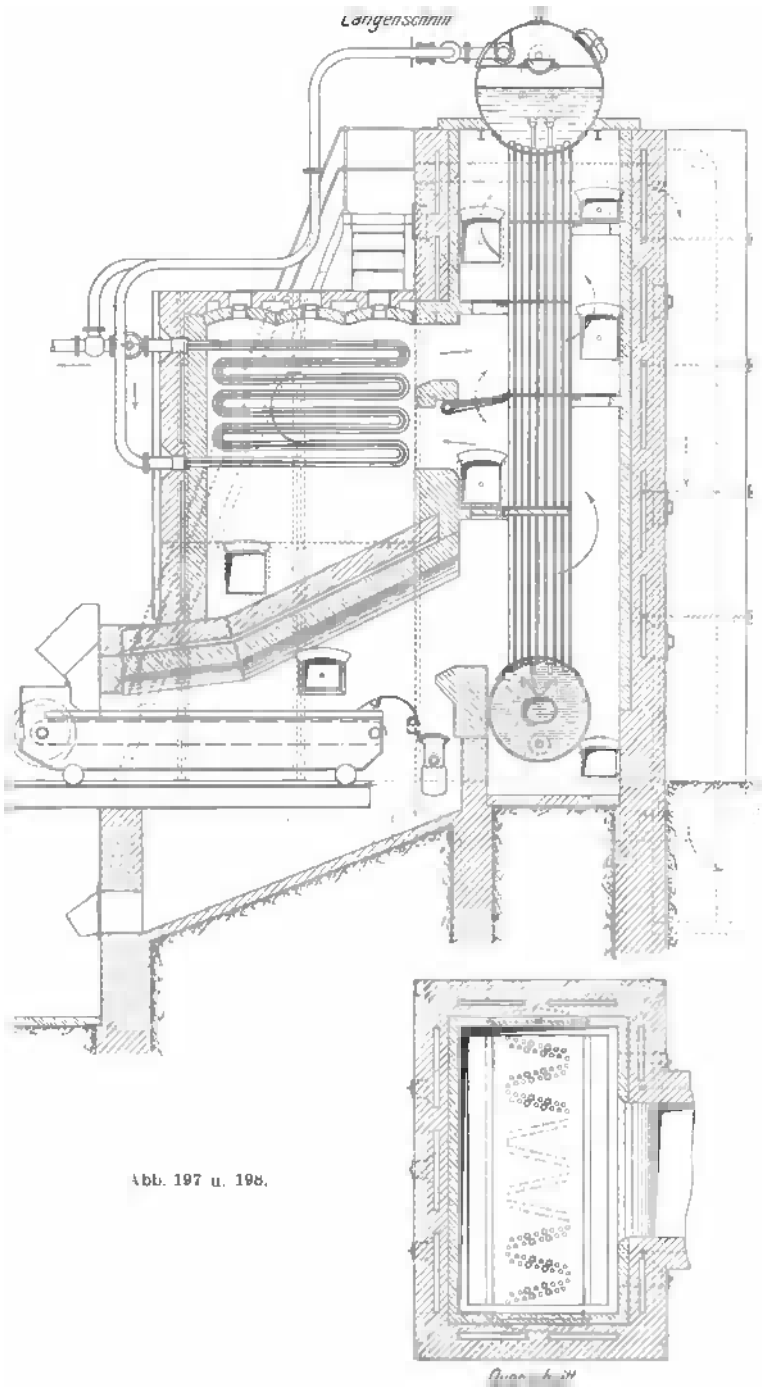


Abb. 197 u. 198.

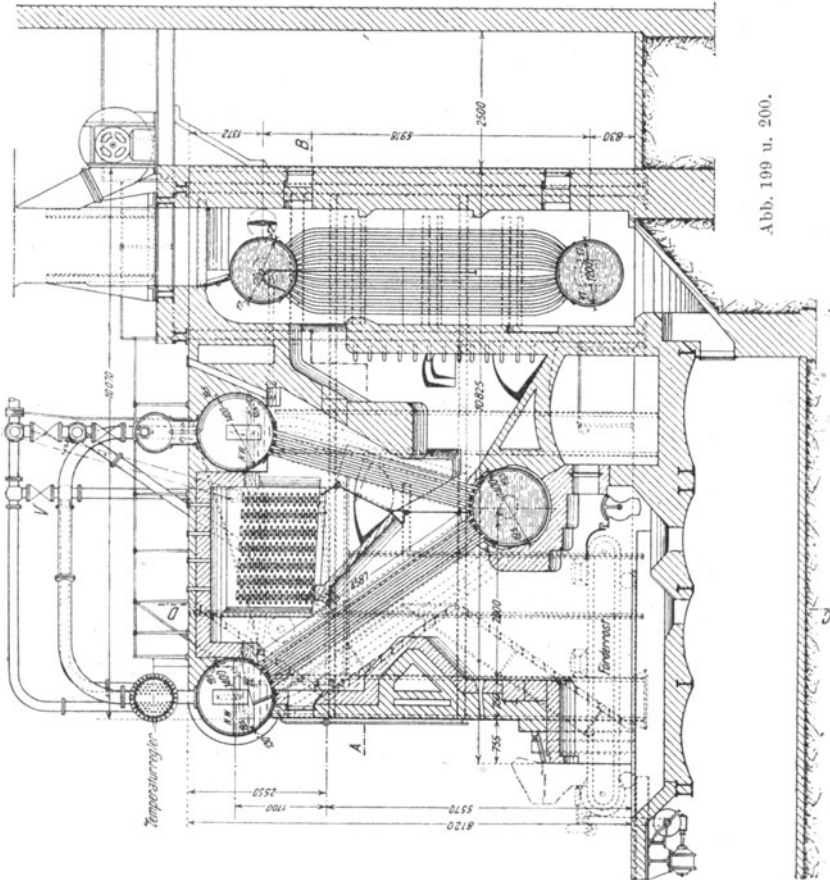
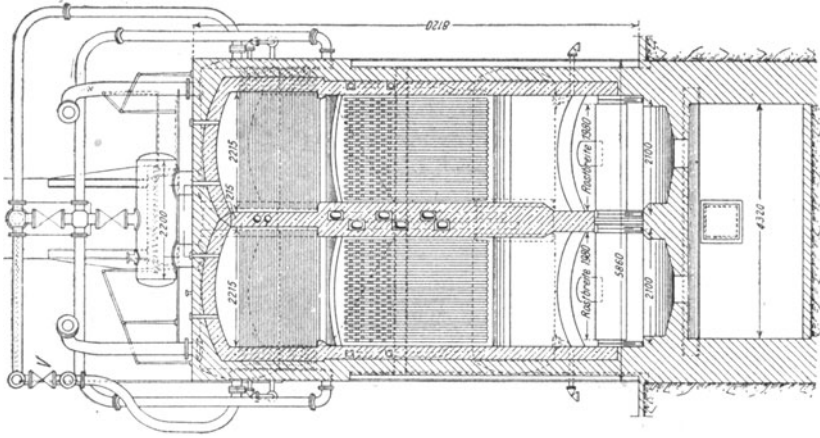
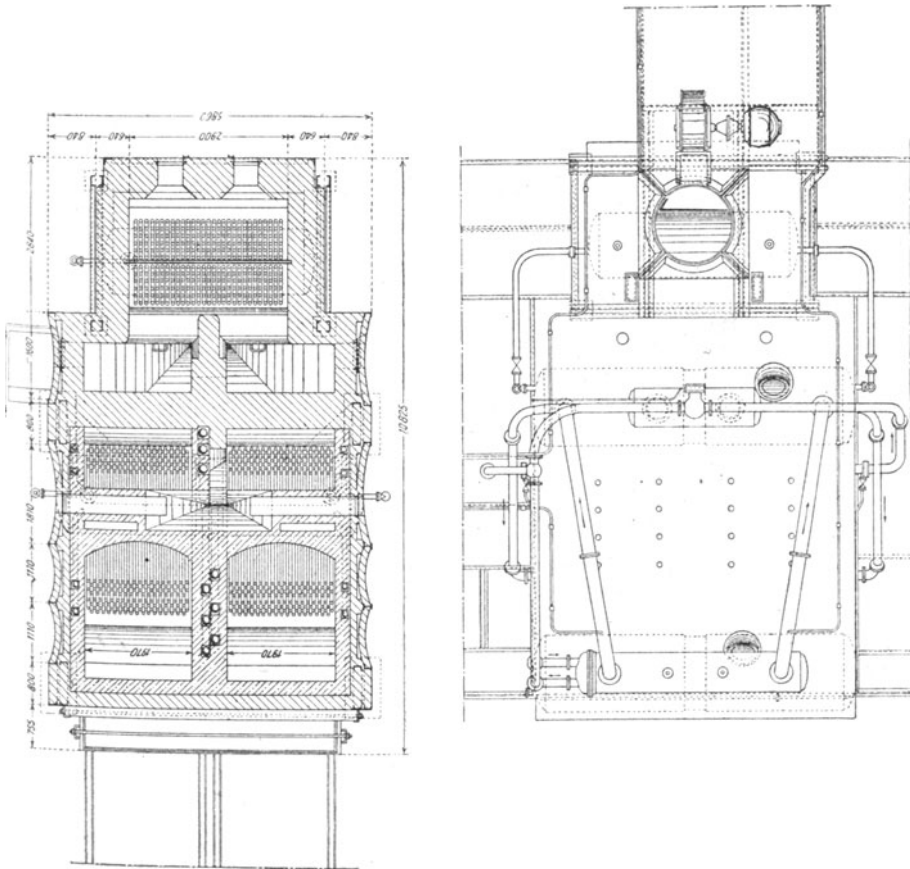
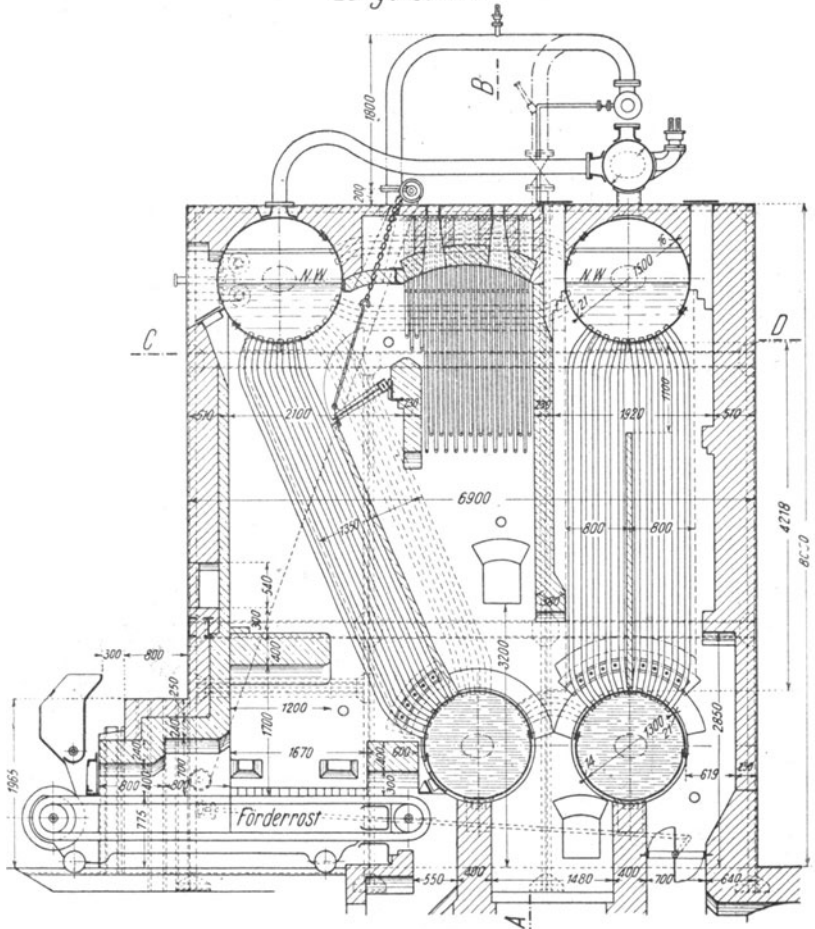


Abb. 199 u. 200.

Oberkessel zugeführt. Zwischen den Oberkesseln und dem Unterkessel sind besondere, im Mauerwerk isoliert liegende Abfallrohre angebracht, die einen guten Wasserumlauf in beiden Bündeln gewährleisten. Mit dem Kessel ist in der dargestellten Ausführung ein 300 qm Vorwärmfläche aufweisender Rauchgasvorwärmer von bemerkenswerter Bauart verbunden. Er besteht aus einem senkrecht angeordneten Bündel enger schmiedeeiserner Rohre, deren Enden in Walzenkesseln befestigt sind. Das in die obere Walze eingeführte Wasser sinkt in der hinteren Hälfte des Rohrbündels hinab und steigt erwärmt in den vorderen Rohren wieder empor. Dann gelangt es im Oberkessel in eine besondere Kammer und von da in den Dampfkessel. Ein Teil der Steigrohre mündet aber nicht in die abgetrennte Kammer, sondern außerhalb derselben so, daß sich das warme mit dem frisch eingespeisten, kalten Speisewasser mischt. Auf diese Weise wird das letztere erwärmt, ehe es seinen Kreislauf durch die Vorwärmerrohre antritt. Dadurch soll das Niederschlagen von Schwitzwasser



Längenschnitt



Schnitt C - D

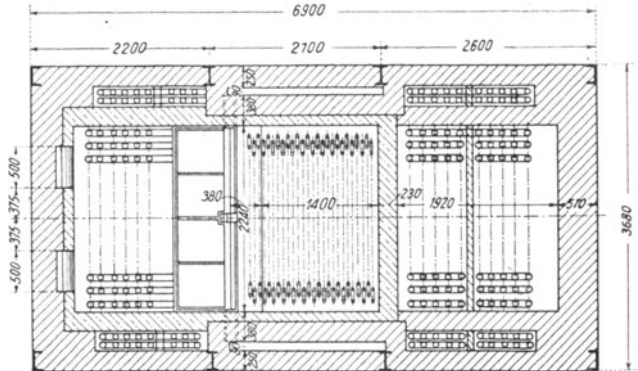
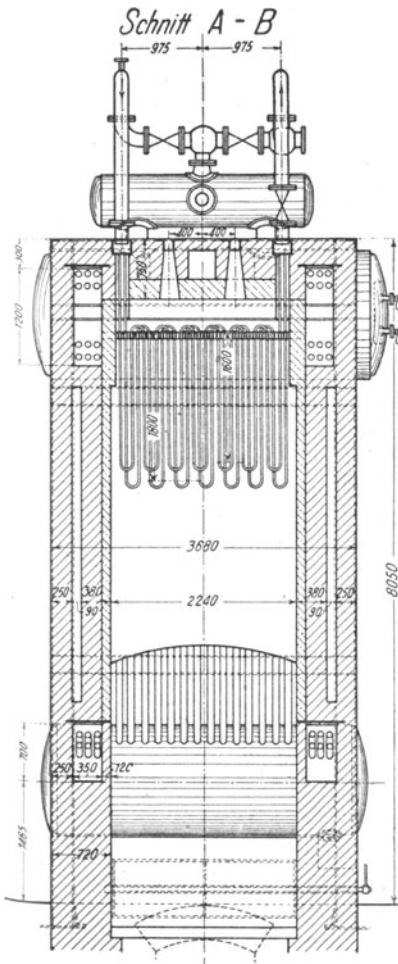


Abb. 203 bis 205.



auf den Rohren und das Anrosten derselben verhindert werden (vgl. Abschnitt 30 A auf S. 233).

Zwischen den beiden Oberkesseln sind zwei getrennte Überhitzer angebracht, die sich nicht aus dem Gasstrom ausschalten lassen und daher vor dem Anfeuern vom vorderen Oberkessel aus mit Wasser gefüllt werden. Um den Grad der Überhitzung nach Bedarf erniedrigen zu können, ist über dem Oberkessel ein Temperaturregler (siehe Abschnitt 29 C auf S. 227) angeordnet.

Bei der Zugführung sind unzugängliche, innerhalb eines Rohrbündels liegende Führungswände vollständig vermieden, so daß die Rohre eines Bündels in annähernd gleicher Gastemperatur liegen und daher nur geringe Temperaturspannungen in ihnen auftreten können.

Die Oberkessel ruhen auf eisernen, in das Mauerwerk verlegten Ständern, der Unterkessel hängt frei an den Rohren.

Bei einer Beanspruchung von 30 kg/qm soll der Kessel mit Überhitzer und Vorwärmer einen Wirkungsgrad von 84% aufweisen.

Für den Betrieb mit Braunkohle ändert die Firma die Kesselkonstruktion etwas ab, um die Ablagerung von Flugasche auf den Heizflächen möglichst zu verhindern¹⁾.

β) Steilrohrkessel mit gebogenen Rohren.

Um Rohre mit nicht allzu geringem Durchmesser verwenden zu können und dabei freie Hand bezüglich der Rohrteilung zu haben, ferner um die Rohre so zu gestalten, daß sie bei ungleichmäßiger Erwärmung des Bündels federnd Formänderungen gestatten, bevorzugt man neuerdings immer mehr beim Bau von Steilrohrkesseln die gekrümmten Rohre. Allerdings verzichtet man dabei vielfach auf die Übersehbarkeit des Rohrinnern, auch bietet die Reinigung dieser Rohre von Kesselstein im allgemeinen so große Schwierigkeiten, daß solche Kessel am besten nur mit völlig reinem Wasser betrieben werden.

¹⁾ Siehe Tetzner, Steilrohrkessel, Feuerungstechnik, II. Jahrg., S. 25.

Steilrohrkessel von Walther & Co., A.-G. in Dellbrück bei Köln.

In Abb. 203 bis 205 ist ein Doppelkessel der Firma mit 288 qm Heizfläche, 75 qm Überhitzerfläche und 10 at Überdruck dargestellt. Der Kessel besitzt 2 Oberkessel und 2 Unterkessel, die durch an den Enden gebogene Rohre verbunden sind. Es sind besondere Fallrohre vorhanden, die in nicht geheizten Kammern im Seitenmauerwerk liegen, so daß auch bei starker Beanspruchung des Kessels für ein Nachströmen des Wassers zu den Unterkesseln und den Steigrohren gesorgt ist. Die Fallrohre verbinden die Enden der Ober- und Unterkessel auf jeder Seite durch je 2 Reihen Rohre. Im vorderen Oberkessel münden diese Abfallrohre in besondere durch mäßig hohe Blechwände abgeteilte Räume, in die das frische Kesselwasser eingespeist wird. Die beiden Ober- und die beiden Unterkessel sind durch gebogene Rohre miteinander verbunden. Der gemeinsame Dampfsammler liegt über dem hinteren Oberkessel. Der äußere Durchmesser der Verdampfrohre beträgt hier 76 mm. Da der Abstand der Rohre voneinander erheblich größer ist und die Rohre in Reihen hintereinander liegen, kann man durch die Zwischenräume hindurch jedes Rohr auswechseln.

Die Firma baut übrigens auch einen einfachen nur mit einem Rohrbündel versehenen Steilrohrkessel¹⁾, bei dem dann in der Mitte des Rohrbündels eine aus Schamotte bestehende Trennungswand für die Züge vorhanden ist.

Stirlingkessel

werden in Deutschland von der Hannoverschen Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft und von den Deutschen Babcock & Wilcox-Werken gebaut. Einen „Viertrommelkessel“ der ersteren Firma zeigt Abb. 206. Die Anzahl der Trommeln schwankt zwischen drei und fünf und zwar sind vorhanden 2 Ober- und 1 Unterkessel oder 3 Ober- und 1 bis 2 Unterkessel. Die oberen Trommeln werden mit den unteren durch Rohre verbunden, die an den Enden alle mit demselben Halbmesser kreisförmig gebogen sind. Zur Verbindung der Dampf Räume und der Wasser Räume dienen ebenfalls gekrümmte Rohre. — Bei dem abgebildeten Kessel wird das frische Wasser in den letzten Oberkessel gespeist, von wo es durch das letzte Rohrbündel zum Unterkessel herabsinkt, um die beiden vorderen Bündel zu versorgen. Das in den vorderen Oberkesseln vom Dampf befreite Wasser kann zum hinteren Oberkessel zurückströmen und von dort aus wieder am Umlauf teilnehmen. Der Dampf wird dem mittleren Oberkessel entnommen und einem zwischen dem ersten und zweiten Zuge eingebauten Überhitzer, Bauart Prégardien, zugeführt.

Ein in der Zentrale Reisholz bei Düsseldorf des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes aufgestellter Stirlingkessel von 500 qm

¹⁾ Siehe Tetzner, Steilrohrkessel, Feuerungstechnik, II. Jahrg., Heft 2, S. 28.

Heizfläche ergab bei einer Verdampfung von 31,14 kg/qm einen Wirkungsgrad für Kessel, Überhitzer und Vorwärmer von 87% und bei 38,77 kg Dampfleistung einen Wirkungsgrad von 85,2%.

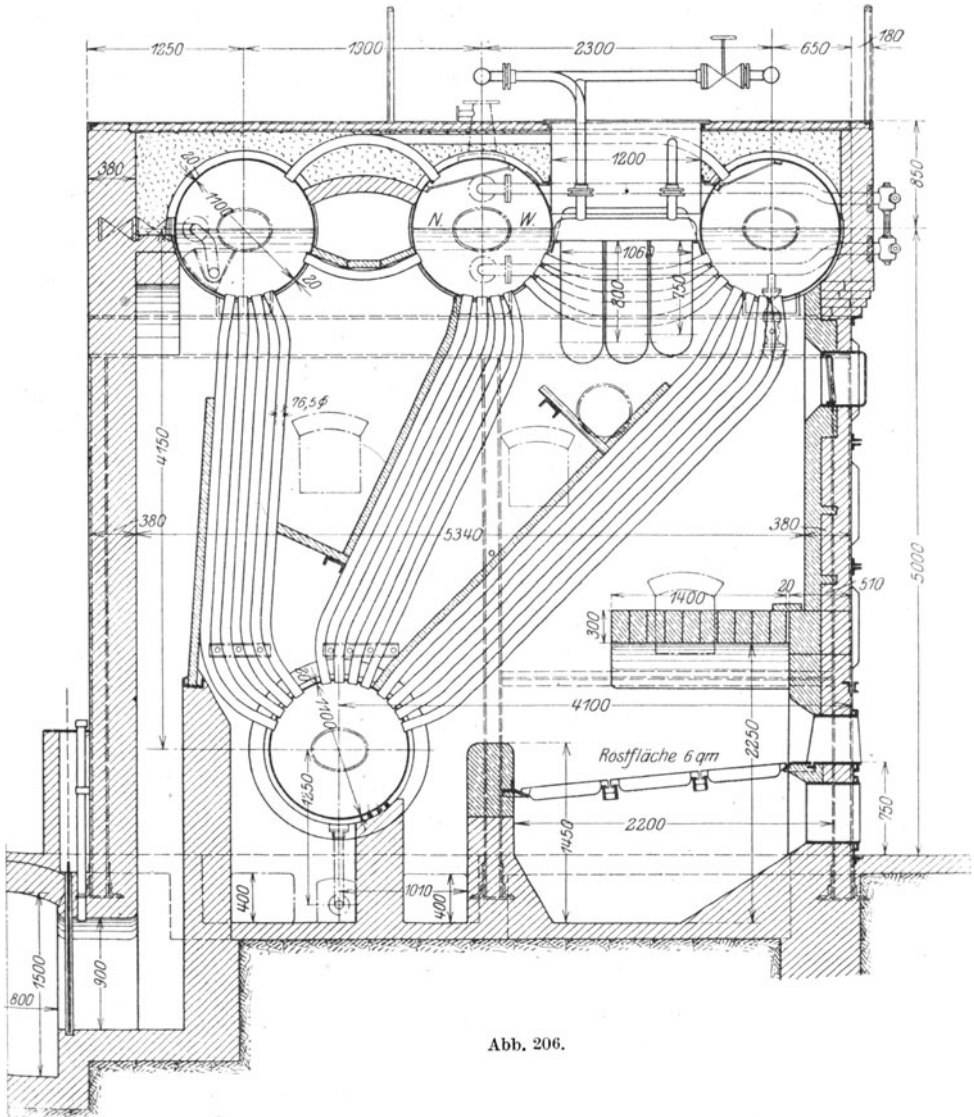


Abb. 206.

Burkhardt-Kessel (Tafel XIX).

Der Kessel wird von J. Piedboeuf in Aachen und Düsseldorf gebaut. Bei dem dargestellten Kessel werden die beiden Oberkessel und beiden Unterkessel durch sich kreuzende Rohrbündel verbunden. In

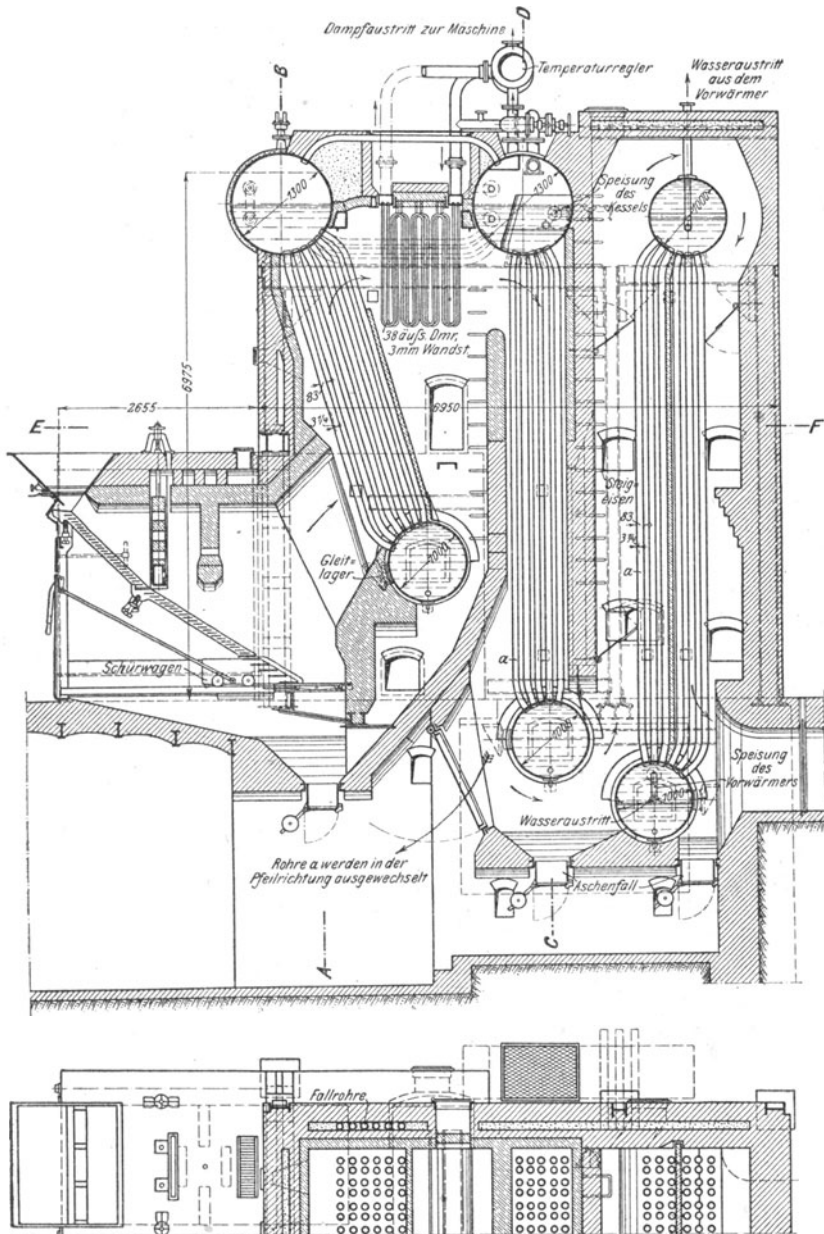
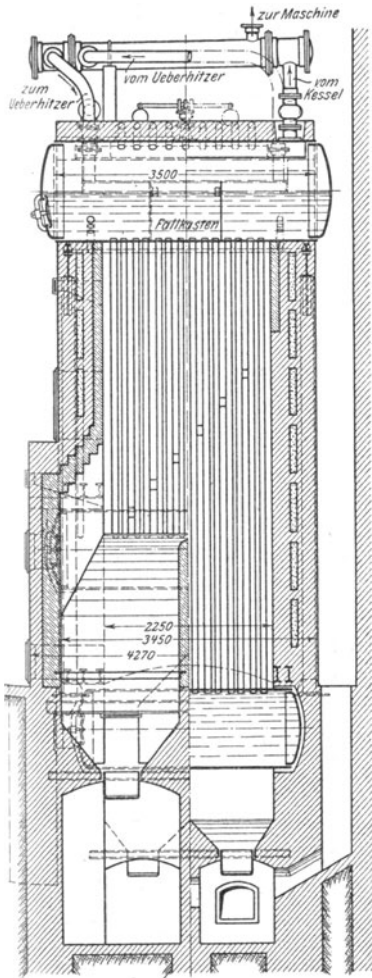


Abb. 207 bis 209.

ihnen steigt das heiße Wasser in die Oberkessel, um nach Abgabe des Dampfes durch andere, mehr nach außen liegende Abfallrohre in die Unterkessel zurückzugelangen. Die Mäntel der Oberkessel sind dem



Rohrbündel gegenüber mit je einer Reihe von Verschlüssen versehen, durch welche man sämtliche Rohre in den Bündeln reinigen und nötigenfalls herausziehen kann. Ganz nach außen liegt auf jeder Seite ein aus geraden Rohren bestehender Vorwärmer. Diesen durchläuft das Speisewasser von oben nach unten, ehe es den unteren Kesseltrommeln zugeführt wird. — Die Gase steigen vom Rost senkrecht empor und treffen zunächst auf die Rohrbündel. Durch eingelegte kurze Schamottenwände werden sie auf alle Rohre gleichmäßig verteilt und infolge der Rohrkreuzungen gut durchgewirbelt. In zweiten Zügen gelangen die Gase sodann an den Abfallrohren entlang nach abwärts, schließlich an den Vorwärmern wieder nach oben und zum Schornstein. — Die Beheizung des Überhitzers wird durch Öffnungen ermöglicht, welche sich unter und über demselben in den Seitenwänden der Mittelkammer befinden. Die Menge der dazu vom Hauptgasstrom abzuzweigenden Gase und somit der Grad der Überhitzung kann durch verstellbare Klappen geregelt werden, die an den oberen Öffnungen angebracht sind. Die vom Überhitzer kommenden Gase umpöhlen dann entweder nur noch den Vorwärmer oder aber, wie beim gezeichneten Kessel erst noch die Abfallrohre.

Die eigenartige Ausbildung des Kessels gestattet es, die Gase so zu führen, daß sie mit den Stirnwänden des Mauerwerks erst in Berührung kommen, nachdem sie den größten Teil ihres Wärmeinhaltes an Kessel und Überhitzer abgegeben haben. Dies trägt nicht unwesentlich zur Verminderung des Strahlungsverlustes bei.

Steilrohrkessel von L. & C. Steinmüller in Gummersbach.

Die Firma baut außer einem reinen Steilrohrkessel (Abb. 207 bis 209) auch Kessel, die eine Verbindung von Steilrohrkessel mit Schrägröhrkessel darstellen und zwar den „Universalkessel“ (Abb. 210 bis 212) und den „kammerlosen Steinmüllerkessel“ (Abb. 213).

Der Steilrohrkessel besteht aus zwei Rohrbündeln mit Ober- und Unterkesseln und einem dahinter liegenden schmiedeeisernen Rauchgasvorwärmer.

Das Wasser tritt zunächst in die untere Trommel des Vorwärmers, steigt in den Rohren empor in die obere Trommel und gelangt von da in einen in der Mitte des hinteren Oberkessels liegenden Blechkasten. Von hier fällt es durch die mittleren Rohrreihen dieses Bündels in die untere Trommel, strömt hier nach den beiden Enden der Trommel und steigt, sich mit Dampf mischend, durch die äußeren Rohrreihen desselben Bündels zum zweiten Oberkessel zurück. Nachdem das Wasser hier den Dampf abgegeben hat, strömt es durch eine Anzahl seitlich im Mauerwerk liegender Rohre zum vorderen Oberkessel. Hier kann das Wasser durch im Mauerwerk liegende Abfallrohre in den vorderen Unterkessel fallen, während Dampf und Wasser in den von den Gasen umspülten Rohren des vorderen Rohrbündels zum vorderen Oberkessel strömen. Es ist also

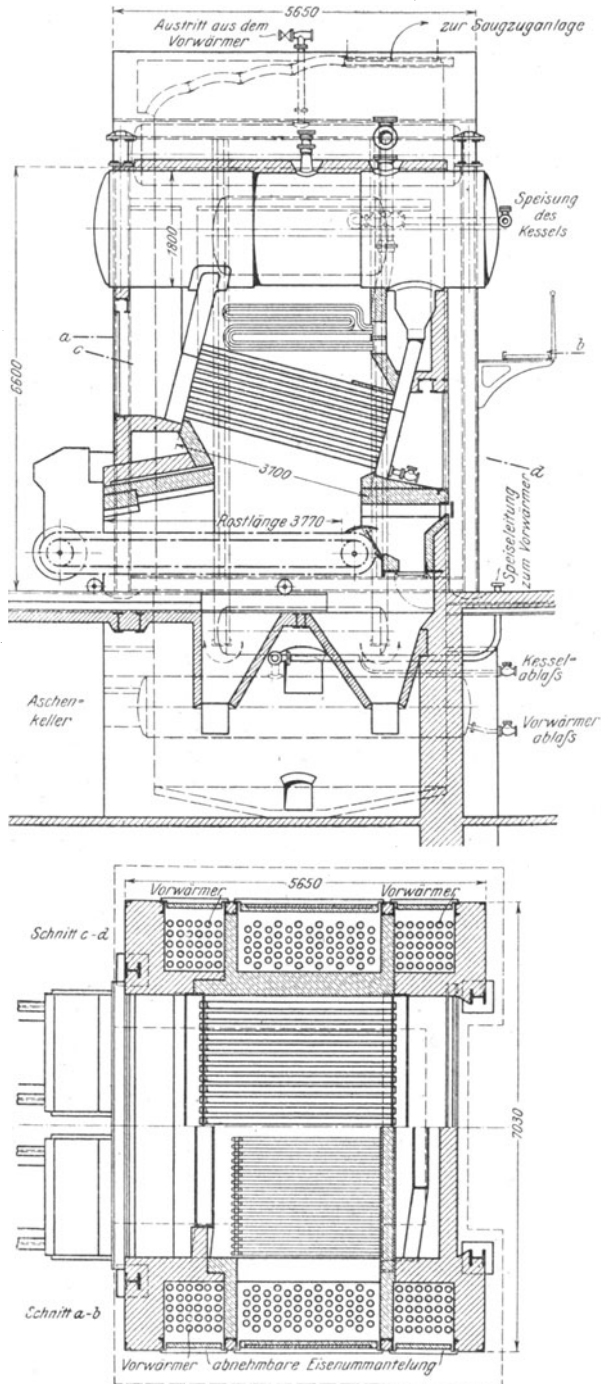
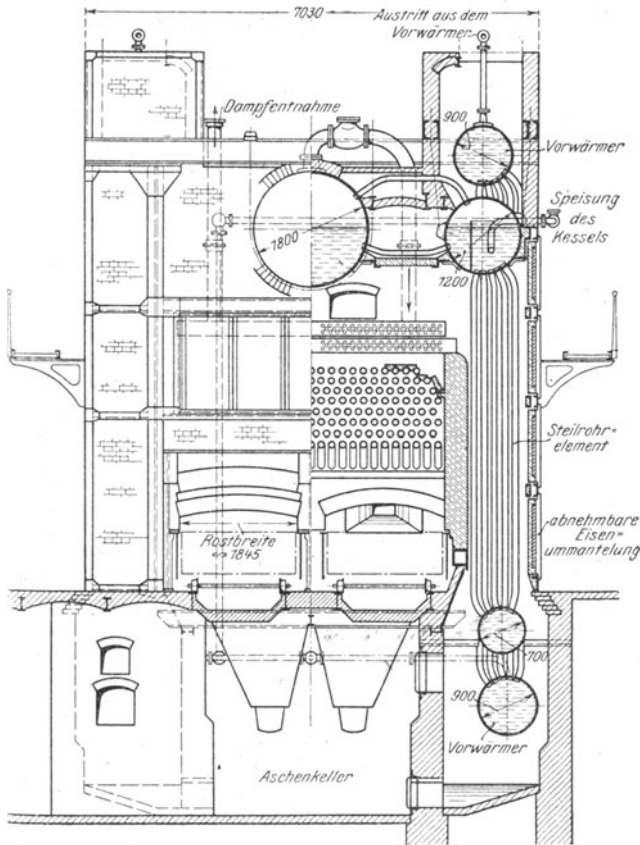


Abb. 210 bis 212.



dafür gesorgt, daß sich die Steigrohre in beiden Rohrbündeln immer mit Wasser füllen und daß außerdem in das vordere, am meisten gefährdete Bündel Schlamm und Kesselstein nicht gelangen können. Diese werden, soweit sie nicht schon außerhalb des Kessels ausgeschieden sind, sich in den Fallrohren des zweiten Bündels ausscheiden und in der unteren Trommel absetzen, da hier die Geschwindigkeit des Wassers wegen des großen Querschnitts nur klein ist.

Der im vorderen Kesselement freiwerdende Dampf gelangt durch eine Anzahl gebogener Rohre in den hinteren Oberkessel und

kommt hier in einen an den Enden offenen Blechkasten. Aus diesem Oberkessel wird dann der Dampf durch ein geschlitztes Dampfentnahmerohr entnommen und in den zwischen den Oberkesseln liegenden Überhitzer geführt. Der Überhitzer kann nicht aus dem Gasstrom ausgeschaltet werden. Die Temperatur des überhitzten Dampfes läßt sich regeln (vgl. Abschnitt 29 C, S. 227).

In Fig. 210 bis 212 ist der Steinmüller-Universalkessel wiedergegeben. Der Kessel besteht aus einem kurzgebauten Schrägrohrkessel (Rohrlänge 3,1 m), neben den auf beiden Seiten je ein Steilrohrkesselement angeordnet ist. An den vier Ecken des Kessels steht außerdem noch je ein als Vorwärmer dienendes Rohrbündel. Je zwei dieser Vorwärmerbündel haben längsdurchgehende gemeinsame Unter- und Oberkessel. Das Wasser wird in die Oberkessel der beiden Vorwärmer gespeist und aus den unteren Trommeln entnommen. Dann wird das Wasser den beiden seitlich liegenden Steilrohrkesseln zugeführt, und zwar in einen, in der Mitte ihrer Oberkessel eingebauten Blechkasten. Aus diesem fließt es durch die

mittleren, in den Kasten einmündenden Rohre nach abwärts, um vom Unterkessel aus durch die nach beiden Enden gelegenen Rohre wieder emporzusteigen. Nachdem es im Oberkessel den mitgeführten Dampf abgegeben hat, strömt es zum Oberkessel des Schrägrohrkessels und macht dort den vom Zweikammerkessel her bekannten Umlauf. Die Gase ziehen in umgekehrter Richtung: I. Zug: Kammerkessel und Überhitzer; auf-

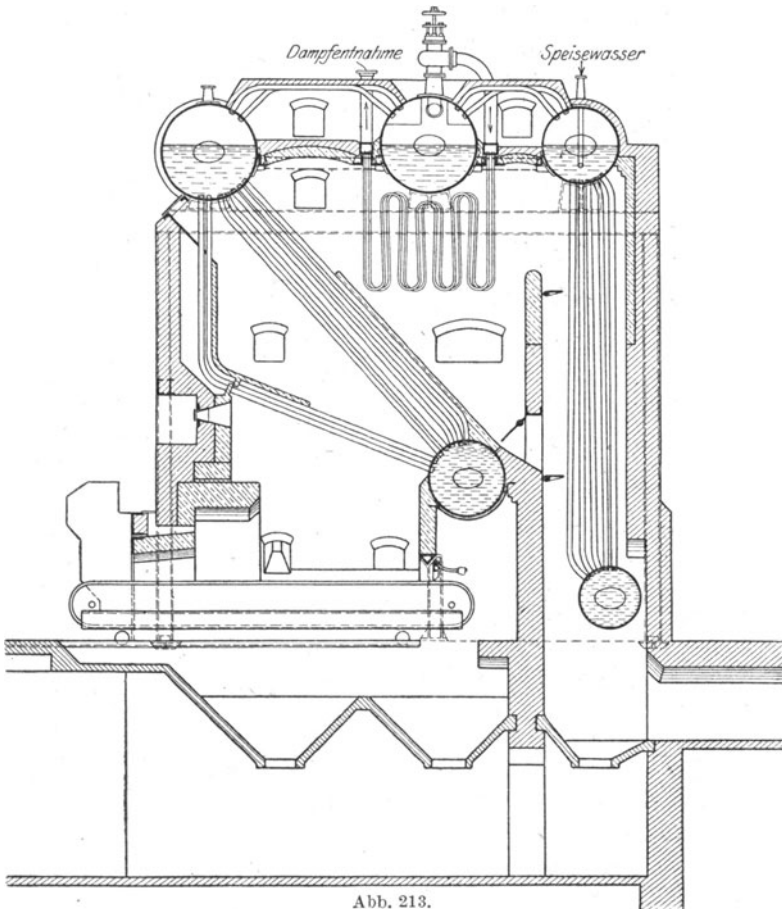


Abb. 213.

wärts; II. Zug: 2 mal geteilt, Steilrohrkessel, abwärts; III. Zug: 4 mal geteilt, Rauchgasvorwärmer, aufwärts; sodann in zwei Kanälen zum Schornstein. Der Dampf wird dem Oberkessel des Kammerkessels entnommen.

Der Kessel besitzt eine große, vom Feuer bestrahlte Heizfläche, ferner bietet er den Vorteil, daß die Außenmauern nicht an den Feuerraum angrenzen und daher weniger Wärme durch Ausstrahlung verloren geht.

Die äußere Ummantelung besteht aus eisernen Platten, die auf der Innenseite mit Schamotte verkleidet sind. Dadurch wird erreicht, daß die Rohre der Steilrohrelemente und der Vorwärmer leicht zugänglich sind, daß beim Anheizen weniger Wärme für die Erwärmung des Mauerwerks nötig ist und die Wände gegen eindringende Luft doch dicht sind.

Beim kammerlosen Steinmüllerkessel (Abb. 213) ist über dem Rost ein Steilrohrkessel angeordnet, von dessen Rohrbündel die untersten beiden Rohrreihen abgezweigt und als Schrägrohre gestaltet sind. Dadurch wird dem eigentlichen Steilrohrkessel eine Heizfläche vorgelagert, welche die strahlende Wärme aus dem Feuer besser aufnehmen kann, als das bei steilliegenden Rohren der Fall ist. Die schrägen Rohre sind vorn senkrecht hochgebogen, infolgedessen federn sie gut bei Erwärmung und leiten das Dampfwassergemisch vorteilhafter, als es beim Kammerkessel geschieht, ohne plötzliche Richtungsänderung in den Oberkessel. — Nachdem die Gase das Steilrohrelement bestrichen haben, treffen sie auf den Überhitzer, über welchem der mittlere Oberkessel liegt. Sodann fallen sie an den Rohren eines zweiten Steilrohrelementes nach dem Fuchs hinab.

Die Wasserräume der drei Oberkessel sind durch wagerechte, nicht beheizte Rohre, ihre Dampf Räume durch krumme Rohre miteinander verbunden. Das Speisewasser wird in die obere Trommel des hinteren Steilrohrelementes eingeführt, in dessen Rohren es hinabsinkt, um sich dabei allmählich anzuwärmen und schließlich zu verdampfen. Ein Umlauf soll also in diesem Kessel nicht stattfinden. Um so lebhafter läuft das Wasser im vorderen Steilrohrkessel um. Es fließt vom hinteren Oberkessel durch den mittleren nach der oberen Trommel des vorderen Kesselementes, fällt dann durch besondere, den Heizgasen entzogene Rohre (in der Abbildung nicht gezeichnet) zum vorderen Unterkessel ab und steigt durch die schrägen und die steilen Wasserrohre wieder empor.

Der in beiden Steilrohrelementen entstandene Dampf sammelt sich im Mittelkessel und wird von da aus dem Überhitzer zugeführt. Dieser Mittelkessel eignet sich gut zur Dampfantnahme, da dampferzeugende Rohre an ihn nicht angeschlossen sind und daher der Wasserspiegel dort stärkeren Schwankungen nicht ausgesetzt ist. Für den Überhitzer bietet der Mittelkessel den Vorteil, daß er bei Betriebsunterbrechungen die aus dem heißen Mauerwerk ausstrahlende Wärme aufnehmen und so die Überhitzerrohre vor Beschädigungen bewahren kann.

Feuerung und Kessel sind so konstruiert, daß der Kessel imstande ist, sehr hohe Spitzenbelastungen herzugeben und daß sich die Dampferzeugung etwaigen Schwankungen in der Dampfantnahme möglichst schnell anpassen läßt.

Steilrohrkessel der Germaniawerft Friedrich Krupp, A.-G. in Kiel-Gäarden.

Die Firma baut verschiedene Steilrohrkessel, und zwar nicht nur für Marinezwecke, sondern auch für ortsfeste Anlagen. Von den letzteren soll der in Abb. 214, 215 gezeichnete Kessel nachstehend behandelt werden.

Der Kessel ist ähnlich wie der bei der Kriegsmarine angewandte Schulzkessel gebaut. Vor allem sind die Züge, ebenso wie bei diesem, ohne Zuhilfenahme von Schamottewänden und eisernen Platten, lediglich dadurch hergestellt, daß die Rohre an den Stellen, wo den Gasen der Weg versperrt werden soll, zu dichten Wänden aneinander gefügt sind. Auf diese Weise wird der in Abb. 214 eingezeichnete Gasweg erzielt, auf dem die Gase, aus einem weiten, für die Flammenentwicklung sehr vorteilhaft gestalteten Verbrennungsraum emporsteigend, zunächst ein aus wenigen Rohrreihen bestehendes Bündel, dann den Überhitzer und schließlich ein starkes Rohrbündel bestreichen, ehe sie in den Schornstein ziehen. Die äußersten beiden Rohrreihen des im letzten Zuge liegenden Bündels sind ebenfalls so gebogen, daß sie sich dicht aneinander anschließen: Deswegen kann die Ummantelung, die sonst innen mit Schamotte ausgekleidet ist, an den Seitenwänden nur aus Blech hergestellt werden.

Die Versorgung der Unterkessel mit Wasser erfolgt durch je ein weites, außerhalb der Ummantelung gelegenes Abfallrohr. Alle Rohre sind stark gebogen und federn daher gut. Infolgedessen können sich ungleiche Erwärmungen der einzelnen Rohre eines Bündels, wie sie besonders bei sehr hohen Beanspruchungen eintreten, nicht schädlich bemerkbar machen. Andererseits ist die innere Reinigung der Rohre, die mit ziemlich kleinem Durchmesser ausgeführt werden, wegen ihrer gebogenen Form kaum ausführbar. Die Firma empfiehlt daher, den Kessel nur für völlig reines Wasser, wie es z. B. bei Turbinenbetrieb mit Oberflächenkondensation vorhanden ist, wenn das wegen der Verluste erforderliche Zusatzwasser in Verdampfern gereinigt wird. Die Auswechslung schadhafter Rohre ist dadurch, daß sie gegeneinander versetzt und mit geringen Zwischenräumen angeordnet sind, sehr schwierig. Nur bei der im ersten Feuer liegenden Reihe ist sie leicht auszuführen. Tritt an einem anderen Rohr ein Schaden ein, so müssen seine Einmündungsstellen im Ober- und Unterkessel durch eingeschlagene Stopfen verschlossen werden. Einer Beschädigung der Rohre wird dadurch vorgebeugt, daß sie aus bestem weichem Siemens-Martin-Eisen hergestellt und sehr sorgfältig in die Kesselmäntel eingewalzt werden. Die Rohrlöcher erhalten dazu mehrere umlaufende Rillen und die überstehenden Rohrenden werden aufgeweitet.

Der abgebildete Kessel besitzt 400 qm Heizfläche und 200 qm Überhitzerfläche. Er ist für 15 at Überdruck und 400° Überhitzungstemperatur bestimmt. Die Länge der Ober- und Unterkessel beträgt 3,3 m. Der Kessel gestattet Heizflächenbeanspruchungen bis zu etwa 50 kg/qm und, da er keine Einmauerung hat, somit bei steigender Rostbelastung

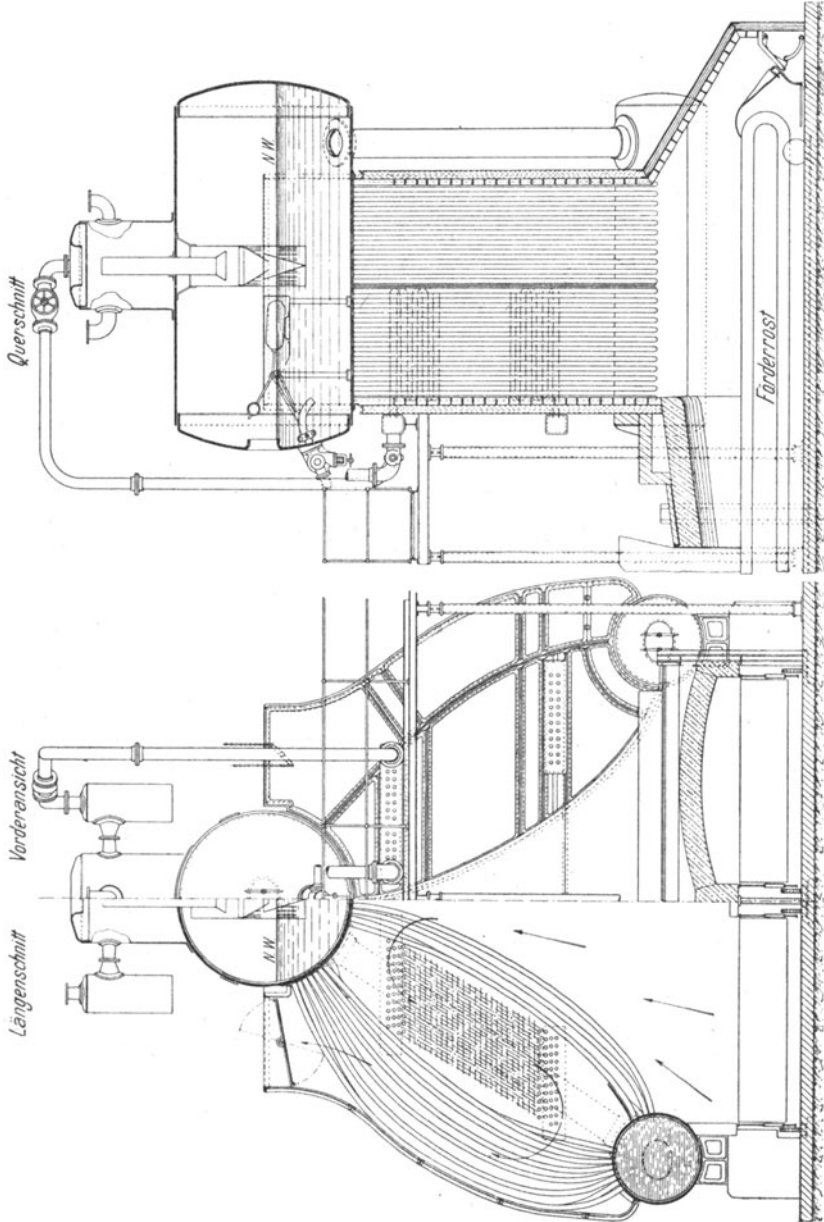


Abb. 214 u. 215.

wärmeaufnehmende, bei fallender Belastung dagegen wärmeausstrahlende Mauerwerksmassen fehlen, so eignet er sich auch für schwankende Dampfleistungen. Dabei nutzt er die Grundfläche recht gut aus¹⁾.

¹⁾ Über andere Steilrohrkessel der Germaniawerft siehe Tetzner, Feuerungstechnik II. Jahrg., S. 46.

γ) Vorteile, Nachteile und Anwendung der Steilrohrkessel.

Vorteile. Sie lassen sich auch für sehr hohe Dampfdrucke einfach und billig herstellen, da unrunde Kesselteile fehlen, Verankerungen also nicht erforderlich sind. — Mit solchen Kesseln lassen sich sehr große Kesseleinheiten von vorzüglicher Leistungsfähigkeit und Grundflächenausnutzung herstellen. Zu den hohen Dampfleistungen trägt vor allem der durch die steile Lage der Rohre verbesserte Wasserumlauf, sodann auch der Umstand bei, daß Verengungen im Umlaufwege, wie bei den Kammerkesseln die engen Verbindungsstutzen zwischen Kammer und Oberkessel hier vollständig fehlen.

Nachteile. Auf die Schwierigkeiten, welche die innere Reinigung der Steilrohrkessel verursacht, wurde schon mehrfach hingewiesen. Ihre sonstigen Nachteile entstehen hauptsächlich durch die unter Umständen ziemlich häufigen Schäden an den Feuerungen, insbesondere am Feuerungsmauerwerk. Die dadurch entstehenden Unkosten und Betriebsstörungen lassen sich jedoch durch zweckmäßige Anlage der Feuerung und sorgfältigste Ausführung des Mauerwerks wesentlich einschränken.

Die Kessel erfordern im allgemeinen große Überhitzer, da sie sehr nassen Dampf liefern. Dem kann man aber durch Einschaltung von Wasserabscheidern bis zu einem gewissen Grade abhelfen.

Die Versorgung der im ersten Zuge liegenden Rohre mit Wasser ist bei manchen Konstruktionen nicht einwandfrei. Sie ist eigentlich nur dort als stets gesichert anzusehen, wo zwischen Ober- und Unterkessel genügend weite Abfallrohre vorhanden sind, in denen jede Dampfbildung ausgeschlossen ist.

Die bei den Steilrohrkesseln an sich sehr günstige Grundflächenausnutzung wird vielfach durch den vorgebauten Wanderrost nicht unerheblich verschlechtert. Einige der oben beschriebenen Bauarten zeigen jedoch, daß sich dieser Mangel vermeiden läßt.

Anwendung. Die Steilrohrkessel sind bei großen Dampfzentralen am Platze, besonders wenn der Dampf in Dampfturbinen gebraucht wird. Es ist dann aber gut, wenn außerdem noch Schrägrohrkessel vorhanden sind, in die das bei den Kondensations- und Rückkühlanlagen erforderliche Zusatzwasser, nachdem es gereinigt ist, gespeist wird. Bezüglich der Größe der Kessel bestehen keine strengen Grenzen. Bisher sind solche Kessel bis 2700 qm Heizfläche gebaut, obgleich es im allgemeinen nicht zu empfehlen ist, gar so große Einheiten zu wählen. Meistens geht man auch nicht viel über 500 qm und nur vereinzelt auf 1000 qm Heizfläche.

23. Die Kesselbaustoffe.¹⁾

Im Dampfkesselbau wurde früher allgemein Schweißeisen verwandt. Jetzt ist es jedoch fast vollständig durch Flußeisen verdrängt. Außerdem kommt noch Kupfer — für Feuerbuchsen und Stehbolzen von Lokomotivkesseln — und Gußeisen — für Armaturstutzen — zur Anwendung. An die Stelle des letzteren tritt aber ebenfalls mehr und mehr geschmiedetes oder gegossenes Flußeisen (vgl. § 2 d. A. P. B. auf S. 302).

Schweißeisen.

Bei Blechen wird unterschieden:

Feuerblech:



Bördelblech:



Jedes Blech ist seitens des Walzwerkes außer mit dem Stempel des Werkes, mit einem dem Vordruck in Form und Größe gleichen Qualitätsstempel zu bezeichnen.

Die Teile der Kesselwandungen, die im ersten Feuerzuge liegen, sind aus Feuerblech zu fertigen. Zu allen anderen Kesselteilen kann Bördelblech verwendet werden.

Feuerblech darf keine geringere Zugfestigkeit als 36 kg/qmm in der Längsfaser und 34 kg/qmm in der Quersfaser bei einer geringsten Dehnung von 20% in der Längsfaser und 15% in der Quersfaser haben.

Bördelblech darf keine geringere Zugfestigkeit als 35 kg/qmm in der Längsfaser und 33 kg/qmm in der Quersfaser bei einer geringsten Dehnung von 15% in der Längsfaser und 12% in der Quersfaser haben.

Die Zugfestigkeit darf bei keinem Bleche 40 kg/qmm überschreiten.

Bleche über 25 mm Dicke pflegen weniger Zugfestigkeit zu haben als aus demselben Material gefertigte Bleche unter 25 mm Dicke, und zwar rechnet man, daß auf je 2 mm Vergrößerung der Blechdicke die Festigkeit um 0,5 kg abnimmt. Demgemäß wird man bei Verwendung von Blechen über 25 mm Dicke zu erwägen haben, ob Feuerblech an Stelle von Bördelblech zu wählen ist.

Bei Nieteisen und Eisen für Anker und Stehbolzen soll die Zugfestigkeit 35 bis 40 kg/qmm betragen bei einer Dehnung von mindestens 20%.

¹⁾ Diese Angaben sind ein Auszug aus den Materialvorschriften für Landdampfkessel, die eine Anlage I bilden zu den Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln. Erlaß des Reichskanzlers vom 17. Dezember 1908.

Vollständige Vorschriften betr. die Anlegung, Untersuchung und den Betrieb von Land- und Schiffsdampfkesseln mit Bau- und Materialvorschriften und Polizeiverordnung betr. bewegliche Kraftmaschinen sind zu beziehen von Otto Hammer Schmidt in Hagen i. W.

Flußeisen.

Bleche:

Bleche aus Flußeisen, welches im Flammofen erzeugt worden ist, haben folgende Bezeichnung zu tragen:

sofern ihre Festigkeit

41 kg/qmm nicht übersteigt: höher als 41 kg/qmm ist:

FI

FII

Bleche aus Thomaseisen haben folgende Bezeichnungen zu tragen: sofern ihre Festigkeit

41 kg/qmm nicht übersteigt: höher als 41 kg/qmm ist:

TI

TII

Flußeisen darf keine geringere Zugfestigkeit als 34 kg/qmm und in der Regel keine höhere Zugfestigkeit als 51 kg/qmm haben. In bezug auf die Mindestdehnung aller Bleche ist folgende Zahlentafel maßgebend:

Festigkeit in kg/qmm	51—46	45	44	43	42	41—37	36	35	34
Geringste Dehnung in Prozenten	20	21	22	23	24	25	26	27	28

Bis auf weiteres kommen drei Blechsorten zur Anwendung, und zwar:

Blechsorte I mit 34 bis 41 kg/qmm (Berechnungsfestigkeit 36 kg/qmm)

„ II „ 40 „ 47 „ („ „ 40 „)

„ III „ 44 „ 51 „ („ „ 44 „)

Für diejenigen Teile des Kessels, welche gebördelt werden oder im ersten Feuerzuge liegen, dürfen nur Bleche der I. Sorte verwendet werden.

Für Teile, die nicht gebördelt werden oder nicht im ersten Feuerzuge liegen, können Bleche der II. oder III. Sorte verwendet werden.

Der Unterschied zwischen der Mindest- und Höchstfestigkeit darf bei einem einzelnen Bleche, sowie bei Blechen gleicher Sorte innerhalb einer Lieferung bei Blechlängen

bis 5 m höchstens 6 kg/qmm
 über 5 m „ 7 „

betragen, jedoch nur innerhalb der festgesetzten Zugfestigkeitsgrenzen.

Nieteisen:

Zugfestigkeit 34 bis 41 kg/qmm bei einer Dehnung von mindestens 25% und einer Gütezahl (Festigkeit in kg/qmm + Dehnung in Prozenten) von mindestens 62.

Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 41 kg/qmm verwendet werden, darf das Nietmaterial entsprechend bis zu 47 kg/qmm Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie in der Zahlentafel für Bleche ist. Für solches Nieteisen sind Prüfungsbescheinigungen beizubringen.

Anker und Stehbolzen:

Zugfestigkeit 34 bis 41 kg/qmm bei einer Dehnung von mindestens 25% und einer Gütezahl von mindestens 62.

Ausnahmsweise ist ein Material bis zu 47 kg/qmm Festigkeit zulässig, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie in der Zahlentafel für Bleche ist. Für solches Material sind Prüfungsbescheinigungen beizubringen.

Wasserrohre:

Die Rohre sollen einem Wasserdrucke von der dreifachen Höhe des Betriebsüberdrucks, mindestens aber von 30 *at* Überdruck widerstehen, ohne eine Formänderung oder Undichtigkeit zu zeigen. Die Rohre sind, während sie unter dem Probedrucke stehen, abzuhämmern, namentlich auch an der Schweißnaht.

Die Bearbeitung der Flußeisenbleche muß mit besonderer Vorsicht geschehen. Die Bleche sind vor der Bearbeitung auszuglühen. Die Nietlöcher sollen, wenn irgend möglich, nur gebohrt werden. Die warm zu bearbeitenden Bleche müssen in Rotglühhitze und nicht im schwarz- oder blauwarmen Zustande bearbeitet werden. Die teilweise erwärmten Bleche müssen, wenn möglich, nach vollendeter Formgebung ausgeglüht werden, mindestens müssen sie langsam abkühlen, und es muß der Übergang von den warmen zu den kalten Stellen des Bleches ein allmählicher sein.

Kupfer.

Für Kupfer kann, wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, eine Zugfestigkeit von 22 kg/qmm bei Temperaturen bis 120° C angenommen werden. Im Falle höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20° C um 1 kg/qmm niedriger zu wählen.

Gegenüber überhitztem Wasserdampf von 250° C und mehr ist die Verwendung von Kupfer zu vermeiden.

Für kupferne Dampfrohrleitungen ist innerhalb der bezeichneten Grenze eine Beanspruchung von höchstens $\frac{1}{10}$ der Zugfestigkeit zulässig.

Die Scherfestigkeit des Schweißeisens, Flußeisens und des Kupfers kann zu 0,8 der Zugfestigkeit angenommen werden.

24. Die Festigkeit der Kessel.

A. Wandstärken.

a) Zylindrischer Kesselmantel.

Es bezeichne:

- s die Blechstärke in cm;
- d den inneren Durchmesser des Zylinders in cm;
- p den größten Betriebsüberdruck in kg für 1 qcm;
- K_z die Zugfestigkeit des Bleches in kg für 1 qcm;
- \mathcal{C} den Sicherheitsgrad gegen Zerreißen;
- φ das Güteverhältnis der Nietnaht, d. i. das Verhältnis der Festigkeit der Nietnaht zur Festigkeit des vollen Bleches.

Beim Zerreißen des Mantels kann nun entweder ein Längsriß oder ein Querriß entstehen.

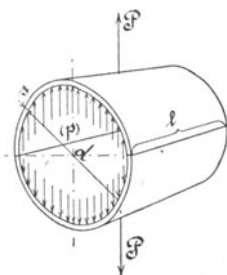


Abb. 216.

Erste Annahme: Es entstehe ein Längsriß.

Wir betrachten ein Zylinderstück von der Länge l (Abb. 216), das in Gefahr ist, in zwei Halbzylinder zerrissen zu werden, die im Innern mit dem Drucke p für ein Quadratcentimeter gedrückt werden. Die ganze gedrückte Fläche ist gleich der Projektion des Halbzylinders, gleich $d \cdot l$. Dann ist die auf Zerreißen wirkende Kraft:

$$P = dl p .$$

Dem Zerreißen widersetzen sich zwei Blechquerschnitte in der Gesamtgröße $2sl$ mit einer Kraft:

$$2sl \frac{K_z}{\mathcal{C}} .$$

Es muß also die Gleichung bestehen:

$$2sl \frac{K_z}{\mathcal{C}} = dl p$$

oder

Gl. I.

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \mathcal{C}}{2 K_z} .$$

Zweite Annahme: Es entstehe ein Querriß (Abb. 217).

Die hier in Betracht kommende, vom Dampfdruck gedrückte Fläche

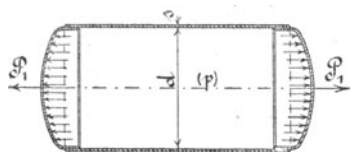


Abb. 217.

hat die Größe: $\frac{d^2 \pi}{4}$.

Daraus ergibt sich die axial im Zylinder wirkende Kraft:

$$P_1 = \frac{d^2 \pi}{4} p .$$

Dieser äußeren Kraft widersetzt sich eine Kreisringfläche, deren Größe genau genug gleich $d \pi s$ ist, mit der Widerstandskraft:

$$d \pi s \frac{K_s}{\mathfrak{S}} .$$

Daraus ergibt sich die Gleichung:

$$d \pi s \frac{K_s}{\mathfrak{S}} = \frac{d^2 \pi}{4} p$$

oder

Gl. II.

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \mathfrak{S}}{4 K_z} .$$

s nach Gleichung II ist halb so groß als s nach Gleichung I, d. h.: Ein Querriß ist nur halb so wahrscheinlich als ein Längsriß. Deshalb macht man auch die Quernähte nur einreihig und zweireihig, die Längsnähte aber stets mindestens zweireihig. Ferner legt man meistens die Walzrichtung der Bleche senkrecht zur Kesselachse und vorteilhaft die kleine Achse der elliptischen Mannlöcher parallel zur Kesselachse.

Die Blechwand berechnet man nach Gleichung I. Da das Blech aber durch die Nietnaht oder Schweißnaht¹⁾ geschwächt wird, so muß man $s \frac{1}{\varphi}$ mal so groß machen, als in Gl. I angegeben. Man bekommt also:

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \mathfrak{S}}{2 K_z \cdot \varphi} .$$

Hierzu addiert man noch eine Konstante $c = 0,1$ cm, weil das Blech leicht etwas rostet oder von dem Wasser angegriffen wird: Die fertige Formel lautet demnach:

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \mathfrak{S}}{2 K_z \cdot \varphi} + 0,1 .$$

Bleche unter 7 mm sollen überhaupt nicht genommen werden.

Es ist zu wählen:

$K_z = 3300$	kg/qcm bei Schweißseisen,
$K_z = 3600$	„ „ Flußeisen von 34 bis 41 kg/qmm Zugfestigkeit,
$K_z = 4000$	„ „ „ „ 40 „ 47 „ „
$K_z = 4400$	„ „ „ „ 44 „ 51 „ „

für Handnietung	für Maschinennietung	
$\mathfrak{S} = 4,75$	$\mathfrak{S} = 4,50$	bei überlappten oder einseitig gelaschten Nähten,
$\mathfrak{S} = 4,25$	$\mathfrak{S} = 4,00$	bei doppelt gelaschten Nähten,
$\mathfrak{S} = 4,35$	$\mathfrak{S} = 4,10$	bei doppelt gelaschten zweireihigen Nähten, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist.

1) Die Preß- und Walzwerk-Aktiengesellschaft Düsseldorf-Reisholz stellt jetzt nach dem patentierten Verfahren des Geheimen Baurat Ehrhardt nahtlose Hohlzylinder für Kesselmäntel, glatte Flammrohre und Wellrohre her, die eine hohe Sicherheit gewähren. Bei Anwendung dieser Zylinder fällt das Güteverhältnis φ natürlich fort. Die Preise dieser nahtlosen Kesselschüsse sollen sich, nach Angabe der Firma, unter Berücksichtigung der höheren Festigkeit, mit den genieteten Schüssen gleichstellen.

Bleche, bei denen eine höhere Zugfestigkeit als 36 kg/qmm in Anspruch genommen werden soll, dürfen zu Mantelteilen nur verwendet werden, wenn die Verarbeitung kalt oder rotwarm stattfindet, wenn ihre Verbindung in den Längsnähten durch Doppellaschennietung erfolgt und die Nietung maschinell hergestellt wird.

Es empfiehlt sich, die Nietlöcher zu bohren. Die Nietlöcher in Blechen über 41 kg/qmm Zugfestigkeit und in solchen über 27 mm Dicke müssen gebohrt werden derart, daß das Bohren der Löcher an den zum Kessel zusammengesetzten Blechen vorgenommen wird. Werden die Nietlöcher schwächerer Bleche gelocht, so ist zu den vorstehenden Werten von \mathcal{C} ein Zuschlag von 0,25 erforderlich. Bei gelochten und mindestens um $\frac{1}{4}$ des Durchmessers der Nietlöcher aufgebohrten Löchern kann dieser Zuschlag auf 0,1 ermäßigt werden¹⁾.

b) Flammrohre mit äußerem Überdruck.

Es bezeichne:

s_1 die Blechstärke in cm,

d_1 den inneren Durchmesser zylindrischer Flammrohre, bei konischen Flammrohren den mittleren inneren Durchmesser in cm,

p den größten Betriebsüberdruck in kg für 1 qcm,

l die Länge des Flammrohres in cm, zutreffendenfalls die größte Entfernung der wirksamen Versteifungen voneinander²⁾,

$$\left. \begin{array}{l} a = 100 \text{ für Rohre mit überlappter Längsnaht} \\ a = 80 \text{ für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht} \end{array} \right\} \text{ bei liegenden Flammrohren;}$$

$$\left. \begin{array}{l} a = 70 \text{ für Rohre mit überlappter Längsnaht} \\ a = 50 \text{ für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht} \end{array} \right\} \text{ bei stehenden Flammrohren.}$$

¹⁾ Für Schiffskessel ist in den Bauvorschriften noch folgendes festgesetzt: Überschreitet die Plattendicke 12,5 mm, so sind die Rundnähte doppelt und bei 25,0 mm und darüber die mittleren Rundnähte dreifach zu nieten.

Sind in den Mantelblechen Stehbolzen angeordnet, so ist darauf zu achten, daß die Festigkeit des Bleches in den Stehbolzenreihen (auf die Länge eines Mantelschusses bezogen) nicht geringer wird als diejenige in der Längsnietung des Kesselmantels.

Die Dicke der Doppellasche muß mindestens $\frac{3}{4}$ der Wanddicke des Kesselmantels betragen; einfache Laschen müssen mindestens 3 mm stärker als die Wanddicke des Kesselmantels gewählt werden.

Der Nietdurchmesser darf nicht größer als $2s$ und nicht kleiner als s sein, wobei die erste Grenze für dünne, die zweite für dicke Bleche gilt.

²⁾ Versteifungen s. S. 190.

Es kann dann die Blechstärke nach folgender, von v. Bach aufgestellter Formel berechnet werden:

$$s_1 = \frac{p \cdot d_1}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \frac{l}{l + d_1}} \right) + 0,2 \text{ cm.}^1)$$

Quersiederohre versteifen das Flammrohr nicht wirksam, man wird daher, wenn nicht sonst noch Versteifungen vorhanden sind, die Länge l vom ersten bis dritten Querrohre rechnen.

Wellrohre und gerippte Rohre sind mit $l = 0$ zu berechnen, also nach der Formel:

$$s_1 = \frac{p \cdot d_1}{1200} + 0,2 \text{ cm.}$$

Die Blechstärke darf auch hier nicht unter 7 mm genommen werden.

c) Ebene Wände.

α) Durch Rundanker versteifte ebene Wände.

Es sei:

s_2 die Blechstärke in cm,

p der größte Betriebsüberdruck in kg für 1 qcm,

a der Abstand der Stehbolzen oder Anker innerhalb einer Reihe voneinander in cm (Abb. 218),

b der Abstand der Stehbolzen- oder Ankerreihen voneinander in cm, c ein Zahlenwert,

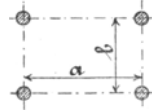


Abb. 218.

dann ist:

$$(1) \quad s_2 = c \sqrt{p(a^2 + b^2)}.$$

Hierin ist zu wählen:

$c = 0,017$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und vernietet sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,015$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,0155$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und außen mit Muttern oder gedrehten Köpfen versehen sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,0135$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,014$ bei Platten, welche durch Ankerrohre versteift sind.

¹⁾ Für Schiffsdampfkessel gilt die Formel:

$$s_1 = 0,00375 \sqrt{p \cdot d \cdot l}.$$

Wenn $\frac{p \cdot d}{l}$ größer als 5 ist, so wird die Blechstärke des Flammrohrs nach der folgenden Formel berechnet:

$$s_1 = \frac{p \cdot d}{1000} + \frac{l}{300}.$$

Für Wellrohre gilt:

$$s_1 = \frac{p \cdot d}{1200} + 0,2 \text{ cm,}$$

für Flammrohre nach dem Patent von Holmes:

$$s_1 = \frac{p \cdot d}{1010} + 0,2 \text{ cm.}$$

Bei Platten, deren Anker mit Muttern und Verstärkungsscheiben versehen sind, ist:

- $c = 0,013$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{2}{3}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{2}{3}$ der Plattendicke,
- $c = 0,012$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{3}{4}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{5}{6}$ der Plattendicke,
- $c = 0,011$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{1}{2}$ der Ankerentfernung, auch diese mit der Platte vernietet und die Scheibendicke gleich der Plattendicke ist

und die Platten nicht vom Feuer berührt sind. Werden sie dagegen auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der anderen Seite vom Dampf berührt, dann sind sie, falls sie nicht durch Flammenbleche geschützt werden, um $\frac{1}{10}$ stärker zu nehmen, als die Rechnung ergibt.

Bei unregelmäßig verteilten Verankerungen wie in Abb. 219 ist:



$$(2) \quad s_2 = c \cdot \frac{1}{2} (e_1 + e_2) \sqrt{p}.$$

Vorstehende Ausführungen gelten nur für flußeiserne Wandungen:

Abb. 219.

Durch Stehbolzen oder Anker unterstützte Kupferplatten erhalten die folgenden Wanddicken, und zwar bei regelmäßig verteilten Verankerungen (Abb. 218):

$$(3) \quad s_2 = 58,3 c \sqrt{\frac{p}{K_z} (a^2 + b^2)},$$

bei unregelmäßig verteilten Verankerungen (Abb. 219):

$$(4) \quad s_2 = 58,3 c \frac{1}{2} (e_1 + e_2) \sqrt{\frac{p}{K_z}}.$$

K_z die Zugfestigkeit des Kupfers ist aus Abschnitt 23, S. 163 zu entnehmen und auf qcm bezogen hier einzusetzen.

β) Rechteckige Platten, die am Umfange befestigt sind.

Ist:

s_2 die Wandstärke in cm,

a die größere Rechteckseite in cm,

b die kleinere Rechteckseite in cm,

p der größte Betriebsüberdruck in kg/qcm,

k_z die zulässige Zugbeanspruchung des Bleches in kg/qcm, wofür bis $\frac{1}{4}$ der rechnermäßigen Zugfestigkeit eingeführt werden kann, dann wird:

$$(5) \quad s_2 = 0,53 b \sqrt{\frac{p}{k_z \left[1 + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right]}}.$$

γ) Durch Blechanker versteifte Böden.

Die Wandstärke wird berechnet nach der Formel:

$$(6) \quad s_2 = 0,017 e \sqrt{p}.$$

Hierin bedeutet:

s_2 die Wandstärke in cm,

p den größten Betriebsüberdruck in kg/qcm,

e den Durch-

messer eines Kreises, der den Rand der ebenen Fläche und die Mittellinien der Nietreihen der Versteifung berührt (Abb. 220).

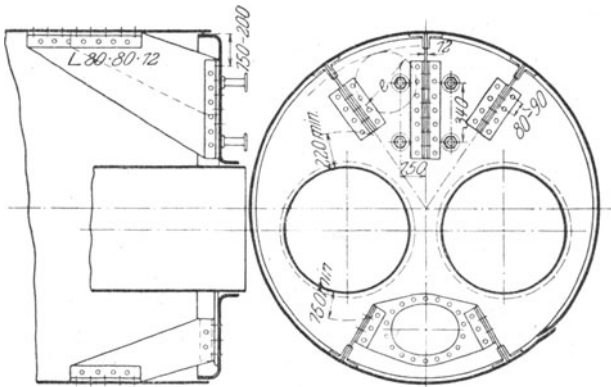


Abb. 220.

δ) Gekrempte flache Böden.

Die Wandstärke gekrempter flacher Böden (Abb. 221) kann man nach v. Bach berechnen nach der Formel:

$$(7) \quad s_2 = \sqrt{\frac{3}{8} \cdot \frac{p}{K_z} \left[d'_2 - r \left(1 + \frac{2r}{d'_2} \right) \right]},$$

worin bedeutet:

s_2 die Blechstärke in cm;

p den größten Betriebsüberdruck in kg für 1 qcm;

r den Wölbungshalbmesser der Krempe in cm;

d'_2 den inneren Durchmesser des Bodens in cm;

K_z die Zugfestigkeit des Bleches in kg für 1 qcm.

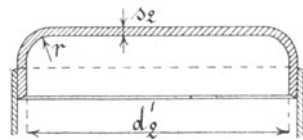


Abb. 221.

Bei Landdampfkesseln kann allgemein $K_z = 3600$ kg/qcm gesetzt werden, dann wird die Formel:

$$(8) \quad s_2 = \frac{1}{98} \left[d'_2 - r \left(1 + \frac{2r}{d'_2} \right) \right] \sqrt{p}.$$

ε) Rohrwände von Helzrohrkesseln.

Die außerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrwand müssen nach den für ebene Wandungen geltenden Bestimmungen verankert werden, falls die Größe der dem Dampfdruck ausgesetzten Fläche die Verankerung fordert.

Die innerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrwand sind wie folgt zu bemessen:

bei Verwendung besonderer Anker oder mit Gewinde eingesetzter Ankerrohre sind die Gleichungen (1), (2), (3) oder (4) anzuwenden. Die Rohre können in diesem Falle einfach

aufgewalzt sein, jedoch darf die Wandstärke der sicheren Befestigung der Rohre halber

bei Flußeisenplatten:

nicht unter $s = 5 + \frac{d}{8}$ für $d = 38$ bis etwa rund 100 mm,

bei Kupferplatten:

nicht unter $s = 10 + \frac{d}{5}$ für $d = 38$ bis etwa rund 75 mm

gewählt werden, worin d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm bedeutet; ferner muß der Mindestquerschnitt des Steges zwischen zwei Rohrlöchern betragen:

bei Flußeisen:

180 qmm für $d = 38$ mm,

zunehmend auf etwa das 2,5fache für $d =$ rund 100 mm,

bei Kupferplatten:

340 qmm für $d = 38$ mm,

zunehmend auf etwa das 2,5fache für $d =$ rund 75 mm.

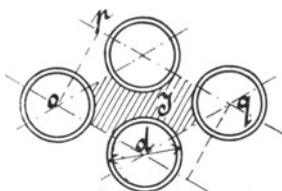


Abb. 222.

Bei nicht besonders verankerten Rohrwänden, deren Rohre jedoch beiderseits umgebördelt oder in kegelförmig sich nach außen erweiternden Löchern eingewalzt sind, ist Sicherheit gegen Herausziehen der Rohrenden zu erwarten, wenn die auf ein Zentimeter Rohrumfang entfallende Belastung:

$$(9) \quad \sigma = \frac{p \cdot \text{Fläche } J}{\pi d} \quad (\text{Abb. 222})$$

den Betrag von 25 kg nicht überschreitet, sachgemäße Ausführung vorausgesetzt.

Bei nicht besonders verankerten Rohrwänden, deren Rohre in zylindrischen Löchern glatt eingewalzt sind, ist bei einer Beanspruchung bis zu 7 at Betriebsüberdruck gleichfalls der Betrag $\sigma = 25$ als zulässig zu erachten. Bei höheren Dampfspannungen darf jedoch σ den Betrag von 15 kg nicht überschreiten.

Wenn σ diese Beträge überschreitet, bedarf es einer Berechnung des durch den Dampfdruck beanspruchten kleinen Feldes J nicht, sofern die in Ziffer a mit Rücksicht auf sichere Befestigung der Rohre geforderten Mindeststärken vorhanden sind.

In zweifelhaften Fällen kann dahingehende Prüfung durch die Gleichung

$$(10) \quad p = 360 \left(1 - 0,7 \frac{d}{e} \right) \left(\frac{s}{e} \right)^2 \cdot k_b$$

stattfinden. Hierin bedeuten:

s die Plattendicke in mm,

p den größten Betriebsüberdruck in at,

d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm,

e die Seite des quadratischen Feldes in mm, welches durch die vier unterstützenden Rohre gebildet wird, oder das arithmetische Mittel aus den Seiten des Rechtecks, welches durch die vier Rohre bestimmt erscheint

$$\left(\text{in Abb. 222 ist } e = \frac{op + pq}{2} \right),$$

k_b die eintretende Bieungsanstrengung des Bleches in kg/qmm, die bis zur Höhe $= \frac{\text{Zugfestigkeit}}{4,5}$ zulässig erscheint.

Wird die Beanspruchung nach Gleichung (10) zu groß oder überschreitet σ die vorgeschriebenen Werte, so sind Anker oder Ankerrohre anzuordnen.

Insbesondere sind Randrohre darauf zu prüfen, ob ihre Belastung innerhalb der als zulässig bezeichneten Grenzen bleibt; im verneinenden Falle ist ein Teil von ihnen nach Gleichung (1) als Ankerrohre auszubilden oder sonstige Verankerung anzuordnen.

Ist bei Feuerbüchsen die Decke nicht durch Anker oder in anderer Weise mit dem Kesselmantel verbunden, sondern durch Bügel- oder Deckenträger, welche auf den Rändern der Rohrplatten stehen, unterstützt, dann darf die Dicke der Rohrwand nicht geringer sein als

$$(11) \quad s = \frac{p \cdot w \cdot b}{1900(b - d)},$$

worin

w die äußere Weite der Feuerbüchse in mm,

b die Entfernung der Rohre voneinander, von Mitte zu Mitte gemessen, in mm,

d den inneren Durchmesser der Rohre in mm

bedeuten.

d) Gewölbte Böden.

α) Gewölbte Böden mit innerem Überdruck.

Es bezeichne:

s_3 die Blechstärke in cm;

p den größten Betriebsüberdruck in kg für 1 qcm;

R den Radius des inneren Wölbungskreises in cm;

k_2 die zulässige Belastung des Bleches in kg für 1 qcm, und zwar:

bis zu 500 kg für 1 qcm bei Schweißisen,

bis zu 650 kg für 1 qcm bei Flußeisen,

bis zu 400 kg für 1 qcm bei Kupfer, sofern die Temperatur desselben 200° C nicht überschreitet.

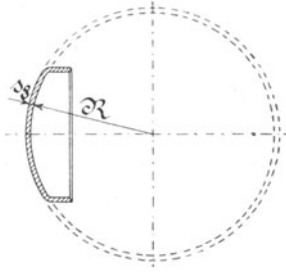


Abb. 223.

Bei gewölbten Böden mit Ein- oder Ausbuchtungen zur Befestigung der Flammrohre kann man mit k_z bis 750 kg gehen, wenn das Flammrohr in der Achsenrichtung ausreichend elastisch, der Temperaturunterschied zwischen Flammrohr und Mantel mäßig und der kleinste Abstand des Flammrohres von dem Mantel nicht zu knapp gewählt ist.

Wir denken uns den Boden zur Hohlkugel ergänzt (Abb. 223). Dann sind die durch den inneren Dampfdruck erzeugten, an den gegenüberliegenden Halbkugeln wirkenden Kräfte:

$$P = R^2 \pi p .$$

Die dem Zerreißen widerstrebende Kreisringfläche hat genau genug die Größe:

$$2 R \pi s_3 ,$$

und die Widerstandskraft ist:

$$2 R \pi s_3 k_s .$$

Es ergibt sich also die Gleichung:

$$2 R \pi s_3 k_s = R^2 \pi p$$

oder

$$s_3 = \frac{R \cdot p}{2 k_s} .$$

β) Gewölbte Böden mit äußerem Überdruck.

Bezeichnet

r den äußeren Halbmesser der mittleren Wölbung in mm,

s die Stärke des Bodens in mm,

p_0 die Flüssigkeitspressung in at, bei welcher die Einbeulung zu erwarten steht, so kann die durch

$$(1) \quad k_0 = \frac{1}{200} p_0 \frac{r}{s}$$

bestimmte Einbeulungsdruckspannung k_0 in kg/qmm aus der Gleichung

$$(2) \quad k_0 = A - B \sqrt{\frac{r}{s}}$$

ermittelt werden, worin:

für kugelförmige, stark gehämmerte Kupferböden, welche aus dem Ganzen bestehen,

$$A = 25,5$$

$$B = 1,2$$

für geglühte Flußeisenböden, welche aus dem Ganzen bestehen,

$$A = 26$$

$$B = 1,15$$

für Flußeisenböden, welche aus einzelnen Segmenten mit Überlappungsniertung hergestellt sind,

$$A = 24,5$$

$$B = 1,15$$

zu setzen ist.

Die aus Gleichung

$$k = \frac{1}{200} \cdot p \cdot \frac{r}{s},$$

für den größten Betriebsdruck p at errechneten Werte von k sind bis zu folgenden Höchstwerten als zulässig anzusehen:

gegenüber Druck:

für gehämmertes Kupfer bis 4 kg/qmm, sofern die Temperatur 200° C nicht überschreitet,

für geglühtes Flußeisen bis 6,5 kg/qmm;

gegenüber Einbeulung:

bis 0,4 k_0 für beide Baustoffe

unter Bestimmung von k_0 aus Gleichung (2).

Wenn also der Boden gegen Einbeulung gesichert sein soll, so muß

$$k = \frac{1}{200} p \frac{r}{s} = 0,4 k_0 = 0,4 \left(A - B \sqrt{\frac{r}{s}} \right)$$

sein. Es ergibt sich dann

$$s = \frac{1}{2} r \frac{0,025 A p + B^2 + B \sqrt{0,05 A p + B^2}}{A^2}.$$

B. Nietverbindungen.

Alle Niete werden warm eingezogen. Da die warm eingezogenen Niete sich beim Erkalten zusammenziehen, können sie das Nietloch nicht ausfüllen, jedenfalls aber nicht mit Spannung an der Wand anliegen. Eine Inanspruchnahme solcher Niete auf Abscherung ist daher ausgeschlossen. Die Nietverbindung kann nur dadurch halten, daß durch das Zusammenziehen des Nietschaftes beim Erkalten die Bleche fest aufeinandergedrückt werden, wodurch ein bedeutender Reibungswiderstand entsteht, der noch dadurch unterstützt wird, daß die Unebenheiten der Bleche sich fest ineinander setzen.

Früher wurde stets nur mit der Abscherungsfestigkeit gerechnet. In den neuen Bauvorschriften für Dampfkessel vom 17. Dezember 1908¹⁾ wird aber auch auf den Gleitungswiderstand der Nietverbindungen Rücksicht genommen. Es heißt dort:

„Die Nietnähte sollen stets so ausgeführt werden, daß der erforderliche Widerstand gegen Gleiten vorhanden ist und daß die Widerstands-

¹⁾ Vgl. Anmerkung auf S. 161.

fähigkeit der Niete gegen Abscheren sich nicht geringer ergibt als die in Rechnung zu ziehende Festigkeit des Bleches in der Nietnaht. Hierbei darf die Belastung eines Nietes durch die Scherkraft auf 1 qmm Nietquerschnitt höchstens 7 kg/qmm betragen, sofern keine höhere Zugfestigkeit des Nieteisens als 38 kg/qmm nachgewiesen wird.

Trifft diese Voraussetzung zu, so kann der für eine Belastung mit 7 kg/qmm berechnete Nietdurchmesser mit der Wurzel aus dem Quotienten, der sich aus der Zahl 38 und der nachgewiesenen Festigkeit ergibt, multipliziert werden.“

Danach muß also noch mit dem Güteverhältnis φ der Nietnaht, d. i. das Verhältnis der Festigkeit des durch die Nietlöcher geschwächten Bleches zur Festigkeit des vollen Bleches,

$$\varphi = \frac{t - \delta}{t}$$

gerechnet werden.

Eigentlich brauchte man bei warm eingezogenen Nieten nicht mehr mit diesem Güteverhältnis zu rechnen, da die Schwächung des Bleches hier meist nicht in Betracht kommt. Bei einer einreihigen Überlappungsnietung wird bis Mitte der Nietreihe z. B. schon etwa die Hälfte der durch die Nietreihe zu übertragenden Kraft von einem Bleche zum anderen übertragen. Die übrigbleibende Hälfte der Kraft kann bei den üblichen Nietteilungen durch den Blechquerschnitt in der Nietreihe (zwischen den Nietlöchern) stets übertragen werden. Wenn man also, wie es üblich, rechnet, daß durch den Blechquerschnitt in der Nietreihe die ganze Kraft hindurchgehen muß, so hat man sehr sicher gerechnet. Wir wollen auch hier den Bauvorschriften vom 17. Dezember 1908 entsprechend rechnen, können uns aber die Rechnung dadurch erleichtern, daß wir für die einzelnen Vernietungsarten vorher mittlere Güteverhältnisse im allgemeinen festsetzen. Weicht dann später in Wirklichkeit das Güteverhältnis einer festgelegten Naht von dem vorher im allgemeinen festgesetzten etwas ab, so hat das nach obigem eine so geringe Bedeutung, daß eine nochmalige Rechnung nicht erforderlich ist.

Es bezeichne:

- s die Blechstärke in cm;
- s_0 die Laschenstärke in cm;
- δ die Nietstärke in cm;
- t die Teilung in cm, d. h. den Abstand der Mitten zweier Niete;
- e die Entfernung der Nietreihe vom Blechrande;
- e_1 die Entfernung der Nietreihen voneinander bei mehrreihigen Nietungen;
- φ das Güteverhältnis der Nietnaht, d. i. das Verhältnis der Festigkeit der Nietnaht zur Festigkeit des vollen Bleches;

n die Anzahl der auf eine Teilung entfallenden Nietquer-
schnitte;

Wg der Gleitwiderstand oder die Kraft in kg, mit der 1 qcm
Nietquerschnitt belastet werden darf.

a) Überlappungsnetzung.

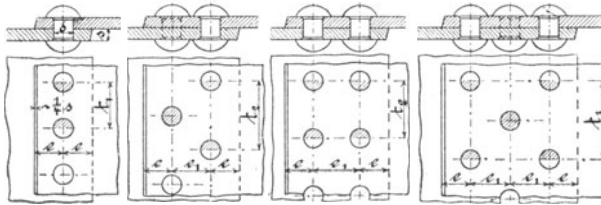


Abb. 224.

Abb. 225.

Abb. 226.

Abb. 227.

Passende Werte ergeben folgende Formeln¹⁾:

$$d = \sqrt{5s} - 0,4 \text{ cm},$$

oder genau genug

$$d = s + 0,8 \text{ cm}^2)$$

$$e = 1,5 d.$$

α) Einreihige Nietung (Abb. 224).

$$t_1 = 2 d + 0,8 \text{ cm}$$

$$\varphi = 0,56$$

$$n = 1$$

$$Wg = 600 \text{ bis } 700 \text{ kg.}$$

β) Zweireihige Nietung.

Zickzacknietung nach Abb. 225.

Parallelnietung nach Abb. 226³⁾.

$$t_2 = 2,6 d + 1,5 \text{ cm}$$

$$t_2 = 2,6 d + 1 \text{ cm}$$

$$e_1 = 0,6 t_2$$

$$e_1 = 0,8 t_2$$

$$\varphi = 0,70$$

$$\varphi = 0,67$$

$$n = 2$$

$$Wg = 550 \text{ bis } 650 \text{ kg.}$$

¹⁾ Nach C. v. Bach, Maschinenelemente.

²⁾ Über die Wahl des Nietdurchmessers ist noch zu sagen, daß man sich natürlich nach dem in der Fabrik vorhandenen Lager der Niete richten muß. Kleine Kesselschmieden haben häufig nur wenige Nietenarten, wie z. B. 16, 20, 23, 26 mm usw., größere Fabriken haben alle Nieten von 2 zu 2 mm steigend und noch andere alle Nieten von 1 zu 1 mm steigend vorrätig. Mit der Hand können nur Niete bis 26, höchstens 27 mm Durchmesser gut genietet werden.

³⁾ Wenig gebräuchlich.

γ) Dreireihige Nietung (Abb. 227).

$$t_3 = 3 \delta + 2,2 \text{ cm}$$

$$e_1 = 0,5 t_3$$

$$\varphi = 0,75$$

$$n = 3$$

$$Wg = 500 \text{ bis } 600 \text{ kg.}$$

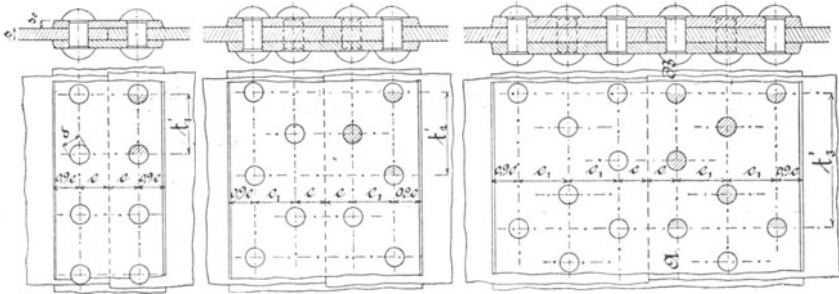
b) Doppelaschennietung.

Abb. 228.

Abb. 229.

Abb. 230.

α) Einreihige Nietung (Abb. 228).

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,5 \text{ cm,}$$

oder meistens genau genug:

$$\delta = s + 0,7 \text{ cm}$$

$$t_1 = 2,6 \delta + 1 \text{ cm.}$$

Für die Laschenstärke würde $s_0 = \frac{s}{2}$ genügen, es soll jedoch wegen leichteren Verstemmens genommen werden:

$$s_0 = \frac{2}{3} s ;$$

ferner ist:

$$\varphi = 0,67$$

$$n = 2$$

$$Wg = 500 \text{ bis } 600 \text{ kg.}$$

β) Zweireihige Nietung (Abb. 229).

oder genau genug:

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,6 \text{ cm,}$$

$$\delta = s + 0,6 \text{ cm}$$

$$t_2 = 3,5 \delta + 1,5 \text{ cm}$$

$$e_1 = 0,5 t_2$$

$$s_0 = \frac{2}{3} s$$

$$n = 4$$

$$\varphi = 0,75$$

$$Wg = 475 \text{ bis } 575 \text{ kg.}$$

γ) Dreireihige Nietung (Abb. 230).

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,7 \text{ cm,}$$

oder meistens genau genug:

$$\delta = s + 0,5 \text{ cm}$$

$$t_3 = 6\delta + 2 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{3}{8} t_3.$$

In bezug auf die Laschenstärke ist folgendes zu beachten: Wenn der Querschnitt der beiden Laschen in der inneren Nietreihe *AB* (Abb. 230) $\frac{3}{4}$ mal so groß sein soll, wie der Querschnitt des Bleches in der äußersten Nietreihe, so muß sein:

$$2(t_3 - 2\delta)s_0 = \frac{3}{4}(t_3 - \delta)s$$

$$2(6\delta + 2 - 2\delta)s_0 = \frac{3}{4}(6\delta + 2 - \delta)s$$

$$(8\delta + 4)s_0 = (6,25\delta + 2,5)s$$

$$s_0 = \frac{6,25\delta + 2,5}{8\delta + 4} \cdot s.$$

$$\text{Für } \delta = 2,2 \text{ cm wird } s_0 = 0,75 s,$$

$$\text{für } \delta = 3,5 \text{ cm wird } s_0 = 0,78 s.$$

Es wird daher immer genügen, wenn man nimmt:

$$s_0 = 0,8 s.$$

Ferner ist:

$$n = 10$$

$$\varphi = 0,85$$

$$Wg = 450 \text{ bis } 550 \text{ kg.}$$

Damit die Laschen gut verstemmt werden können, darf jedoch die Teilung nicht größer als $8s_0$ sein. Wird die Teilung größer, so muß man die Laschen entweder ausschweifen (Abb. 231, linke Seite), was aber teuer ist, oder man macht die äußere

Lasche so schmal, daß sie nur die beiden inneren Nietreihen faßt (Abb. 231, rechte Seite), dann kann man diese schmalere Lasche immer

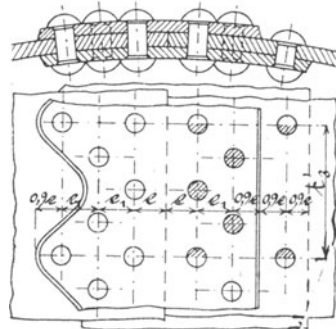


Abb. 231.

verstemmen. Im letzteren Falle wird $n = 9$ gegen 10 im ersten Falle, was nicht viel ausmacht.

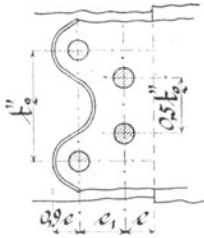


Abb. 232.

Zuweilen wird auch die zweireihige Doppellängsnaht, wie in Abb. 232 angegeben, ausgeführt. Es ist dann:

$$\delta = s + 0,6 \text{ cm}$$

$$t_2'' = 5 \delta + 1,5 \text{ cm}$$

$$e_1 = 0,4 t_2''$$

$$s_0 = 0,8 s$$

$$n = 6$$

$$\varphi = 0,82$$

$$Wg = 475 \text{ bis } 575 \text{ kg.}$$

c) Der Rechnungsgang bei der Bestimmung der Nietnähte kann nun folgender sein:

Es wird nach der Formel

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \varphi}{2 K_x} + 0,1$$

die Blechstärke bestimmt, dann unter Annahme einer bestimmten Längsnietung die Nietstärke δ , der Nietquerschnitt $\frac{\delta^2 \pi}{4}$, die Teilung t für die Längsnaht berechnet und dann untersucht, ob die Belastung eines qcm des Nietquerschnittes nicht zu groß ausfällt. Darauf werden die übrigen Verhältnisse der Längsnaht und der Quernaht festgelegt, auch nachgesehen, ob die Quernaht in bezug auf Gleitwiderstand nicht zu stark belastet ist.

Die Belastung eines qcm des Nietquerschnittes bestimmt sich wie folgt:

Längsnaht. Mit Bezug auf Abb. 216 ist, wenn man t an Stelle von l setzt, die auf der Länge der Teilung t auf den Halbzylinder wirkende Kraft:

$$P = d \cdot t \cdot p.$$

Diese Kraft verteilt sich auf zwei Querschnitte $s \cdot t$, auf einen kommt also die Kraft:

$$\frac{P}{2} = \frac{d \cdot t \cdot p}{2}$$

Auf einen Nietquerschnitt kommt die Kraft:

$$\frac{d \cdot t \cdot p}{2 \cdot n}$$

auf 1 qcm Nietquerschnitt aber die Kraft:

$$Q = \frac{d \cdot t \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}}$$

Diese Kraft darf höchstens gleich dem Gleitwiderstande Wg sein.
 Quernaht: Mit Bezug auf Abb. 217 ist die axial im Mantel wirkende Kraft:

$$P_1 = \frac{d^2 \pi}{4} p .$$

Auf 1 cm am Umfange kommt die Kraft $\frac{P_1}{d\pi}$, auf t cm des Umfanges aber:

$$\frac{P_1}{d\pi} t = \frac{d^2 \pi t p}{4 d \pi} = \frac{d \cdot t \cdot p}{4} .$$

Die Kraft für einen Nietquerschnitt ist:

$$\frac{d \cdot t \cdot p}{4 n}$$

und die Kraft für 1 qcm Nietquerschnitt:

$$Q_1 = \frac{d \cdot t \cdot p}{4 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} .$$

Ist bei einem Beispiel die Kraft zu groß, so kann man sich häufig dadurch helfen, daß man die Niete 1 oder 2 mm stärker nimmt. Ist die Belastung Q nur wenig größer als zulässig, so kann man bei Vergrößerung von δ auch t größer machen.

Beispiel 1: Es sei der Durchmesser eines Kessels $d = 160$ cm, der Überdruck $p = 8$ at. Das zur Verfügung stehende Flußeisenblech habe eine Festigkeit von $K_z = 3600$ kg pro qcm. Es werde für die Längsnaht eine mit Hand genietete zweireihige Überlappungsnaht angenommen,

Dann ist:

$$s = \frac{160 \cdot 8 \cdot 4,75}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 1,307 \text{ cm},$$

dafür

$$s = 1,3 \text{ cm}.$$

Dann wird:

$$\delta = 1,3 + 0,8 = 2,1 \text{ cm}, \quad \text{dafür} \quad \delta = 2,2 \text{ cm}; \quad \frac{\delta^2 \pi}{4} = 3,8 \text{ qcm};$$

$$t_2 = 2,6 \cdot 2,2 + 1,5 = 7,2 \text{ cm};$$

$$Q = \frac{d \cdot t_2 \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{160 \cdot 7,2 \cdot 8}{2 \cdot 2 \cdot 3,8} = 607 \text{ kg}.$$

Es genügt das, da die Verbindung gegen Gleiten genügend gesichert ist, wenn auf 1 qcm Nietquerschnitt nicht mehr als 650 kg Belastung kommt.

Beispiel 2: Es sei $d = 210$ cm; $p = 8$ at Überdruck. Dann ist bei einer Festigkeit des Bleches von 3600 kg/qcm und bei Annahme einer mit der Nietmaschine ausgeführten zweireihigen Überlappungsnietsung in der Längsnaht:

$$s = \frac{210 \cdot 8 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 1,6 \text{ cm,}$$

$$\delta = 1,6 + 0,8 = 2,4 \text{ cm; } \frac{\delta^2 \pi}{4} = 4,52 \text{ qcm;}$$

$$t_2 = 2,6 \cdot 2,4 + 1,5 = 7,74 = \sim 7,7 \text{ cm;}$$

$$Q = \frac{210 \cdot 7,7 \cdot 8}{2 \cdot 2 \cdot 4,52} = 715 \text{ kg,}$$

also zuviel, da höchstens $Q = 650$ kg zulässig ist.

Wir könnten nun eine dreireihige Überlappungsnaht annehmen. Es wird dann:

$$s = \frac{210 \cdot 8 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,75} + 0,1 = 1,5 \text{ cm; } \delta = 1,5 + 0,8 = 2,3 \text{ cm.}$$

Angenommen, das in der Kesselschmiede vorhandene zunächstliegende Niet habe einen Durchmesser $\delta = 2,4$ cm, so wird:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 4,52 \text{ qcm; } t_3 = 3 \cdot 2,4 + 2,2 = 9,4 \text{ cm;}$$

$$Q = \frac{210 \cdot 8 \cdot 9,4}{2 \cdot 3 \cdot 4,52} = 583 \text{ kg.}$$

Das ist zulässig. Für das Güteverhältnis der Nietnaht ergibt sich dann:

$$\varphi = \frac{t_3 - \delta}{t_3} = \frac{9,4 - 2,4}{9,4} = 0,745 ,$$

das ist angenähert der angenommene Wert.

Man könnte nun auch eine zweireihige Doppellaschennietsung anwenden.

Es ist dann:

$$s = \frac{210 \cdot 8 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 0,75} + 0,1 = 1,345 = \sim 1,4 \text{ cm;}$$

$$\delta = 1,4 + 0,6 = 2,0 \text{ cm; } \frac{\delta^2 \pi}{4} = 3,14 \text{ qcm;}$$

$$t'_2 = 3,5 \cdot 2 + 1,5 = 8,5 \text{ cm;}$$

$$Q = \frac{210 \cdot 8,5 \cdot 8}{2 \cdot 4 \cdot 3,14} = 568 \text{ kg.}$$

Das ist zulässig.

Die Laschenstärke wird:

$$s_0 = \frac{2}{3} 1,4 = 0,934 = \infty 1 \text{ cm.}$$

Wegen des Verstemmens darf t'_2 höchstens gleich $8 s_0$ sein. Es ist aber $t'_2 = 8,5 \text{ cm}$ und $8 s_0 = 8 \text{ cm}$. Hier kann man sich helfen, indem man $s_0 = 1,1 \text{ cm}$ macht, also $8 s_0 = 8,8 \text{ cm}$ bekommt.

Nehmen wir bei Anwendung einer zweireihigen Laschennietung als Längsnaht eine einreihige Überlappungsnaht als Quernaht, so wird:

$$t_1 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8 \text{ cm;}$$

$$Q_1 = \frac{d \cdot t_1 \cdot p}{4 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{210 \cdot 4,8 \cdot 8}{4 \cdot 1 \cdot 3,14} = 642 \text{ kg.}$$

Das ist reichlich wenig:

Beispiel 3: Es sei $d = 220 \text{ cm}$; $p = 13 \text{ at}$.

Dann ist bei einer Festigkeit des Bleches von $K_z = 3600 \text{ kg}$ für 1 qcm und bei Annahme einer dreireihigen mit Nietmaschine genieteten Laschennietung

$$s = \frac{220 \cdot 13 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 0,85} + 0,1 = 1,97 \text{ cm} = \infty 2 \text{ cm;}$$

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,7 = 3,16 - 0,7 = 2,46 = \infty 2,5 \text{ cm.}$$

Dasselbe erhält man aus $\delta = s + 0,5 = 2 + 0,5 = 2,5 \text{ cm}$. Nehmen wir an, das nächstliegende auf Lager vorhandene Niet habe den Durchmesser $2,6 \text{ cm}$, so nehmen wir $\delta = 2,6 \text{ cm}$. Dann ist:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 5,31 \text{ qcm; } t'_3 = 6 \cdot 2,6 + 2 = 17,6 \text{ cm;}$$

$$Q = \frac{220 \cdot 17,6 \cdot 13}{2 \cdot 10 \cdot 5,31} = 473 \text{ kg,}$$

während bis 550 kg gestattet ist.

Die Laschenstärke wird: $s_0 = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ cm}$. t'_3 dürfte aber höchstens gleich $8 s_0 = 12,8 \text{ cm}$ sein, während es $17,6 \text{ cm}$ beträgt. Es müssen daher die Laschen ausgeschnitten werden, wie in Abb. 231 links angegeben ist, oder die äußere Lasche muß, wie in Abb. 231 rechts angegeben, so schmal gemacht werden, daß sie nur zwei Nietreihen faßt. In letzterem Falle ist:

$$n = 9$$

und

$$Q = \frac{220 \cdot 17,6 \cdot 13}{2 \cdot 9 \cdot 5,31} = 526 \text{ kg,}$$

also nicht zuviel.

Hier wird:

$$\varphi = \frac{17,6 - 2,6}{17,6} = 0,853 ,$$

was mit der Annahme 0,85 sehr gut übereinstimmt.

Als Quernaht genügt eine einreihige Naht nicht. Es muß eine zweireihige Überlappungsnaht gewählt werden. Hierfür ist:

$$t_2 = 2,6 \cdot 2,6 + 1,5 \text{ cm} = 8,25 \text{ cm,}$$

$$Q_1 = \frac{220 \cdot 8,25 \cdot 13}{4 \cdot 2 \cdot 5,31} = 555 \text{ kg,}$$

was nicht zuviel ist.

C. Schweißungen.

Zuweilen werden Schweißnähte statt Nietnähte angewandt. Jedoch ist die Beurteilung ihrer richtigen und guten Ausführung eine schwierige, daher sind die Schweißungen im allgemeinen nicht so zuverlässig wie die Vernietungen. Als Güteverhältnis guter Schweißnähte rechnet man $\varphi = 0,70$. Bei Zylindern, die von außen gedrückt werden, kommt die Unzuverlässigkeit der Schweißnähte weniger in Betracht, deshalb kann man sie bei Flammrohren sehr gut anwenden. Hier nimmt man mit Vorliebe Längsschweißnähte, weil man bei ihrer Anwendung das Rohr leicht rund bekommen kann. Bei innerem Drucke schweißt man hauptsächlich nur dann, wenn die Naht schwer zu nieten oder zu verstemmen ist. So werden häufig Vorköpfe, Dome, Verbindungsstutzen und Wasserkammern geschweißt. Jedes geschweißte Stück ist, wenn irgend möglich, gut auszulühen.

D. Verschraubungen.

Schrauben werden im Kesselbau nur angewandt, wo Teile zeitweise gelöst werden müssen, wie zur Bodenbefestigung beim Lokomobilkessel mit ausziehbarem Rchrbündel, oder bei Ankern, oder wenn ein Nieten vollständig unmöglich ist.

Als Dichtungsmaterial benutzt man bei Teilen, die von den Feuer gasen bestrichen werden, Asbest oder Kupfer, sonst vorteilhaft Gummi mit einer Einlage von Messingdrahtgewebe.

Berechnung der Schrauben: Es bezeichne:

P den Gesamtdruck auf die gedrückte Fläche in kg;

p den auf einen Schraubenkern entfallenden Teil des Gesamtdruckes P in kg;

k_z die Beanspruchung des Schraubenkernes in kg für das qcm;

d_1 den Durchmesser des Schraubenkernes in cm. Dann muß sein:

$$p = \frac{d_1^2 \pi}{4} k_z$$

oder

$$k_z = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{p}{d_1^2} = 1,27 \frac{p}{d_1^2};$$

daraus wird:

$$d_1 = 1,13 \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{k_z}}.$$

Nun nehme man, gleichviel, ob die Schrauben aus Schweißisen oder aus Flußisen hergestellt sind:

1. bei guten Schrauben, guter Bearbeitung der Flächen und bei weichem Dichtungsmateriale $k_z = \sim 628$ kg also:

$$d_1 = \frac{1,13}{\sqrt{628}} \cdot \sqrt{p} = 0,045 \sqrt{p}$$

und füge noch die Konstante 0,5 cm hinzu, so daß

$$(1) \quad d_1 = 0,045 \sqrt{p} + 0,5 \text{ cm}$$

wird;

2. wenn den unter 1. genannten Anforderungen weniger vollkommen entsprochen ist, $k_z = \sim 380$ kg, also:

$$d_1 = \frac{1,13}{\sqrt{380}} \cdot \sqrt{p} + 0,5 \text{ cm,}$$

also:

$$(2) \quad d_1 = 0,055 \sqrt{p} + 0,5 \text{ cm.}$$

Wird der Nachweis geliefert, daß das Schraubenmaterial den in den Materialvorschriften für Landdampfkessel für das Nieten aufgestellten Anforderungen genügt, so kann der Koeffizient in Gleichung (1) bis auf 0,04 vermindert werden.

Die Gleichungen (1) und (2) liefern bei ihrer Anwendung auf das Whitworthsche System:

Äußerer Durchmesser der Schraube engl. "	mm	Kern- mm	Zulässige Belastung der Schraube		
			Koeffizient 0,04	Koeffizient 0,045	Koeffizient 0,055
1/2	12,70	9,98	155 kg	122,5 kg	82 kg
5/8	15,88	12,93	393	310	208
3/4	19,05	15,80	729 "	576 "	386 "
7/8	21,23	18,62	1 159 "	916 "	613 "
1	25,40	21,34	1 669 "	1 318 "	883 "
1 1/8	28,57	23,93	2 440 "	1 770 "	1 185 "
1 1/4	31,75	27,10	3 053 "	2 412 "	1 614 "
1 3/8	34,92	29,51	3 755 "	2 967 "	1 986 "
1 1/2	38,10	32,69	4 792 "	3 786 "	2 535 "
1 5/8	41,27	34,77	5 539 "	4 377 "	2 930 "
1 3/4	44,45	37,95	6 785 "	5 361 "	3 589 "
1 7/8	47,62	40,41	7 837 "	6 192 "	4 145 "
2	50,80	43,59	9 308 "	7 355 "	4 922 "
2 1/4	57,15	49,02	12 111 "	9 569 "	6 406 "
2 1/2	63,50	55,37	15 857 "	12 528 "	8 387 "
2 3/4	69,85	60,55	19 286 "	15 237 "	10 201 "
3	76,20	66,90	23 947 "	18 923 "	12 667 "

Schrauben aus Flußeisen sollen kein scharfes, sondern möglichst abgerundetes Gewinde erhalten.

Bei Berechnung der Flanschschauben, sofern deren mehrere in unter sich gleichen Abständen zur Befestigung rechteckiger oder elliptischer Flächen verwendet werden, kann man annehmen, daß, wenn r den geringsten Abstand der Schrauben vom Schwerpunkte der gedrückten Fläche in cm,

t die Schraubenteilung in cm bezeichnet,

die am stärksten belastete Schraube den Druck

$$p = \frac{P \cdot t}{2 \pi r}$$

erhält.

Wenn Biegungsspannungen zu befürchten sind, wie namentlich bei unbearbeiteten Flächen, Durchbiegen der Flanschen, einseitig liegenden Dichtungen usw., so ist diesen bei der Bemessung der Schrauben besonders Rechnung zu tragen.

Die Flanschen sind so stark zu machen, daß sie der Biegungsbeanspruchung, sowie auch dem Durchbiegen sicher widerstehen können.

Schwächere Schrauben als solche von 16 mm äußerem Durchmesser sind tunlichst zu vermeiden; Schrauben von unter 13 mm äußerem Durchmesser sind nicht zulässig.

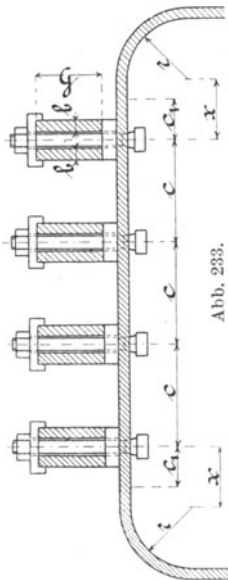
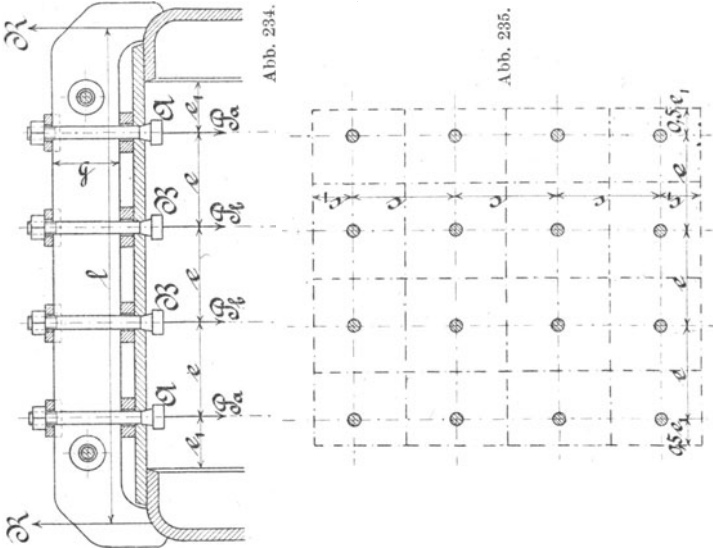
Bei Anker und Stehbolzen nehme man höchstens folgende Beanspruchungen:

350 kg/qcm bei geschweißten	Anker und Stehbolzen aus Schweiß Eisen,
500 " " ungeschweißten	" " " " " "
600 " " " "	" " " " " " Flußeisen,
300 " " Anker u. Stehbolzen aus Kupfer	für Dampftemperaturen bis 200° C.

Es empfiehlt sich, die mit Muttern versehenen Längsanker mit Gewinde in die Stirnplatten oder Rohrplatten einzuschrauben, außerdem nicht nur außen, sondern auch innen mit Unterlegscheiben und mit Muttern zu versehen. Die Ankerröhren sind mit Gewinde einzuziehen und aufzuwalzen.

Bei der Versteifung feuerberührter ebener Flächen durch Stehbolzen sollte der Stehbolzenabstand im allgemeinen nicht größer als 200 mm sein.

E. Bügel- oder Deckenträger für Feuerbüchdecken.



a) Landkessel.

Die freitragenden, nicht aufgehängten Träger sind wie ein Balken zu berechnen, der auf die Entfernung l (Abb. 234) frei aufliegt und an den Stützstellen der Decke durch die Kräfte belastet wird, welche sich für die auf ihn entfallenden Deckenfelder (Abb. 235) ergeben.

Dabei ist die Tragfähigkeit des Deckenblechs an sich außer Betracht zu lassen. Die Abmessung c_1 bestimmt die Erstreckung desjenigen Teiles der Decke, welcher nach dem Rande zu seine Belastung auf den Randträger absetzt; im Durchschnitt c_1 etwa $= \frac{2}{3} x$.

Unter den in Abb. 243 bis 245 angenommenen Verhältnissen ergibt sich mit p als größtem Betriebsdruck bei den beiden Randträgern für die die Stellen A belastende Kraft

$$P_a = \left(c_1 + \frac{c}{2}\right) \left(\frac{e_1}{2} + \frac{e}{2}\right) p,$$

für die die Stellen B belastende Kraft

$$P_b = \left(c_1 + \frac{c}{2}\right) e p,$$

bei den beiden Mittelträgern:

für die die Stellen A belastende Kraft

$$P_a = c \left(\frac{e_1}{2} + \frac{e}{2}\right) p,$$

für die die Stellen B belastende Kraft

$$P_b = c \cdot e p,$$

die Auflagerkraft an den Trägern:

$$R = P_a + P_b,$$

das größte biegende Moment im Querschnitt bei B und in den Querschnitten zwischen BB

$$M_b = R \left(\frac{l}{2} - \frac{e}{2}\right) - P_a \cdot e,$$

und somit in

$$M_b \leq \frac{J}{e} k_b$$

die Gleichung zur Berechnung des Trägerquerschnittes, worin bedeutet:

J dessen Trägheitsmoment,

e' den Abstand der am stärksten beanspruchten Faser von der Nullachse,

für rechteckigen Querschnitt, wie in Abb. 243 angenommen, ist

$$\frac{J}{e'} = \frac{1}{6} 2b \cdot h^2 = \frac{1}{3} b h^2,$$

k_b die zulässige Biegungsanstrengung, welche für zähe Baustoffe (Schweißeisen, Flußeisen, Flußstahl, Stahlguß) zu einem Viertel der Zugfestigkeit in Rechnung gestellt werden darf. Im Falle ein Nachweis der Zugfestigkeit nicht vorliegt, kann für die genannten Baustoffe $k_b = 900 \text{ kg/qcm}$ eingeführt werden.

Werden die Deckenträger aufgehängt, so sind dieselben den veränderten Belastungsverhältnissen entsprechend zu berechnen.

b) Schiffskessel.

Die Träger für die flachen Feuerkammerdecken werden, wenn sie aus Flußeisen bestehen, nach der folgenden Formel bestimmt:

$$b = \frac{p \cdot c \cdot e \cdot l}{k \cdot h^2},$$

worin

- b die Gesamtdicke des Trägers in mm,
 p den größten Betriebsüberdruck in at,
 c die Entfernung der Träger voneinander in mm,
 e die Entfernung der Stehbolzen voneinander im Träger in mm,
 l die innere Weite der Feuerkammer, in der Längsrichtung der Träger gemessen, in mm,
 h die Höhe des Trägers in mm,
 $k = 480$ bei einem Stehbolzen in jedem Träger,
 $= 360$ „ zwei „ „ „ „ „
 $= 240$ „ drei „ „ „ „ „
 $= 200$ „ vier „ „ „ „ „
 $= 160$ „ fünf „ „ „ „ „
 $= 140$ „ sechs „ „ „ „ „

bedeuten.

Die Stehbolzen werden hierbei als über die ganze Länge l gleichmäßig verteilt angenommen.

Die Randträger sind möglichst nahe dem Krümmungsmittelpunkt des Randes anzuordnen.

Werden die Deckenträger aus Schweißeisen hergestellt, so sind die nach obiger Formel berechneten Blechdicken b um 10% zu vergrößern.

Die Träger sind mit ihren Enden auf die senkrechten Wandungen der Feuerkammer aufzupassen und müssen etwa 40 mm über der Decke frei liegen.

Werden die Deckenträger aufgehängt, so sind sie den veränderten Belastungsverhältnissen entsprechend zu berechnen.

F. Schlußbemerkung.

Ist es gegebenenfalls nicht möglich, auf dem Wege der Rechnung die Widerstandsfähigkeit eines Kessels oder einzelner Teile desselben festzustellen, so ist der Weg des Versuchs zu beschreiten.

Die Druckprobe wird in solchen Fällen zur Festigkeitsprobe und ist dann mit dem zweifachen Betrage des beabsichtigten Betriebsüberdrucks auszuführen.

25. Verbindung einzelner Kesselteile.

A. Boden mit Mantel.

Die Verbindung wird gewöhnlich nach Abb. 236 ausgeführt. Dabei ist der innere Halbmesser der Krempe — r — gleich dem 1,5 bis 2fachen der Bodenstärke. Setzt man den Boden mit der Krempe nach außen ein, so erzielt man den Vorteil, daß sich die Nietung bequem maschinell ausführen läßt. Derartig ausgeführte Verbindungen kann man jedoch nur anwenden, wenn die Mäntel wie z. B. bei Lokomotiven, Lokomobilen



Abb. 236.

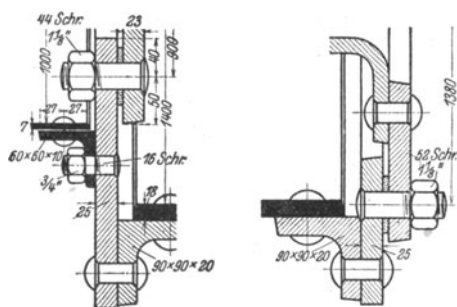


Abb. 237 u. 238.

und Schiffskesseln nicht beheizt werden; im allgemeinen bringen aber die nach außen gekehrten Krempen so viele Mängel mit sich — unvorteilhafte Beanspruchung des Bodens, Behinderung bei der Anbringung von Ausrüstungsstücken am vorderen Boden, schwierige Reinigung der dabei im Kessellinnern zwischen Boden und Mantel entstehenden Fuge —, daß man sie nur vereinzelt anwendet. — Bei ausziehbaren Kesseln werden noch Winkelringe (vgl. Abb. 237, 238) zwischen Mantel und Boden eingietet, was früher zur Verbindung ebener Böden mit den Kesselmänteln allgemein geschah.

B. Boden mit Flammrohr.

Abb. 239. Das Flammrohr wird durch die Aushalsung des vorderen Bodens nach außen hindurchgeführt, dabei:

$$d = s_1 + 0,8 \text{ cm}; \quad e = 1,5 \cdot d; \quad r \geq 1,5 s_2.$$

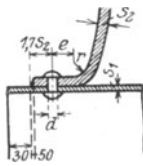


Abb. 239.

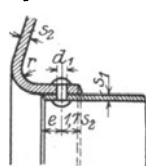


Abb. 240.

Abb. 240. Das Flammrohr wird in die Ein Halsung des Bodens eingietet. d_1, e, r wie oben. Diese Verbindung läßt sich sowohl am vorderen wie auch am hinteren Boden benutzen, sie ist besonders bei Wellrohren vorteilhaft, da dann das ver-

hältnismäßig dünne Wellrohrblech gegen das steife Bodenblech gut verstemmt werden kann.

Früher wurde vielfach an den letzten Flammrohrschuß ein Flansch angebördelt und an den Boden angenietet (vgl. Abb. 238).

C. Dom mit Mantel.

Der Dommantel wird unten mit einer Krempe versehen, die auf den Kesselmantel aufgepaßt wird. Dazu wird die Längsnaht des ersteren, soweit sie in der Krempe liegt, fast immer geschweißt, ferner wird die Blechstärke des Dommantels größer gewählt als es die Festigkeitsrechnung ergibt, und zwar für einen Domdurchmesser von 0,7 m etwa 10 bis 12 mm, für einen solchen von 0,8 m $12 \div 14$ mm und für 0,9 m Durchmesser $14 \div 16$ mm starkes Blech. Die Nietung, mit welcher man die Domkrempe auf dem Kesselmantel befestigt, wird bei Kesseldrucken von 8 at an zweireihig ausgeführt. — Dasselbe gilt sinngemäß auch für die Verbindungsstutzen zwischen zylindrischen Kesseln. Sie erhalten 0,4 \div 0,5 m Durchmesser und $10 \div 12$ mm Blechstärke.

D. Feuerbuchse mit Mantel.

Bei Lokomotivkesseln wird die innere Feuerbuchse mit der äußeren mittels eines dazwischengelegten schmiedeeisernen Ringes und zweireihiger Nietung verbunden (vgl. Taf. X, Fig. 1 und 4). Ähnliche Ausführungen finden sich auch bei stehenden Feuerbuchs- und bei Lokomobilkesseln, bei beiden aber außerdem noch die in Abb. 241 und 242 dargestellten u. a. m.

Abb. 241. Die Feuerbuchse legt sich durch zweifache Kröpfung an den Kesselmantel an. Häufig wird dabei zwischen Feuerbuchse und Mantel noch ein Flacheisenring mit eingienietet.

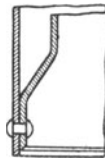


Abb. 241.

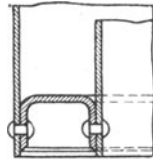


Abb. 242.

Abb. 242. Die Verbindung erfolgt mittels eines U-förmigen Ringes, der durch zweifaches Umbördeln aus einer Scheibe hergestellt ist. Ringe mit Z-Querschnitt, welche ebenfalls zur Herstellung dieser Verbindung benutzt werden, lassen sich bequemer einnieten.

26. Die Versteifungen.

A. Flammenrohrversteifungen.

Um bei Flammrohren mit verhältnismäßig geringer Wandstärke auszukommen, versieht man die Rohre stets mit Versteifungen. Von ihren recht verschiedenen Ausführungen sollen einige der hauptsächlichsten in nachstehendem angeführt werden.

Abb. 243. Ein aufgenieteter T-Eisenring bildet die Verbindungsbläse für zwei Schüsse. Diese Versteifung ist zu verwerfen, weil dabei an vielen Stellen das Blech in doppelter Stärke, sowie die Nietköpfe dem Feuer ausgesetzt sind und außerdem das Rohr in der Längsrichtung sehr steif wird.

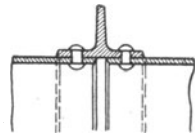


Abb. 243.

Abb. 244. Der ringförmige Wulst kann durch Einwalzen hergestellt werden oder dadurch, daß man die Enden zweier Schüsse aufweitet und zusammenschweißt.



Abb. 244.

Abb. 245. Die Enden der Schüsse werden nach dem Aufweiten zusammengenietet.



Abb. 245.

Abb. 246. Beim „Adamsonschen Versteifungsring“ werden die Schüsse aufgeflanscht und, nachdem ein flacher Ring dazwischengelegt wurde, zusammengenietet. Man verstemmt dann nicht nur die Flanschen gegen den Ring, sondern auf der Feuerseite auch die beiden Kanten des Ringes. Der Adamsonring ist zur gebräuchlichsten Flammrohrversteifung geworden, weil er sich sehr bequem mit Maschine nieten läßt, die Nieten dem Feuer ganz entzogen liegen und das Rohr dabei genügend Federung in der Längsrichtung erhält.

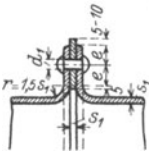


Abb. 246.

Abb. 247. Das „Fox-Wellrohr“ zeichnet sich durch große Steifigkeit und gute Längsfederung aus.

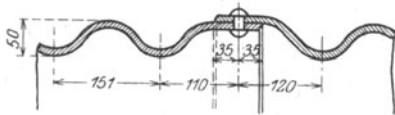


Abb. 247.

Abb. 248. Das „Morison-Wellrohr“ besitzt statt der halbkreisförmigen Wellen solche, die eine Kettenlinie zeigen.

Im allgemeinen wird jetzt das Foxrohr wegen seiner besseren Federung vorgezogen. Wellrohre werden u. a. von Schulz, Knaudt in Huckingen, Phönix in Hörde, Borsigwerk und Thyssen & Co. in Mülheim a. d. Ruhr hergestellt, und zwar in solchen Längen, daß für jedes Flammrohr zwei Schüsse genügen.

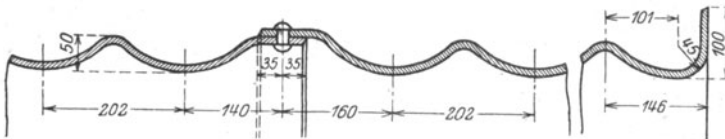


Abb. 248.

Die Höchstlängen richten sich nach dem Durchmesser und der Wandstärke. Letztere beträgt mindestens 10 mm, der kleinste innere Durchmesser etwa 0,7 m. Die Rohre werden von den Werken mit jeder gewünschten Form der Enden, zusammengezogen oder aufgeweitet, geliefert.

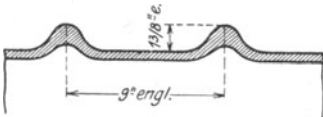


Abb. 249.

Die Gewichte der Wellrohre sind für die gebräuchlichsten Abmessungen oben auf der nächsten Seite zusammengestellt.

Abb. 249. Gerippte „Purvesrohre“ werden zuweilen bei Schiffskesseln angewandt, bieten aber den Wellrohren gegenüber kaum einen Vorteil.

Bei dem Durch- messer von . . . wieg 1 lfd. m Wellrohr in normaler Blechdicke von genügend bei einem Betriebsdrucke von	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	mm
	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	
	210	235	250	265	280	295	310	335	360	375	390	415	435	kg
	10	10	10	10	10	10	10 _{,5}	10 _{,5}	10 _{,5}	10 _{,5}	11	11	11 _{,5}	mm
	12 _{,3}	11 _{,5}	10 _{,9}	10 _{,3}	9 _{,8}	9 _{,3}	9 _{,4}	9	8 _{,6}	8 _{,3}	8 _{,4}	8 _{,1}	8 _{,2}	at

B. Verankerungen ebener Wände.

Bei Flammrohrkesseln wurden die ebenen Böden durch Eck- oder Konsolanker (Abb. 220) mit dem Kesselmantel verbunden. Derartige Verankerungen sind unnötig geworden, seitdem man für diese Kessel nur noch gewölbte Böden benutzt. Dagegen findet man ebene Böden noch in Heizrohrkesseln, sodann stets bei Lokomotiv-, Lokomobil- und schottischen Schiffskesseln. Dort werden sie, wenn man von den nur bei Lokomotiven

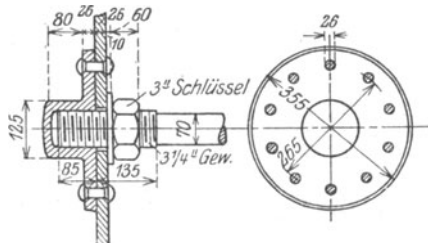


Abb. 250.

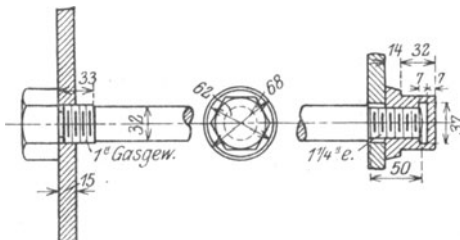


Abb. 251.

gebräuchlichen eckankerartigen Verbindungen der Böden mit dem Mantel absieht, jetzt nur noch mittels Ankerrohren (siehe Abb. 154) und durchgehenden Rundankern gegeneinander versteift. Ausführungen solcher Anker zeigen die Abb. 250 und 251.

Abb. 250. Rundanker für Schiffskessel, Ausführung von E. Berninghaus in Duisburg. Damit eine größere Fläche der ebenen Wand gehalten wird, ist auf jeder Seite die äußere geschlossene Mutter mit einem Flansch versehen, der aufgenietet wird, und zwar geschieht das auf der einen Seite, nachdem die Mutter fest angezogen und der Anker dadurch gespannt worden ist.

Abb. 251. Der Rundanker hat an dem einen Ende einen Sechskantkopf; auf das andere Ende wird eine geschlossene Mutter mit kleinem Stemmflansch aufgeschraubt, so daß eine besondere Dichtungsscheibe überflüssig wird.

Die beiden nebenstehenden Abbildungen (252 und 253) zeigen Anker, wie sie bei Lokomobilkesseln angewandt werden.

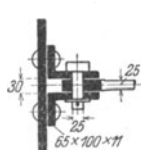


Abb. 252.

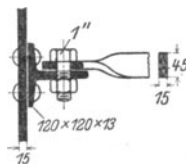


Abb. 253.

Zur Verankerung ebener Wände, die in geringem Abstand voneinanderliegen, dienen Stehbolzen. Fig. 2 und 3 auf Taf. X zeigen kupferne Stehbolzen, die bei Lokomotivkesseln zur Versteifung der inneren Feuerbuchse gegen die äußere benutzt werden. Nachdem der Bolzen eingeschraubt ist, wird das in die Feuerbuchse ragende Ende vernietet und verstemmt, das äußere Ende dagegen neuerdings nur etwas aufgestaucht. Vor dem Einziehen versieht man die Stehbolzen mit einer $3 \div 5$ mm starken Anbohrung, die entweder nur von einem, und zwar dem nachher außen liegenden Ende oder von beiden Enden aus erfolgt oder aber ganz durchgeht. Das geschieht, um einen etwaigen Bruch des Bolzens von außen erkennen zu können. Solche Brüche treten am häufigsten dicht an der äußeren Wand auf. Auch die Decke der Lokomotivfeuerbuchse wird gegen den Mantel durch stehbolzenartige Deckenanker versteift (vgl. Fig. 1 auf Taf. X).

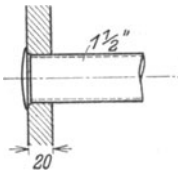


Abb. 254.

Abbildung 254. Eiserner Stehbolzen für Lokomobil-, Schiffskessel und Wasserkammern von Schrägrohrkesseln.

Abbildung 255. Verankerung der Lokomotivfeuerbuchse mit dem Langkessel zwischen der untersten Rohrreihe und der obersten Stehbolzenreihe. Gewöhnlich sind 8 bis 10 solcher Anker in einem Kessel vorhanden.

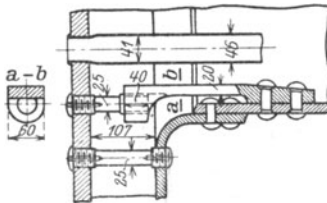


Abbildung 255.

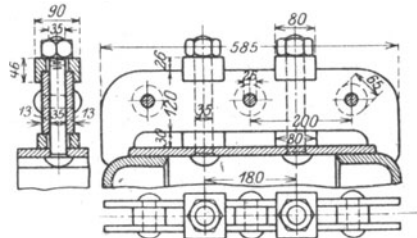


Abbildung 256.

Abbildung 256. Deckbarren für die Umkehrkammern der schottischen Schiffskessel und die Feuerbuchsen der Lokomobilkessel. Sie bestehen aus zwei zusammengeneteten Stehblechen, welche sich mit ihren umgebogenen Enden auf die senkrechten Wände stützen und an welchen die Decke mit zwei bis sechs Bolzen aufgehängt wird.

C. Versteifung der Kesselausschnitte.

Bei den Kesselausschnitten handelt es sich hauptsächlich um die Mannlöcher, die zum Einsteigen eines Mannes in den Kessel dienen sollen. Sie bekommen etwa elliptische Form, wobei die große Achse normal 400 mm, die kleine 300 mm beträgt. Wenn der Platz sehr beschränkt ist, darf man auf $380 \cdot 280$ mm heruntergehen.

Damit der Mantel des Kessels durch den Ausschnitt möglichst wenig geschwächt wird, ist es gut, die große Achse senkrecht zur Kesselachse zu legen. In der Ausführung findet man allerdings fast immer die große Achse parallel der Kesselachse liegend. Das dürfte zum Teil eine alte Gewohnheit sein, die wahrscheinlich von dem früher häufigen Baue dünnwandiger, enger, aber langer Kessel herrührt. Bei diesen Kesseln war diese Lage des Mannloches sehr berechtigt, da bei der großen Länge und verhältnismäßig geringen Biegefestigkeit solcher Röhren einem Einknicken in diesem Falle mehr vorgebeugt wurde. Zudem kam die größere Schwächung des Kesselmantels bei dem damals üblichen geringen inneren Drucke weniger in Betracht. Zum Teil legt man jetzt aber die große Achse des Mannloches wohl deshalb häufig parallel der Kesselachse, weil dann die Dichtung des Verschlusses leichter zu bewirken ist.

Dieser letzte Gesichtspunkt fällt bei den Mantelausschnitten im Dome fort, es steht also hier nichts im Wege, die große Achse senkrecht zur Kesselachse zu legen. Zuweilen macht man den Mantelausschnitt im Dome kreisrund vom Durchmesser 400 mm, mit Rücksichtnahme darauf, daß der Flansch des Domes als eine gewisse Verstärkung des Mantels anzusehen ist, zu empfehlen ist das jedoch nicht.

Durch den Mantelausschnitt (Abb. 257) wird der Kesselmantel geschwächt. Will man diese Schwächung vermeiden, so muß man den herausfallenden Querschnitt $a \cdot s$ durch den Querschnitt eines aufgenieteten, schmiedeeisernen Ringes ersetzen, dessen Größe $b \cdot c$ sich aus der Gleichung ergibt:

$$2b \cdot c = a \cdot s;$$

c wählt man dabei nicht zu groß, meistens zwischen 15 und 25 mm.

Da die Blechstärke s mit Berücksichtigung des Güteverhältnisses φ der Längsnaht berechnet war, so kann man auch den Ring entsprechend schwächer nehmen und rechnen:

$$2b \cdot c = a \cdot \varphi \cdot s;$$

allerdings muß man dann nachher den Ring um die Nietstärke breiter machen.

Der Ring muß nun mit so vielen Nieten versehen werden, daß der erforderliche Gleitwiderstand vorhanden ist. Bei den Nietnähten betrachteten wir ein Zylinderstück von der Länge t und bekamen die Kraft, die auf 1 qm Nietquerschnitt entfiel, zu:

$$\frac{d \cdot t \cdot p}{2n \frac{\delta^2 \pi}{4}}$$

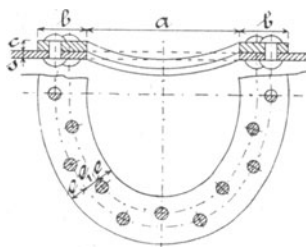


Abb. 257.

Hier tritt a an die Stelle von t , und es kommt demnach auf 1 qcm Nietquerschnitt die Kraft:

$$\frac{d \cdot a \cdot p}{2n \frac{\delta^2 \pi}{4}},$$

wenn n die Anzahl der Niete im halben Ringe bedeutet.

Da hier eine gleichmäßige Verteilung der Kraft auf die einzelnen Niete nicht zu erwarten ist, soll der Gleitwiderstand für 1 qcm Nietquerschnitt nur zu 500 kg gerechnet werden, also entsteht die Gleichung:

$$\frac{d \cdot a \cdot p}{2n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = 500 \text{ kg},$$

und es ist die Anzahl der Niete in der einen Hälfte des Ringes:

$$n = \frac{d \cdot a \cdot p}{2 \cdot 500 \frac{\delta^2 \pi}{4}}.$$

Bei einem Mannloch im gewölbten Boden (z. B. Domboden) würde man die Gleichung bekommen:

$$2 \cdot b \cdot c = a \cdot s_3',$$

worin bedeutet:

- b und c die Querschnittsabmessungen des Versteifungsringes,
- a die große Achse des elliptischen Mannloches (wegen der Kugelform des Bodens),
- s_3' die berechnete Blechstärke des Bodens, ohne weitere Zugabe.

Man kann hier nicht die schließlich gewählte Blechstärke s_3 nehmen, da dieselbe bei Domböden von der berechneten häufig sehr stark abweicht.

Die Anzahl der erforderlichen Niete im halben Ringe ergibt sich wie folgt:

Man denke sich den gewölbten Boden zur ganzen Hohlkugel ergänzt (Abb. 258), dann wird die Kraft P , die die Kugel in 2 Halbkugeln zu zerlegen strebt:

$$P = R^2 \pi \cdot p.$$

Von dieser Kraft kommt auf 1 cm Umfang:

$$\frac{P}{2R \cdot \pi} = \frac{R^2 \pi \cdot p}{2R \cdot \pi} = \frac{R \cdot p}{2},$$

also auf a cm Umfang:

$$\frac{R \cdot p \cdot a}{2}$$

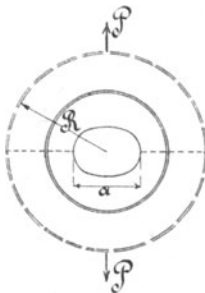


Abb. 258.

auf 1 qcm Nietquerschnitt bei n Nieten:

$$\frac{R \cdot p \cdot a}{2n \frac{\delta^2 \pi}{4}}$$

Dies kann gleich 500 gesetzt werden, so daß durch einfache Umstellung die Gleichung entsteht:

$$n = \frac{R \cdot p \cdot a}{2 \cdot 500 \frac{\delta^2 \pi}{4}}$$

Beispiel 1: Mannloch im Mantel. $d = 160$ cm; $p = 8$ Atmosphären Überdruck; $s = 1,3$ cm, berechnet mit $\varphi = 0,7$; $\delta = 2,2$ cm; $\frac{\delta^2 \pi}{4} = 3,8$ qcm. Dann ist:

$$2b \cdot c = a \cdot \varphi \cdot s = 30 \cdot 0,7 \cdot 1,3$$

$$bc = \frac{30 \cdot 0,7 \cdot 1,3}{2} = 13,7 \text{ qcm.}$$

Mit $c = \underline{1,8 \text{ cm}}$ wird:

$$b = \frac{13,7}{1,8} = 7,6 \text{ cm}$$

dafür: $b = 7,6 + 2,2 = 9,8 \text{ cm} = \underline{\sim 10 \text{ cm.}}$

Die Anzahl der Nieten in der einen Hälfte des Ringes wird:

$$n = \frac{d \cdot a \cdot p}{2 \cdot 500 \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{160 \cdot 30 \cdot 8}{1000 \cdot 3,8} = 10,1 = \underline{\sim 10 \text{ Stück.}}$$

Beispiel 2: Mannloch im Mantel. $d = 220$ cm; $p = 13$ Atmosphären Überdruck; $\varphi = 0,85$; $s = 2$ cm; $\delta = 2,6$ cm; $\frac{\delta^2 \pi}{4} = 5,31$ qcm.

$$2 \cdot b \cdot c = a \cdot \varphi \cdot s = 30 \cdot 0,85 \cdot 2$$

$$bc = \frac{30 \cdot 0,85 \cdot 2}{2} = 25,5 \text{ qcm.}$$

Mit $c = \underline{2,5 \text{ cm}}$ wird:

$$b = \frac{25,5}{2,5} = 10,2 \text{ cm.}$$

Bei einer Anordnung der Nieten in 3 Reihen müssen zwei Nietstärken dazu gerechnet werden, also wird:

$$b = 10,2 + 2 \cdot 2,6 = 15,4 = \approx \underline{15,5 \text{ cm}},$$

$$n = \frac{220 \cdot 30 \cdot 13}{1000 \cdot 5,31} = 16,15.$$

Nimmt man statt dessen $n = 15$, so wird damit die Beanspruchung für 1 qcm Nietquerschnitt $\frac{220 \cdot 30 \cdot 13}{2 \cdot 15 \cdot 5,31} = 538$, was auch jedenfalls noch zulässig ist.

Die Verschußdeckel der Mannlöcher legt man in das Innere der Kessel, damit sie vom Dampfdrucke fest an die Dichtungsflächen angedrückt werden.

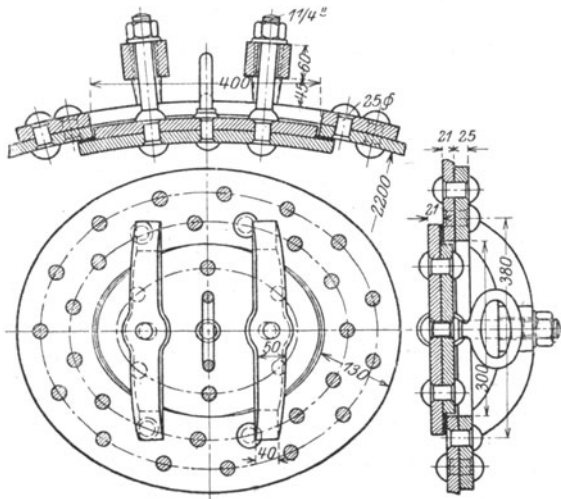


Abb. 259.

In die Deckel werden je zwei $1\frac{1}{4}$ " Schrauben eingietet, die außen an zwei starken Bügeln befestigt werden. Es empfiehlt sich, die Schraubenbolzen bei hoher Dampfspannung mit Gewinde in die Deckel einzusetzen und zu vernieten. Die Bügel stützen sich auf den Rand des Mannloches. Die Dichtung zwischen Deckel und Kesselblech wird meistens durch runde oder durch flache, mit Gewebe umgebene

Gummischnüre bewirkt, deren rechteckiger Querschnitt etwa die Größe $6 \cdot 23 \text{ mm}$ hat.

Abb. 259. Mannlochverschluß im Kesselmantel. Derartig ausgeführte Verschlüsse lassen sich nur schwer abdichten, da der Deckel entsprechend dem Manteldurchmesser gekrümmt hergestellt werden muß. Sie werden heute nur noch selten angewandt und sind durch Verschlüsse mit ebener Dichtungsfläche (Abb. 260 und 261), die fertig bezogen und auf den Mantel aufgenietet werden, verdrängt worden.

Abb. 260. Ausführung: Schulz, Knaudt & Co., Huckingen.

Abb. 261. Ausführung: Thyssen & Co., Mühlheim a. Ruhr.

Dieser Verschluß gewährt wegen der Einhalzung an der Mannlochöffnung besonders große Sicherheit. —

Die Kesselböden und die Domböden werden jetzt fast ausnahmslos mit eingepreßtem Mannloch hergestellt.

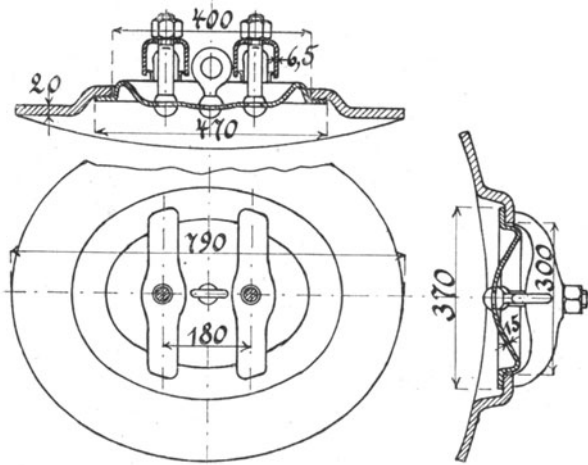


Abb. 260.

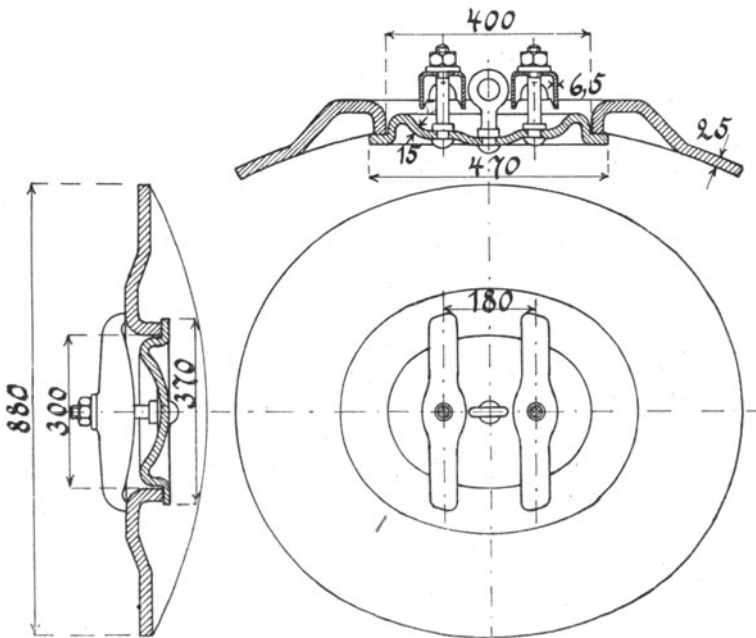


Abb. 261.

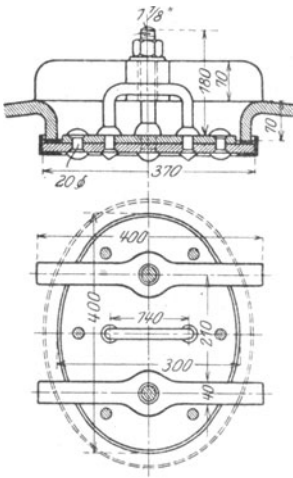


Abb. 262.

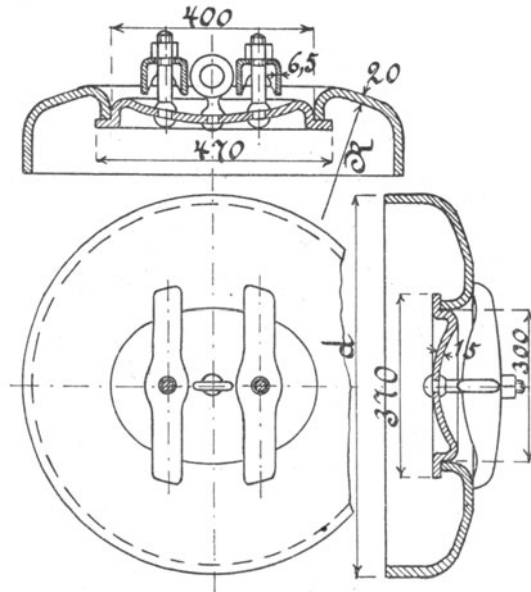


Abb. 263.

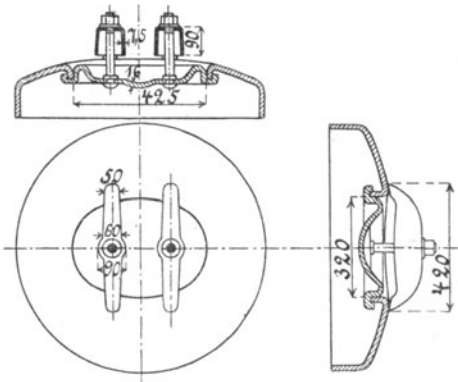


Abb. 264.

Abb. 262 stellt einen Mannlochverschluß im Domboden mit ebenem Deckel dar, während bei den in Abb. 263 und 264 dargestellten Verschlüssen gewölbt gepreßte, daher steifere Deckel und aus Blech hergestellte, daher leichtere Bügel verwendet sind.

Abb. 263. Ausführung: Schulz, Knaudt.

Abb. 264. Ausführung: Thyssen.

Außerdem werden noch an nicht befahrbaren Kesselteilen kleinere Putzöffnungen, sogenannte Handlöcher angebracht. Sie werden ähnlich wie die Mannlöcher ausgeführt, jedoch erhält der Deckel gewöhnlich nur eine Verschlußschraube.

27. Die Blechabwicklungen.

Die Blechabwicklungen sind nötig, damit die zum Baue der Kessel erforderlichen Bleche ihrer Größe nach bestimmt und danach im Hüttenwerke bestellt werden können. Zur Abwicklung kommen hauptsächlich Zylinder und Kreiskegel. Es muß natürlich die neutrale Faserschicht abgewickelt werden. Hat man also einen Blechzylinder abzuwickeln, dessen innerer Durchmesser d und dessen Wandstärke s ist, so bekommt das Blech in der Abwicklung die Länge: $(d + s) \pi$.

Nicht so einfach ist die Abwicklung eines Kegelschusses. Abb. 265 stellt die Ansicht, Abb. 266 die Abwicklung eines Kegelschusses dar.

Es bezeichne:

- D den größeren mittleren Durchmesser des Kegelschusses;
- d den kleineren mittleren Durchmesser des Kegelschusses;
- l die Länge des Schusses;
- R die Erzeugende des ganzen Kegels.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke in Abb. 265 ergibt sich:

$$\frac{R}{D} = \frac{l}{D - d}$$

also

$$(1) \quad R = \frac{l \cdot D}{D - d}.$$

Ist: H die Pfeilhöhe des größeren Bogens des abgewickelten Schusses;
 S die halbe Sehne, so ist nach Abb. 266:

$$(2) \quad H = R - \sqrt{R^2 - S^2}$$

und

$$(3) \quad S^2 = (2R - H)H.$$

Ist der Bogen flach, so kann man angenähert die Sehne S durch den Bogen $\frac{D\pi}{2}$ ersetzen, dann wird aus Gleichung (3) mit Berücksichtigung von Gleichung (1):

$$(4) \quad \left(\frac{D\pi}{2}\right)^2 = \left(\frac{2lD}{D-d} - H\right)H.$$

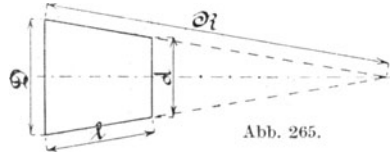


Abb. 265.

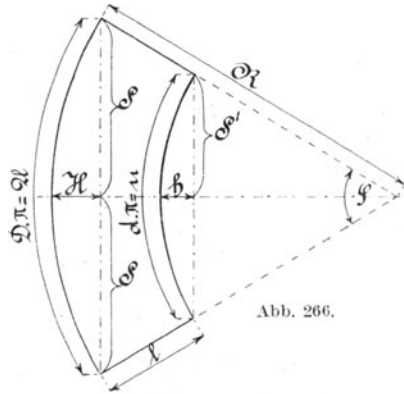


Abb. 266.

In der Regel ist H gegen $\frac{2lD}{D-d}$ so klein, daß man $-H$ in Gl. (4) vernachlässigen kann, und man erhält:

$$(4a) \quad \frac{D^2 \pi^2}{4} = \frac{2lD}{D-d} H \quad \text{oder} \quad \frac{D \pi^2}{4} = \frac{2l}{D-d} H;$$

daraus:

$$(5) \quad H = \frac{D \pi^2 (D-d)}{4 \cdot 2 \cdot l};$$

$$(6) \quad H = 1,235 \frac{D(D-d)}{l}.$$

Oder setzt man in Gl. (5)

$$D = \frac{U}{\pi} \quad \text{und} \quad d = \frac{u}{\pi};$$

so wird:

$$(7) \quad H = \frac{U \pi^2 (U-u)}{\pi \cdot 8 \cdot l \cdot \pi} = \frac{U(U-u)}{8l}.$$

Diese letzte Formel ist in den Werkstätten sehr gebräuchlich. Sie ist vollkommen genau genug, wenn sich H nicht größer als $0,2 D$ ergibt. Darüber hinaus ist es meistens möglich, die Pfeilhöhe zeichnerisch zu finden. Nötigenfalls läßt sie sich stets durch genaue Rechnung ermitteln,

indem man $R = \frac{l \cdot D}{D-d}$ ausrechnet, dann $\sphericalangle \varphi$ (Abb. 266) ermittelt aus

$\frac{\varphi}{360} = \frac{D \pi}{2 R \pi} = \frac{D}{2R}$, damit $S = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$ und dann $H = R - \sqrt{R^2 - S^2}$ bestimmt.

Ein weit größerer Fehler liegt darin, daß man die Bogenlänge als Sehnenlänge gebraucht und abträgt. Die Sehne wird dadurch zu lang. Schon bei einer Pfeilhöhe von $H = 0,1 D$ ist der gemachte Fehler unzulässig groß. Man wird also etwa von $H = 0,08 D$ bis $H = 0,2 D$ wenigstens S genau ausrechnen, oder was auch vollkommen genügen wird, die zunächst unrichtig aufgetragene Sehnenlänge $2S = U$ um ebensoviele verkürzen als $2S$ kürzer als der gezeichnete Bogen wird. Die Länge $2S$ kann man durch Abtragen mit kleiner Zirkelspannung genau genug auf den Bogen legen und den Unterschied zwischen dieser Länge und dem Bogen feststellen.

Die Pfeilhöhe des kleineren Bogens ergibt sich aus:

$$\frac{h}{H} = \frac{S'}{S} = \frac{u}{U} = \frac{d \pi}{D \pi} = \frac{d}{D}$$

zu

$$(8) \quad h = \frac{d}{D} H \quad \text{oder} \quad h = \frac{u}{U} \cdot H.$$

Handelt es sich um die Abwicklung solcher Schüsse, die ineinander gesteckt sind und bei denen der mittlere Durchmesser derselbe bleibt, so sei der größte innere Durchmesser d (Abb. 267). Es tritt also $d + s$ an Stelle von D und $d - s$ an Stelle von d . Dann wird aus Gleichung (6):

$$\begin{aligned} H &= 1,235 \frac{(d + s)[d + s - (d - s)]}{l} \\ &= 1,235 \frac{2s(d + s)}{l}. \end{aligned}$$

$$(9) \quad H = 2,47 \frac{s(d + s)}{l}.$$

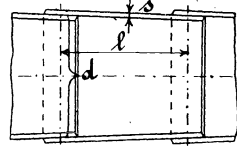


Abb. 267.

Soll der Mantel x mal abgewickelt werden, wobei x praktisch immer nur ein echter Bruch, z. B. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ usw., sein kann, so muß die Pfeilhöhe mit x^2 (angenähert) multipliziert werden, es wird also in diesem Falle:

$$(6a) \quad H = 1,235 \frac{D(D - d)}{l} \cdot x^2$$

$$(7a) \quad H = \frac{U(U - u)}{8l} \cdot x^2$$

$$(9a) \quad H = 2,47 \frac{s(d + s)}{l} \cdot x^2.$$

Was nun die Verzeichnung des Bogens selbst anbetrifft, so kann man diesen auf dem Bleche meistens leicht mit Hilfe einer gebogenen Latte verzeichnen. Bei der Verzeichnung auf dem Papiere, oder auch auf dem Bleche, kann man den Bogen bei kleinen Pfeilhöhen durch zwei gerade Linien ersetzen, wie das in Fig. 4 auf Tafel XX geschehen ist. Bei etwas größerer Pfeilhöhe kann man sich außer dem mittleren Bogenpunkte noch zwei Punkte bestimmen und den Bogen durch vier gerade Linien ersetzen. So ist es geschehen in Fig. 5 auf Tafel XX. Nötigenfalls müssen noch mehr Punkte des Bogens bestimmt werden, die leicht gefunden werden, wenn man berücksichtigt, daß die Pfeilhöhe H_1 der Hälfte des Bogens angenähert gleich $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ der Pfeilhöhe des ganzen Bogens ist; in Fig. 14

auf Tafel XX ist also $H_1 = \frac{1}{4} H$. Genauer findet man Punkte des Kreises, wenn man von den Endpunkten A und B der Sehne nach dem Endpunkte C der Pfeilhöhe (Tafel XX, Fig. 14) Strahlen AC und BC zieht, die mit der Sehne die Winkel α und β einschließen. Man schlägt von A und B aus zwei beliebige aber gleiche Kreisbögen, teilt sie zwischen AB und AC bzw. zwischen BA und BC in gleiche Teile und trägt dieselben gleichen Teile auf die Verlängerungen der Bögen. Es entstehen dann die Punkte 1, 2, 3 bzw. 1', 2', 3' usw. Die Strahlen von A durch 1, 2, 3 usw. treffen

die Strahlen von B durch $1', 2', 3'$ usw. in Punkten I, II, III usw. des gesuchten Kreises.

Beweis: Der Winkel α wird um ebensoviel verkleinert, wie β vergrößert wird, also ist der Winkel zwischen den Strahlen bei I gleich dem bei II und III und gleich dem bei C . Das ist nur möglich, wenn diese Winkel Peripheriewinkel eines Kreises über derselben Sehne AB sind. Die Kurve C, I, II, III, B ist also ein Kreis.

In den meisten Fällen dürfte es übrigens genügen, die Einteilung in gleiche Teile statt auf dem Kreisbogen auf der Mittellinie cC vorzunehmen, Auf diese Weise ist der Bogen acb bestimmt.

Ein weiteres einfaches und genügend genaues Verfahren ist das folgende:

Es wird mit der Pfeilhöhe EC als Radius ein Viertelkreis CD geschlagen (Abb. 268), der in einige gleiche Teile, hier 3, geteilt wird. In ebenso viele Teile wird ED und die halbe Sehne EB geteilt. Die entsprechenden Teilpunkte sind in Abb. 268 mit 1, 2, $1', 2', 1'', 2''$ bezeichnet. Mit den Verbindungslinien a und b der Punkte $1'1$ und $2'2$ werden von $1''$ und $2''$ aus Kreise geschlagen, die den gesuchten Kreis berühren.

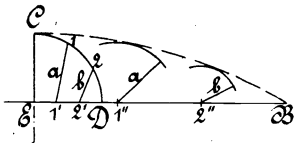


Abb. 268.

Beispiele: Auf Tafel XX sind mehrere Kesselschüsse und ein Verbindungsstutzen des in Fig. 2 auf Tafel IX dargestellten mehrfachen Walzenkessels abgewickelt. Fig. 1 stellt den vorderen Teil des Oberkessels dar, der unten ein mit der Walzrichtung lang gelegtes Blech hat, und dessen obere Hälfte aus zwei Schüssen besteht. Der vordere halbe Schuß ist zylindrisch, die Abwicklung zeigt Fig. 3, eine besondere Erklärung erscheint überflüssig. In Fig. 4 ist der darauf folgende obere halbe Schuß abgewickelt, der konisch ist.

Hier ist:

$$U = 1011 \cdot \pi = 3175 \text{ mm}$$

$$u = 989 \pi = 3106 \text{ mm}; \quad U - u = 69 \text{ mm}$$

$$l = 1390 \text{ mm}; \quad x = \frac{1}{2};$$

$$H = \frac{U(U - u)}{8l} x^2 = \frac{3175 \cdot 69}{8 \cdot 1390 \cdot 2^2} = \sim 5 \text{ mm};$$

$$h = \frac{u}{U} H = \frac{3106}{3175} \cdot 5 = 4,9 \text{ dafür auch } 5 \text{ mm.}$$

In Fig. 2 ist der hintere Verbindungsstutzen mit den zugehörigen Kesselschüssen dargestellt. Fig. 5 zeigt die Abwicklung des oberen Schusses.

Hier ist:

$$\begin{aligned}
 U &= 1011 \pi = 3175 \text{ mm} \\
 u &= 989 \pi = 3106 \text{ mm}; \quad U - u = 69 \text{ mm} \\
 l &= 1740 \text{ mm}; \quad x = 1; \\
 H &= \frac{3175 \cdot 69}{8 \cdot 1740} = 15,7 = \sim 16 \text{ mm}; \\
 h &= \frac{u}{U} H = \frac{3106}{3175} 15,7 = 15,35 = \sim 15 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

In Fig. 6 ist der Verbindungsstutzen abgewickelt. Zur größeren Deutlichkeit ist derselbe hier doppelt so groß als in Fig. 2 gezeichnet. Zunächst sind die Durchdringungskurven des mittleren Zylinders des Stutzens mit den Kegelschüssen konstruiert. Punkte dieser Kurven erhält man dadurch, daß man in den Schnittpunkten M_1 und M_2 der Mittellinien der Schüsse und des Stutzens Mittelpunkte von Kugeln annimmt, die sich in den Figuren als Kreise projizieren. Ein solcher größter Kugelkreis ist in Fig. 6 z. B. $v x x_1 w$. Die hierzu gehörige Kugel schneidet den unteren Kegelschuß in zwei Kreisen, die hier als die geraden, zur Achse des Kegelschusses senkrechten Linien $x y$ und $x_1 y_1$ erscheinen. Die Schnittlinie derselben Kugel mit dem senkrechten Zylinder ist ein Kreis, der durch die gerade Linie $v w$ dargestellt wird. Die Schnittpunkte y und y_1 der Linien $x y$, $x_1 y_1$ und $v w$ sind Punkte der gesuchten Durchdringungskurve des Stutzens mit dem Kegelschusse.

Man zeichnet nun den Kreis, der den Grundriß der Mittelschicht des Stutzens darstellt, wie Fig. 6 zeigt, und teilt diesen Kreis in eine Anzahl (hier 12) gleicher Teile. Durch die entstehenden Punkte 1, 2, 3, 4 usw. werden die Erzeugenden 1 1', 2 2', 3 3' des Zylinders gezeichnet, welche die eben gezeichneten Durchdringungskurven in den Punkten 1', 2', 3' usw. treffen und hier ihre Begrenzung finden. Wird der Zylinder jetzt aufgerollt, so kommen diese Punkte in die Lagen 1'', 2'', 3'' usw. Die durch diese Punkte gelegte Kurve ist die abgewickelte Durchdringungskurve. Von letzterer aus muß noch ein gewisses Stück wegen der Umbördelung des Stutzenrandes angetragen werden. Nimmt man für dieses Stück die Entfernung vom Blechrande bis zum mittleren Zylinder, hier 84 mm, so hat man gegen das theoretisch erforderliche Maß etwas (hier etwa 12 mm) zugegeben, was sehr angemessen erscheint, da etwas durch das Umbördeln am Umfange verloren geht und außerdem später noch eine Stemmkante angearbeitet werden muß.

In Fig. 10 und 11 ist die Abwicklung eines Domes dargestellt. Wir haben es hier mit der Durchdringung zweier senkrecht zueinander stehenden Zylinder zu tun. Die Konstruktion kann sehr gut gleich auf dem für den Dom erforderlichen Bleche vorgenommen werden (Fig. 11).

Zeichnet man den Querschnitt des Kessels, so ist der Kreisbogen $p q$ (Fig. 11) ohne weiteres die Durchdringungslinie des Kesselmantels mit dem Dommantel, die Erzeugenden des den letzteren darstellenden Zylinders finden also im Kreise $p q$ ihre Begrenzung in den Punkten $0', 1', 2', 3'$ usw. Bei der Aufrollung des Zylinders sind diese Punkte leicht auf die Erzeugenden $0, 1, 2, 3$ usw. zu projizieren, so daß die abgewickelte Durchdringungskurve $0'', 1'', 2''$ usw. entsteht. Von letzterer aus wird für die Umbördelung wieder etwas (hier 65 mm) angetragen. Der Dom soll mit einer einreihigen Längsnietnaht versehen werden. Da die Armaturstutzen gewöhnlich in senkrechte Ebenen gelegt werden, die lang und quer durch den Kessel gehen, so ist die Teilung des Dommantels mitten zwischen diese Ebenen gelegt.

Nach rechts und links muß nun noch die Überlappung für die Nietnaht angetragen werden, so daß die ganze Länge des Bleches $610 \cdot \pi + 2 \cdot 27 = 1970$ mm wird.

Um die Länge der senkrechten Nietnaht zu bestimmen, muß man die Lage n'' des untersten Nietes festlegen, und zwar derart, daß der Kopf dieses Nietes etwa da aufhört, wo die Umbördelung beginnt.

Vom Mittelpunkte m für den Abrundungskreis (Fig. 10) lotet man hinüber nach dem mittleren Dommantel in Fig. 11 und bekommt Punkt m' . Von hier aus trägt man $m' n$ (= Radius des Nietkopfes) nach oben und überträgt Punkt n mit Hilfe des Kreises $n n'$ auf die 0-Linie nach n' . Bei der Abwicklung kommt dann n' nach n'' , dem Mittelpunkte des unteren Nietes. Natürlich kann man diesen Punkt 2 bis 3 mm nach oben oder unten verlegen.

In Fig. 12, 13 und 14, Tafel XX ist ein konischer Vorkopf abgewickelt, wie er z. B. beim kombinierten Flammrohr- und Heizrohrkessel am vorderen Boden des Oberkessels angebracht wird, um die Wasserstandsgläser und vielleicht das Manometer aufzunehmen. Der Boden des Vorkopfes soll in diesem Falle aufgeschweißt sein. Bei der Abwicklung des Mantels handelt es sich zunächst um die Durchdringung eines Kegels mit einer Kugel. Der Deutlichkeit wegen ist der mittlere Kegelmantel und der äußere Kugelmantel in Fig. 13 noch einmal herausgezeichnet.

Es muß zunächst wieder die Durchdringungskurve gezeichnet werden, was hier wieder ähnlich wie bei dem Stutzen (Fig. 6) mit Hilfe von Kugeln geschehen kann. Der Mittelpunkt M der Hilfskugeln kann hier aber wechseln, er muß nur auf der Mittellinie des Kegels liegen. Eine solche Kugel habe den größten Kugelkreis $x y z$ (Fig. 13), der den größten Kreis des kugeligen Kesselbodens in den Punkten y und z und die Kegeligrenzlinie im Punkte x schneidet. Schnittlinien zwischen Hilfskugeln und Boden, bzw. Hilfskugel und Kegel sind die sich hier als gerade Linien darstellenden Kreise $y z$ bzw. $x x'$. Beide Linien schneiden sich im Punkte x' der gesuchten Durchdringungskurve. Die letztere ist aber in den meisten

Fällen der Praxis, so auch hier, so wenig gekrümmt, daß man dafür meistens die gerade Verbindungslinie zwischen 6'' und 0'' nehmen kann.

Man wickelt nun zunächst den geraden Kegel $ABba$ ab, der bis dahin reicht, wo die Umbördelung beginnt. Hier bekommt man:

$$\begin{aligned} U &= (520 + 12) \pi = 1671 \text{ mm} \\ u &= (420 + 12) \pi = 1357 \text{ mm} \\ U - u &= 314 \text{ mm}; \quad l = 590 \text{ mm} \\ H &= \frac{U(U - u)}{8l} = \frac{1671 \cdot 314}{8 \cdot 590} = 111 \text{ mm} \\ h &= \frac{d}{D} \cdot H = \frac{432}{532} \cdot 111 = \sim 90 \text{ mm.} \end{aligned}$$

H ist schon etwas groß. Diese Berechnung sollte nur gelten bis $H = 0,2D = 0,2 \cdot 532 = 106,4$ mm in diesem Falle. Wir wollen deshalb H hier einmal genau ausrechnen.

Es wird nach S. 199 und 200:

$$\begin{aligned} R &= \frac{l \cdot D}{D - d} = \frac{590 \cdot 532}{100} = 3138,8 \text{ mm} \\ \frac{\varphi}{360} &= \frac{D}{2R}; \quad \varphi = \frac{360 \cdot D}{2R} = \frac{360 \cdot 532}{6277,6} = \sim 30,5^\circ \end{aligned}$$

$$S = R \sin \frac{\varphi}{2} = 3138,8 \cdot \sin 15,25^\circ = 3138,8 \cdot 0,263 = 825,50 \text{ mm}$$

$$2S = 1651 \text{ mm gegen } 1671 \text{ mm Umfang.}$$

$$H = R - \sqrt{R^2 - S^2} = 3138,8 - \sqrt{3138,8^2 - 825,5^2} = 110,5 \text{ mm,}$$

also praktisch noch dasselbe wie oben. Wir können deshalb auch für $h = \sim 90$ wie oben nehmen. Es wird dagegen die Sehne ab :

$$2S' = 1651 \frac{432}{532} = 1340,6 = \sim 1341 \text{ mm,}$$

während der Umfang $u = 1357$ mm betrug.

Man kann also wohl die Pfeilhöhen hier noch nach der einfachen Formel berechnen, die Sehnen müssen aber genauer bestimmt werden (siehe Ausführung auf S. 200). Nachdem der gerade Kegel in Fig. 14 abgewickelt ist, werden in Fig. 13 die Kegelerzeugenden 1'1'; 2'2' usw. bis zum Schnitt mit der Durchdringungskurve 6'' 0'' gezogen, die erforderlichen Verlängerungen 1'1'', 2'2'' usw. der Erzeugenden 1, 2, 3 usw. gewonnen und in Fig. 14 abgetragen¹⁾. Hierdurch bekommt man die abgewickelte Durchdringungskurve. Es bleibt nun nur noch übrig, für die Umbördelung entsprechende Stücke in Fig. 14 hinzuzutragen.

¹⁾ Strenggenommen müßte man erst die wirklichen Längen der Stücke 1'1'', 2'2'' usw. durch Herumdrehen dieser Stücke auf die Linie bB suchen, jedoch gibt das in diesem Falle keinen meßbaren Unterschied.

Es dürfte sich empfehlen, die Abwicklung solcher Stützen nicht auf dem Bleche in der Werkstatt, sondern auf dem Reißbrett auszuführen und durch Zeichnung die Maße zu bestimmen, die für das Aufzeichnen auf das Blech erforderlich sind. Dabei ist zu beachten, daß außer den Begrenzungslinien auch die abgewinkelte Durchdringungskurve zwischen Kegel und Kugel durch Maße bestimmt werden muß.

Schon bei sorgfältiger Zeichnung im Maßstab 1 : 5 lassen sich die Maße nach Zeichnung genau bestimmen. Es steht aber nichts im Wege, auch einen größeren Maßstab, vielleicht 1 : 3, zu verwenden. Weitere Abwicklungen hier auszuführen, verbietet der Umfang dieses Buches. Eine größere Anzahl interessanter Beispiele findet sich in der „Vorschule für das Maschinenzeichnen von Brautz, Kirsch und Kracht“. Verlag der Ruhfusschen Buchhandlung, Dortmund.

28. Walzwerkstabellen.

A. Auszug aus der Liste über schmiedeeiserne Siederöhren der Gelsenkirchener Bergwerks-Aktien-Gesellschaft, Abteilung: Düsseldorf, Röhrenwerke.

Außerer Durchmesser		Gewöhnliche Wandstärke	Gewicht für 1 m	Außerer Durchmesser		Gewöhnliche Wandstärke	Gewicht für 1 m
Zoll engl.	mm	mm	kg	Zoll engl.	mm	mm	kg
1 $\frac{1}{2}$	38	2 $\frac{1}{4}$	1,97	6 $\frac{1}{4}$	159	4 $\frac{1}{2}$	17,00
1 $\frac{3}{8}$	41 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2,17	6 $\frac{1}{2}$	165	4 $\frac{1}{2}$	17,65
1 $\frac{3}{4}$	44 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2,32	6 $\frac{3}{4}$	171	4 $\frac{1}{2}$	18,31
1 $\frac{7}{8}$	47 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2,49	7	178	4 $\frac{1}{2}$	19,08
2	51	2 $\frac{1}{2}$	2,97	7 $\frac{1}{2}$	191	5 $\frac{1}{2}$	24,93
2 $\frac{1}{8}$	54	2 $\frac{1}{2}$	3,15	8	203	5 $\frac{1}{2}$	26,60
2 $\frac{1}{4}$	57	2 $\frac{3}{4}$	3,65	8 $\frac{1}{2}$	216	6 $\frac{1}{2}$	33,20
2 $\frac{3}{8}$	60	3	4,20	9	229	6 $\frac{1}{2}$	35,30
2 $\frac{1}{2}$	63 $\frac{1}{2}$	3	4,45	9 $\frac{1}{2}$	241	6 $\frac{1}{2}$	37,20
2 $\frac{3}{4}$	70	3	4,90	10	254	6 $\frac{1}{2}$	39,50
3	76	3	5,35	10 $\frac{1}{2}$	267	7	44,50
3 $\frac{1}{4}$	83	3 $\frac{1}{4}$	6,35	11	279	7 $\frac{1}{2}$	49,60
3 $\frac{1}{2}$	89	3 $\frac{1}{4}$	6,78	11 $\frac{1}{2}$	292	7 $\frac{1}{2}$	52,10
3 $\frac{3}{4}$	95	3 $\frac{1}{4}$	7,30	12	305	7 $\frac{1}{2}$	54,70
4	102	3 $\frac{3}{4}$	9,01	12 $\frac{1}{2}$	318	8	60,50
4 $\frac{1}{4}$	108	3 $\frac{3}{4}$	9,56	13	330	8	63,10
4 $\frac{1}{2}$	114	3 $\frac{3}{4}$	10,10	13 $\frac{1}{2}$	343	8	65,70
4 $\frac{3}{4}$	121	4	11,46	14	355	8	68,00
5	127	4	12,03	14 $\frac{1}{2}$	368	8	70,60
5 $\frac{1}{4}$	133	4	12,65	15	381	8	73,10
5 $\frac{1}{2}$	140	4 $\frac{1}{2}$	14,90	16	406	8	78,00
5 $\frac{3}{4}$	146	4 $\frac{1}{2}$	15,56				
6	152	4 $\frac{1}{2}$	16,22				

Die Röhre können mit beliebig stärkerer Wand geliefert werden und zwar die ersten 4 Röhre bis 7 mm, die übrigen bis 10 mm stärker, als in

der Tabelle angegeben. Alle Röhre werden mit Wasserdruck, den Materialvorschriften entsprechend (siehe S. 163) geprüft und auf Verlangen an einem Ende etwas aufgeweitet.

B. Umgezogene Kesselböden.

a) Vom Blechwalzwerk Schulz Knaut, Huckingen (Kreis Düsseldorf).

α) Glatte Böden.

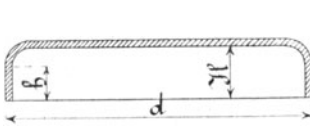


Abb. 269.

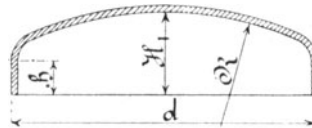


Abb. 270.

Außerer Durchmesser	Ganze innere Höhe bei 9 mm und stärker		Radius der inneren Wölbung	Normale Stärke	Außerer Durchmesser	Ganze innere Höhe bei 9 mm und stärker		Radius der inneren Wölbung	Normale Stärke		
	Höhe des zylindrischen Teiles der Kreppe bei s = 9 mm und stärker					Höhe des zylindrischen Teiles der Kreppe bei s = 9 mm und stärker					
	flach	ge-wölbt				flach	ge-wölbt				
d	h	H	H ₁	R	s	d	h	H	H ₁	R	s
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
300	65	90	110	400	6—16	1550	80	125	280	1800	9—26
350	65	90	115	500	6—16	1600	80	125	290	2000	10—26
400	65	90	120	550	6—16	1650	80	125	295	2000	"
450	65	95	125	600	6—16	1700	80	125	300	2200	"
500	65	95	135	650	6—16	1750	80	130	300	2200	11—26
550	65	105	135	700	6—16	1800	80	130	310	2400	"
600	65	105	160	750	6—16	1850	85	130	310	2400	12—26
650	65	105	175	800	6—25	1900	85	130	315	2600	"
700	65	105	175	850	"	1950	85	130	315	2600	13—26
750	65	105	175	900	"	2000	90	130	320	2800	"
800	70	110	185	950	"	2100	90	130	325	3300	"
850	70	110	185	1000	"	2200	90	130	330	3300	14—26
900	70	110	200	1100	"	2300	90	130	345	3300	15—26
950	70	110	205	1200	"	2400	90	130	375	3300	"
1000	70	110	205	1300	"	2500	90	130	395	3300	"
1050	70	110	215	1400	"	2600	90	130	410	3300	"
1100	70	115	220	1400	"	2700	90	130	415	3500	"
1150	70	115	225	1450	"	2800	90	130	435	3500	"
1200	75	115	230	1500	"	2900	90	130	455	3500	"
1250	75	115	240	1600	7—26	3000	90	130	480	3500	"
1300	75	115	245	1600	7—26	3100	100	140	490	3800	"
1350	75	120	245	1700	8—26	3200	100	140	495	3800	"
1400	75	120	270	1700	"	3300	100	140	500	3800	"
1450	80	125	280	1700	"	3400	100	140	525	3800	"
1500	80	125	280	1800	9—26						

Die Wandstärken werden auch in anderen Größen ausgeführt, bedingen dann aber höhere Preise.

β) Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalsungen für Zweiflammrohrkessel (äußerer Bord für einfache Naht).

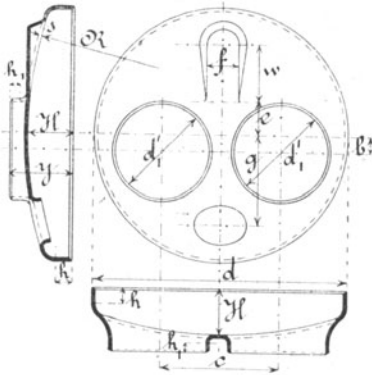


Abb. 271.

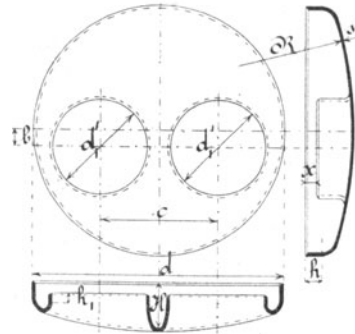


Abb. 272.

$d =$	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	mm
$d_1 =$	975	925	875	825	775	750	725	650	"
$d_1' =$	950	900	850	800	750	725	700	625	"
	925	875	825	775	725	700	675	600	"
	900	850	800	750	700	675	650	575	"
	875	825	775	725	675	650	600	—	"
$H =$	400	395	375	355	335	320	330	295	"

bei Einhalungen (Abb. 272) beträgt H :

$H =$	360	355	340	320	305	295	310	285	"
$y =$	545	535	515	490	470	455	465	445	"
$h =$	90	90	90	90	90	90	90	90	"
$h_1 =$	80	80	80	75	75	75	75	75	"
$b =$	160	160	160	150	140	130	115	110	"
$c =$	1180	1140	1085	1040	970	925	875	825	"
$x =$	55	55	55	60	65	65	65	80	"
$e =$	470	425	390	350	260	260	230	220	"
$w =$	450	450	450	450	450	450	450	450	"
$f =$	240	240	240	240	240	240	240	240	"
$g =$	925	810	810	750	700	700	650	600	"
$R =$	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2500	2400	"
$s =$	22—25	20—25	20—25	20—25	20—25	20—25	20—22	20—22	"

Die Böden, die den fettgedruckten Zahlen entsprechen, stellen die gangbarsten Sorten dar und werden von der Firma stets auf Lager gehalten.

Alle Böden werden mit gedrehten Kanten geliefert und genügen für einen Betriebsüberdruck von 12 at. Unter Beibehaltung des äußeren Durchmessers können die Lochdurchmesser und Mittelentfernungen nach Wunsch entsprechend geändert werden. Die Böden werden je nach Wunsch mit oder ohne Wasserstandsfläche, Speisestutzenfläche und Mannloch geliefert. Größe des Mannlochs 300×400 mm oder 320×425 mm. Die Böden werden auch für doppelte Naht geliefert. In diesem Falle sind die Abmessungen H , h , y und x um je 35 mm größer.

γ) Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalsungen für Einflammrohrkessel.

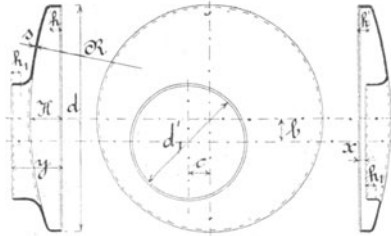


Abb. 273.

<i>d</i> mm	<i>b c d'₁</i> mm	<i>H</i> mm	<i>y</i> mm	<i>x</i> mm	<i>h</i> mm	<i>h₁</i> mm	<i>R</i> mm	<i>s</i> mm
1300	beliebig, jedoch muß die lichte Weite zwischen Bord des Bodens und Bord des Rohrloches mindestens 100 mm betragen.	230	340	45	75	70	1600	15—20
1350		235	340	45	75	70	1700	15—20
1400		235	340	45	75	70	1700	15—20
1450		235	350	45	75	70	1700	15—20
1500		270	365	50	80	70	1800	16—23
1550		270	375	55	80	70	1800	16—23
1600		270	390	65	80	70	2000	17—23
1650		275	390	65	80	75	2000	17—23
1700		275	400	65	80	75	2200	17—24
1750		275	400	65	80	75	2200	17—24
1800		275	400	70	80	75	2400	18—25
1850		275	405	70	85	75	2400	18—25
1900		290	410	75	85	75	2600	18—25
1950		300	410	75	85	75	2600	18—25
2000		300	410	75	90	80	2800	18—25
2100		310	410	75	90	80	3000	18—25
2200		325	410	75	90	80	3000	18—25
2300		345	420	75	90	80	3000	18—25
2400		365	425	75	90	80	3000	18—25
2500		385	430	75	90	80	3000	18—25

Die Bodenkrempen können für doppeite Nietnaht erhöht werden.

δ) Gewölbte Böden mit eingezogener Rohröffnung für Wellrohrkessel.

<i>d</i>	1400	1600	1800	2000	2200	2300
<i>d'₁</i>	815	985	1140	1280	1430	1430
<i>w</i>	700	800	950	1100	1250	1300
<i>w₁</i>	800	900	1050	1200	1350	1400
<i>H</i>	230	250	255	255	300	320
<i>h</i>	80	80	80	80	80	80
<i>x</i>	100	125	125	125	160	160
<i>b</i>	105	125	100	100	140	140
<i>c</i>	105	125	145	150	180	180
<i>s</i>	18	19	19	23	23	23

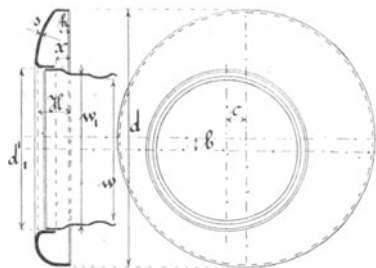


Abb. 274.

Das gerade Stück der Einhalsung beträgt 70 mm.

Die Stemmkanthen für Rohr- und Mantelflansch werden gedreht geliefert. Die Böden genügen für einen Betriebsüberdruck von 12 at.

Auf Wunsch kann der zylindrische Mantelflansch mit 125 mm Breite angefertigt werden, wodurch sich H , h und x um 45 mm erhöht.

ε) Gewölbte Böden für Dreiflammrohrkessel.

Hierzu Abb. 279 und 280 auf Seite 215.

$d = 2500$	2600	2700	2800	2900	3000
$R = 3000$	3000	3300	3300	3300	3300
$s = 22-28$	22-28	22-28	22-28	22-28	22-28

d'_1 und d'_2 können nach Wunsch ausgeführt werden.

Die Kanten der Krepfen stehen parallel zur Nietnaht des Kesselmantels.

ζ) Böden für Heizrohrkessel.

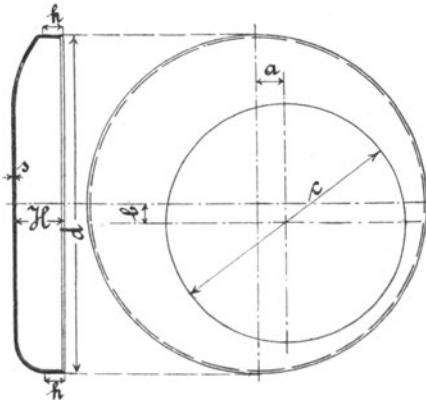


Abb. 275.

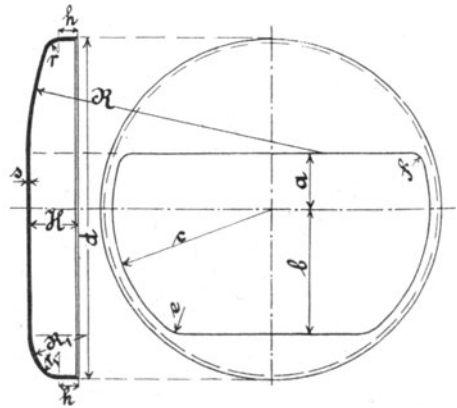


Abb. 276.

d	H	h	s	a	b	c	Gewicht ca. kg
1400	255	125	18	105	105	900	300
1600	275	125	19	125	125	1100	410
1800	280	125	19	145	100	1260	570
2000	280	125	23	150	100	1400	820
2200	325	125	23	180	140	1560	1000
2300	345	125	23	180	140	1660	1100

d	2000	2100	2200	2300	2400
H	310	350	355	360	360
h	135	135	140	145	145
a	450	475	500	525	550
b	825	825	850	850	900
c	875	925	975	1025	1075

Blech- stärke:	Annäherndes Gewicht in kg:				
25	975	1050	1125	1200	1275
26	1015	1090	1170	1250	1325
27	1045	1130	1215	1300	1375
28	1080	1180	1260	1350	1425
29	1120	1220	1305	1400	1475
30	1160	1260	1350	1450	1525

b) Böden von Thyssen & Co., Mühlheim a. d. Ruhr.
 α) Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalungen für Zweiflamrohrkessel. Abb. 277 und 278.
 (Äußerer Bord für einfache Naht.)

d	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
d'_1 aus-gehalst	675	700	775	825	875	925	1000	1075
	650	700	750	800	850	900	975	1050
	625	—	725	775	825	875	950	1025
	600	—	700	750	800	850	925	1000
	—	—	675	725	775	825	900	975
	—	—	650	700	750	800	—	—
	—	—	—	—	725	—	—	—
	—	—	—	—	825	—	—	—
	—	—	—	—	875	—	—	—
	—	—	—	—	—	725	—	—
d'_1 ein-gehalst	650	700	775	800	825	925	950	1025
	625	675	725	775	825	900	925	1000
	600	650	700	750	800	875	900	975
	575	625	675	725	775	850	875	950
	—	600	650	700	750	825	850	900
	—	—	—	—	—	800	—	—
	—	—	—	—	—	775	—	—
	—	—	—	—	—	750	—	—
	—	—	—	—	—	725	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
$s = 16-22$	17-23	18-19	18-24	19-21	19-25	20-21	20-25	21-26
$H = 290$	310	300	325	310	345	310	370	365
$h = 90$	100	100	100	100	100	100	100	100
$h_1 = 75$	75	75	80	80	80	80	80	90
$y = 420$	435	425	455	460	470	450	510	525
$x = 50$	60	55	60	65	60	65	65	55
$c = 825$	875	850	925	970	1040	925	1085	1180
$b = 110$	115	115	130	140	150	145	140	100
$R = 2400$	2500	2800	2700	3000	3000	3300	3200	3300
$w = 750$	800	780	825	855	895	895	950	1065
$f = 230$	240	240	240	240	265	240	265	265
bei Aus- halung	$\alpha = 570$	580	620	650	720	—	720	725
	$e = 570$	610	650	700	685	—	730	800
bei Ein- halung	$\alpha = 575$	625	650	700	775	—	775	800
	$e = 515$	535	570	590	600	—	640	810
	$g = 220$	220	230	240	250	—	250	260

1) Bei $d'_1 = 1025$ ist $x = 55$, bei $d'_1 = 925$, 900 und 875 ist $x = 70$.

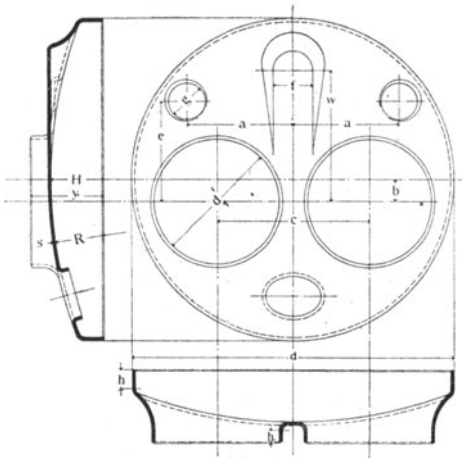


Abb. 277.

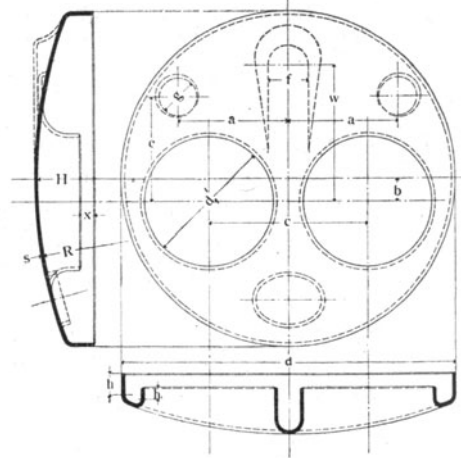


Abb. 278.

Die Böden auf Seite 211 werden auch für doppelte Rundnaht hergestellt, dabei wird H , h , x und y um je 30 mm größer.

Die Böden können alle mit ausgepreßter Wasserstandsfläche, ausgepreßter rechts- und linksseitiger Speisestutzenfläche (D. R. G. M.), eingehalstem Mannloch 320 · 425 mm groß, angefertigt werden.

Zu diesen Mannlöchern werden passende, aus Blech gepreßte Deckel und Bügel mitgeliefert.

Alle Böden werden mit abgedrehten Stemmkannten und die Mannlocheinhalzung mit abgedrehter Dichtungsfläche geliefert.

2) Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalsungen für Einflammrohrkessel.
Abb. 273. (Äußerer Bord für einfache Naht.)

$d = 1300$		1400	1500	1600	1700	1800			
d'_1 aus- gehalst	= 675	725	775	750	825	800	875	850	900
	= 650	700	750	—	800	—	850	—	875
	= 625	675	725	—	775	—	825	—	825
	= 600	—	—	—	—	—	—	—	—
d'_1 ein- gehalst	= 675	725	775	750	825	800	875	850	900
	= 650	700	750	—	800	—	850	—	850
	= 625	675	725	—	775	—	825	—	800
	= 600	—	—	—	—	—	—	—	—
$s = 13-17$	14-18	14-18	15	15-19	16	16-20	17	18	
$H = 270$	285	305	250	290	245	285	245	250	
$h = 90$	90	90	90	90	90	90	90	90	
$h_1 = 75$	75	75	75	75	75	75	75	75	
$y = 395$	415	430	405	415	380	430	380	385	
$x = 45$	45	50	50	60	60	50	55	60	
$c = 130$	130	140	150	150	150	160	160	170	
$b = 130$	140	150	160	160	160	170	170	180	
$R = 1400$	1500	1800	2000	2000	2200	2200	2700	2800	

Dieselben Böden werden auch für doppelte Rundnaht hergestellt, dabei wird H , h , x und y um je 30 mm größer. Sie werden auf Wunsch auch mit seitlich angebrachtem eingehalsten Mannloch 320 · 425 mm groß versehen und werden dazu passende, aus Blech gepreßte Deckel und Bügel geliefert.

d) Böden für Dreiflammrohrkessel.

Ausgehalst, Abb. 279.

d mm	s mm	d'_1 mm	d'_2 mm	H mm	h mm	h_1 mm	y mm	a mm	b mm	c mm	w mm	f mm	R mm
2500	22—26	900	725	400—445	100—145	80	550—595	750	30	1280	910	265	3000

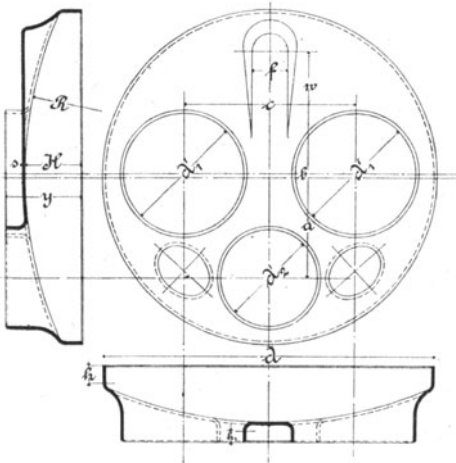


Abb. 279.

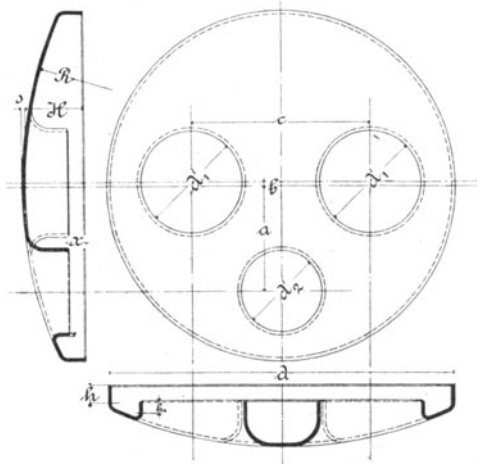


Abb. 280.

Eingehalst, Abb. 280.

d mm	s mm	d'_1 mm	d'_2 mm	H mm	h mm	h_1 mm	x mm	a mm	b mm	c mm	R mm
2500	22—26	725	580	420—445	100—145	80	95—140	750	30	1280	3000

Die Böden können mit eingehalstem rechts-, links- oder beiderseitigem Mannloch 320 · 425 mm groß, die ausgehalsten Böden auch mit ausgepreßter Wasserstandsfläche geliefert werden.

Alle Böden werden mit abgedrehten Stemmkanten und die Mannlocheinhalstungen mit abgedrehter Dichtungsfläche geliefert.

Sämtliche Böden für Ein-, Zwei- und Dreiflammrohrkessel können auch mit Mannloch oder Reinigungsloch 300 · 405 mm mit Deckel und Bügel, oder 280 · 380 mm, 250 · 350 mm, 240 · 340 mm ohne Deckel und Bügel geliefert werden.

ε) Böden für Heizrohrkessel. Abb. 276 (S. 210).

d mm	s mm	H mm	h mm	R mm	R_1 mm	r mm	r_1 mm	a mm	b mm	c mm	e mm	f mm
2000	25	315—335	130—150	1200	190	45	0	475	775	925	100	200
2100	25	310—330	130—150	2000	380	45	140	300	780	980	200	100
2200	25	340—360	130—150	1450	250	50	160	320	800	1000	200	100
2300	26	340—360	130—150	2000	400	50	160	510	850	1075	200	100
2400	26	345—365	130—150	1375	400	50	160	650	920	1100	200	100

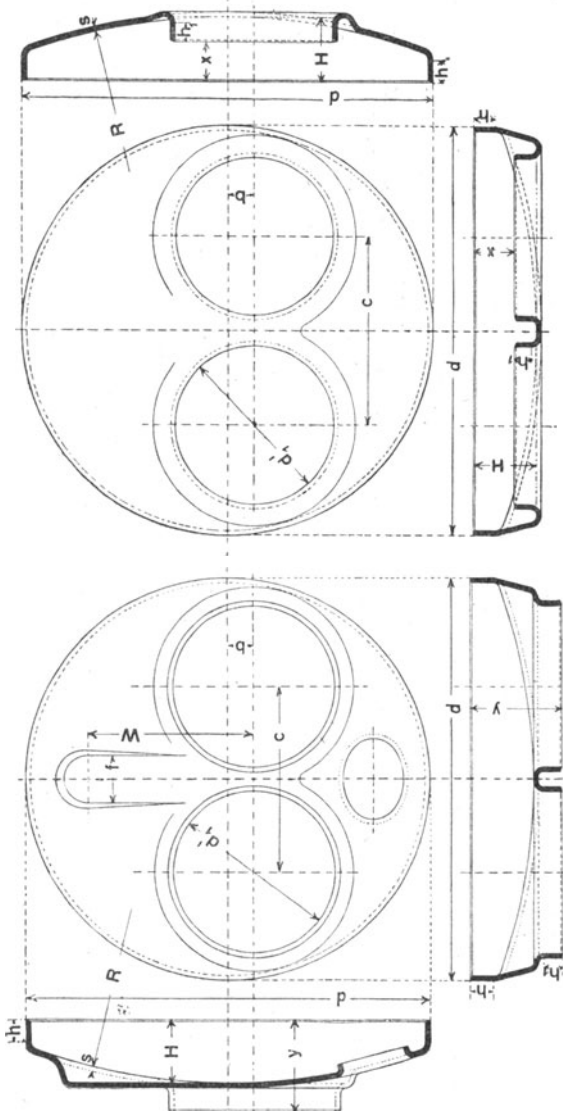


Abb. 282.

Abb. 281.

c) Kropfböden der Aktiengesellschaft „Phönix“.

Abteilung: Hörder Verein in Hörde i. W.

Der Phönix liefert zunächst glatte Kesselböden und solche für Ein- und Zweiflammrohrkessel in ganz ähnlichen Abmessungen wie die unter a) und b) aufgeführten, dann aber auch Kropfböden nach den Abb. 281 und 282. Durch diese soll vermieden werden, daß zwischen Flammrohr und Auswalsung des Bodens ein langer, enger, oft nur fugenartiger Raum entsteht, der sich allmählich mit Kesselstein zusetzt, so daß die Flammrohre an diesen Stellen oft nicht genügend durch das Wasser gekühlt werden.

$d = 2000$	2100	2200	2300	2400	2500	
d'_1 aus- gehalst	= 800	850	900	925	1000	1075
	= 775	825	875	900	975	1050
	= 750	800	850	875	950	1025
	= 725	775	825	850	925	1000
	= 700	750	800	825	900	975
	= 675	725	775	800	875	950
	= 650	700	750	—	850	925
	= —	—	—	—	825	900
	= —	—	—	—	800	—
d'_1 ein- gehalst	= 775	825	875	900	1000	1025
	= 750	800	850	875	975	1000
	= 725	775	825	850	950	975
	= 700	750	800	825	925	950
	= 675	725	775	800	900	925
	= 650	700	750	775	875	900
	= —	675	725	750	850	875
	= —	—	—	—	825	—
	= —	—	—	—	—	—
$H = 315$	340	350	355	385	405	
$h = 100$	100	100	100	100	100	
$h_1 = 80$	80	80	80	90	90	
$y = 450$	475	490	510	530	550	
$x = 205$	225	235	240	265	285	
$c = 920$	970	1040	1085	1180	1225	
$b = 130$	140	150	140	100	100	
$W = 820$	850	890	905	920	1025	
$f = 240$	240	260	260	260	260	
$R = 2800$	3000	3000	3000	3000	3000	

C. Domböden mit eingepreßtem Mannloch.

Die Firma Schulz Knautd & Co., Huckingen (Kreis Düsseldorf), liefert solche Böden nach Abb. 263, und zwar nach folgender Tabelle (d = äußerer Durchmesser, R = innerer Krümmungsradius):

$d = 500$	600	650	700	750	800	850	900	950
$R = 650$	750	800	850	900	950	1000	1100	1200

Die Dichtungsfläche am Boden wird abgedreht. Domböden mit hiervon abweichenden Abmessungen werden durch Handarbeit hergestellt.

Die Firma Thyssen & Co. in Mülheim a. d. Ruhr liefert jeden gewünschten Domboden mit Mannloch 320 · 425 mm und dazu passenden gepreßten Deckeln und Bügeln in den Größen ihrer Normalböden von 600 mm Durchmesser aufwärts. Auf Verlangen werden die Domböden auch mit eingehalstem Mannloch 300 · 405 mm oder 280 · 380 mm oder 250 · 350 mm oder 240 · 340 mm groß geliefert; für die erste Größe können passende Deckel und Bügel mitgeliefert werden, für die anderen Größen dagegen nicht.

Da die Mannlocheinhalzung durch das Auspressen mehrere Millimeter in der Blechdicke verliert, wird empfohlen, die Böden nicht allzu dünn zu nehmen, damit die Dichtungsfläche nicht zu schmal wird.

VI. Abschnitt.

Die als Hilfsheizflächen dienenden Vorrichtungen.

29. Die Überhitzer.¹⁾

A. Allgemeines.

Um den erzeugten Dampf zu überhitzen, wird er nach Verlassen des Kessels durch ein zweckentsprechend gestaltetes Rohrbündel — den Überhitzer — geschickt, das der Einwirkung der Heizgase ausgesetzt ist. Dazu stellt man entweder, für mehrere Kessel gemeinsam, in einem besonderen Mauerwerk einen „Zentralüberhitzer“ auf oder verbindet jeden Kessel mit einem „Einzelüberhitzer“.

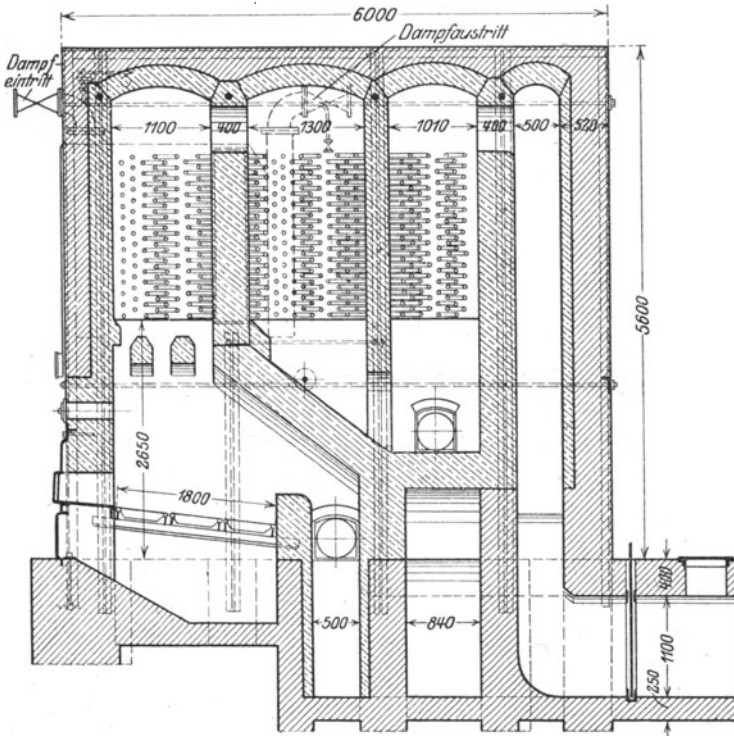


Abb. 283.

¹⁾ Genaueres über Überhitzer findet man in den Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Vereine deutscher Ingenieure, Heft 14 bis 16 „Berner: Die Erzeugung des überhitzten Wasserdampfes“.

a) Die Zentralüberhitzer (Abb. 283, Ausführung Büttner-Uerdingen) erfordern eine besondere Feuerung. Daraus ergeben sich mancherlei schwere Nachteile. Sie sind darauf zurückzuführen, daß der durchströmende Dampf die Überhitzerrohre nicht so kühlt, daß man sie der unmittelbaren Einwirkung des Feuers aussetzen kann. Man ist daher gezwungen, den Feuerraum völlig abzudecken und die entwickelten Heizgase erst noch durch Mischung mit Luft abzukühlen, ehe sie an den Überhitzer geleitet werden. Dadurch aber werden einerseits häufig Instandsetzungen des Feuerungsmauerwerkes erforderlich, andererseits ist infolge des besonders großen Luftüberschusses nur eine mangelhafte Wärmeausnutzung möglich. Da die Zentralüberhitzer ferner eine besondere Bedienung nötig machen, so ist ihre Verwendung, trotzdem sie die Überhitzungstemperatur auch bei wechselnder Dampfmenge in den gewünschten Grenzen zu halten gestatten, nur in ganz wenigen Fällen vorteilhaft. Ein solcher Fall kann z. B. vorliegen, wenn eine vorhandene, aus mehreren Kesseln bestehende Anlage beim Aufstellen einer neuen Dampfmaschine nachträglich mit Überhitzer versehen werden soll.

b) Die Einzel- oder Kesselzugüberhitzer werden in die Züge der einzelnen Kessel eingebaut. Da das bei vielen Kesselbauarten ohne wesentliche Vergrößerung der wärmeausstrahlenden Mauerwerksflächen möglich ist und meistens eine bessere Wärmeausnutzung zur Folge hat, so haben die Kesselzugüberhitzer jetzt bei Kesseln, in denen Dampf für Kraftzwecke erzeugt wird, die ausgedehnteste Anwendung gefunden.

B. Konstruktion und Unterbringung der Überhitzer.

Als Baustoff für Überhitzer kommt nur in Betracht:

1. gegossenes Eisen (Gußeisen, Stahlguß),
2. schmiedbares Eisen (Flußeisen, Stahl, ganz selten Nickelstahl).

Beides ist brauchbar, doch hängt bei Gußeisen die Brauchbarkeit sehr von der Zusammensetzung ab. Nur sehr wenige Firmen haben bisher brauchbare Gußeisenüberhitzer geliefert.

Am verbreitetsten sind die gußeisernen Überhitzer von E. Schwoerer in Kolmar i. E. Die Überhitzerrohre (Abb. 284, 285) von 190 mm lichtem Durchmesser sind mit äußeren Querrippen, die den

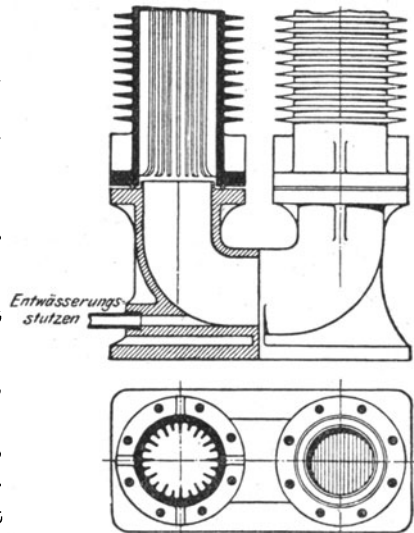


Abb. 284 u. 285.

Heizgasen die Wärme entziehen sollen, und mit inneren Längsrippen versehen, die den Dampfstrom vielfach zerteilen und dadurch eine energische, gleichmäßige Übertragung der Wärme auf den Dampf ermöglichen. Die große Eisenmasse der Rohre bewirkt eine gewisse Aufspeicherung der Wärme und eine Regelung der Temperatur des überhitzten Dampfes. Zur Reinigung der Rohre von Asche genügt in der Regel ein wöchentlich einmal erfolgendes Abblasen mittels eines Dampfstrahles.

Ein anderer gußeiserner Überhitzer wird von der Maschinenfabrik Gebr. Böhmer in Magdeburg-Neustadt gebaut (Abb. 286, 287). Er wird aus gußeisernen, außen gerippten Doppelheizrohren gebildet, von denen jedes nur eine Flanschverbindung hat und sich infolgedessen nach der anderen Seite frei ausdehnen kann. Sämtliche Doppelheizrohre, deren Material aus einer besonders geeigneten Gattung von Holzkohleneisensorten

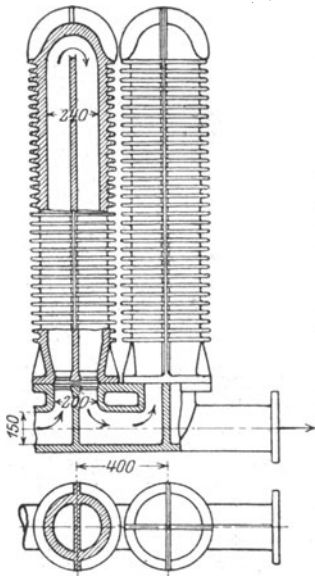


Abb. 286 u. 287.

besteht, sind an einem Ende durch ein eigenartig konstruiertes Rohr miteinander verbunden, so daß der zu überhitzende Dampf sämtliche Doppelheizrohre nacheinander durchströmt. Die Überhitzerrohre werden liegend und stehend angeordnet.

Für schmiedeeiserne Überhitzer verwendet man nur bei solchen, in denen alle Rohre hintereinander durchflossen werden, weitere Rohre bis etwa 108 mm äußerem Durchmesser. Die meisten Überhitzer werden aus Rohren

von 30 bis 45 mm äußerem Durchmesser und Wandstärken nicht unter 3 mm, gewöhnlich 4 bis 5 mm gebildet. Bei kleineren Rohren wird der Dampf besser erwärmt, und man kann in gegebenem Raume mehr Rohre unterbringen als bei großen Rohren.

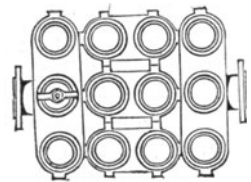
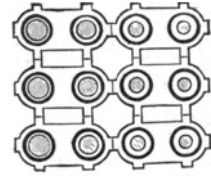


Abb. 288 bis 290.

Es können nun entweder alle Rohre hintereinander geschaltet werden, was nur bei Kesselanlagen bis höchstens 50 qm Heizfläche zu empfehlen ist, oder es wird ein Teil der Rohre parallel geschaltet. Letztere Schaltung ist am gebräuchlichsten.

Bezüglich der Form der Überhitzerrohre unterscheidet man Flachrohre, deren Windungen in der gleichen Ebene liegen und Spiralrohre.

Die Flachrohre kann man wieder einteilen in

1. gerade Rohre,
2. U-förmige Rohre,
3. schlangenförmige Rohre.

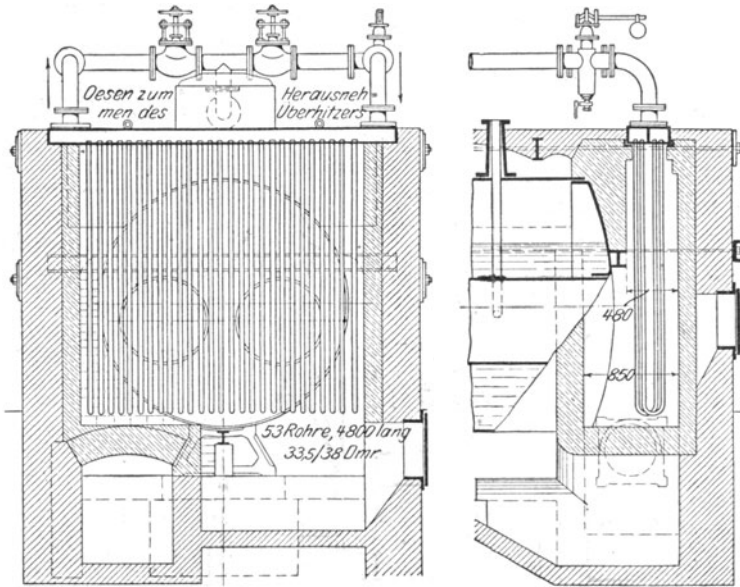


Abb. 291 u. 292.

Die geraden Rohre verlangen die meisten Verbindungen mit den Dampfkammern und haben ferner den Nachteil, daß sie nur die Verankerung einer Dampfkammer gestatten, sie haben aber den Vorteil, daß man einzelne Rohre leichter auswechseln kann, weil man solche normalen Rohre überall und zu jeder Zeit erhalten kann. Als Beispiel sei hier der Adorjānsche Überhitzer erwähnt, der von der Firma A. Leinveber & Co. in Gleiwitz gebaut wird (Abb. 288 bis 290). Die geraden, schmiedeeisernen Rohre sitzen in Stahlgußkammern. Im Innern der Überhitzerrohre sind noch andere, an den Enden geschlossene kleine Rohre angebracht, die verschiedene Durchmesser besitzen. Es soll dadurch erreicht werden, daß der Dampf in dünner Schicht durch die Rohre fließt und dadurch besser und gleichmäßiger überhitzt wird, und daß er bei fortschreitender Überhitzung eine größere Geschwindigkeit annimmt, so daß auch bei starker Überhitzung die Rohre

noch genügend gekühlt werden. In den Kammern sind gegenüber den Rohren Innenverschlüsse angebracht, bei denen ein Kupferring die Dichtung besorgt. Der Überhitzer ist bei jeder Kesselbauart verwendbar.

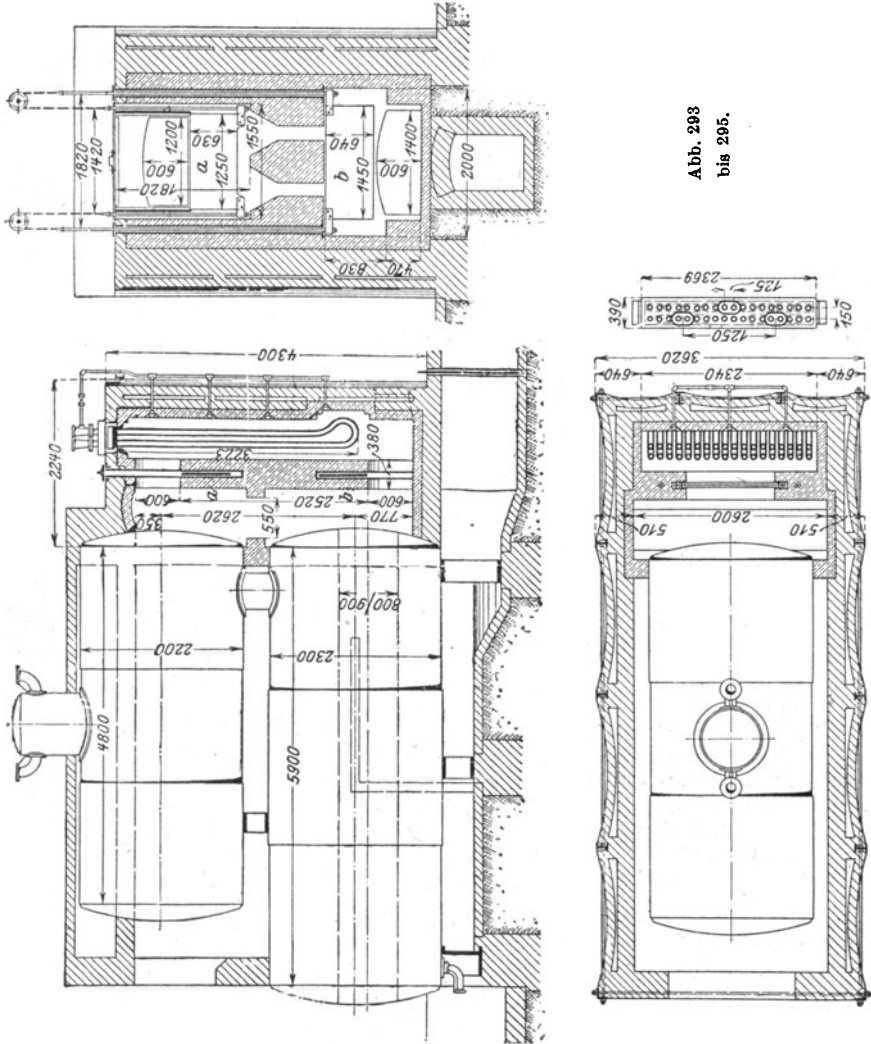


Abb. 293
bis 295.

U-förmige Rohre werden meistens hängend angeordnet. Sie gewähren im allgemeinen den Vorteil, daß man den Überhitzer zur Instandsetzung leicht aus dem Mauerwerk ziehen kann. Abb. 291, 292 zeigen einen solchen hinter einem Flammrohrkessel eingebauten Überhitzer. Die Anordnung hat den Nachteil, daß nicht die gesamte Überhitzerfläche im Gastrom liegt und der Überhitzer nicht ausgeschaltet werden kann.

Diese Mängel sind bei dem in Abb. 293 bis 295 wiedergegebenen, an einem Doppelkessel verwandten Überhitzer nicht vorhanden. Einzelheiten seiner Bauart — Patent Szamatolski — sind aus Abb. 296 ersichtlich.

Die Rohre gehen von einer genieteten Kammer aus, die durch Stehbolzen versteift wird. Über den Rohrmündungen sind Lenkkappen K_1 — K_4 angeordnet, so daß der durch einen Stutzen in die Kammer eintretende Dampf durch die Rohre 1, 2, 3 in die Kappe K_1 , dann durch 4 und 5 nach K_2 , durch 6 und 7 nach K_3 , durch 8 nach K_4 und schließlich durch 9 zum Ausgangsstutzen B gelangt. Der Dampf hat somit bei mehr-

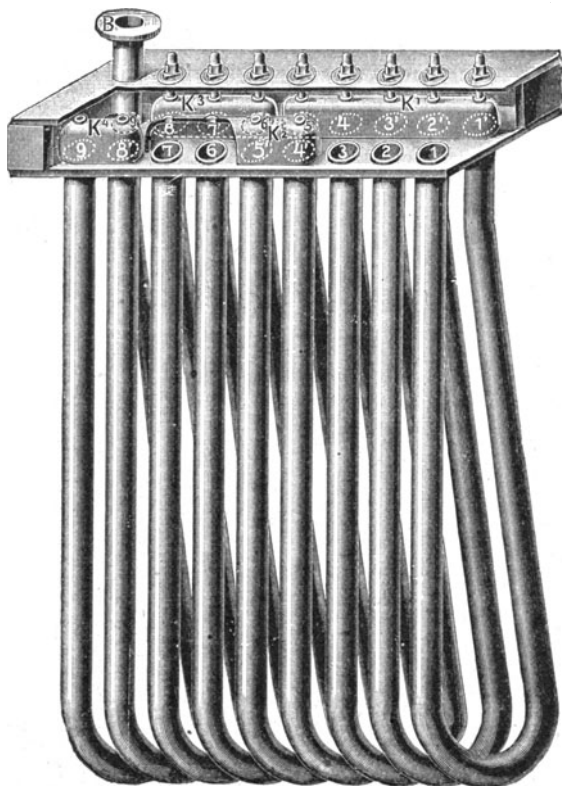


Abb. 296.

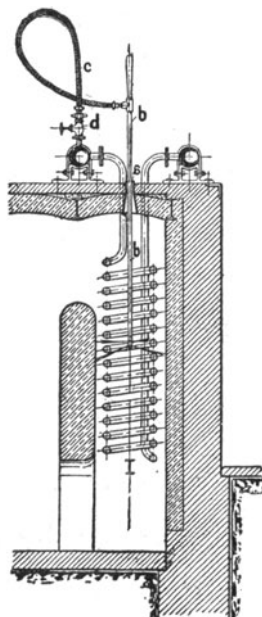


Abb. 297.

maligen Richtungsänderungen einen ziemlich langen Weg durch den Überhitzer zurückzulegen, wodurch eine gleichmäßige und hohe Überhitzung erzielt werden soll. Die Durchflußgeschwindigkeit des Dampfes wird nach dem Ende zu durch die abnehmende Anzahl der gleichzeitig durchflossenen Rohre gesteigert, was für die Kühlung der Rohre von Vorteil ist. Demgegenüber wird der Strömungswiderstand wesentlich höher sein als bei einem Überhitzer mit parallel geschalteten Rohren.

Wie schlangenförmige Rohre beim Aufbau der Überhitzer Verwendung finden können, geht hervor aus Abb. 197, 198; 203 bis 205; 210 bis 212; 213; 309 und Tafel VII, VIII, XIII bis XVIII.

Ein Überhitzer mit Spiralrohren ist in Abb. 297 dargestellt, er wird von verschiedenen Firmen, wie K. & Th. Möller in Brackwede, Hannoversche Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft in Hannover-Linden usw.

gebaut. Die Spiralrohre werden sowohl liegend als auch hängend angeordnet. Die Rohre sind parallel geschaltet. Der Vorteil der Spiralrohre liegt darin, daß bei den hohen Dampfgeschwindigkeiten die kälteren und deshalb spezifisch schwereren Dampfteilchen, namentlich auch Wasser, durch die Fliehkraft immer wieder an die äußere Rohrwand gedrängt werden.

Zum Abblasen des Rußes können Vorrichtungen wie die in Abb. 297 dargestellte benutzt werden. Zentrisch zu jeder Spirale ist im Mauerwerk eine mit Verschuß versehene Öffnung *a* angebracht, durch die das Strahlrohr *b* eingeführt wird. Von der Heißdampfkammer aus wird dem Strahlrohr durch Ventil *d* und Schlauch *c* Dampf zugeführt, der durch einige am Ende des Strahlrohres angebrachte Löcher austritt und das Spiralrohr abbläst.

Die Ablagerung von Ruß und Flugasche findet bei liegenden Rohren in erhöhterem Maße als bei hängenden statt. Da sie von wesentlichem Einfluß auf den Wärmedurchgang ist, so werden die Überhitzerrohre allgemein ein- bis zweimal täglich mittels Dampf-, besser noch Preßluftstrahles abgeblasen.

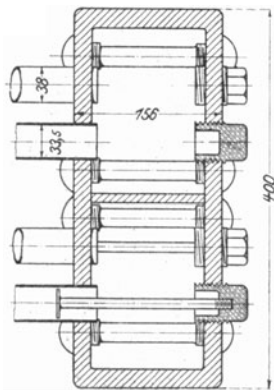


Abb. 298.

Die Rohrreihen sollen gegeneinander versetzt sein, dann werden die Gase gut durchgewirbelt und alle Rohre von ihnen getroffen.

Zur Verbindung der einzelnen Rohre zu einem Überhitzer dienen Dampfkammern, die aus zähem Gußeisen, Stahlguß, Schweißeisen oder Flußeisen bestehen. Die gegossenen Kammern sind in der Regel röhrenförmig (Tafel VIII und XV), die geschweißten, genieteten und nahtlos gezogenen Kammern haben selten runden, meist rechteckigen oder quadratischen Querschnitt (Tafel VII, XIII, XIV, XVI, XVII und XVIII).

Für Dampfkammern, die im Feuer liegen, verwendet man lieber hochwertiges Gußeisen als Schmiedeeisen, da sich das Gußeisen weniger leicht verzieht. Die schmiedeeisernen Kammern können entweder geschweißt, genietet oder nahtlos gezogen sein. Geschweißt sind z. B. die Kammern der Überhitzer von L. & C. Steinmüller in Gummersbach (Tafel XIV und Abb. 298) und derjenigen von Dürr & Co. in Ratingen (Abb. 176). Büttner, Uerdingen a. Rh. und Jacques Piedboeuf verwenden gezogene, schmiedeeiserne Kammern. Ewald Berninghaus, Duisburg, verwendet gußeiserne Kammern (Tafel VIII, Fig. 9).

Gußeiserne Kammern soll man nur bei gut entwässerbaren Überhitzern nehmen, da dieselben durch Wasserschläge leicht zerstört werden können. Die Dampfkammer kann nun liegen:

1. ganz innerhalb des Mauerwerkes,
2. im Mauerwerke selbst,
3. ganz außerhalb des Mauerwerkes.

Im ersten Fall sind die Kammer und die Verbindungen der Rohre mit der Kammer der Wirkung der Rauchgase ausgesetzt, dagegen fallen alle Ausstrahlungsverluste fort. Liegt die Kammer ganz außerhalb des Mauerwerkes, so ist sie selbst gut geschützt, aber die Ausstrahlungsverluste sind groß und die vielen Durchdringungsstellen der Rohre mit dem Mauerwerke sind leicht undicht. Am besten erscheint die zweite Art. Die Befestigungsstellen der Rohre lassen sich hier so legen, daß sie der Einwirkung der heißesten Gase etwas entzogen sind, und Ausstrahlung kann nur nach einer Seite hin erfolgen.

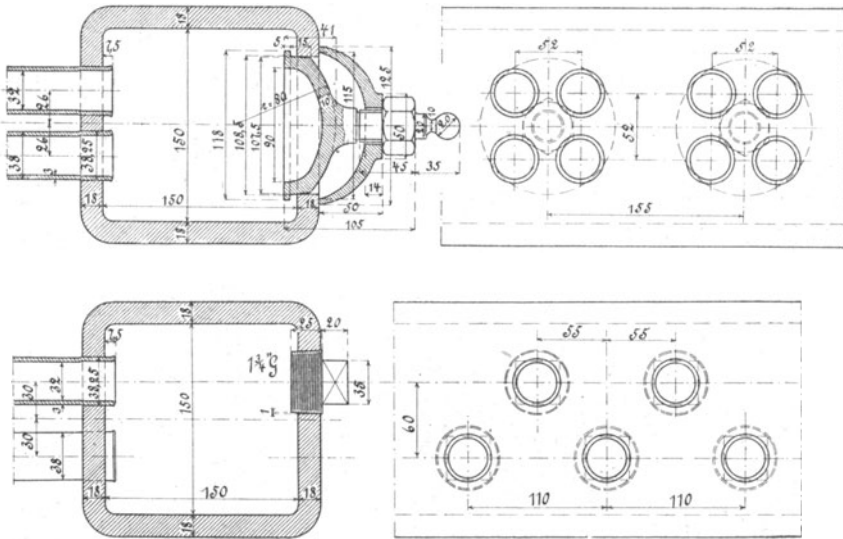


Abb. 299 bis 302.

Die Befestigung der Rohre an der Kammer erfolgt:

1. durch Flansch, nur bei gußeisernen Kammern üblich;
2. durch Aufwalzen mit oder ohne Umbördelung, nur bei schmiedeeisernen Kammern möglich und hier sehr gebräuchlich;
3. durch Einschrauben mit oder ohne Aufwalzung und Umbördelung.

Mit Flansch versteht E. Berninghaus, Duisburg, die Rohre (Tafel VIII, Fig. 10 und 11).

Die meisten Firmen befestigen die Rohre jetzt durch Einwalzen. Die Abb. 299—302 zeigen Ausführungen der Rheinischen Dampfkessel- und Maschinenfabrik Büttner in Uerdingen a. Rh. Die Überhitzerrohre sind eingewalzt und die Enden noch etwas aufgeweitet.

Als **Ausrüstung eines Überhitzers** werden behördlicherseits verlangt¹⁾:
ein **Sicherheitsventil** und
eine **Entwässerungseinrichtung**.

Die Letztere ist von besonderer Wichtigkeit, da es sonst bei Inbetriebnahme des Überhitzers ziemlich lange dauert, bis das gewünschte Maß der Überhitzung erreicht wird und außerdem aus dem Überhitzer mitgerissenes Wasser für die Dampfmaschine gefährlich werden kann. Wo es, wie z. B. bei hängenden Rohren nicht möglich ist, die Entwässerung von einem Punkte aus vorzunehmen, soll sie durch eine Ausblasevorrichtung ersetzt werden.

Außer den vorgeschriebenen Ausrüstungsstücken wird am Dampfaustritt stets ein **Thermometer**, zuweilen auch ein **Manometer** angebracht. Ferner werden, mit wenigen durch die Kesselbauart bedingten Ausnahmen, **Absperrorgane** vor und hinter dem Überhitzer in die Dampfleitung eingebaut. Bei den Ausführungen, bei denen sich der Überhitzer nicht aus dem Gasstrom ausschalten läßt (vgl. Taf. XVIII), sind diese Absperrorgane notwendig, damit man den Überhitzer beim Anheizen zunächst mit Wasser füllen kann. Dadurch werden einerseits die Überhitzerrohre vor dem Verbrennen geschützt, andererseits wird die Anheizzeit infolge der vergrößerten Kesselheizfläche verringert.

Die **Führung der Heizgase** kann im Gleichstrom oder im Gegenstrom zur Durchflußrichtung des Dampfes erfolgen. Der Gegenstrom ist zwar der wirksamere, doch ist die Dauerhaftigkeit der Rohre dabei eine sehr geringe. Es wird deshalb meistens gemischte Strömung angewandt. Da man somit gezwungen ist, von der größtmöglichen Erhöhung des Wärmedurchgangs abzusehen, so ist es besonders wichtig, die Heizgase so zu führen, daß kein Teil der Überhitzerfläche außerhalb des Gasstromes liegt.

Die **bauliche Anordnung der Überhitzer in den Kesselzügen** ist schon bei den einzelnen Kesselbauarten besprochen worden. Allgemein kann man vier Anordnungen unterscheiden, die sich wieder in zwei Gruppen zusammenfassen lassen. Zu ihrer näheren Erörterung mögen die Abb. 303 bis 306 dienen, in denen eine gerade Linie die Kesselheizfläche und eine gewellte die Überhitzerfläche bedeutet.

Gruppe a.

Parallelschaltung von Kessel und Überhitzer.

Nur ein Teil der Rauchgasmenge bestreicht die Überhitzerfläche.

Anordnung 1 (Abb. 303).

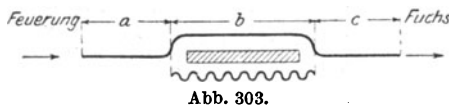


Abb. 303.

Die Heizgase bestreichen auf der Strecke *a* Kesselheizfläche. Auf der Strecke *b*

¹⁾ H. Jaeger, Bestimmungen über Anlegung und Betrieb der Dampfkessel, Carl Heymanns Verlag, Berlin, 1910, S. 44.

bestreicht ein Teil der Gase Kesselheizfläche, der andere Teil die Überhitzerfläche. Beide Teile vereinigen sich wieder, so daß auf der Strecke c von den Gasen nur Kesselheizfläche bestrichen wird.

Anordnung 2 (Abb. 304).

Die Heizgase bestreichen auf der Strecke a nur Kesselheizfläche, dann teilen sie sich in zwei Ströme, von denen einer noch Kesselheizfläche, der andere die Überhitzerfläche berührt.

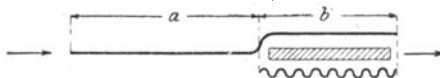


Abb. 304.

Gruppe b.

Hintereinanderschaltung von Kessel und Überhitzer.

Die ganze Rauchgasmenge bestreicht die Überhitzerfläche.

Anordnung 3 (Abb. 305).

Die Heizgase bestreichen zuerst Kesselheizfläche, dann die Überhitzerfläche und schließlich noch einmal Kesselheizfläche.

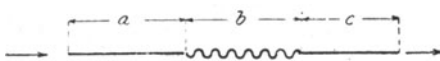


Abb. 305.

Anordnung 4 (Abb. 306).

Die Heizgase bestreichen zuerst Kesselheizfläche, dann die Überhitzerfläche.

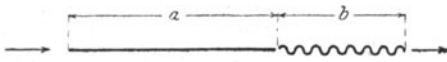


Abb. 306.

Die Anordnungen der Gruppe a verlangen mehr Überhitzerfläche als die der Gruppe b , doch kann man bei ihnen die Dampftemperatur, die bei den Kesselzugüberhitzern mit dem Anstrengungsgrade des Kessels steigt und fällt, durch Veränderung der am Überhitzer vorbeigeführten Rauchgasmenge auf einfache Weise regeln, während dazu bei Gruppe b ein besonderer Umföhrungskanal notwendig ist.

C. Regelung der Überhitzungstemperatur.

Die Regelung der Überhitzungstemperatur hat besonders seit Einführung der Dampfturbine allgemeinere Bedeutung erlangt und deshalb weitere Durchbildung erfahren. Eine Übersicht über die hauptsächlichsten dazu angewandten Verfahren soll nachstehend gegeben werden:

Regelung durch Veränderung der Heizgasmenge.

Der Überhitzer liegt so, daß er durch Einstellen von Klappen oder Schiebern ganz oder teilweise vom Gasstrom abgeschlossen werden kann (vgl. Taf. VII, VIII, XIII, XIV, XV und XVII). Diese Art der Regelung

war wegen ihrer Einfachheit sehr gebräuchlich, ist jedoch neuerdings, namentlich bei hoch beanspruchten Kesseln, durch andere Verfahren verdrängt worden, und zwar hauptsächlich wegen der häufigen Beschädigungen, denen die in den heißen Gasen liegenden Klappen ausgesetzt sind.

Regelung durch Veränderung der Überhitzerfläche.

Der Überhitzer kann teilweise oder ganz aus dem Kesselzuge herausgehoben werden (Ausführung der Firma L. Koch in Sieghütte-Siegen¹). Eine weitere Verbreitung hat das Verfahren nicht gefunden.

Regelung durch Mischung von gesättigtem und überhitztem Dampf.

Diese Regelung hat sich als recht mangelhaft erwiesen, vor allem, weil ein einigermaßen gleichmäßiges Gemisch nur sehr schwer zu erzielen ist. Wird nun gar der gesättigte und der überhitzte Dampf aus demselben Kessel entnommen, so ist es dabei erforderlich, daß dem Überhitzer um so weniger Dampf zugeführt, er also um so weniger gekühlt wird, je höherer Erwärmung er ausgesetzt ist.

Regelung durch Abkühlung des überhitzten Dampfes.

Der überhitzte Dampf wird ganz oder zum Teil durch einen Temperaturregler geführt, in welchem er die zu viel aufgenommene Wärme entweder an Satttdampf (wie beim Werner-Hartmannkessel Seite 146) oder an das Speisewasser (Ausführung A. Borsig, Berlin-Tegel) abgibt, oder er wird zur Abkühlung durch den Wasserraum des Kessels hindurchgeleitet, wie beim Kessel von Babcock & Wilcox (S. 133).

Dies hat vor allem den Vorteil, daß die Überhitzerfläche stets voll ausgenutzt werden kann. Es gestattet ferner, die Überhitzer so groß zu bemessen, daß sie auch bei mäßiger Kesselbeanspruchung eine hinreichende Überhitzung ergeben.

Der am Werner-Hartmannkessel (Abb. 199—202) verwandte Temperaturregler wird folgendermaßen betrieben.

Aus dem vorderen Oberkessel steigt der ziemlich nasse Dampf zu einem darüberliegenden, nach Art eines Röhrenvorwärmers gebauten Temperaturregler empor, umspült dessen Rohre und strömt dann durch zwei weite Rohre zum hinteren Oberkessel. Von hier gelangt der gesamte Dampf in den Dampfsammler und darauf in die beiden getrennten Überhitzer. Der dem einen Überhitzer entströmende Dampf wird dann durch die Rohre des Temperaturreglers geführt, gibt dort einen Teil seiner Wärme an den die Rohre umspülenden Satttdampf ab und wird schließlich mit dem vom anderen Überhitzer kommenden Dampf zusammengeführt. Mit Hilfe des Zwischenventils *V* kann man die Menge des dem Regler zuströmenden Dampfes verändern und damit die Dampftemperatur regeln.

¹) Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1902, Seite 717.

Abb. 307, 308 zeigt den Borsigschen Temperaturregler.

Er ist bis zu einer durch Überlaufrohre bestimmten Höhe mit Wasser gefüllt. Der Dampf strömt ebenfalls durch die Rohre. Zur Regelung der Dampftemperatur dient ein auf der Eintrittsseite vor den Rohröffnungen angebrachter Drehschieber, mittels dessen die Anzahl der im Dampfraum und der im Wasserraum liegenden, für den Dampfdurchfluß freigegebenen Rohre verändert werden kann.

Die Wirkungsweise des von Babcock & Wilcox verwandten Reglers geht aus Taf. XVIII hervor.

Der Sattedampf wird aus dem Dampfsammler durch die Rohre a , a_1 und a_2 einem die halbe Kesselbreite einnehmenden Sammelrohr b des Überhitzers zugeführt, gelangt durch die von b ausgehenden Rohre (die Hälfte der gesamten Rohranzahl) nach dem unteren Sammler c , der über die ganze Kesselbreite durchgeführt ist. Aus diesem steigt er durch die andere Hälfte der Rohre zum Sammler d empor. Der nunmehr überhitzte Dampf durchläuft nun die Rohre e_1 und e_2 und geht zum Teil durch f zur Dampfenahme, der andere Teil aber geht durch g_1 und g_2 zu Rippenrohren, die in den Oberkesseln liegen. Nachdem er diese durchströmt und sich dabei abgekühlt hat, gelangt er durch die Rohre h_1 und h_2 ebenfalls zur Dampfenahme. Die Steuerung des Dampfes geschieht durch ein besonderes Dreiwegentil V .

Regelung durch Veränderung der vom Sattedampf mitgeführten Feuchtigkeit.

Um die Überhitzungstemperatur zu erniedrigen, wird der Feuchtigkeitsgehalt des Rohdampfes durch Zusatz einer entsprechenden Wassermenge erhöht. Hierauf beruhen die neuerdings von L. & C. Steinmüller gebauten Temperaturregler (Abb. 309).

Unter der geschlossenen Glocke a einer in den Oberkessel eingebauten Dubiau-Rohrpumpe wird ein geringer Teil des durch den vorderen Kammerhals ausströmenden Dampfes aufgefangen. Durch die unten schräg abgeschnittenen Röhrchen b entweicht dieser Dampf in den Teller c , wobei er kleine Wassermengen dorthin

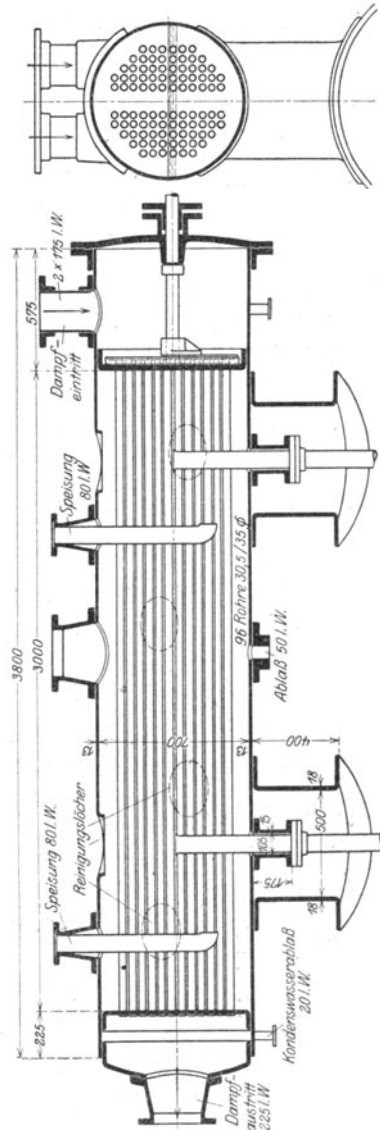


Abb. 307 u. 308.

emporhebt. Aus dem durchlöcherten Boden des Tellers fällt das Wasser in Regenform nieder, wird, wenn der Schieber *d* geöffnet ist, von dem ausströmenden Dampfe mitgerissen und dem Überhitzer in fein verteilterm Zustande zugeführt. Um jeden Ansatz von Kesselstein im Überhitzer zu vermeiden, ändert die Firma in den Fällen, wo kein Kondensat gespeist wird, die Einrichtung so ab, daß das zur Dampfbefeuchtung erforderliche Wasser in einem kleinen Kondensator erzeugt wird. Die Regelung der Heißdampf Temperatur erfolgt durch Einstellen des Schiebers *d*.

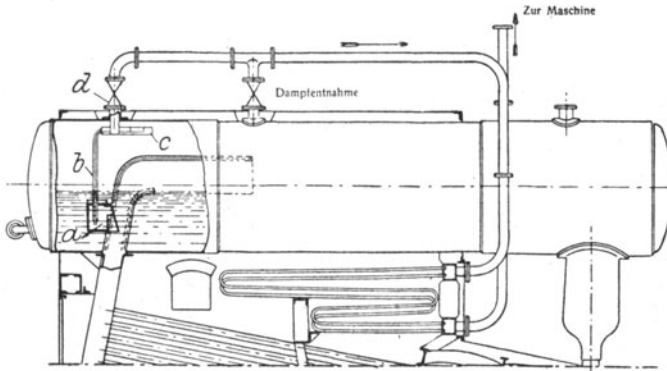


Abb. 309.

Durch dieses Verfahren werden die gleichen Vorteile, wie bei dem vorher besprochenen erreicht.

D. Berechnung der Überhitzer.

Es sei

H' qm die den Heizgasen ausgesetzte Oberfläche des Überhitzers.

D kg die stündliche Dampfmenge,

w Gewichtsprozente des Feuchtigkeitsgehaltes im Rohdampf,

r WE die Verdampfungswärme bei der vorhandenen Dampfspannung,

t ° C die Temperatur des Rohdampfes,

t' ° C die Temperatur des Heißdampfes,

c_{pm} WE mittlere spez. Wärme des Heißdampfes zwischen den Temperaturen t und t' (siehe Tabelle auf S. 7),

t_g ° C die Temperatur der Gase beim Eintritt in den Überhitzer,

t_a ° C die Temperatur der Gase beim Austritt aus dem Überhitzer,

k WE die Wärmedurchgangszahl für die Überhitzerfläche,

ϑ_m ° C der mittlere Temperaturunterschied zwischen Heizgas und Dampf,

B kg die stündliche Brennstoffmenge,

G kg die Gasmenge aus 1 kg Brennstoff,

c_{pg} WE die mittlere spez. Wärme der Heizgase,

η der Wirkungsgrad für die Wärmeabgabe der Heizgase an die Überhitzerfläche.

Dann berechnet sich die erforderliche Überhitzerfläche wie folgt:

Im Überhitzer ist zunächst das vom Rohdampf mitgerissene Wasser zu verdampfen. Dafür sind je kg Dampf aufzuwenden:

$$\frac{w}{100} \cdot r \text{ WE (Trocknung des Rohdampfes).}$$

Darauf ist der Dampf zu überhitzen, was

$$c_{pm}(t' - t) \text{ WE (Überhitzung)}$$

je kg Dampf erfordert.

Es sind daher stündlich vom Überhitzer aufzunehmen:

$$D \left[\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t) \right] \text{ WE.}$$

Durch 1 qm Überhitzerfläche gehen nun bei 1° Temperaturunterschied zwischen Heizgas und Dampf stündlich k WE, bei dem vorhandenen Unterschied ϑ_m also $k \cdot \vartheta_m$ WE hindurch, demnach an der ganzen Überhitzerfläche:

$$H' \cdot k \cdot \vartheta_m.$$

Da diese Wärmemenge vom Dampf aufgenommen wird, so ist:

$$H' \cdot k \cdot \vartheta_m = D \cdot \left[\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t) \right]$$

oder

$$H' = D \cdot \frac{\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t)}{k \cdot \vartheta_m}.$$

Hierin ist zu setzen für w :

$$\begin{aligned} w &= 2 \div 3\% \text{ für Flammrohrkessel} \\ &= 3 \div 5\% \text{ „ Kammerkessel} \\ &= 4 \div 6\% \text{ „ Steilrohrkessel} \\ &= 10 \div 15\% \text{ „ Hochleistungen} \end{aligned}$$

für k : a) für Kesselzugüberhitzern

$$\begin{aligned} k &= 12 \div 13 \text{ WE bei } 15 \div 18 \text{ kg Kesselbeanspruchung} \\ &= 13 \div 15 \text{ WE „ } 18 \div 20 \text{ kg „} \\ &= 15 \div 18 \text{ WE „ } 20 \div 25 \text{ kg „} \\ &= 18 \div 20 \text{ WE „ } 25 \div 30 \text{ kg „} \end{aligned}$$

b) für Zentralüberhitzer

$$k = 20 \div 25 \text{ WE}$$

für ϑ_m mit hinreichender Annäherung

$$\vartheta_m = \frac{t_e + t_a}{2} - \frac{t' + t}{2} \text{ 1).}$$

1) Genauere Ermittlung des Temperaturunterschiedes siehe Fuchs in Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 22.

Zur Auswertung dieser Gleichung mögen folgende Erfahrungswerte dienen:

a) bei Kesselzugüberhitzern. t_e kann je nach der Zuglänge vor dem Überhitzer und der Kesselbeanspruchung geschätzt werden etwa zu:

$$\begin{aligned} t_e &= 450 \div 600^\circ \text{C} \text{ für Flammrohrkessel} \\ &= 550 \div 700^\circ \text{C} \text{ ,, Doppelkessel} \\ &= 500 \div 650^\circ \text{C} \text{ ,, Kammerkessel} \\ &= 400 \div 550^\circ \text{C} \text{ ,, Steilrohrkessel.} \end{aligned}$$

Da nun die von den Heizgasen beim Durchstreichen des Überhitzers also bei Verminderung ihrer Temperatur von t_e auf t_a °C, abgegebene Wärme nach Abzug des Strahlungsverlustes von der durchströmenden Dampfmenge aufgenommen wird, so ist:

$$\eta \cdot B \cdot G \cdot c_{pg} \cdot (t_e - t_a) = D \cdot \left[\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t) \right]$$

oder

$$t_a = t_e - \frac{D}{B} \cdot \frac{\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t)}{\eta \cdot G \cdot c_{pg}}$$

Darin kann, unter Annahme eines Strahlungsverlustes von 5%, $\eta = 0,95$ und für c_{pg} der Mittelwert 0,24 gesetzt werden.

b) bei Zentralüberhitzern kann angenommen werden:

$$t_e = 900^\circ \text{C} \quad \text{und} \quad t_a = 350^\circ \text{C}.$$

Die stündliche Brennstoffmenge für Zentralüberhitzer ergibt sich aus vorstehendem zu

$$B = D \cdot \frac{\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t)}{\eta \cdot G \cdot c_{pg}(t_e - t_a)},$$

darin ist, entsprechend einem Strahlungsverlust von 10%, $\eta = 0,90$ zu setzen und G für den Luftüberschuß zu berechnen, bei welchem sich eine Verbrennungstemperatur von 900 °C ergibt.

Der Querschnitt der Überhitzerrohre ist so zu bemessen, daß der durchströmende Dampf bei Spannungen unter 10 at Überdruck einen Spannungsabfall Δp von nicht mehr als 0,25 at und für höhere Spannungen von nicht mehr als 0,3 at erleidet.

Bezeichnet man mit

γ kg/cbm das spezifische Gewicht des Heißdampfes bei der mitt-

$$\text{leren Temperatur } t_m = \frac{t + t'}{2},$$

l m die Länge des Dampfweges im Überhitzer,

d m den lichten Durchmesser eines Überhitzerrohres,

f qm den Gesamtquerschnitt der gleichzeitig durchflossenen Rohre,

s_m m/sek die Durchflußgeschwindigkeit des Dampfes,

v cbm/kg das spez. Volumen des Dampfes bei der Temperatur t_m ,

dann ist nach Guterath und Eberle

$$(1) \quad \Delta p = \frac{10,5}{10^8} \cdot 8 \cdot \frac{l}{d} s_m^2.$$

Ferner ist

$$(2) \quad s_m = \frac{D \cdot v}{3600 \cdot f}$$

Man verfährt nun so, daß man sich zunächst aus der allgemeinen Zustandsgleichung des überhitzten Dampfes v und $\gamma = \frac{1}{v}$ berechnet. Diese Gleichung ist nach R. Linde, wenn man den absoluten Dampfdruck in kg/qm einsetzt

$$p \cdot v = 47,1(273 + t_m) - 0,016 \cdot p.$$

Dann wird, unter Annahme eines Rohrdurchmessers d , aus Gleichung (1) s_m , und schließlich aus Gleichung (2) f und damit die erforderliche Anzahl der Rohre gefunden.

Die angegebenen Grenzen für den Spannungsabfall werden im allgemeinen nicht überschritten, wenn man den Rohrquerschnitt so groß wählt, daß der Dampf bei Kesselzugüberhitzern mit 9 bis 12 m und bei Zentralüberhitzern mit 15 bis 20 m Geschwindigkeit in die Rohre eintritt.

30. Die Vorwärmer.

Durch die Vorwärmung des Speisewassers kann einerseits Wärme, die sonst verloren gehen würde, für den Kesselbetrieb nutzbar gemacht und somit der Wirkungsgrad der Anlage erhöht werden, andererseits trägt sie zur Schonung des Kesselkörpers bei, da bei Speisung vorgewärmten Wassers weniger große Temperaturunterschiede im Kessel und infolgedessen nicht so leicht durch Wärmespannungen hervorgerufene Undichtheiten an den Nietverbindungen auftreten, auch der Kessel im Innern weniger leicht verrostet.

Das Speisewasser kann erwärmt werden:

1. Durch Heizgase (Abgase),
2. durch Dampf (Abdampf und auch Frischdampf).

A. Abgasvorwärmer.

Die durch Abgase geheizten Vorwärmer bestehen gewöhnlich aus einem in die Druckleitung der Speisepumpe eingebauten Rohrsystem, welches von Mauerwerk umgeben ist und von den Abgasen des Kessels bestrichen werden kann. Die für die Anlegung, den Betrieb und die Unterhaltung solcher Vorwärmer aufzuwendenden Kosten machen sie im allgemeinen nur dann vorteilhaft, wenn die Temperatur der Abgase mindestens 300° beträgt. Dabei ist ferner in Rücksicht zu ziehen, daß

der für den Kessel zur Verfügung stehende Schornsteinzug durch Einbau des Vorwärmers nicht unerheblich vermindert wird. Trotzdem wird es in vielen Fällen günstiger sein, einen Kessel mit Abgasvorwärmer auszurüsten, als seine Heizfläche so zu vergrößern, daß der Gasweg länger und die Abgastemperatur dadurch niedriger wird. Der Grund hierfür liegt darin, daß der Unterschied zwischen der Gas- und der Wassertemperatur am Vorwärmer größer ist als am letzten Teil der Kesselheizfläche, daß sich also am Vorwärmer ein größerer Wärmedurchgang erzielen läßt.

Die Abgasvorwärmer wurden früher allgemein als Zentralvorwärmer — ein Vorwärmer gemeinsam für eine Anzahl von Kesseln — angelegt. Bei Hochleistungskesseln ist man jedoch dazu übergegangen, jeden Kessel für sich mit einem Vorwärmer zu versehen, hauptsächlich weil solche Einzelvorwärmer eine gleichmäßigere Vorwärmung ermöglichen.

Das Rohrsystem der Abgasvorwärmer besteht entweder aus gußeisernen oder aus schmiedeeisernen Rohren.

a) **Gußeiserne Abgasvorwärmer** sind am verbreitetsten in der Form des Greenschen Economisers (Abb. 310 bis 312). Derselbe besteht aus geraden Rohren von 85 bis 100 mm lichtigem Durchmesser bei 2,7 bis 4 m Länge, welche oben und unten in querliegende Kästen hydraulisch eingepreßt sind. Je 6 bis 12 Rohre werden auf diese Weise zu einem Rohrelement vereinigt! In den Oberkästen ist über jedem Rohr eine mit Innenverschluß versehene Reinigungsöffnung angebracht. Die Außenfläche der Rohre wird mittels scharfkantiger Ringschaber reingehalten, welche durch maschinellen Antrieb langsam auf und ab bewegt werden. Dies ist notwendig, da der Rußansatz sonst die Wärmeübertragung erheblich verschlechtern würde. Der Antrieb der Schaber erfolgt durch Transmission, besondere Dampfmaschine oder elektrisch und erfordert $\frac{1}{3}$ bis 3 PS. Um die Rohre und die Schaber besichtigen zu können, läßt man zwischen je 8 bis 12 Rohrelementen einen etwa 400 mm breiten Zwischenraum, außerdem ordnet man bei kleineren Ausführungen an der einen Seite, bei größeren in der Mitte einen ebenso breiten Gang an. Der Letztere wird im Betriebe durch Zugklappen (Defektoren) geschlossen, da sonst ein Teil der Gase nicht die Rohre bestreichen würde. Bei der gezeichneten Ausführung sind die Unterkästen und die Oberkästen durch je ein längs laufendes Rohr miteinander verbunden, so daß das auf der Seite des Gasaustritts eingeführte Wasser zunächst in die Unterkästen gelangt, dann in den Rohren langsam nach den Oberkästen emporsteigt, um auf der Seite des Gaseintritts den Economiser zu verlassen. Statt dessen hat man das Wasser auch so geführt, daß es im Gegenstrom zu den Gasen die einzelnen Rohrelemente nacheinander durchläuft. Da hierdurch jedoch eine nennenswerte Verbesserung des Wärmedurchgangs nicht erzielt wurde, so wird die erstgenannte Anordnung wegen ihrer Einfachheit weitaus am häufigsten ausgeführt.

Ein besonderer Uebelstand zeigt sich bei allen Abgasvorwärmern, wenn das Wasser sehr kalt in diese eintritt. Es schlägt sich dann außen auf dem Teil der Rohre, welcher zuerst vom Wasser durchlaufen wird,

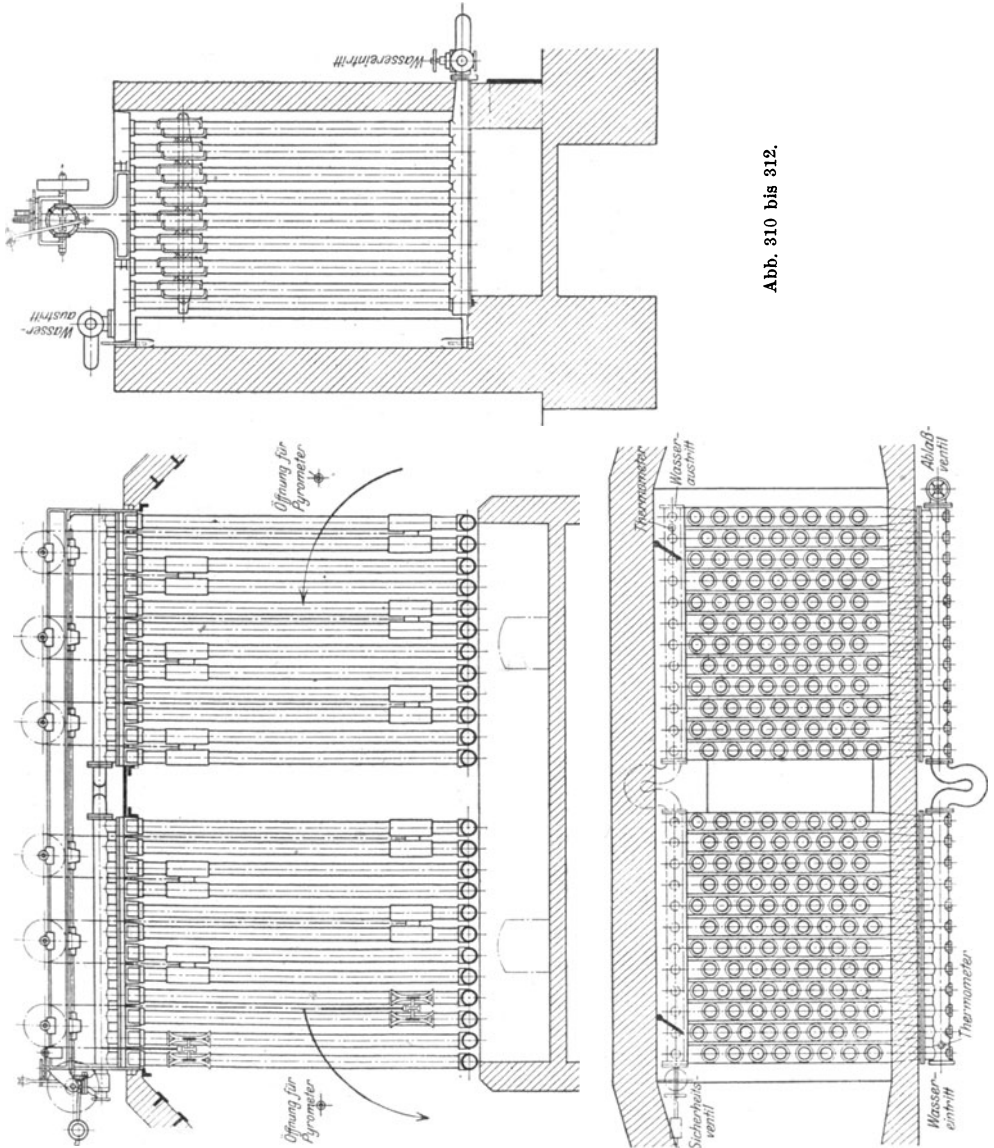


Abb. 310 bis 312.

aus den Gasen Schwitzwasser nieder, so daß die Rohre dort, je nach dem Feuchtigkeitsgehalt des verfeuerten Brennstoffs, mehr oder weniger stark abrosten würden. Um das zu verhindern, wärmt man das Wasser, ehe

es in den Economiser gelangt, entweder durch Abdampf oder durch Mischung mit bereits vorgewärmtem Wasser möglichst bis auf 40° an. Die Anordnung, welche die Firma Green dazu wählt, ist in Abb. 313 wiedergegeben. — Den Economisern wird oft der Vorwurf gemacht, daß sie Anlaß zum Eindringen von Nebenluft in den Abgaskanal geben. Dies kann der Fall sein, wenn die Oberkästen nicht besonders sorgfältig aneinander gepaßt und die Löcher, durch welche die Antriebsketten für die Rußschaber hindurchgehen, zu weit sind.

b) Schmiedeeiserne Abgasvorwärmer haben sich im allgemeinen nicht so gut bewährt. Ihre Rohre rosten und verziehen sich leicht, so daß man Schaber nicht anbringen kann. Der Rußansatz muß daher

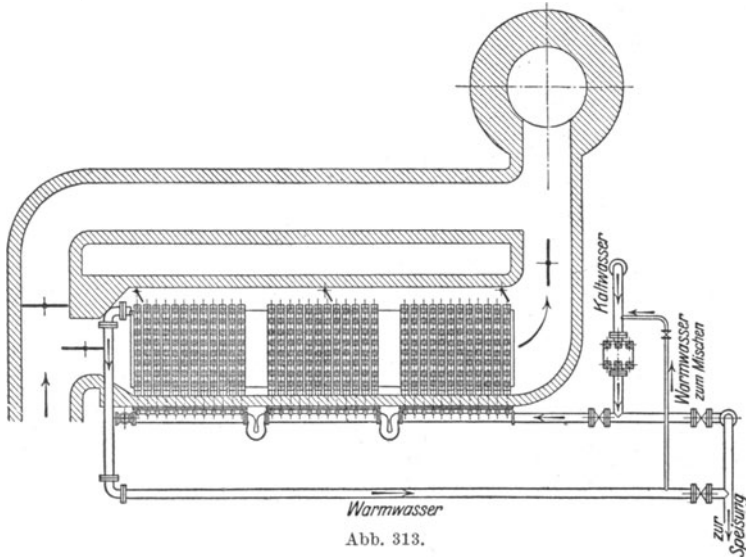


Abb. 313.

durch Abblasen mittels Dampfstrahles entfernt werden. Man verwendet sie jetzt fast nur noch als Einzelvorwärmer an Steilrohrkesseln, wie das schon beim Werner-Hartmann-, Steinmüller- und Burkhardt-Kessel erwähnt wurde. Sie bieten hier den Vorteil, daß ihr Einbau ohne nennenswerte Vergrößerung der wärmeausstrahlenden Mauerwerksflächen möglich ist, haben sich aber auch nur dann als brauchbar erwiesen, wenn das Wasser mit höheren Temperaturen, völlig enthärtet und entlüftet, also als reines Kondensat hineinkommt.

Ein schmiedeeiserner Vorwärmer besonderer Bauart ist der in Abb. 314 dargestellte Schmidtsche Rauchgasvorwärmer, der von der Ascherslebener Maschinenfabrik vielfach ausgeführt wurde. Bei ihm übertragen die Rauchgase ihre Wärme nicht unmittelbar auf das Speisewasser, sondern auf die aus Kondensat bestehende Füllung des Abgasvorwärmers. Dieselbe steigt dabei im Gegenstrom zu den Heizgasen empor, strömt nach

Verlassen des Vorwärmers einer Rohrschlange zu, die sich in einem in die Speiseleitung eingebautem Gefäß befindet, gibt auf dem Wege durch die Schlange die aus den Gasen aufgenommene Wärme an das Speisewasser ab, um schließlich wieder dem Abgasvorwärmer zuzufließen und den Kreislauf von neuem zu beginnen. Ist die Ringleitung des Vorwärmers bei längerem Stillstande des Kessels entleert worden, so werden beim Anfeuern die Abgase zunächst nicht über den Vorwärmer geleitet. Nachdem sodann im Kessel Dampf entstanden ist, strömt dieser durch ein vom Dom abgehendes Verbindungsrohr der Ringleitung zu und wird darin kondensieren. Auf diese Weise füllt sich der Vorwärmer wieder, so daß er dann in Betrieb genommen werden kann. Durch das Verbindungsrohr

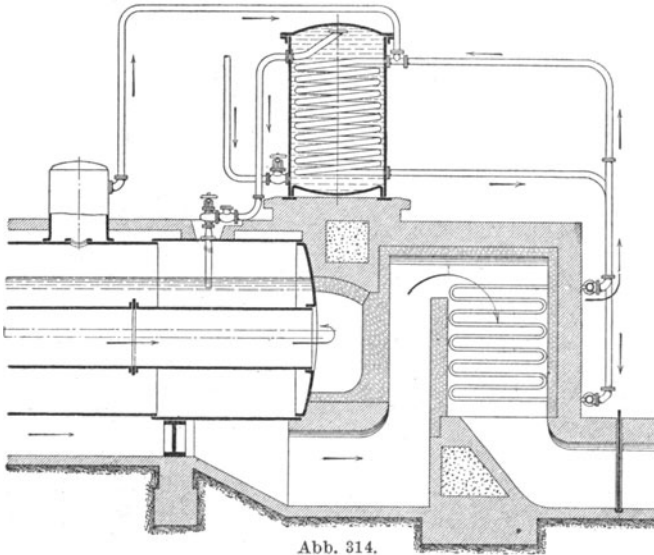


Abb. 314.

ist auch für einen ständigen Druckausgleich zwischen Kessel und Ringleitung gesorgt. — Als Nachteil dieser Bauart ist anzuführen, daß bei ihr die Strahlungsverluste größer sind als bei den Abgasvorwärmern mit unmittelbarer Erwärmung des Speisewassers.

B. Dampfgeheizte Vorwärmer.

Die durch Dampf geheizten Vorwärmer sind so eingerichtet, daß sich in ihnen der Dampf nicht mit dem Wasser mischen kann, sondern seine Wärme durch Gefäßwände hindurch an dasselbe abgibt. Sie werden jetzt fast ausschließlich als geschlossene zylindrische, von einem Bündel gerader Rohre durchzogene Gefäße gebaut. Den Rohren gibt man gewöhnlich einen äußeren Durchmesser von 38 bis 70 mm. Bei der

Anordnung des Rohrbündels ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß es sich frei ausdehnen und gut von Schlamm gereinigt werden kann. Zur Reinigung muß sich das Vorwärmergefäß auseinandernehmen lassen. Die äußeren Wandungen des Vorwärmers und die Rohrböden werden aus Gußeisen oder Schmiedeeisen, die Rohre aus Kupfer, Messing oder ebenfalls aus Schmiedeeisen hergestellt. — Das Wasser wird auch durch diese Vorwärmer von der Pumpe hindurchgedrückt, während ihnen die Wärme dadurch zugeführt wird, daß sie gewöhnlich an die Abdampfleitung von Auspuffmaschinen angeschlossen, seltener zwischen Niederdruckzylinder und Kondensator eingebaut und nur ganz ausnahmsweise mit Frischdampf versorgt werden.

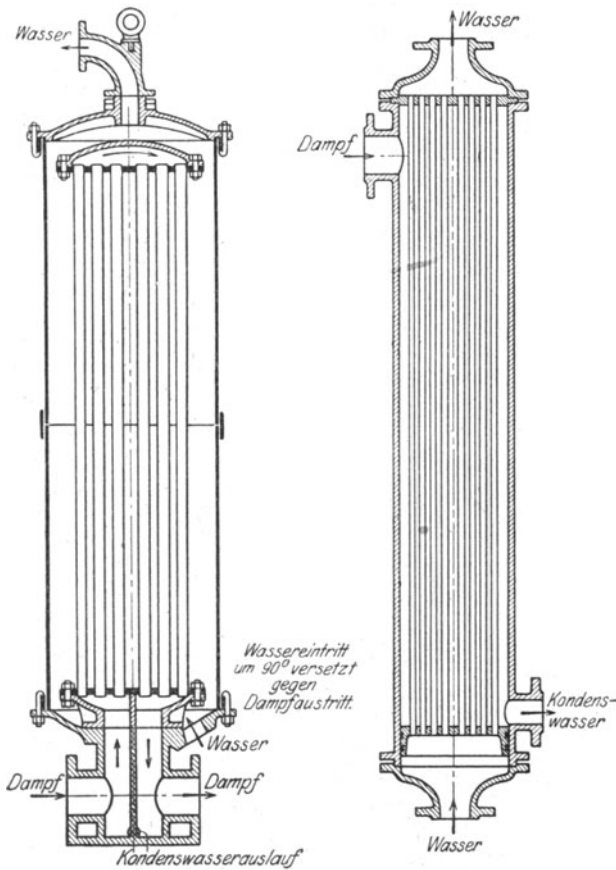


Abb. 315.

Abb. 316.

Röhrenwärmer von A. L. G. Dehne in Halle a. S. (Abb. 315).

Der Dampf strömt durch die Hälfte der Röhren nach oben und durch die andere Hälfte nach unten. Das Wasser umgibt die Rohre. Diese Anordnung hat den

Vorteil geringeren Strahlungsverlustes, da der äußere Mantel nicht mit dem Dampf, sondern mit dem kälteren Wasser in Berührung steht.

**Röhrenvorwärmer
von F. Mattick in Pulsnitz i. Sa. (Abb. 316).**

Er ist abweichend von der erstgenannten Bauart so eingerichtet, daß das Wasser durch die Rohre und der Dampf außen an ihnen entlang geführt wird. Dadurch wird die Reinigung des Vorwärmers erleichtert. — Abb. 317 zeigt seine Anordnung in der Rohrleitung. Sie ist derartig, daß sich der Vorwärmer den benötigten Dampf selbst ansaugt, infolgedessen wird aller Dampf an ihm vorbeiströmen, solange die Speisung unterbrochen ist.

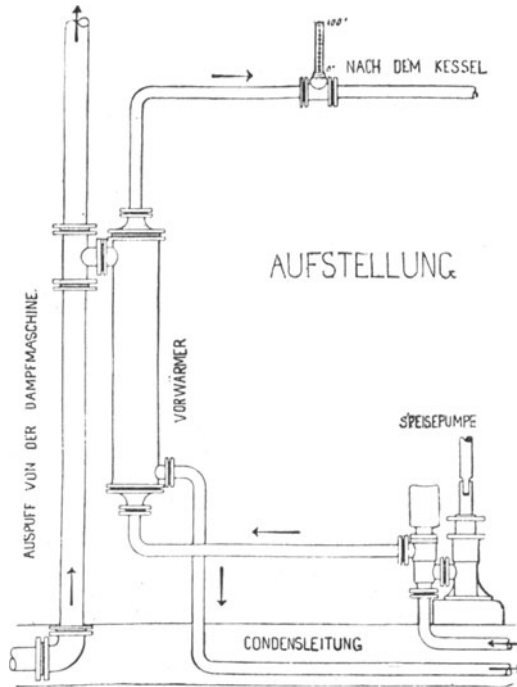


Abb. 317.

C. Berechnung der Vorwärmer.

a) Abgaswärmer.

Größe der Vorwärmfläche.

Ist t_2 °C die Temperatur der Abgase am Anfange der Vorwärmfläche,
 t_3 °C die Temperatur der Abgase am Ende der Vorwärmfläche,
 t_0 °C die Temperatur des Wassers beim Eintritt in den Vorwärmer,
 t'_0 °C die Temperatur des Wassers beim Verlassen des Vorwärmers,
 D kg die stündlich erforderliche Speisewassermenge,
 H_v qm die Vorwärmfläche,
 k_v WE die Wärmedurchgangszahl, d. i. die Wärmemenge, die durch 1 qm Vorwärmfläche in 1 Stunde bei 1° C Temperaturunterschied zwischen Gas und Wasser hindurchgeht,
 so läßt sich der an der gesamten Vorwärmfläche zwischen den Abgasen und dem Wasser vorhandene mittlere Temperaturunterschied angenähert berechnen zu:

$$\Delta t = \frac{t_2 + t_3}{2} - \frac{t_0 + t'_0}{2}.$$

Zur Erwärmung von D kg Wasser sind nun

$$D(t'_0 - t_0) \text{ WE}$$

erforderlich. Durch die Vorwärmfläche H_v gehen stündlich

$$H_v \cdot k_v \cdot \Delta \text{ WE.}$$

Daher ist:

$$D(t'_0 - t_0) = H_v \cdot k_v \cdot \Delta \quad \text{oder} \quad H_v = \frac{D(t'_0 - t_0)}{k_v \cdot \Delta}.$$

Die Wärmedurchgangszahl k_v ist vor allem von der Gasmenge abhängig, die stündlich an der Vorwärmfläche vorbeistreicht, sodann aber auch von der Beschaffenheit der Wandung, durch welche hindurch die Wärme auf das Wasser übertragen wird. Sie kann in Rechnung gestellt werden:

Für gußeiserne Rohre, die durch Rußschaber sauber gehalten werden, mit

$$k_v = 10$$

und für schmiedeeiserne Rohre, unter der Voraussetzung, daß reines Kondensat gespeist wird, mit

$$k_v = 15.$$

Die Größe des Abgasvorwärmers ist nun so zu wählen, daß die Gase nicht unter die Temperatur abgekühlt werden, bei der sie noch genügend Auftrieb zur Zugerzeugung besitzen. Im allgemeinen geht man daher mit t_3 nicht unter 200°C . Daraus aber läßt sich die Temperatur t'_0 berechnen, welche im Vorwärmer erreicht werden kann und zwar aus der Gleichung:

$$\eta \cdot B \cdot (1 + m L_{\text{kg}}) \cdot c_p (t_2 - t_3) = D \cdot (t'_0 - t_0).$$

Hierin bedeutet η ($= 0,8$ bis $0,9$) den Wirkungsgrad des Vorwärmers, der von seinem Strahlungsverlust abhängt, während die Bezeichnungen B , m , L_{kg} und c_p aus Abschnitt 8 auf S. 20 ersichtlich sind. Ohne genaue Kenntnis der zu verfeuernden Kohle kann man im Mittel setzen:

$$\frac{t_2 - t_3}{t'_0 - t_0} = \frac{D}{\eta \cdot B \cdot (1 + m L_{\text{kg}}) \cdot c_p} \approx 2,$$

oder annehmen, daß bei einer Gasabkühlung von 2°C eine Wasservorwärmung um 1°C erreicht wird.

Beispiel: Eine stündliche Speisewassermenge von $D = 4000$ kg mit einer Temperatur von $t_0 = 30^\circ$ soll durch einen Greenschen Economiser vorgewärmt werden, dabei sollen sich die mit $t_2 = 360^\circ$ zur Verfügung stehenden Abgase nicht unter $t_3 = 200^\circ$ abkühlen.

Der Temperaturabfall der Gase soll $t_2 - t_3 = 360 - 200 = 160^\circ$ betragen, dem entspricht nach obigem eine Temperaturzunahme des

Wassers $t'_0 - t_0 = \frac{t_2 - t_3}{2} = \frac{160}{2} = 80^\circ$, mithin wird das Wasser auf $t'_0 = t_0 + 80 = 30 + 80 = 110^\circ$ erwärmt. Daraus folgt:

$$\Delta = \frac{360 + 200}{2} - \frac{30 + 110}{2} = 210^\circ.$$

Die Vorwärmfläche ist daher, für $k_v = 10$:

$$H_v = \frac{4000 \cdot (110 - 30)}{10 \cdot 210} = 152,4 \approx 152 \text{ qm.}$$

Die dazu erforderliche Anzahl von Vorwärmerrohren ist unter Annahme einer bestimmten Wassergeschwindigkeit beim Durchtritt durch die Rohre zu berechnen. Sie beträgt bei gußeisernen Vorwärmern, bei denen das Wasser alle Rohre gleichzeitig durchfließt, etwa 0,001 m/sek; dagegen bei schmiedeeisernen Rohren bis zu 0,01 m.

Wird die Wassergeschwindigkeit für das vorliegende Beispiel zu 0,001 m angenommen und soll der Durchmesser der Rohre 100/115 mm betragen, so ist die Rohranzahl:

$$n = \frac{4}{\frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,001 \cdot 3600} = \approx 142.$$

Da aber wegen des Antriebes der Rußschaber die Anzahl der Rohre durch 4 teilbar sein muß, so wird gewählt

$$n = 144.$$

Soll jedes Rohrelement 6 Rohre fassen, so sind also 24 solcher Elemente nötig, die in 2 Gruppen von je 12 Elementen hintereinander angeordnet werden.

Die Rohrlänge l m ergibt sich aus

$$152 = 144 \cdot \pi \cdot 0,115 \cdot l \quad \text{zu} \quad l = \frac{152}{144 \cdot 0,36} = 2,93 \approx 3 \text{ m.}$$

Der Wasserinhalt des Vorwärmers (W kg) ergibt sich demnach, wenn man den Inhalt des Ober- und des Unterkastens eines Rohrelementes zusammen etwa gleich dem eines Vorwärmerrohres setzt, zu:

$$W = (144 + 24) \cdot \frac{\pi \cdot 1^2}{4} \cdot 30 = 3958 \approx D.$$

Dies trifft bei vielen Ausführungen und zwar sowohl mit gußeisernen als auch mit schmiedeeisernen Rohren zu. Allgemein beträgt der Wasserinhalt der Abgaswärmer etwa 0,5 bis 1,25 der stündlichen Speisewassermenge.

Der Abstand der Rohrmitten eines Elementes ist so zu wählen, daß die Geschwindigkeit der Gase beim Durchstreichen des Vorwärmers nicht geringer als 6 m/sek wird.

b) Durch Dampf geheizte Vorwärmer.

Die Größe der Vorwärmfläche ergibt sich zu

$$H_v = \frac{Q}{k \cdot A},$$

worin Q die Wärmemenge bedeutet, die zum Erwärmen der stündlich in den Vorwärmer mit t_0° eintretenden Wassermenge auf eine Temperatur t'_0° nötig ist. Diese Wassermenge ist so zu bestimmen, daß häufigere Unterbrechungen der Speisung berücksichtigt werden. Sie wird daher, wenn anzunehmen ist, daß die Speisung durchschnittlich in der Stunde 60 — z Minuten lang ruht, berechnet zu:

$$D' = D \cdot \frac{60}{z}.$$

Demnach ist:

$$H_v = \frac{D' \cdot (t'_0 - t_0)}{k \cdot A}$$

zu machen.

Für die Wärmedurchgangszahl gilt hier nach Hausbrand:

$$k = 750 \cdot \sqrt{s_d + s'_d \cdot \sqrt[3]{0,007 + s_w}},$$

wenn die Vorwärmerrohre aus Kupfer oder Messing bestehen, dagegen bei eisernen Rohren das 0,85fache dieses Wertes. — In der Formel bedeuten:

s_d m/sek die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf in seinem Eintrittszustande den Vorwärmer durchströmt. Sie wird mit Rücksicht auf den Strömungswiderstand vielfach gewählt zu

$$s_d = 7 \text{ bis } 12 \text{ m},$$

um aber den Wärmedurchgang zu steigern neuerdings bis zu

$$s_d = 20 \text{ m}.$$

s'_d m/sek die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf den Vorwärmer verläßt. Sie kann bei größeren Dampfgeschwindigkeiten bis zu $0,75 \cdot s_d$ betragen.

s_w m/sek die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers. Man wählt dafür, wenn das Wasser die Röhren umspült, um dem ausfallenden Schlamm Gelegenheit zum Absetzen zu geben:

$$s_w = 0,001 \text{ bis } 0,004,$$

und wenn das Wasser durch die Röhren fließt,

$$s_w = 0,01 \text{ bis } 0,03 \text{ m,}$$

bei modernen Ausführungen sogar bis zu 0,1 m.

Die danach für k errechneten Werte liegen etwa zwischen 300 und 1000 Wärmeeinheiten.

Der mittlere Temperaturunterschied zwischen Dampf und Wasser ist

$$\Delta = t_d - \frac{t_0 + t'_0}{2},$$

wenn angenommen wird, daß die Dampftemperatur t_d im Vorwärmer annähernd gleich bleibt.

Erfahrungsgemäß macht man vielfach die Vorwärmfläche gleich $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{15}$ der Kesselheizfläche und den Wasserinhalt des Vorwärmers gleich $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{10}$ der stündlichen Speisewassermenge.

Beispiel: Der in Abschnitt 40 auf S. 326 für eine stündliche Dampfleistung von 540 kg berechnete Einflammrohrkessel soll mit einem Abdampfvorwärmer versehen werden, bei dem der Dampf durch die Rohre geführt wird. Für die Berechnung des Vorwärmers werden folgende Angaben gemacht:

Die Speisung ruht in der Hälfte der Betriebszeit. Die Temperatur des Dampfes beträgt beim Eintritt in den Vorwärmer 115° und die des Wassers 20° . Letztere soll bis auf 80° gesteigert werden.

Der Vorwärmer ist dann für eine stündlich durchfließende Wassermenge $D' = \frac{540 \cdot 60}{30} = 1080 \text{ kg}$ zu berechnen. Die Dampfeintrittsgeschwindigkeit sei $s_d = 7 \text{ m}$, sie gehe herunter auf $s'_d = 0,2 \cdot s_d = 0,2 \cdot 7 = 1,4 \text{ m}$. Die Wassergeschwindigkeit betrage $s_w = 0,003 \text{ m}$. Dann wird, wenn eiserne Röhren eingebaut werden:

$$k = 0,85 \cdot 750 \cdot \sqrt{7 + 1,4} \cdot \sqrt[3]{0,007 + 0,003} = 397,5 \approx 400$$

und

$$\Delta = 115 - \frac{20 + 80}{2} = 65,$$

somit

$$H_v = \frac{1080 \cdot (80 - 20)}{400 \cdot 65} = 2,49 \approx 2,5 \text{ qm.}$$

Der Gesamtquerschnitt der Rohre wird, da sich aus der Dampftabelle auf S. 12 für Dampf von 115° ein spezifisches Volumen von fast genau 1 cbm/kg ergibt:

$$\frac{D \cdot v_s}{s_d \cdot 3600} = \frac{540 \cdot 1}{7 \cdot 3600} = 0,0214 \text{ qm.}$$

Wählt man Rohre von 49/54 mm Durchmesser, so sind notwendig:

$$\frac{0,0214}{\pi \cdot \frac{0,049^2}{4}} \approx 12 \text{ Röhre.}$$

Die Länge der Rohre ergibt sich zu:

$$\frac{2,5}{12 \cdot 0,049 \cdot \pi} = 1,35 \text{ m.}$$

Der innere Manteldurchmesser d in m ergibt sich aus:

$$\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - 12 \cdot \frac{\pi \cdot 0,054^2}{4} \right) \cdot s_w \cdot 3600 = \frac{D'}{1000}$$

oder

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = 12 \cdot 0,0023 + \frac{1080}{1000 \cdot 0,003 \cdot 3600}$$

zu

$$d = 403 \text{ mm, gewählt } 400 \text{ mm.}$$

Der Wasserinhalt des Vorwärmers wird dann etwa gleich dem vierten Teil der stündlich erforderlichen Speisewassermenge.

VII. Abschnitt.

Aufstellung und Ausrüstung der Kessel.

31. Die Lagerung der Kessel.

Das Gewicht eines Kessels kann durch Unterstützung oder Aufhängung abgefangen werden.

Die Unterstützung erfolgt jetzt fast ausnahmslos durch gußeiserne

Lagergestelle. Ihre Auflagerfläche ist so groß zu bemessen, daß das darunterliegende Mauerwerk mit nicht mehr als 7 kg/qcm Druck beansprucht wird. Von den verschiedenen Formen dieser Lagergestelle sind die gebräuchlichsten in Abb. 318 bis 328 dargestellt.

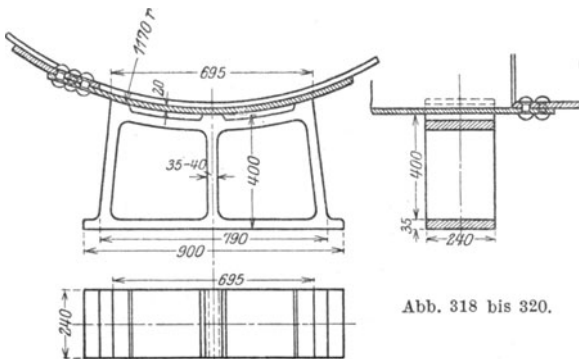


Abb. 318 bis 320 zeigen einen Kesselstuhl, wie sie bei Batteriekesseln und Flammrohrkesseln angewandt werden. Kesselstühle, welche dabei

in der Nähe einer Rundnaht des Kesselmantels aufgestellt werden sollen, werden stets unter den Außenschuß gesetzt. Man will dadurch einem Öffnen der Naht unter der Wirkung des Auflagerdruckes vorbeugen und vor allem die Naht für etwa erforderliches Nachstemmen zugänglich lassen.

In Abb. 321 bis 323 ist die Form des Kesselstuhles wiedergegeben, die gewählt wird, wenn ein solcher bei Flammrohrkesseln vorn unmittelbar am Ablassstutzen (vgl. Taf. V, VI, VII, VIII) angebracht wird.

Unter langen Kesseln werden zuweilen nur ein oder zwei Kesselstühle fest aufgestellt, die übrigen dagegen auf Rollen gelagert, vgl. Abb. 324 bis 326, Ausführung der Vereinigten Maschinenfabriken Augsburg-Nürnberg A.-G.

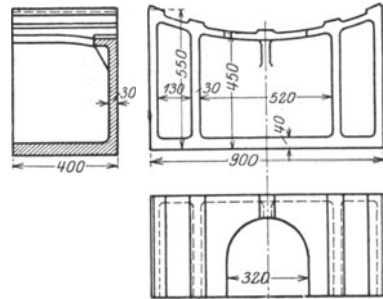


Abb. 321 bis 323.

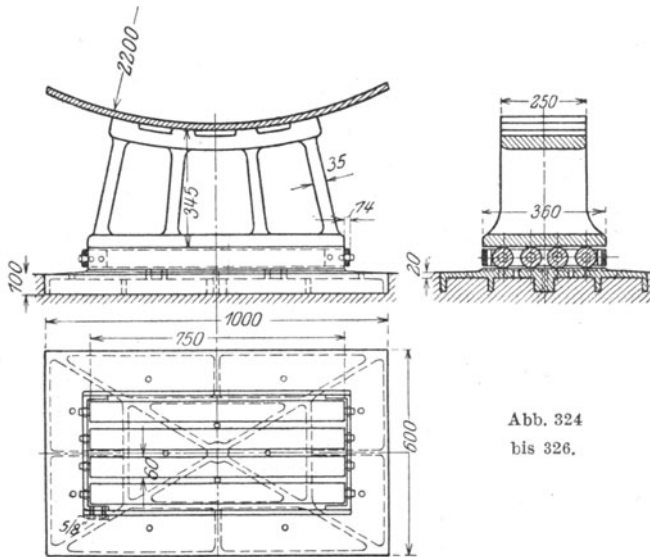
Abb. 324
bis 326.

Abb. 327 und 328 stellen die Oberkessellagerung beim Burkhardt-Kessel in der Pierboeufschens Ausführung dar. Sie zeigen, wie der Kesselstuhl bei Steilrohrkesseln zur Anwendung gelangt.

Unter der hinteren Wasserkammer der Schrägrohrkessel werden gewöhnlich Lagerplatten, ähnlich der in Abb. 329 bis 331 gezeichneten, angebracht.

Die **Aufhängung** kommt hauptsächlich bei Walzenkesseln und Wasserröhrenkesseln zur Anwendung und kann durch seitlich angenietete gegossene

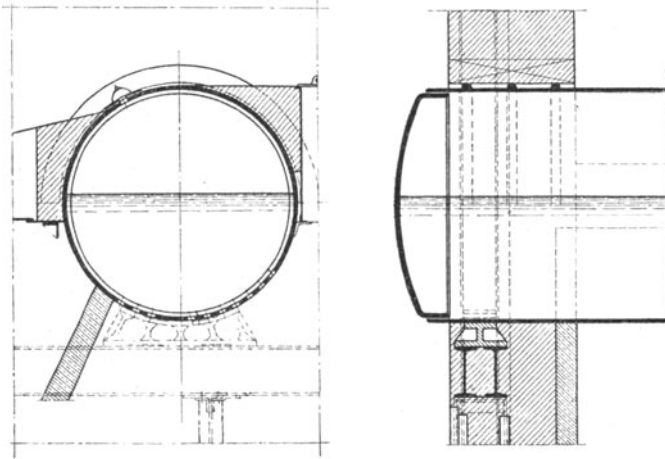


Abb. 327 u. 328.

Trageklauen (siehe Abb. 332), durch Hängeeisen (Abb. 333) oder umgelegte Bänder aus Rund- oder Flacheisen (Taf. XV, XVI, XVII, XVIII)

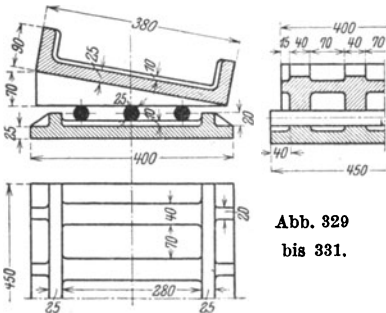


Abb. 329
bis 331.

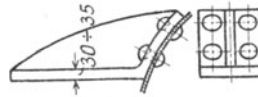


Abb. 332.

erfolgen, die entweder fest oder federnd (Abb. 333) an querliegenden Trägern aufgehängt werden.

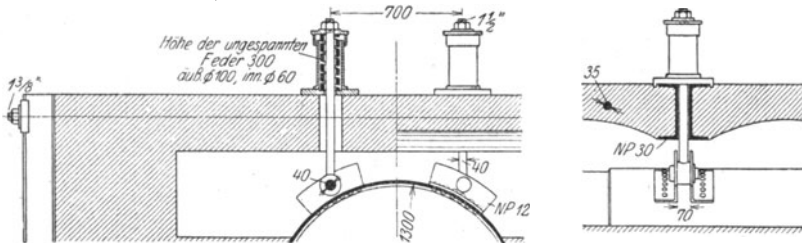


Abb. 333.

Bei den Steilrohrkesseln hängen die Rohrbündel samt der unteren Trommel meistens frei herunter. Liegt das Bündel schräg, so lehnt sich

die Trommel gewöhnlich gegen Führungsschienen. Wie das ausgeführt wird, zeigt Abb. 334, 335 an dem Unterkessel eines von der J. Piedboeuf G. m. b. H. in Düsseldorf-Oberbilk erbauten Burkhardtessels.

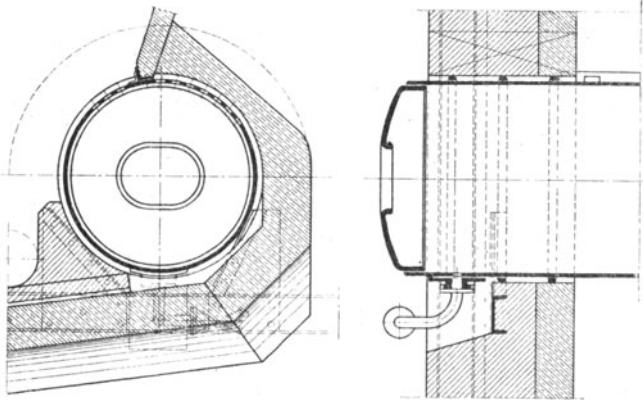


Abb. 334 u. 335.

32. Das Kesselmauerwerk.

Die Umfassungswände des Mauerwerks, mit dem man einen Kessel zwecks Bildung von Zugkanälen (vgl. Abschnitt 19 auf S. 82) und zur Verringerung der Wärmeausstrahlung umgibt, wird aus gewöhnlichen Ziegelsteinen in Kalkmörtel, die Grundmauern dagegen in Zementmörtel hergestellt. Die Kesselwandung darf nirgends mit Kalkmörtel in Berührung kommen, da sie sonst stark anrostet. An den Stellen, wo sich Kesselwand und Mauerwerk berühren, darf daher nur Lehm, Schamotte oder Portlandzement als Mörtel benutzt werden. Überall da, wo das Mauerwerk der Einwirkung heißer Gase von mehr als etwa 450° dauernd ausgesetzt ist, soll es ein Schamottefutter erhalten, das mindestens $\frac{1}{2}$ Stein stark in Schamottemörtel auszuführen ist. Für Feuerbrücken und Feuergewölbe sind Formsteine zu verwenden, die durch Aufschleifen aneinanderzupassen und mit besonders dünnen Fugen zu vermauern sind.

Die Außenmauern des Kesselmauerwerks müssen nach § 16 der A. P. B. (s. S. 311) einen Mindestabstand von 80 mm von den Kesselhauswänden haben. Sie werden $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ Stein stark gemacht. Zur Verminderung der Wärmeausstrahlung verblendet man sie zuweilen mit weißen Glasurziegeln oder man fügt eine ruhende Luftschicht von $50 \div 100$ mm Stärke (Taf. IX, Fig. 2 und Taf. XII), besser eine $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stein starke Isolierschicht ein, die mit Asche, Schlackenwolle, Kieselgurerde u. ä. ausgefüllt wird. Die Dichtigkeit und Haltbarkeit der Seitenmauern wird ganz besonders erhöht durch Anwendung stehender Gewölbe (Abb. 336, 337 und Taf. XIII).

Die Zwischenmauern oder Trennungswände zwischen zwei Kesseln mit gemeinsamen Mauerwerk sind nach § 16 der A. P. B. (s. S. 311) mindestens 340 mm stark herzustellen.

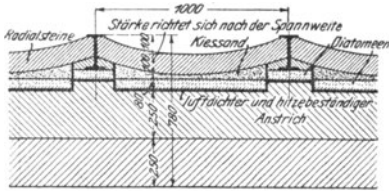


Abb. 336.

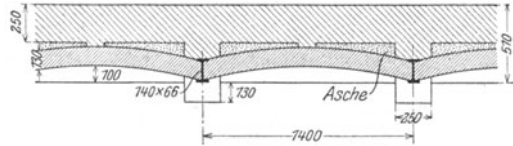


Abb. 337.

Die Scheidewände zwischen Zugkanälen werden im allgemeinen als $\frac{1}{2}$ Stein starke Mauerzungen ausgeführt, bei Wasserrohrkesseln dagegen entweder aus etwa 100 mm starken Schamotteformsteinen, aus 20 mm

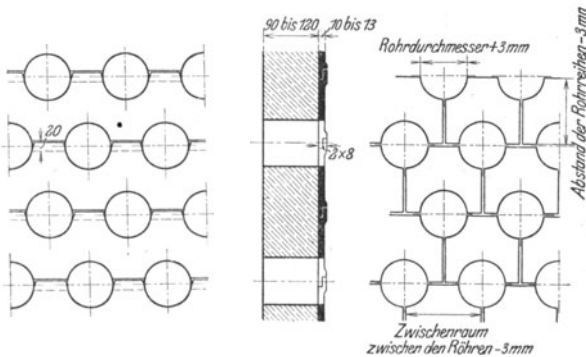


Abb. 338 bis 340.

starken gußeisernen Formstücken oder aus beiden zusammengesetzt. Abb. 338 bis 340 zeigen den Aufbau einer zu den

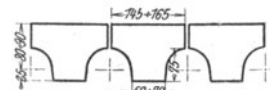


Abb. 341.

Rohren senkrechten, Abb. 341 den einer mit den Rohren gleichlaufenden Zwischenwand. — Bei Kesseln, die mit Einzelkammern eingemauert sind (vgl. Abb. 146, S. 99), sollen die herabhängenden senkrechten Scheidewände unmittelbar unter der Decke Öffnungen erhalten, damit die Ansammlung explosibler Gase in den oberen Kammern verhindert wird.

Die Abdeckung der Zugkanäle soll so erfolgen, daß der Kessel dadurch möglichst wenig belastet wird.

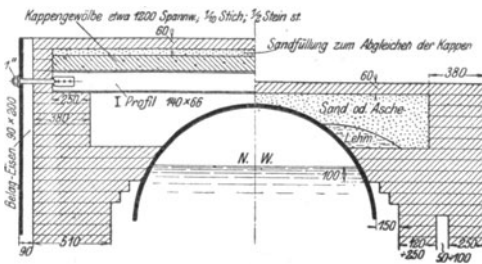


Abb. 342a.

Abb. 342b.

Ganz wird das vermieden bei der Ausführung nach Abb. 342a, bei welcher über dem Kessel eine besondere tragende Decke angeordnet ist. Der größeren Billigkeit wegen wird meistens jedoch die Ausführung nach

Abb. 342b gewählt. Bei ihr besteht die Füllung am besten aus Sand, da Asche in Verbindung mit Tropfwasser leicht Anrostungen veranlassen kann. Ferner empfiehlt es sich, mindestens über die Stelle, wo das Seitenmauerwerk an den Kessel stößt, Lehm aufzugeben, um das Herabrieseln des Sandes in die Zugkanäle zu verhindern.

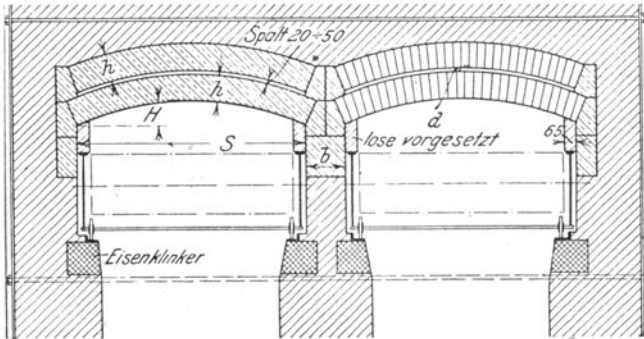


Abb. 343.

Die Feuergewölbe sollen nicht von oben belastet werden. Es ist daher zweckmäßig, besondere Entlastungsgewölbe darüber anzuordnen. Vergleiche dazu Abb. 343¹⁾, für welche folgendes gilt: Je nach der Spannweite S wird $H = \frac{1}{10} \div \frac{1}{7} \cdot S$; $h = 250 \div 350$ mm, $d = 20 \div 50$ mm und $b = 380 \div 510$ mm.

Der Fuchskanal erhält gewöhnlich 1 Stein starke Seitenwände, zwischen denen oben eine $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein starke Deckenkappe und unten eine Rollschicht eingesetzt ist.

Verankerungen. Um zu verhindern, daß das Mauerwerk besonders dort, wo es hohen Temperaturen ausgesetzt ist, aufreißt, hält man es durch Anker zusammen. Dazu werden an den Seitenwänden und an den Ecken passende Profileisen aufgestellt, die durch Längs- und Queranker von etwa 1" Durchmesser miteinander verbunden werden.

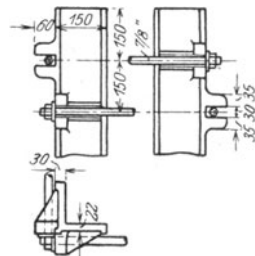


Abb. 344.

Abb. 344 zeigt eine gegossene Eckschiene. Die Anker sind in nicht zu heiße Stellen des Mauerwerks zu verlegen, da sie sonst infolge der eintretenden Ausdehnung unwirksam wären. Der Seitenschub von Gewölben ist stets durch Anker aufzunehmen (vgl. Abb. 343). — Bei dem sehr hohen Mauerwerk der Steilrohrkessel genügen Verankerungen, wie die soeben genannten, nicht, vielmehr ist dazu ein zusammengenietetes Gestell erforderlich, in welches die Mauerwerkswände eingesetzt werden.

¹⁾ Siehe Münzinger, Erfahrungen im Bau und Betrieb hochbeanspruchter Kesselanlagen, Zeitschrift d. V. D. I. 1916, S. 1020.

Blechummanteltes Mauerwerk wird neuerdings mit gutem Erfolge für die Außenwände von Wasserrohrkesseln angewendet. Es besteht aus 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein starken Schamottewänden, welche nach außen mit einer $50 \div 100$ mm starken Diatomitschicht und darüber mit einem etwa 5 mm starken Eisenblechmantel verkleidet sind. Es ist zwar teurer als gewöhnliches Mauerwerk, zeichnet sich aber vor diesem durch geringeren Raumbedarf und geringeres Gewicht aus. — Das letztere ist ganz besonders der Fall, wenn Hohlsteine zur Herstellung der Schamottewand benutzt werden, wie das vielfach geschieht. — Dabei ist es von sehr guter Dichtigkeit und erfordert wenig Instandsetzungen.

33. Die Kesselausrüstung.

Um den Kesselbetrieb möglichst gefahrlos zu gestalten, ist es notwendig, daß jeder Kessel mit ganz bestimmten Vorrichtungen versehen wird. Ihre Zahl und Art ist im Abschnitt III der A. P. B. (s. S. 303) genau vorgeschrieben.

Im folgenden sollen diese gesetzlich verlangten „Sicherheitsvorrichtungen“ und im Zusammenhang damit diejenigen Einrichtungen behandelt werden, welche sich sonst im Betriebe eingeführt haben, um die Wartung der Kessel zu erleichtern.

A. Einrichtungen zum Speisen der Kessel.

a) Die Speisepumpen.

(Vgl. § 4 der A. P. B. auf S. 303.)

Die Zuführung des Speisewassers zum Kessel geschieht mittels Kolben-, Zentrifugal- und Dampfstrahlpumpen, und zwar können entweder eine oder mehrere solcher Pumpen zusammen eine „Speisevorrichtung“ bilden.

Die Größe jeder Speisevorrichtung ist so zu bemessen, daß sie imstande ist, dem Kessel doppelt soviel Wasser zuzuführen, als seiner normalen Verdampfungsfähigkeit¹⁾ entspricht.

Kolbenpumpen werden zur Kesselspeisung mit verschiedenen Antriebsarten angewandt. Man bezeichnet sie danach als Hand-, Maschinen-, Transmissions- und Dampfmaschinenpumpen. Handpumpen kommen, gemäß den gesetzlichen Bestimmungen, nur für kleine Kessel in Betracht, bei denen das Produkt aus der Heizfläche in Quadratmeter und der Dampfspannung in at Überdruck die Zahl 120 nicht übersteigt. — Die Maschinenpumpen werden durch Exzenter von der Kurbelwelle der Dampfmaschine angetrieben. Sie zeichnen sich durch Einfachheit aus

¹⁾ Vgl. Jaeger, Bestimmungen über Anlegung und Betrieb von Dampfkesseln. Berlin, Heymann, 1910.

und sind daher besonders für Lokomobilen und kleine ortsfeste Anlagen geeignet. Die meist mit Riemenantrieb versehenen Transmissionspumpen sind zwar ebenso wie die vorgenannten von der Dampfmaschine abhängig, lassen sich aber durch Anbringung einer Losscheibe leicht ausrückbar herstellen, auch kann man sie so aufstellen, daß sie für den Heizer bequem erreichbar sind. Bei den Dampfmaschinen ist eine besondere kleine Dampfmaschine mit der Pumpe zu einem Ganzen vereinigt. Von den mannigfachen Ausführungen haben sich die ohne Schwungrad am besten bewährt, vor allem weil sich bei ihnen die Leistung durch Drosselung des Dampfes den Betriebsverhältnissen gut anpassen läßt. Sie haben in mittleren und großen Anlagen besonders in der Form der „Duplexpumpe“ weite Verbreitung gefunden. Zentrifugalpumpen werden mit Elektromotor oder Dampfturbine unmittelbar gekuppelt, neuerdings in Großbetrieben zur Kesselspeisung benutzt. Besonderen Vorteil gewährt der zuletzt genannte Antrieb, da das aus dem Abdampf der Turbine ölfrei gewonnene Kondensat wieder als Speisewasser dienen kann.

Dampfstrahlpumpen oder Injektoren zeichnen sich vor allem dadurch aus, daß bei ihnen hin und her bewegte oder umlaufende Maschinenteile vollkommen fehlen. Da außerdem von dem Wärmeinhalt der für ihren Betrieb aufzuwendenden Dampfmenge nur sehr wenig verlorengeht, so ist es erklärlich, warum auf Lokomotiven Injektoren fast ausschließlich als Speisevorrichtungen benutzt werden. Aber auch bei ortsfesten Anlagen hat ihnen der geringe Platzbedarf und billige Anschaffungspreis vielfache Anwendung verschafft. Allerdings werden sie dort hauptsächlich als zweite Speisevorrichtung gebraucht, vornehmlich weil sich ihre Leistung nicht regeln läßt.

Die Wirkungsweise eines Injektors ist etwa folgende:

Aus der regelbaren Strahldüse *b* (Abb. 345) tritt der bei *a* zuströmende Triebdampf mit großer Geschwindigkeit aus. Dadurch wird in der um *b* angeordneten Kammer eine gewisse Luftverdünnung erzeugt und das Wasser aus der Saugleitung *d* angesaugt. Es trifft mit dem Dampf in der Mischdüse *c* zusammen und wirkt dabei kondensierend auf ihn ein. Dies steigert die Luftverdünnung so weit, daß nach kurzer Zeit ein Wasserstrahl mit großer Geschwindigkeit aus der Mischdüse *c* in die Fangdüse *e* überströmt. In dieser sich allmählich erweiternden Düse wird nun die Geschwindigkeit des Strahles entsprechend der Vergrößerung des Querschnittes immer geringer, dagegen der Druck größer, so daß der Strahl schließlich imstande ist, das bei *f* angebrachte Rückschlagventil zu öffnen und in den Kessel einzutreten. Zwischen den Düsen *c* und *e* ist eine Unterbrechung der Strahlleitung vorhanden, durch die beim Anlassen überschüssiger Dampf und Wasser austreten und durch das „Schlabberventil“ *g* in eine Abflußleitung gelangen können.

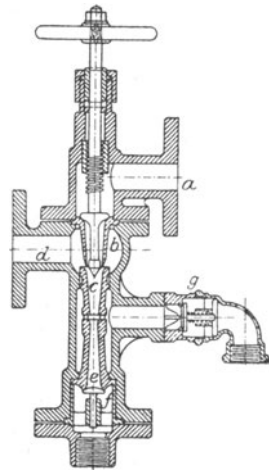


Abb. 345.

Um auch bei größeren Saughöhen und heißem Speisewasser ein zuverlässiges Arbeiten der Injektoren zu erzielen, hat man „Doppelinjektoren“ gebaut, in denen das Wasser durch zwei Düsensysteme nacheinander geführt wird. Dabei wirkt das erste im wesentlichen saugend, während durch die nochmalige Einwirkung des Dampfstrahles im zweiten der Wasserdruck auf das zur Überwindung der Widerstände in der Druckleitung notwendige Maß gesteigert wird.

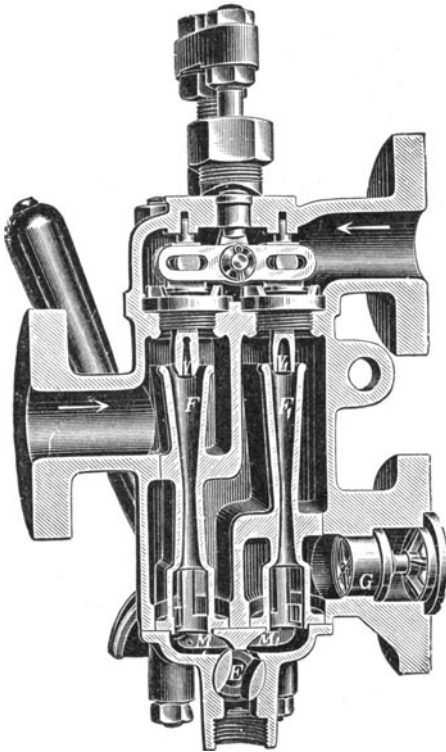


Abb. 346.

Ein solcher Doppelinjektor ist der in Abb. 346 dargestellte Körtingsche Universalinjektor.

Um ihn in Betrieb zu setzen, wird der Handhebel langsam von einer Seite zur anderen bewegt. Dabei hebt sich zunächst das Dampfventil V . Das hierdurch angesaugte Wasser fließt zunächst durch den Kanal M und den Durchgang im Hahnkücken E ins Freie, und zwar so lange, bis sich dieser Weg bei fortschreitender Bewegung des Hebels schließt. Von da an strömt das Wasser in das Düsensystem F_1 , um durch den Kanal M_1 wiederum ins Freie zu gelangen, bis auch hier der Abschluß erfolgt und gleichzeitig das Dampfventil V_1 völlig geöffnet ist. Nunmehr tritt es durch das Ventil G in die Speiseleitung ein.

Sehr empfindlich sind die gewöhnlichen Injektoren gegen jede auch noch so kurze Unterbrechung in der Speisewasserzuführung. Ihre Wirksamkeit hört dann sofort auf und kann erst wieder herbeigeführt werden, wenn man den Dampf abstellt

und sie darauf von neuem in Betrieb setzt. Dieser Mangel macht sich auch bei ortsfesten Anlagen zuweilen recht störend bemerkbar. Er ist beseitigt bei den Restarting oder wiederansaugenden Injektoren, und zwar dadurch, daß man die Mischdüse so einrichtet, daß der Dampf ins Freie entweichen kann, solange er nicht durch zuströmendes Wasser kondensiert wird. Dem Dampfstrahl ist es dann möglich, ununterbrochen die zum Wiederansaugen des Wassers erforderliche Luftverdünnung zu erzeugen.

Abb. 347 bis 349 zeigt den von Schäffer & Budenberg in Buckau-Magdeburg gebauten Restarting-Injektor.

Der Dampfeinlaß wird hier durch einen Handhebel betätigt, welcher mittels eines exzentrischen Zapfens das Dampfventil *a* öffnet und zugleich die Reglerspitze *b* verstellt. Die Mischdüse ist mit einer Klappe versehen, die sich öffnet, wenn durch Abreißen des Wasserstrahles und Aufhören der Kondensation in der Düse ein gewisser Überdruck entsteht. Der überschüssige Dampf strömt dann ins Schlabberrohr ab. Sobald aber der Injektor wieder saugt, schließt sich auch die Klappe wieder und der Injektor arbeitet richtig weiter.

Die Injektoren sind für Saughöhen bis zu 6 m geeignet. Die Temperatur des Speisewassers betrage nicht über 50° C. Für ihre Anbringung ist folgendes zu beachten: Der Dampf soll dem Injektor durch eine besondere Leitung zugeführt und dem Kessel möglichst trocken entnommen werden. Alle Rohranschlüsse sollen mindestens so weit wie die Ansätze am Injektor sein. Das Saugrohr soll durchaus dicht sein. Machen mechanische Verunreinigungen des Wassers die Anbringung eines Saugkorbes nötig, so ist derselbe möglichst weit zu bemessen. Das Druckrohr sei möglichst kurz und ohne scharfe Krümmungen.

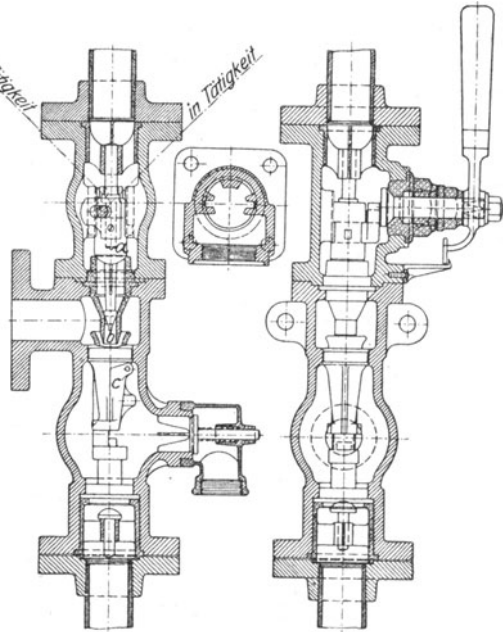


Abb. 347 bis 349.

b) Kondenswasserrückleiter.

Um den Wärmehalt von Kondenswässern für den Kesselbetrieb möglichst vollkommen nutzbar zu machen, werden Vorrichtungen angewandt, durch welche das Wasser schnellstens in den Kessel zurückbefördert wird. Vielfach dienen dazu geschlossene Gefäße, denn das Wasser zuläuft, um, wenn sich eine gewisse Menge angesammelt hat, von zuströmendem Frischdampf in den Kessel gedrückt zu werden. Der abwechselnde Wasser- und Dampfzutritt wird durch Umsteuerung von Abschlußorganen mittels eines Schwimmers erreicht.

Kondenswasserrückleiter sind in allen Betrieben am Platze, in denen größere Mengen ölfreien Kondenswassers aus Heizungen, Dampfmänteln von Kochgefäßen u. ä. m. entfallen.

c) Speiseventil.

(Vgl. § 5, Abs. 1 der A. P. B. auf S. 304.)

Das Speisen des Kessels geschieht durch ein selbsttätiges Ventil, das Speiseventil, hindurch, das sich unter dem Druck der Pumpe öffnet und unter dem Druck im Kessel schließt. Um einen guten Abschluß des Ventils zu sichern, erhält der Ventilkegel oben eine Führung (Abb. 350). Noch zweckmäßiger ist es, das Ventilgehäuse so zu bauen, daß der Wasserstrom senkrecht zur Kegelfläche gerichtet ist (Abb. 351, Ausführung nach Rosenkranz).

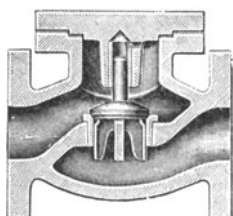


Abb. 350.

Zuweilen werden die Speiseventile noch mit loser Spindel und Handrad versehen, um den Kegel während der Betriebspausen auf den Sitz niederhalten zu können. Die Einrichtung ist unnötig, seitdem die Anbringung eines besonderen Absperrorganes zwischen Kessel und Speiseventil allgemein zu erfolgen hat (siehe Abschnitt B auf S. 265).

Werden mehrere Kessel durch eine gemeinsame Leitung gespeist, so kann eine Absperrvorrichtung über dem Kegel des Speiseventils mit Vorteil zum An- und Abstellen der Speisung benutzt werden. Sie ist dann

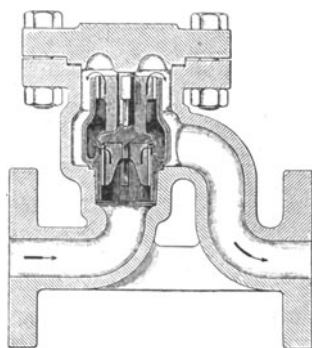


Abb. 351.

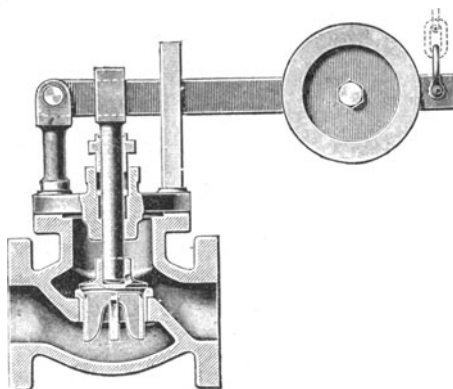


Abb. 352.

aber am besten durch einen mit Gewicht auf Hebel belasteten Druckstift auszuführen, so daß sich mittels einer am Hebel angreifenden Kette die Absperrung leicht aus- und einschalten läßt (Abb. 352).

Die Bestimmung des Ventildurchmessers kann, wie folgt, geschehen:

Es bezeichne

D in kg die stündliche Dampfmenge bei flottem Betriebe,

c in m/sek die Geschwindigkeit des Wassers im Ventile,

d in mm den Ventildurchmesser.

Läßt man dann, um die Abnutzung des Ventiles möglichst gering zu halten, für seinen Hub nicht mehr als $0,15 d$ zu und nimmt man ferner an, daß die Pumpen nicht ununterbrochen speisen, sondern die stündlich erforderliche D kg Wasser in einer halben Stunde in den Kessel befördern sollen, so ergibt sich:

$$\pi \cdot \frac{d}{100} \cdot \frac{0,15 d}{100} \cdot 10 c = \frac{D}{30 \cdot 60} \quad \text{oder} \quad \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{4 \cdot 0,15 \cdot 10 c}{10000} = \frac{D}{1800},$$

daraus folgt:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{D}{1,08 c} \approx \frac{D}{c}.$$

Für c wählt man zunehmend mit der Kesselgröße

$$c = 0,5 \text{ bis } 0,8 \text{ m.}$$

d) Speiseleitung.

(Vgl. § 5, Abs. 2 der A. P. B. auf S. 304.)

Den behördlichen Vorschriften wird durch die „Hochspeisung“ entsprochen, bei der das Speiserohr, das sich im Kessel an die äußere Speiseleitung anschließt, etwa 100 bis 200 mm unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserstande endigt. Bei undichtem Speiseventil kann dann der Wasserspiegel im Kessel während einer Betriebspause nur wenig unterhalb der höchsten Stelle der Feuerzüge sinken.

Welche Vorteile die Hochspeisung bezüglich der Ausscheidung der im Wasser enthaltenen Gase bietet, wurde schon auf S. 100 besprochen. Diese Ausscheidung wird wesentlich gefördert, wenn an das Speiserohr besondere Einrichtungen angeschlossen werden, in denen das Frischwasser in dünner Schicht durch den Dampfraum geführt wird, ehe es in den Wasserraum gelangt. Man benutzt dazu mehrere übereinander liegende Überlaufschalen („Vapor“ von Chr. Hülsmeier, Düsseldorf und „Petrefakt“ von P. Horweg & Co., Düsseldorf) oder Rinnen („Antilithor“ von O. Bührung & Wagner, Mannheim und „Hydropur“ der Hydrowacht G. m. b. H., Düsseldorf). Bei der schnellen Erwärmung des Wassers fällt auch ein großer Teil des Kesselsteinbildner aus. Sie setzen sich zum Teil an den Rinnen als feste Kruste an, die übrigen lose ausgeschiedenen werden aufgefangen und in geschlossener Leitung in die Nähe des Ablaßstutzens geführt.

e) Speiseregler.

Die Heizer verfahren vielfach so, daß sie immer erst mit der Speisung beginnen, wenn der Wasserspiegel im Kessel fast bis auf den festgesetzten niedrigsten Stand gesunken ist und daß sie die Wasserzuführung dann so lange fortsetzen, bis der erfahrungsgemäß zulässige höchste Wasserstand

erreicht ist. Dadurch können auch bei gleichbleibender Dampfenahme nicht unerhebliche Schwankungen im Druck, im Feuchtigkeits-

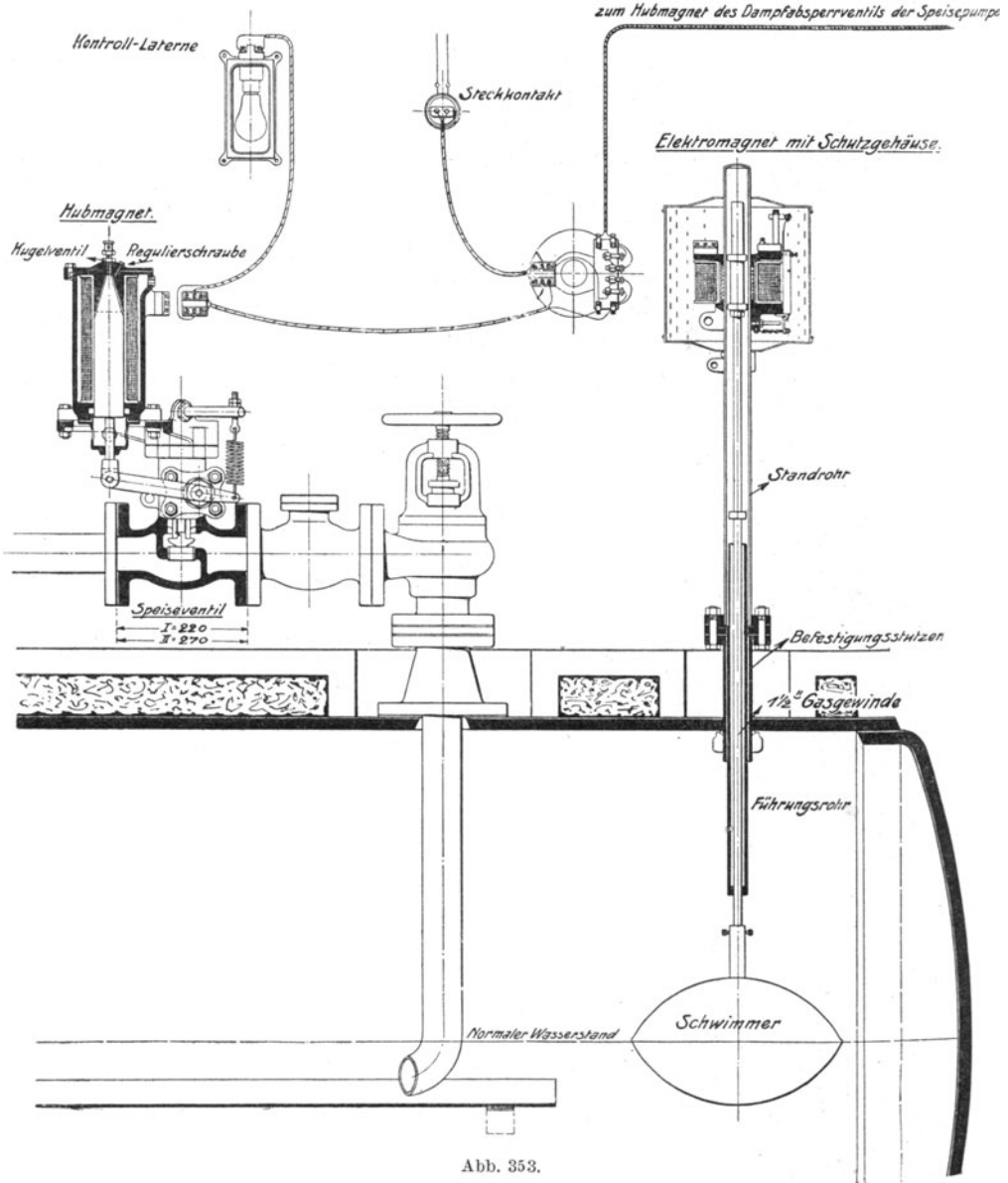


Abb. 353.

gehalt des Dampfes und in der Überhitzungstemperatur hervorgerufen werden. Diese für die Verwendung des Dampfes und den Wirkungsgrad

der Kesselanlage ungünstigen Schwankungen lassen sich am wirksamsten durch selbsttätige Regelung der Speisewasserzuführung verhindern. Sie wirkt so, daß der Wasserspiegel im Kessel seine Höhe nur in ganz engen Grenzen um einen „normalen“ Stand verändert. Durch solche daher auch als „Wasserstandsregler“ bezeichneten Einrichtungen wird der Heizer wesentlich entlastet, was besonders bei hochbeanspruchten Kesseln von Vorteil ist. Keinesfalls wird er aber dadurch der Pflicht entbunden, den Wasserstand zu beobachten, da sonst jedes Versagen des Speisereglers eine schwere Gefahr für den Betrieb bedeuten würde. Die angestrebte Wirkung erreichen die in ziemlich vielen verschiedenen Bauarten ausgeführten Speisereglere durch Beeinflussung des Speiseventils und des Dampf- absperrentils an der Speisepumpe. Werden mehrere Kessel durch eine gemeinsame Leitung gespeist, so begnügt man sich meistens mit einer Einwirkung auf das Speiseventil.

Einrichtung und Wirkungsweise solcher Regler soll im folgenden an einigen Bauarten gezeigt werden.

Wasserstandsregler, Bauart Reubold, ausgeführt von der Hannoverschen Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft (Abb. 353).

Der Antrieb erfolgt durch einen Schwimmer, dessen Stange oben einen weichen Eisenkern trägt. Bei normalem Wasserstande steht der Eisenkern etwas oberhalb der Wicklung eines Elektromagneten, der durch einen konstanten Strom von etwa 20–25 Watt magnetisiert wird und dessen Erregungsverhältnisse so bemessen sind, daß die Anziehungskraft seiner Schenkel nicht ausreicht, um einen durch Federkraft gehaltenen Anker anzuziehen. Sinkt aber das Wasser im Kessel und damit der Schwimmer, so schließt der Eisenkern den magnetischen Kreis des Elektro-

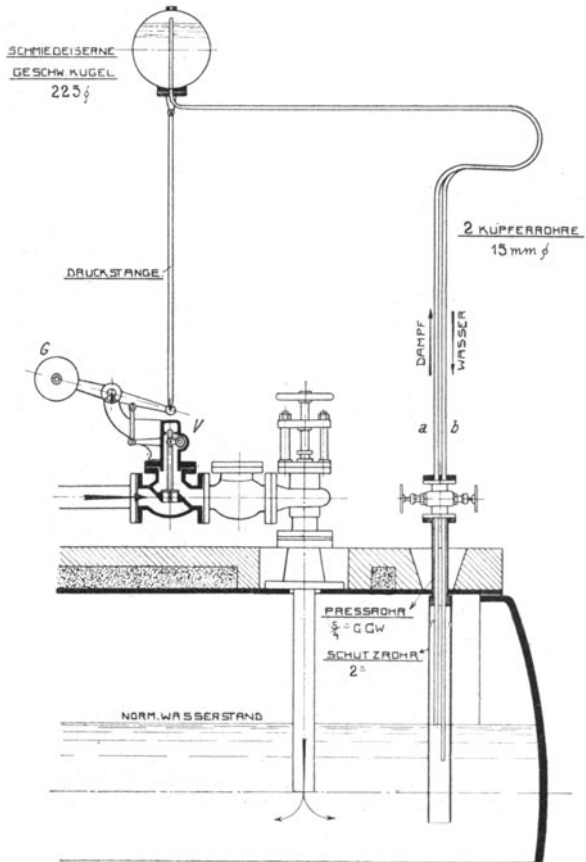


Abb. 354.

magneten und bewirkt eine Verstärkung seines Feldes. Der Anker wird dann kräftig von den Schenkeln gezogen. Dabei schließt er einen Kontakt, wodurch ein elektrischer Strom zu den Hubmagneten geleitet wird, von dem der eine ein Absperrventil in der Speiseleitung, der andere ein solches in der Dampfzuleitung an der Pumpe öffnet. Gleichzeitig leuchtet eine am Heizerstande angebrachte Signallampe auf. Sobald

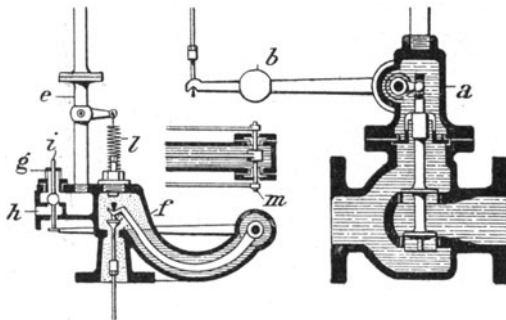
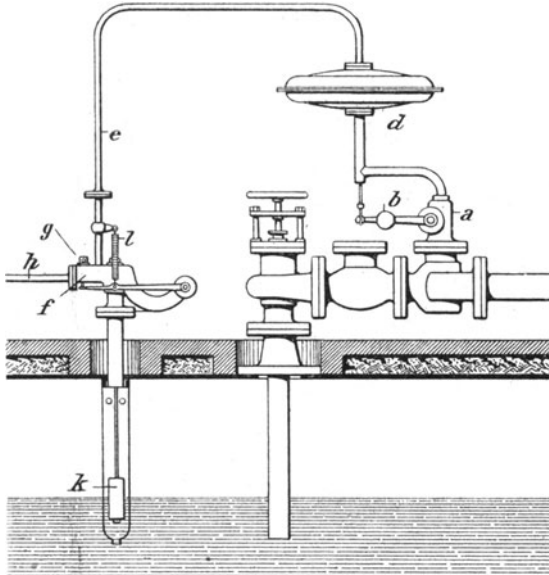


Abb. 355 bis 357.

der Widerstand wieder steigt, wird durch Heben des Eisenkernes der Strom der Hubmagnete ausgeschaltet, die Ventile schließen und die Lampe erlischt.

Der Regler kann auch mit einer Alarmglocke ausgestattet werden, welche bei jeder Störung seines Betriebes ertönt.

Wasserstandsregler der Emil Hanne-
mann G. m. b. H. in
Frohnau bei Berlin.

Bei der in Abb. 354 dargestellten Bauart wird bei normalem Wasserstande das Absperrventil *V* durch das Gewicht einer mit Wasser gefüllten Hohlkugel geschlossen gehalten. Sinkt nun der Wasserspiegel im Kessel, so tritt durch das enge Rohr *a* Dampf in den oberen Teil der Kugel, während zugleich das in ihr enthaltene Wasser durch das Rohr *b* abfließt. Das Gegengewicht *G* öffnet jetzt das Ventil *V* und die Speisung beginnt. Sie dauert so lange, bis der steigende Wasserspiegel die untere Öffnung des Rohres *a* schließt, der dann in der Kugel kondensierende Dampf Wasser ansaugt und dadurch das Ventil *V* wieder geschlossen wird.

Einen wesentlich anders gebauten Regler derselben Firma zeigt Abb. 355—357. Der kleine Schwimmer *k* steuert hier ein Ventil *i*, und zwar so, daß es in der Tieflage eine Leitung *h* verschließt, welche vom Schornstein ausgeht. In der Luftleitung *e* herrscht dann der gewöhnliche Luftdruck, da der Luftzutritt bei *g* offen ist. Wird *i* dagegen angehoben, so wird *h* geöffnet und *g* geschlossen, so daß dann der Schornsteinzug in der Leitung *e* Unterdruck erzeugt. Diese Luftleitung führt nun zu einem Gehäuse *d*, dessen Oberteil geschlossen, während der Unterteil offen ist. Zwischen beiden Teilen ist eine Membrane eingespannt. Sie trägt unten eine Stange, welche an einem Doppelhebel *b* angreift. Sein kurzer Arm verstellt die Spindel eines Doppel-

absperrentils in der Speiseleitung. — Bei tiefem Wasserstande im Kessel wird somit auf beiden Seiten der Membrane im Gehäuse *d* der gleiche Druck herrschen. Sie wird dann so viel nachgeben, daß der belastete Doppelhebel *b* des Absperrentil *a* offen halten und die Speisung erfolgen kann. Steigt nun der Wasserstand um wenige Millimeter, so wird *i* so eingestellt, daß der Schornsteinzug auf die obere Membranseite einwirkt. Dadurch wird die Membrane hochgesaugt und das Ventil *a* allmählich wieder geschlossen.

Wasserstandsregler,
Bauart Garbe, ausgeführt von Schäffer & Budenberg in Buckau-Magdeburg (Abb. 358, 359).

Das Gefäß *A* steht mit dem Kessel in Verbindung, so, daß das Wasser in beiden gleichhoch steht. Auf *A* sind angebracht: ein doppelwandiges Rohr *B*, ferner zwei Stützen, welche das Steuerungsgehäuse *C* tragen. An dieses schließt sich eine Dampfzuleitung *d*, ein zu den betätigten Absperrentilen führendes Rohr *f* und ein Auspuffrohr *g* an. Die Verbindung zwischen den Rohren *d* und *f* kann durch den Kolbenschieber *e* und die zwischen *f* und *g* durch das Ventil *h* abgesperrt werden. Beide Absperrorgane werden durch das im Innern von *B* geführte Expansionsrohr verstellt.

Bei normalem Wasserstande ist der Mantelraum in *B* mit Wasser angefüllt und das Expansionsrohr steht so, daß der Kolbenschieber *e* den Weg vom Rohr *d* nach *f* freigibt, während das Ventil *h* geschlossen ist. Dann herrscht im Rohr *f* der volle

Dampfdruck, und die Membranabsperrentile *i* und *k* (Abb. 360) in der Dampfzuleitung zur Pumpe und in der Speiseleitung sind geschlossen. Sinkt nun der Wasserspiegel im Kessel, so entleert sich der Mantel des Doppelrohres *B* vom Wasser und füllt sich mit Dampf an. Dadurch dehnt sich das Expansionsrohr so weit, daß es die Verbindung zwischen den Rohren *d* und *f* mittels des Kolbenschiebers *e* verschließt und das Ventil *h* öffnet. Dann tritt Dampf aus dem Rohre *f* durch das Auspuffrohr *g* ins Freie, die Membranen über den Absperrentilen werden entlastet und die Speisung beginnt. Im Verlauf derselben steigt das Wasser im Kessel und im Gefäß *A* bis es den Mantelraum des Rohres *B*

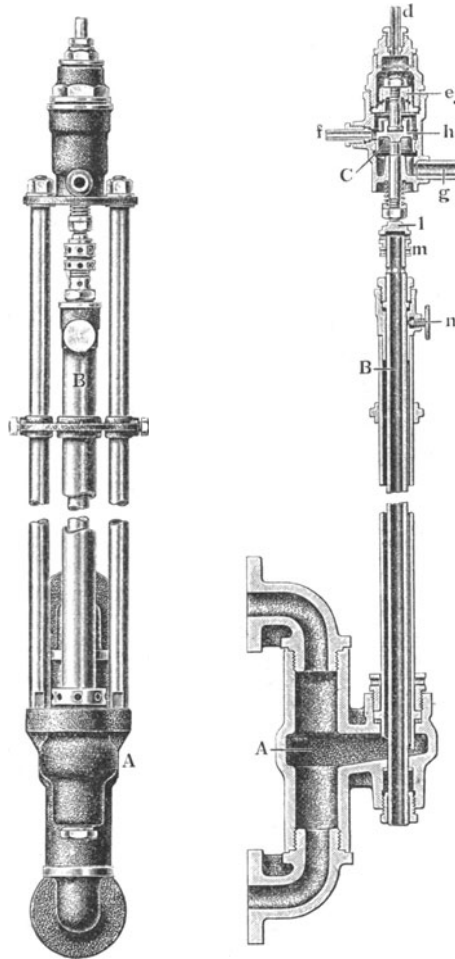


Abb. 358 u. 359.

unten abschließt. Dann kondensiert der dort eingeschlossene Dampf, wodurch Wasser hochgesaugt und der Mantel schließlich wieder damit angefüllt wird.

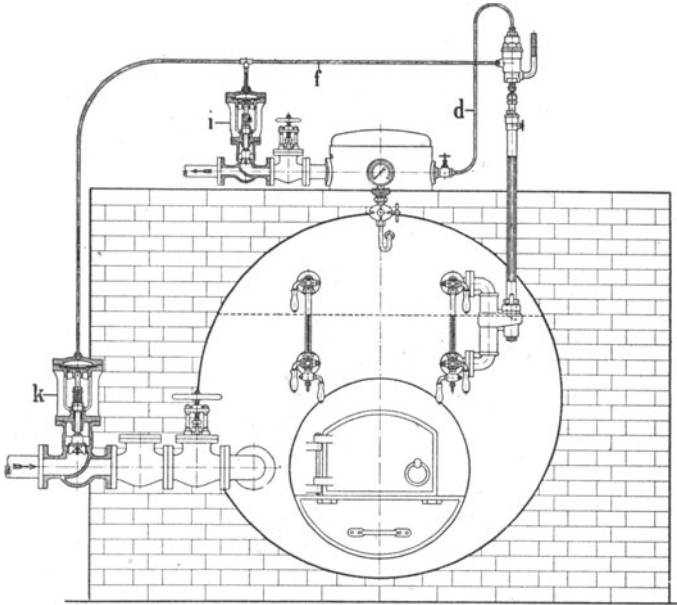


Abb. 360.

Das Expansionsrohr kühlt sich dann ab und stellt dadurch im Steuergehäuse *C* den ursprünglichen Zustand wieder her.

f) Speiserufer.

Da durch Wassermangel die schwersten Gefahren für den Kesselbetrieb entstehen können, so man vielfach bemüht gewesen, durch besondere Einrichtungen rechtzeitig auf die beim Unterschreiten eines bestimmten Wasserstandes eintretende Gefahr aufmerksam zu machen. Auf welche Weise man diese Absicht zu erreichen versucht, sollen die nachstehend beschriebenen Ausführungen solcher Vorrichtungen zeigen.

Der Blacksche Speiserufer ist in Abb. 361, 362 in der Ausführung der Firma Schäffer & Budenberg, Buckau-Magdeburg wiedergegeben.

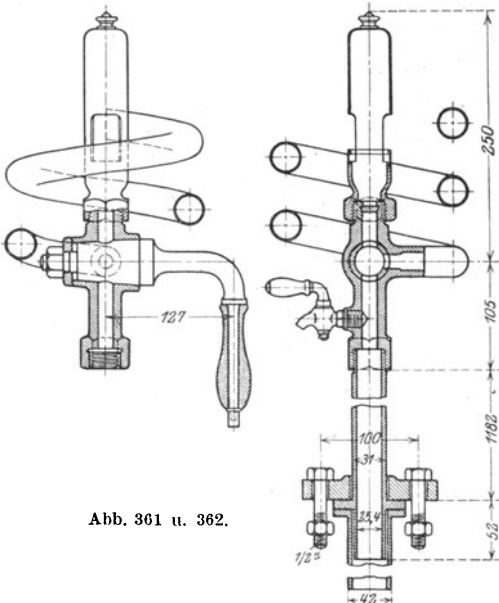


Abb. 361 u. 362.

Er besteht aus einem Einhängerrohr, das im Kessellinnern bis zum festgesetzten niedrigsten Wasserstande reicht. Ober trägt das Rohr eine Dampfpeife. Der Zugang zu dieser wird durch einen Pfropfen aus leicht schmelzbarem Metall verschlossen. Bei normalem Wasserstande ist das Rohr und die an demselben angebrachte Kühlschlange ganz mit Wasser gefüllt. Sinkt dagegen der Wasserspiegel bis unter das zulässige Maß, so tritt Dampf in das Rohr ein. Der Pfropfen schmilzt dann und die Dampfpeife ertönt.

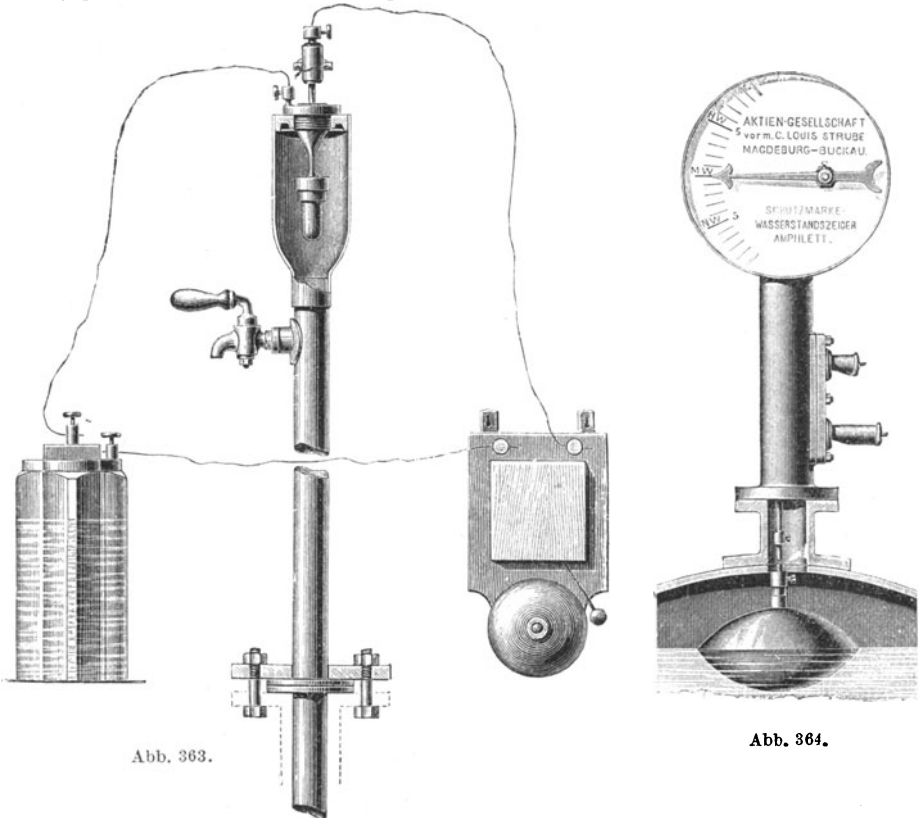


Abb. 363.

Abb. 364.

Der Wolffsche Speiserufer (Abb. 363) wird ebenfalls von Schäffer & Budenberg ausgeführt.

In das obere erweiterte Ende des Einhängerrohres ist hier ein geschlossenes Gefäß eingebaut, das mit Quecksilber angefüllt ist. Wird nun beim Unterschreiten des niedrigsten Wasserstandes das sonst im Rohr befindliche abgekühlte Wasser durch Dampf verdrängt, so dehnt sich das Quecksilber so weit aus, daß es einen darüber angebrachten Platindraht erreicht. Dadurch wird dann ein elektrischer Strom geschlossen, der an beliebiger Stelle Klingeln in Bewegung setzen kann. — Wird daraufhin gespeist, so füllt sich das Rohr bald wieder mit Wasser, das Quecksilber zieht sich dann zusammen und das Klingeln hört auf.

Der am Rohr seitlich angebrachte Hahn dient zum Durchblasen des Rohres und zum Probieren der Vorrichtung.

Der Wasserstandszeiger Amphlett (Abb. 364) ist zu den Speiserufern zu zählen, da er ebenfalls ein Warnungssignal ertönen läßt, sobald

der festgesetzte niedrigste Wasserstand erreicht ist. Er ist folgendermaßen eingerichtet:

Ein Schwimmer überträgt mittels einer Zahnstange die Bewegung des Wasserpiegels auf einen Zeiger, so daß der Wasserstand auch aus größerer Entfernung erkennbar wird. Unterhalb des Zifferblattes sind an der Stange zwei Knaggen befestigt, welche je ein Dampfventil und dadurch eine über demselben seitlich am Gehäuse angebrachte Dampfpeife betätigen können. Die eine höher abgestimmte Pfeife ertönt, wenn der Wasserspiegel das höchst zulässige Maß erreicht hat, die andere, wenn er bis zur Wasserstandsmarke gesunken ist. Zuweilen wird das Zifferblatt noch mit geeigneten Kontakteinrichtungen versehen, durch welche in beiden Fällen elektrische Läutwerke in Tätigkeit gesetzt werden.

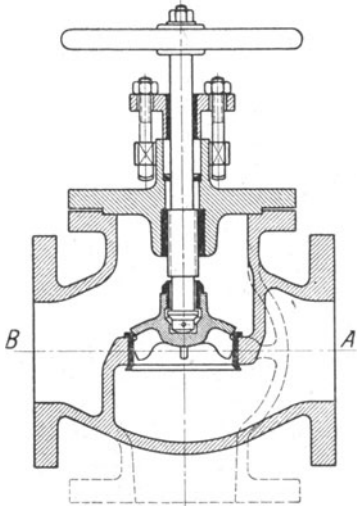


Abb. 365.

B. Absperrvorrichtungen.

(Vgl. § 6, Abs. 1 und 2 der A. P. B. auf S. 304.)

An der Stelle, wo der Dampf aus dem Kessel entnommen wird, ist möglichst nahe am Kesselkörper ein Absperrventil anzubringen, an welches sich die Dampfleitung anschließt. Es wird meistens als Durchgangsventil (Abb. 365) ausgeführt. Der Dampf soll unter den Ventilteller treten, damit man die Spindel auch unter Druck neu verpacken kann.

Der Durchmesser des Ventiles läßt sich, wie folgt, berechnen: Es bezeichnen:

D in kg die Dampfmenge, die bei flottem Betriebe stündlich durch das Ventil strömen soll,

c in m/sek die Dampfgeschwindigkeit,

γ_s in kg/cbm das Dampfgewicht beim höchsten zulässigen Betriebsdruck,

d in mm den Ventildurchmesser.

Rechnet man nun, der ungleichmäßigen Dampfontnahme wegen, mit der zweifachen oder, um runde Zahlen zu erhalten, mit der 2,16fachen Dampfmenge, so ergibt sich die Gleichung:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot 1000000} \cdot c = \frac{2,16 D}{\gamma_s \cdot 3600} \quad \text{oder} \quad \frac{\pi d^2}{4} = \frac{600 D}{\gamma_s \cdot c} .$$

Für c wählt man gewöhnlich 20 bis 30 m und bei sehr langen Leitungen 10 bis 15 m.

Hochüberhitzter Dampf macht die Verwendung von Ventilen erforderlich, bei denen Gehäuse und Deckel aus Stahlguß bestehen und bei

denen im Sitz und Kegel Dichtungsringe aus wärmebeständiger Nickellegierung oder Reinnickel eingetrieben sind (vgl. Abb. 366) ¹⁾.

Den gewöhnlichen Absperrventilen haftet vor allem der Mangel an, daß sie infolge der scharfen Richtungsänderungen, denen der Dampfstrom im Ventilgehäuse unterworfen ist, einen beträchtlichen Druckabfall verursachen. Um das zu vermeiden, hat man vielfach versucht, die Ventile durch andere Absperrorgane zu ersetzen. Einen sehr bemerkenswerten Erfolg nach dieser Richtung stellt das „Ideal“-Ventil, Patent Marscheider-Salingré dar, das von A. Borsig Berlin-Tegel gebaut wird.

Es ist ein Klappventil (Abb. 367, 368), durch welches der Dampf strömen kann, ohne dabei irgendeine Richtungsänderung zu erfahren. Mittels eines Kniehebelschlusses läßt sich das Ventil leicht öffnen und schließen. Auch das Einschleifen macht keine besonderen Schwierigkeiten, wie aus

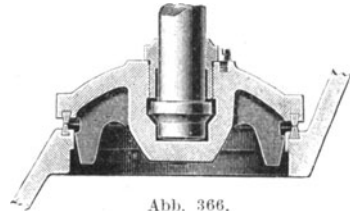


Abb. 366.

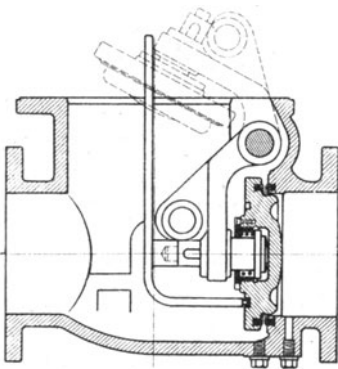


Abb. 369.

Abb. 369 hervorgehen dürfte. Nachdem dazu der Aufsatz wie bei einem gewöhnlichen Ventil abgenommen wurde, kann der Führungsschlitten und der Druckhebel entfernt

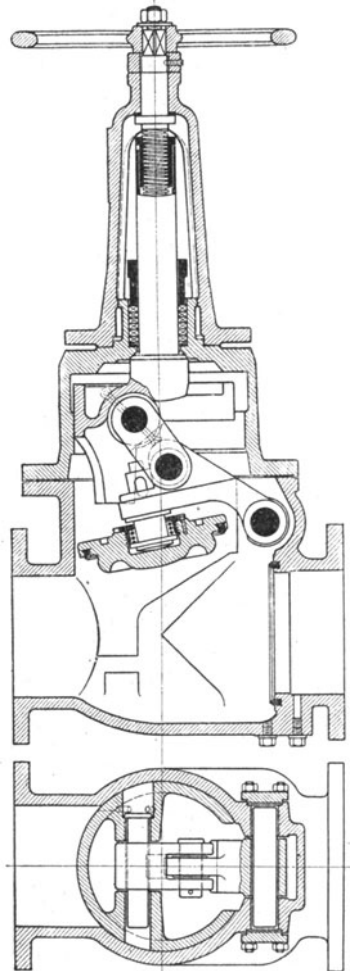


Abb. 367 u. 368.

¹⁾ Schäffer & Budenberg, Buckau-Magdeburg.

werden, sodann wird ein besonders geformter Schlüssel auf den Drehzapfen des Tellers aufgesteckt. Mit seinem umgebogenen Ende greift der Schlüssel in eine Öffnung eines Lochkranzes auf dem Ventilteller ein. Das obere Ende des Schlüssels kann dann hin und her bewegt und so die zum Einschleifen des Tellers erforderliche Drehung ausgeführt werden. Zum Aufgeben des Schleifmittels kann der Teller genügend weit herausgeklappt werden (siehe punktierte Stellung in Abb. 369).

Nach Versuchen der Firma Borsig beträgt der Druckverlust im Idealventil $\frac{1}{10}$ von dem in einem gewöhnlichen Absperrventil.

Bei gußeisernen Rohrleitungen wird zuweilen behördlicherseits der Einbau selbsttätiger Absperrventile, sogenannter Rohrbruchventile gefordert. Abb. 370 zeigt ein solches Ventil in der Ausführung der Dreyer, Rosenkranz & Droop, G. m. b. H. in Hannover.

Bei einem Rohrbruch wird auf der Ausströmungsseite eine plötzliche Druckverminderung eintreten, so daß der durch das Ventil strömende Dampf den Ventilteller *T* mitreißen und an den Sitz drücken wird. Hier wird er solange festgehalten, bis durch Schließen des unmittelbar vor dem Rohrbruchventil angebrachten Absperrventils der Druck bei *E* fällt. Der Hebel *H* dient zum Probieren des Ventiles, sodann gestattet er, es als Schnellschlußventil zu benutzen, besonders wenn von dem Hebel ein Drahtzug o. ä. nach dem Heizerstande geführt ist. Durch Verschieben des Gewichtes *G* auf dem Hebel läßt sich der frühere oder spätere Eintritt des Selbstschlusses erzielen.

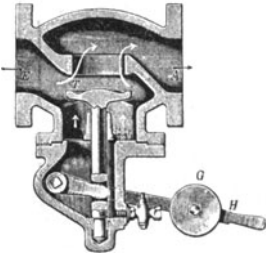


Abb. 370.

In besonderen Fällen werden die Rohrleitungen zweier Kesselgruppen miteinander verbunden, deren Betriebsdruck nicht übereinstimmen. Dies kann z. B. vorteilhaft sein, wenn aus der Kesselgruppe mit hohem Druck (Gruppe *H*) zeitweilig überschüssiger Dampf zur Verfügung steht, während gerade von den mit niedrigerem Druck arbeitenden Kesseln (Gruppe *N*) viel Dampf — zum Betriebe von Dampffässern — verlangt wird. — Um dann bei der Verbindung beider Rohrleitungen ein Überströmen des Dampfes von Gruppe *H* nach *N* zu verhüten, wird gefordert, daß in die von Gruppe *N* ausgehende Anschlußleitung ein Rückschlagventil eingebaut wird. Statt der Ventile werden dazu meistens Rückschlagklappen benutzt. Andererseits ist es notwendig, den Druck des Dampfes aus Kesselgruppe *H* auf die niedrigere Spannung überzuführen, die im gemeinsamen Rohrnetz herrschen soll. Dies geschieht durch ein Reduzierventil, das im Anschlußrohr der Gruppe *H* angebracht wird. In solchen Ventilen wird die Druckverminderung durch Drosselung des Dampfes erreicht und zwar sollen sie die Drosselung selbsttätig so regeln, daß Druckschwankungen auf der Hochdruckseite möglichst wenig Einfluß auf die Höhe des reduzierten Druckes haben. Für den vorliegenden Zweck haben sich Druckreglereinrichtungen besonders bewährt, bei welchen

dem eigentlichen Reduzierventil ein anderes Ventil vorgeschaltet ist, das den Dampf aus Gruppe *H* erst von einer bestimmten Spannung an austreten läßt. Abb. 371 zeigt eine solche Einrichtung in der Ausführung der C. Louis Strube Akt.-Ges. in Magdeburg-Buckau.

Der eintretende Dampf wird den Kegel des ersten Ventiles öffnen, sobald sein Druck imstande ist, die auf den Kegel wirkende Federbelastung zu überwinden. Er strömt dann weiter in das Reduzierventil. In diesem befindet sich ein Kegel, der mit einem Kolben gleichen Durchmessers fest verbunden und dadurch vom Drucke des eintretenden Dampfes entlastet ist. Unter dem in einem Wassersack angeordneten Kolben ist eine Feder angebracht. Die Stellung des Ventilkegels wird somit abhängen von dem Verhältnis des reduzierten Dampfdruckes, der ihn von oben her (also auf Schluß) belastet, zu der Federspannung, die von unten auf ihn einwirkt, ihn also offen hält. Der Kegel wird daher geöffnet bleiben, solange der reduzierte Druck ein bestimmtes, durch Anspannen der Feder zu regelndes Maß nicht überschreitet. Bei der dargestellten Ausführung ist hinter dem Reduzierventil noch ein Sicherheitsventil angebracht, das durch sein Abblasen auf etwa in der Reglereinrichtung eingetretene Störungen aufmerksam machen soll.

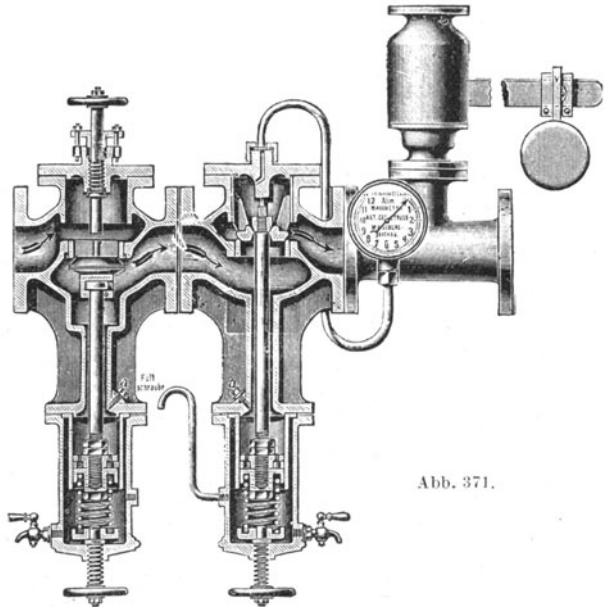


Abb. 371.

Das zwischen Speiseventil und Kessel vorgeschriebene Absperrventil wird unmittelbar hinter das erstgenannte, möglichst nahe, am Kesselkörper in die Speiseleitung eingebaut und zwar am besten so, daß das Speisewasser unter den Ventilkegel eintritt. Bei etwa erfolgreicher Lösung des Kegels von der Absperrspindel kann dann der Betrieb ungestört fortgesetzt werden. Der Durchmesser dieses Absperrventils wird gewöhnlich gleich dem des Speiseventils gewählt.

C. Entleerungsvorrichtung.

(Vgl. § 6, Abs. 3 der A. P. B., S. 304.)

Zum Ablassen des Kesselinhaltes werden Hähne und Ventile benutzt.

Die Hähne werden dazu am besten als Stopfbuchshähne (Abb. 372, 373)¹⁾ ausgeführt und entweder ganz oder doch wenigstens die Kükten aus

¹⁾ K. & Th. Möller, Brackwede.

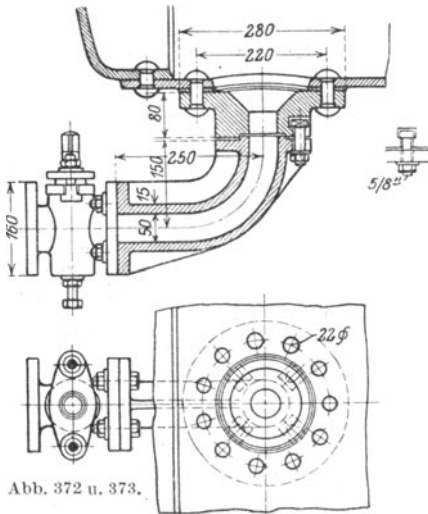
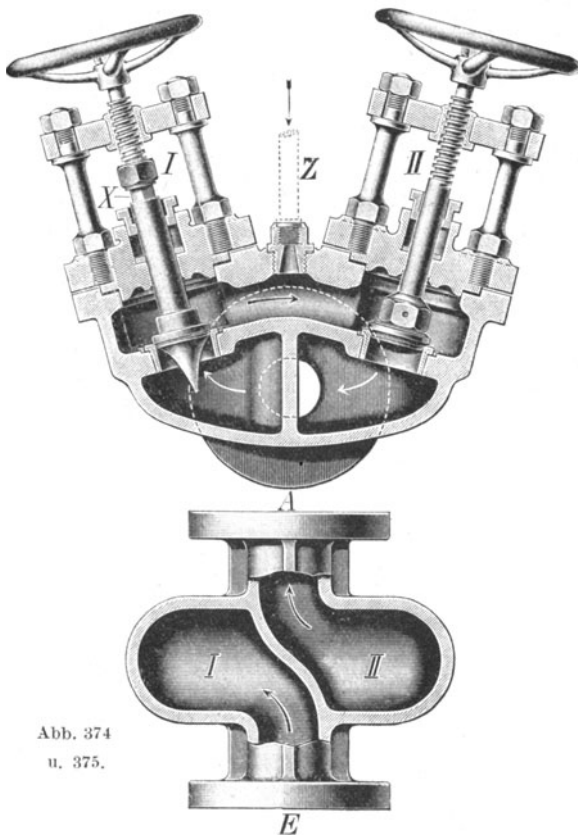


Abb. 372 u. 373.

Rotguß hergestellt. Um das etwa festgesetzte Kücken anlüften zu können, wird darunter im Gehäuse eine Druckschraube angebracht. — Will man den Kesselinhalt zum Entfernen des Schlammes nur zum Teil, etwa bis zum Niedrigwasserspiegel, ablassen, so bereitet das Schließen des Hahnes oft große Schwierigkeiten und läßt sich nur unter Gefahr eines am Gehäuse oder Rohrkrümmer eintretenden Bruches ausführen. Da dieser Übelstand darauf zurückzuführen ist, daß sich das Kücken beim Entleeren höher erwärmt und daher mehr ausdehnt als das Gehäuse, so hat man zu seiner Beseitigung entweder die Kücken

hohl gemacht und mit Wasserkühlung versehen oder die Gehäuse doppelwandig hergestellt, so daß sie durch heißes Wasser oder Dampf angewärmt werden können.

Abb. 374
u. 375.

Als Ablassvorrichtung eingebaute Absperrventile bieten den Nachteil, daß sie, nach erfolgtem Abschlämmen nicht leicht wieder dicht geschlossen werden können, da sich Unreinigkeiten zwischen Sitz und Kegel einklemmen. Man baut daher mit Vorteil hinter ein solches Absperrventil noch einen Hahn ein. Das Abschlämmen läßt sich dann gefahrlos ausführen, so daß sich der Heizer nicht scheuen wird, es regelmäßig in nicht allzu langen Zwischenräumen

vorzunehmen. Das gleiche wird durch Doppelventile (Abb. 374, 375) und durch selbsttätig schließende Abschlämmventile (Abb. 376, 377) erreicht.

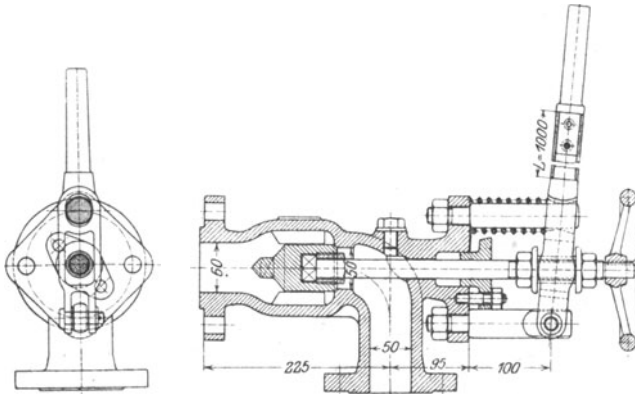


Abb. 376 u. 377.

Das abgebildete Doppelventil wird von der Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover gebaut. Es wird mit dem Flansch *E* an den Ablaßstutzen des Dampfkessels angeschlossen. Das von dort aus eintretende Wasser gelangt in die Kammer *I* und bei geöffneten Ventilen durch einen Verbindungskanal in die Kammer *II*, die zum Ausgang *A* führt. Der Kegel des Ventiles *I* ist zugespitzt, um den durchtretenden Wasserstrom gut zu zerteilen. Ist *I* geschlossen, so kann Ventil *II* nötigenfalls auseinander genommen und in Stand gesetzt werden. Durch das bei *Z* angeschlossene Dampfrohr ist es möglich, den Verbindungskanal und die Kammer *II* mit Dampf durchzublasen und so Ventilsitz und Kegel *II* von anhängendem Schlamm zu reinigen.

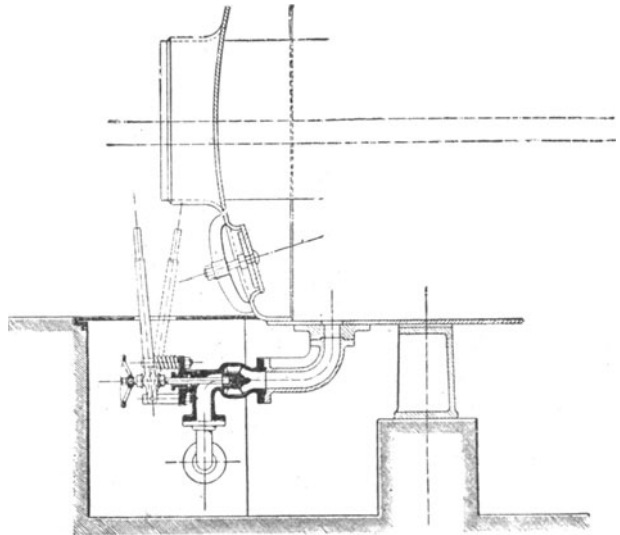


Abb. 378.

Abb. 376, 377 zeigt ein Abschlämmventil, Bauart Baltes, wie es unter anderem von der Dingerschen Maschinenfabrik in Zweibrücken geliefert wird. Das durch Druck auf einen Handhebel geöffnete Ventil schließt sich wieder unter der Wirkung einer Feder und des Druckes im Kessel. Ein auf der Ventilschindel angebrachtes Handrad gestattet es, den Kegel zu drehen, um den etwa zwischen die Dichtungsflächen eingedrungenen Schlamm zerreiben und das Ventil abdichten zu können. Das Ventil wird auch als Durchgangsventil ausgeführt, ferner so eingerichtet, daß es durch Fußtritt geöffnet werden kann (vgl. Abb. 378).

Damit alles Wasser aus dem Kessel ablaufen kann, soll die Ablaufvorrichtung an der tiefsten Stelle des Kessels angebracht werden. Sie darf jedoch nicht in den Kesselzügen oder im heißen Mauerwerk liegen, da sonst der sich darin ansammelnde Schlamm festbrennen würde.

Der Durchmesser des Ablaufrohres soll nicht zu groß, etwa gleich dem des Speiseventils, gewählt werden.

D. Wasserstandsvorrichtungen.

(Vgl. § 7 der A. P. B., S. 304.)

a) Die Wasserstandsgläser

zeichnen sich vor den gesetzlich ebenfalls zugelassenen Probiervorrichtungen dadurch aus, daß sie, sorgfältige Wertung vorausgesetzt, die

genaue Höhe des Wasserspiegels im Kessel dauernd ohne weiteres erkennen lassen. Dazu setzt man am Dampfraum und am Wasserraum des Kessels je ein wagerechtes Rohr an und verbindet beider Enden wiederum durch ein Rohr. Dieses eigentliche Wasserstandsrohr liegt meistens senkrecht, zuweilen aber auch schräg. Letzteres ist z. B. fast stets bei ausziehbaren Feuerbuchskesseln der Fall, weil sich bei dieser Kesselbauart genügend lange, senkrechte Wasserstandsrohre nicht anbringen lassen (vgl. Taf. IX). Um nun den Wasserspiegel beobachten zu können, wird in das Wasserstandsrohr eine Glasröhre oder eine ebene Glasplatte dicht eingefügt. Damit sich die Wasserstandsgläser bei längeren Betriebspausen oder zur Instandsetzung entleeren lassen, wird in das Rohr, welches das Wasser

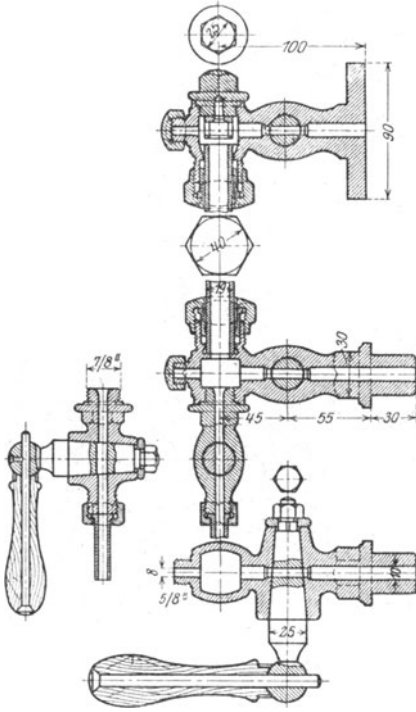


Abb. 379 bis 381.

und in das, welches den Dampf zuführt, je ein Absperrorgan eingesetzt. Ein drittes, unter dem Wasserstandsrohr angebrachtes Absperrorgan ermöglicht es, den Dampfweg und den Wasserweg getrennt durchzublasen und etwa eingetretene Verstopfungen festzustellen. Vor jedem Zuführungsrohr ist eine Verschraubung angebracht, so daß man die Rohre zur Beseitigung von Verstopfungen durchstoßen kann.

Als Absperrorgane benutzte man früher allgemein Hähne. Bei diesen macht sich jedoch der Einfluß unreinen Kesselwassers am unangenehmsten bemerkbar. Sie werden dadurch leicht undicht oder gar ungangbar. Infolgedessen wendet man bei höheren Kesseldrücken jetzt vielfach Ventile oder Verschußklappen an, welche man mit auswechselbaren Dichtungsflächen aus Hartgummi versieht. Andererseits ist man bemüht, das Un-

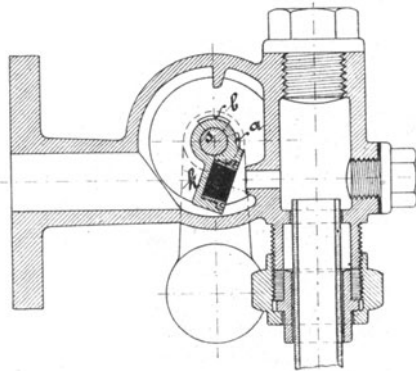


Abb. 382.

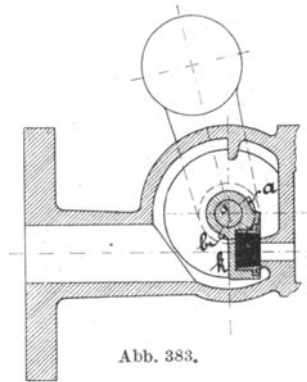


Abb. 383.

dichtwerden der Abschlußorgane dadurch zu verhindern, daß man die Wasserstandsköpfe aus einem Metall herstellt, das von den Beimengungen des Kesselwassers möglichst wenig angegriffen wird. Dieser Bedingung entspricht am besten zinkfreie Bronze. Gegenüber alkalischen Wässern hat sich auch Stahlguß als äußerst widerstandsfähig erwiesen.

Über Einzelheiten der Wasserstandsvorrichtungen geben die nachstehend behandelten Ausführungen Aufschluß.

Wasserstandsglas mit Absperrhähnen von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover (Abb. 379 bis 381).

Die Verschraubung am oberen Ende des Wasserstandsrohres dient zum Einsetzen der Glasröhre. Zum Abdichten der Röhre sind Stopfbüchsen vorgesehen, in welche je ein Gummiring eingelegt wird. Da solche Ringe bei Erwärmung weich werden, und dann beim Anziehen der Stopfbüchsenverschraubung durch die etwa vorhandene Fuge zwischen dem Grundring des Gehäuses und der Glasröhre herausquellen, so sind niemals Glasröhren von zu kleinem Außendurchmesser einzusetzen. Andernfalls treten leicht Verstopfungen an den Enden der Glasröhre ein.

Wasserstandsglas mit selbstschließenden Klappenverschlüssen von Schumann & Co. in Leipzig-Plagwitz (Abb. 382 bis 384).

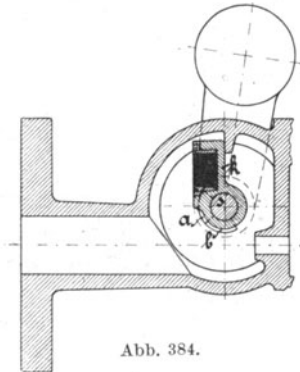


Abb. 384.

Die Klappe *k*, in welche ein Dichtungspfropfen eingesetzt ist, steckt lose auf der Spindel *s*, kann jedoch von dieser mitgenommen werden, wenn man an dem außen auf der Spindel fest angebrachten eisernen Handgriff dreht. Das Mitnehmen erfolgt, sobald sich der im Innern des Gehäuses liegende Knaggen *b* der Spindel gegen den Anschlag *a* der Klappe legt. Abb. 382 zeigt die Klappe *k* in der Betriebsstellung. Sie hängt dann frei nach unten und läßt den Weg zur Glasröhre offen. Zerspringt das Glas, so schleudert der austretende Dampf oder Wasserstrom die Klappe auf die Austrittsöffnung. Abb. 383 zeigt die Klappe zwangsweise geschlossen, während sie in Abb. 384 zum Durchstoßen der Zuleitung geöffnet ist.

Da es besonders darauf ankommt, das Austreten des Wassers beim Zerspringen eines Glases zu verhüten, so wird bei vielen Ausführungen

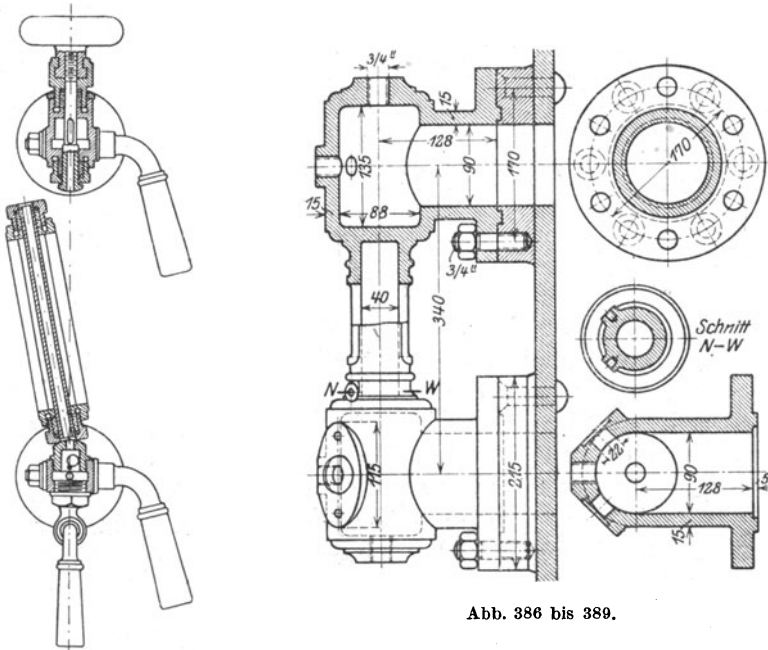


Abb. 386 bis 389.

Abb. 385.

nur der untere Wasserstandskopf mit Selbstschluß ausgestattet, indem man dort ein Kegel- oder Kugelventil einsetzt.

Wasserstand mit leicht auswechselbarem Glase von Theodor Maas in Mannheim (Abb. 385).

Die Glasröhre steckt in einem besonderen Glashalter, der zwischen die Wasserstandsköpfe eingespannt wird. Dazu dient eine Stellschraube, die durch den oberen Kopf hindurchgeführt ist. Hält man einen betriebsfertigen Glashalter vorrätig, so kann beim Zerspringen des Glases in kürzester Zeit ein neues eingesetzt werden. Leider treten an den kugeligen Dichtungsflächen zwischen den Glashaltern und den Wasserstandsköpfen leicht Undichtheiten auf. Diesem Mangel ist es zuzuschreiben, daß derartige Einrichtungen eine allgemeinere Verbreitung nicht gefunden haben.

Doppelwasserstand von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover (Abb. 386 bis 390). Zwei Wasserstandsvorrichtungen sind an einem gemeinsamen Gußkörper angebracht, der durch zwei Rohre von je 90 mm lichte[m] Durchmesser mit dem Kessel verbunden ist. Dies entspricht den behördlichen Anforderungen, nach denen die Verbindungsrohre im vorliegenden Falle mindestens je 6000 qmm Querschnitt haben sollen.

Wasserstandsschutzhüllen.

Um eine längere Haltbarkeit der Glasröhren in den Wasserstandsvorrichtungen zu gewährleisten, ist es notwendig, daß sie aus einer geeigneten Glassorte hergestellt, nicht mit Spannungen behaftet und daher gegen einseitige Abkühlung wenig empfindlich sind¹⁾ ferner aber, daß sie sorgfältig eingesetzt und bei der Inbetriebnahme langsam angewärmt werden. Ein Zerbrechen des Glases kann dann nur durch mechanische Vorgänge oder infolge allmählicher Abnutzung eintreten, der die Gläser im

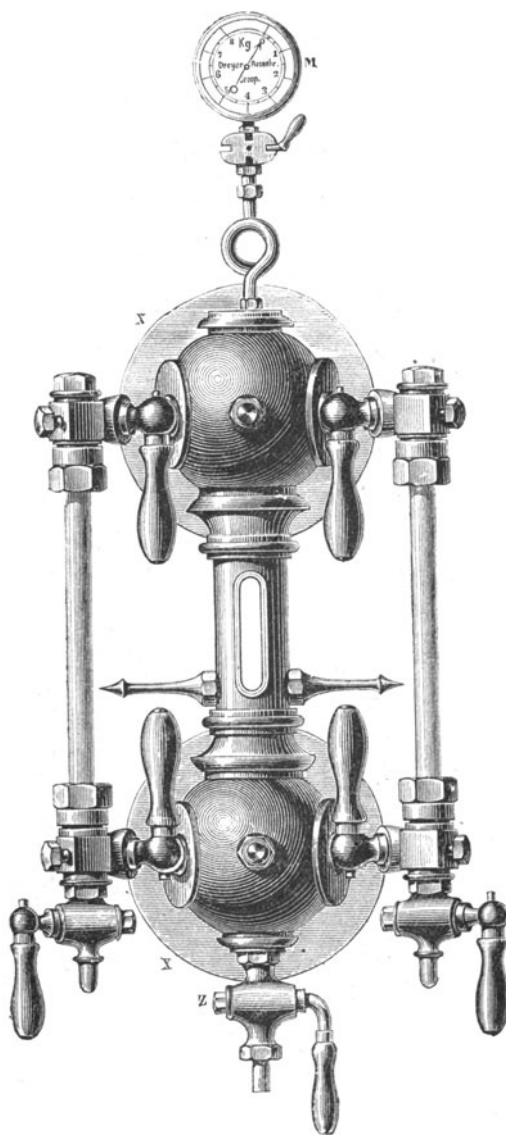


Abb. 390.

¹⁾ Das Glaswerk Schott & Genossen in Jena stellt Wasserstandsgläser aus sogenanntem Durax-Glase her, die nach angestellten Versuchen beim plötzlichen Bespritzen mit ziemlich kaltem Wasser erst zerspringen, wenn der Dampfdruck im Innern des Glases bis auf etwa 25 bis 27 at gestiegen ist. Bei den gebräuchlichen Dampfpressungen bis etwa 12 at ist ein Zerspringen dieser Gläser beim Bespritzen mit kaltem Wasser also nicht zu erwarten.

Innern durch die Einwirkung des Kesselinhaltes ausgesetzt sind. Diese ist im Dampfraum größer als im Wasserraum, was man darauf zurückführt, daß im oberen Wasserstandskopf beständig Dampf kondensiert und das Kondenswasser fortwährend an dem Glase herniederrieselt.

Da sich somit das Zerspringen der Gläser nicht völlig verhindern läßt, so ist es notwendig, der dabei durch die fortgeschleuderten Glas-

splitter für den Heizer entstehenden Gefahr vorzubeugen, indem man das Glas mit einer Schutzhülle umgibt. Den an sie zu stellenden Anforderungen: größtmögliche Sicherheit beim Zerspringen der Glasröhre und dabei möglichst geringe Behinderung bei der Beobachtung des Wasserspiegels, genügen am besten Hüllen, die aus starkem Glase hergestellt werden.

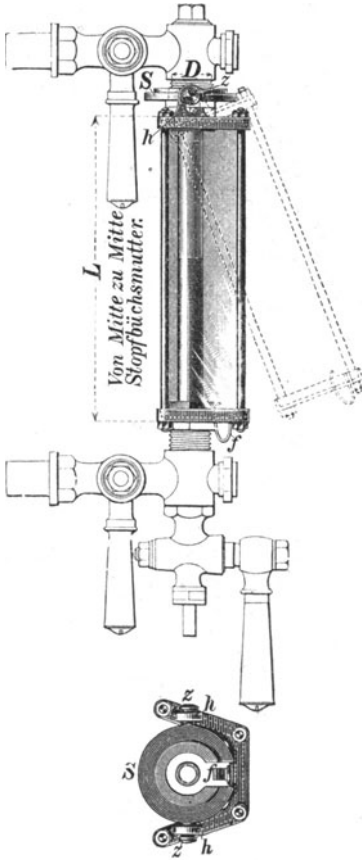


Abb. 391.

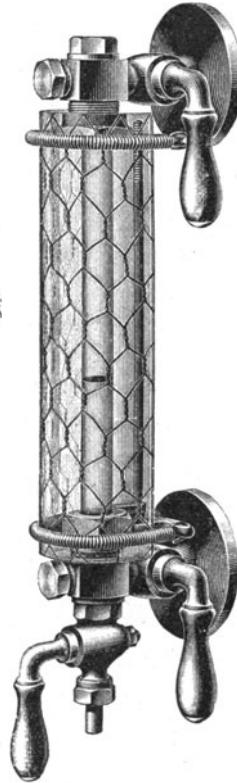


Abb. 392.

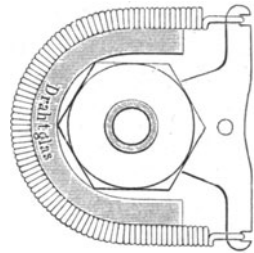


Abb. 393.

Schutzeinrichtung von Hans Reisert in Köln-Braunsfeld (Abb. 391).

Drei ebene, in einem Rahmen gehaltene Glastafeln sind an der oberen Stopfbüchsenmutter des Wasserstandes aufgehängt und können beim Zerspringen der Wasserstandsröhre, wie dargestellt, nachgeben. Beim Zurückpendeln legt sich der Rahmen mit einer Feder gegen die untere Stopfbüchsenmutter, so daß auch dann der Stoß gemildert wird.

Drahtglas-Schutzhülle der Aktien-Gesellschaft für Glasindustrie vorm. Friedr. Siemens in Dresden (Abb. 392, 393).

Die mit eingeschmolzenem Drahtgeflecht versehene Glashülse stützt sich auf die untere Reinigungsschraube und wird mittels zwei elastischer Metallschnüre an Querstücken befestigt, die hinter den Stopfbüchsenmuttern liegen.

Vorrichtungen, welche die Erkennung des Wasserspiegels erleichtern.

Die Firma E. Rockstroh in Görlitz liefert Schutzvorrichtungen, bei denen hinter das Wasserstandsglas ein halbzyklindrisch gebogenes Blech zu liegen kommt, das nach vorn durch eine Glasplatte abgeschlossen wird. Auf dem innen weiß emaillierten Bleche sind unmittelbar hinter der Wasserstandsrohre schräge schwarze Striche angebracht, die vergrößert und mehr gerade gestellt erscheinen, soweit das Glas mit Wasser gefüllt ist.

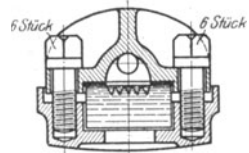


Abb. 394.

In ähnlicher Weise tragen auch eingeschmolzene blaue Längsstreifen, mit denen die Firma Schott & Genossen in Jena die von ihr hergestellten Wasserstandsgläser verseht, zur leichteren Erkennung des Wasserstandes bei.

Der **Klingersche Reflexions-Wasserstandsanzeiger** läßt das Wasser im Glase schwarz und den Dampf silberglänzend erscheinen. Dies wird dadurch erreicht, daß man an Stelle der Glasröhre ein Metallgehäuse einsetzt, welches nach vorn durch ein flaches, auf der Innenseite mit Rillen versehenes, starkes Glas abgeschlossen wird (vgl. Abb. 394). Wo Dampf mit dieser Glasplatte in Berührung ist, werden die einfallenden Lichtstrahlen vollständig reflektiert, wo aber die Rillen des Glases mit Wasser ausgefüllt sind, gelangen die Lichtstrahlen an die hintere Gehäusewand, so daß deren schwarze Färbung sichtbar wird. Ein Bruch des Glases kommt hier wegen seiner größeren Stärke kaum vor, so daß die Anbringung einer Schutzhülse unnötig ist. Die Vorrichtung wird von Rich. Klinger in Gumpoldskirchen bei Wien geliefert und zwar entweder als vollständiger Wasserstand oder mit Rohransätzen zum Einbauen in beliebige Wasserstandsköpfe. Letzteres ist beispielsweise erfolgt bei dem in Abb. 395 dargestellten Wasserstande von C. L. Scheer & Co. in Feuerbach-Stuttgart.

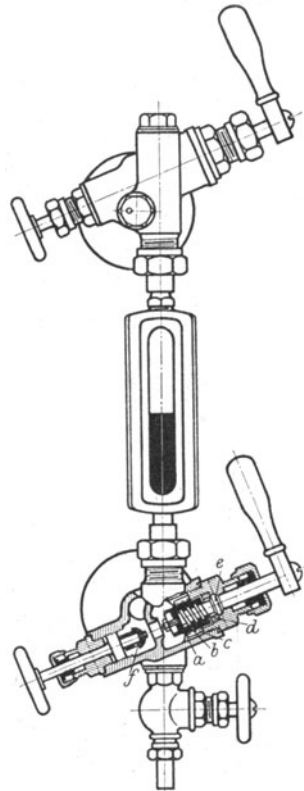


Abb. 395.

Besonders bemerkenswert sind an dieser Ausführung die Ventilverschlüsse. Der mit Dichtungseinlage ausgestattete Kegel *b* wird mittels der Spindel *e* bewegt, die dabei keine steigende, sondern nur eine drehende Bewegung macht. Dazu ist die Spindel *e* mittels des Halterings *d* mit dem Gehäuseoberteil verbunden, während

der Kegel *b* mit seinen zwei Rippen *c* in den Nuten *a* des Gehäuses geführt wird. Der lose auf der Spindel steckende Ventilkegel *f* dient einerseits für den Selbstschluß, andererseits als Hilfsverschluß, durch welchen das Auswechseln der Dichtungsplatte im Kegel *b* während des Betriebes ermöglicht wird.

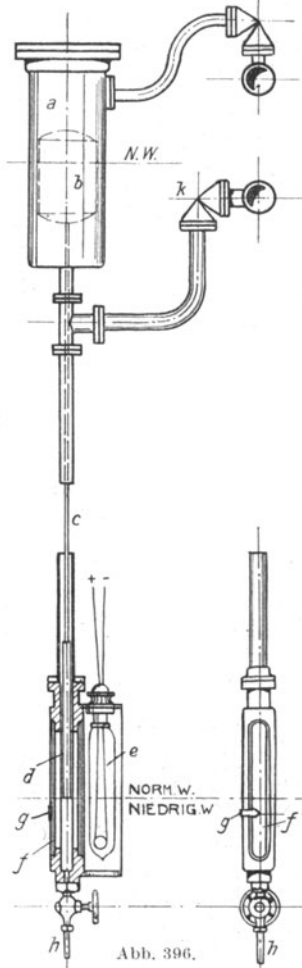


Abb. 396.

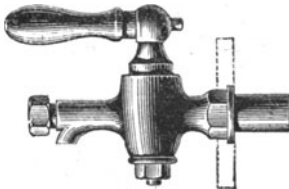


Abb. 397.

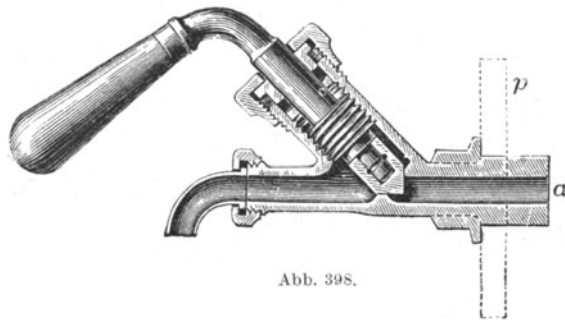


Abb. 398.

Wasserstandsanzeiger für hohe Kessel, hergestellt von der Hannoverschen Maschinenbau-Akt.-Ges. (Abb. 396).

Der Schwimmer *b* überträgt die Bewegung des hochliegenden Wasserspiegels auf ein dünnes Kupferrohr *d*; dessen unteres Ende ragt in ein Gehäuse *f* hinein, das in Augenhöhe liegt. Da das Gehäuse von einer Glühlampe *e* durchleuchtet wird, so ist der Stand des Wassers im Kessel auch aus größerer Entfernung gut erkennbar.

b) Die Probiervorrichtungen.

Als solche werden Hähne oder Ventile (Abb. 397 und 398)¹⁾, zwei bis vier an der Zahl, in verschiedenen Höhen, die unterste Vorrichtung genau in der Ebene des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes am Kessel angebracht. Da man mit ihrer Hilfe die Höhe des Wasserspiegels aber nur recht ungenau ermitteln kann, so finden solche Probiervorrichtungen immer weniger Verwendung. Auch fahrbare Kessel, die früher stets mit Probierhähnen ausgerüstet wurden, erhalten statt deren jetzt meistens ein zweites Wasserstandsglas.

¹⁾ Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover.

E. Sicherheitsventil.

(Vgl. § 9 der A. P. B. auf S. 307.)

Die Sicherheitsventile sind so anzubringen, daß sie vom Dampf-
raum des Kessels nicht absperrbar sind. Man unterscheidet offene
(Abb. 399) und geschlossene
(Abb. 400) Ventile. Erstere ge-
währen den Vorteil, daß der
Ventilkegel ohne weiteres zu-
gänglich ist, während geschlos-
sene den ausströmenden Dampf
nicht in das Kesselhaus entwei-
chen lassen.

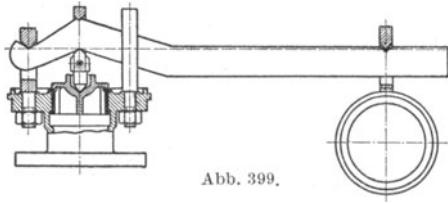


Abb. 399.

Die Belastung der Sicher-
heitsventile erfolgt entweder
durch Gewichte oder Federn,
die gewöhnlich an einem Hebel
angreifen. Solche federbelasteten
Ventile sind weniger empfindlich
gegen Erschütterungen und eighen
sich daher besonders für be-
wegliche Kessel. Bei feststehenden
dagegen werden fast ausnahmslos
Sicherheitsventile mit Gewicht am
Hebel angewandt. Für unmittelbare
Belastung des Ventilkegels kommen
bei den heutigen Dampfdrucken
nur Federn in Frage. Derartig
belastete Ventile finden sich an
Schiffskesseln, sodann an Über-
hitzern (Abb. 401)¹⁾.

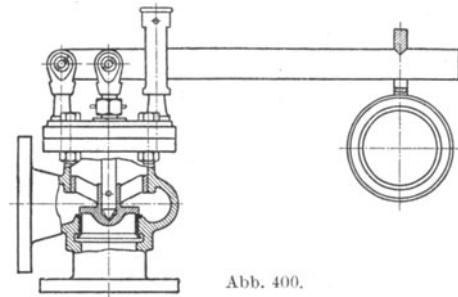


Abb. 400.

Der Ventilsitz muß im Ge-
häuse fest eingepreßt sein, damit
er sich nicht lockern und Dampf
zwischen Sitz und Gehäuse aus-
treten lassen kann. Da konische
Dichtungsflächen das Ecken und
Festklemmen des Ventilkegels
begünstigen, so stattet man die
Sicherheitsventile allgemein mit
Tellerventilen aus. Ihre ebenen
Sitzflächen erhalten eine Breite
von 1,5 bis 2 mm. Der Druckpunkt,
in welchem die Last auf den Ventil-
teller übertragen wird, darf nicht
höher als die Sitzfläche liegen, weil der

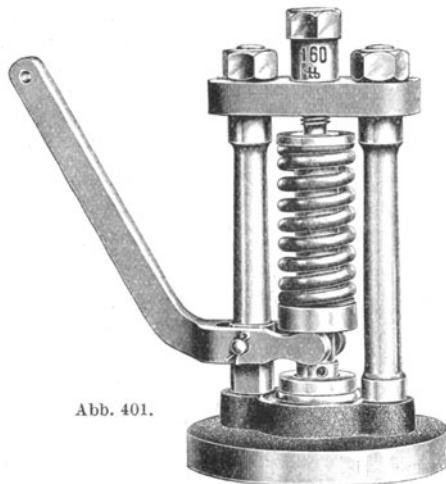


Abb. 401.

¹⁾ Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.

Druckstift sonst, sobald sich der Teller beim Austreten des Dampfes etwas einseitig anhebt, eine Vergrößerung der Schrägstellung bewirken, ihn also festklemmen würde.

Der Belastungshebel wird mit Übersetzungen von 1 : 7 bis 1 : 10 ausgeführt. In seinem Drehpunkt und im Angriffspunkt des Druckstiftes wurden früher Bolzengelenke eingesetzt (vgl. Abb. 400). Da in solchen Gelenken jedoch die Reibung bald ziemlich groß wird, so lagert man die Hebel jetzt meistens auf Schneiden. Diese sollen, wie in Abb. 399 angegeben in einer Geraden liegen, weil anderenfalls das der Berechnung zugrunde gelegte Verhältnis der wirksamen Hebelarme zueinander nicht gewahrt bleiben würde, sobald der Hebel angehoben wird.

Der Querschnitt des Ventiles wird gewöhnlich folgendermaßen bestimmt:
Ist

F in qmm der Gesamtquerschnitt der Sicherheitsventile eines Kessels,
 H in qm die Heizfläche des Kessels,
 p in at Überdruck der höchste genehmigte Dampfdruck,
 v_s in cbm/kg das spezifische Volumen des Dampfes beim Druck p (s. Dampftabelle S. 12),

so ist:

$$F = 15 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot v_s}{p}}$$

Der daraus errechnete Querschnitt ist auf zwei Ventile zu verteilen, sobald:

$$\frac{F \cdot p}{100} > 600$$

ist. Die Anordnung zweier Ventile empfiehlt sich stets, wenn sich für ein Ventil ein Durchmesser von mehr als 100 mm ergibt.

Da sich die bisher geschilderten Sicherheitsventile beim Abblasen nur ganz wenig öffnen, so sind sie mehr als Alarmvorrichtungen anzusehen. Jedenfalls lassen sich mit ihnen bei plötzlich unterbrochener Dampfenahme größere Spannungsüberschreitungen kaum verhindern. Dies ist nur möglich, wenn man die Ventile so einrichtet, daß der Teller unter der Wirkung des ausströmenden Dampfes hoch aushebt — Hochhubventile — und zwar möglichst so weit, daß für den Dampfaustritt eine Öffnung entsteht, die gleich dem vollen Ventilquerschnitt ist. Letzteres tritt ein, wenn der Ventilhub gleich dem vierten Teil des Durchmessers wird — Vollhubventile.

Entsprechend ihrer wesentlich höheren Leistungsfähigkeit, kann man den Querschnitt der Vollhubventile geringer bemessen als den gewöhnlicher Sicherheitsventile und zwar kommt man gewöhnlich mit

$$F_{vh} = 5 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot v_s}{p}}$$

aus. Dieser Umstand ist für große Kesseleinheiten von besonderer Wichtigkeit. Selbstverständlich gilt er nur für Ventile, die so gebaut sind, daß auch wirklich der volle Hub erreicht wird. Einige dazu geeignete Konstruktionen werden in folgendem besprochen:

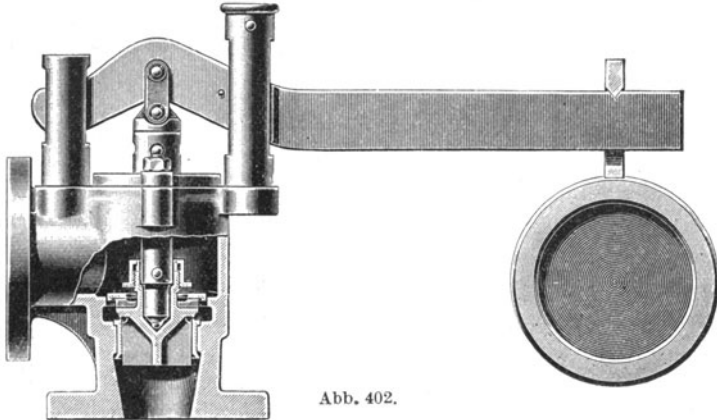


Abb. 402.

Hochhubventil „Absolut“ von Schäffer & Budenberg in Buckau-Magdeburg (Abb. 402).

Oberhalb des eigentlichen Ventilstellers ist noch ein damit verbundener ringförmiger Teller angebracht, der mit dem Gehäuse eine Ringkammer bildet. Bei geringer Drucküberschreitung hebt sich das Ventil nur wenig und warnt durch das Geräusch des ausströmenden Dampfes den Heizer. Wird der Überdruck aber größer, so steigt der Druck in der Ringkammer und das Ventil hebt sich sehr stark. Bei einer Drucküberschreitung von $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ at ist das Ventil annähernd ganz offen. Dieser Fall tritt aber nicht ein, wenn die Ventilgröße nach der von der Firma herausgegebenen Tabelle gewählt wird. Durch eine Ringverschraubung, die über der Hubvergrößerungsplatte, und zwar über einer ringförmigen Durchbrechung in der letzteren angebracht ist, läßt sich das Maß der Undichtigkeit zwischen dem obenerwähnten Ringraume und der Atmosphäre einstellen.

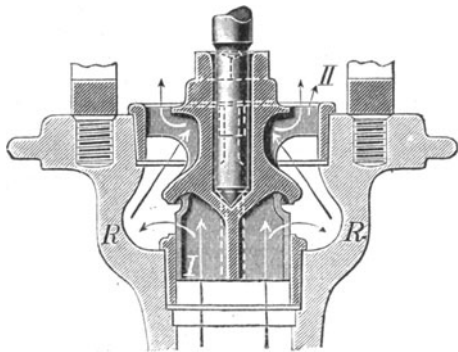


Abb. 403.

Hochhubventil von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover (Abb. 403).

Während sich das soeben beschriebene Hochhubventil im wesentlichen durch den unter der Hubplatte auftretenden Druck hebt, beruht im vorliegenden Falle das Heben des Ventiltellers mehr auf der Strahlwirkung des Dampfes. Abb. 403 zeigt deutlich, wie die Strahlwirkung durch geeignete Gestaltung des Gehäuses und des Ventiltellers zustande kommt. Schon bei sehr geringer Drucküberschreitung hebt

sich das Ventil langsam, um, wenn jene etwa 0,25—0,35 at beträgt, seinen Vollhub zu erreichen. Das Ventil ist sowohl bei *I* wie auch bei *II* gut geführt, was bei Hochhubventilen besonders vorteilhaft ist.

Wegen der großen Dampfmenge, welche die Vollhubventile abführen, ist es zweckmäßig, sie stets als geschlossene Ventile einzurichten und den Dampf zum Dache des Kesselhauses hinauszuleiten. Damit man aber trotzdem leicht an das Ventil gelangen kann, wird das Anschlußstück an die Rohrleitung als abnehmbare Haube ausgebildet (vgl. Abb. 404).

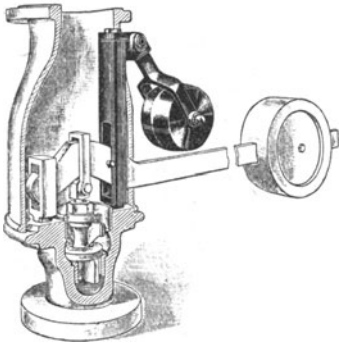


Abb. 404.

Da nach den gesetzlichen Bestimmungen eine Überschreitung der festgesetzten höchsten Dampfspannung um $\frac{1}{10}$ ihres Betrages zulässig ist, so lassen die Vollhubventile, die sich schon bei etwa 0,3 at Überspannung ganz öffnen, unnötig viel Dampf entweichen. Um diesem zu großen Dampfverlust zu begegnen, wendet die Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop eine Rollgewichtsbremse an, wie sie in Abb. 404 wiedergegeben ist.

Das Rollgewicht berührt den Belastungshebel zunächst nicht, übt somit bei geringen, schnell vorübergehenden Spannungsüberschreitungen keinerlei Einfluß aus.



Abb. 405.

Wächst dagegen der Ventilhub über ein bestimmtes, der Erhebung gewöhnlicher Sicherheitsventile etwa gleichkommendes Maß, so legt sich der Hebel von unten gegen das Rollgewicht. Dieses kann aufwärts schwingen, also bei weiterem Ansteigen der Dampfspannung allmählich nachgeben. Dabei wächst sein wirksamer Hebelarm und damit die Bremswirkung. Die Bremse kann nun so bemessen und eingestellt werden, daß der volle Ventilhub erst erreicht wird, wenn die zulässige Überschreitung von 10% eingetreten ist.

F. Manometer.

(Vgl. § 10 der A. P. B. auf S. 307.)

Zum Messen des Dampfdruckes im Kessel werden ausschließlich Federmanometer benutzt. Nach der Form der Feder unterscheidet man:

Plattenfeder- und Röhrenfedermanometer.

Die Plattenfedermanometer (Abb. 405). Der Dampf drückt von unten gegen ein mit kreisförmigen Wellen versehenes, stählernes Blech, das durch Metallüberzug oder Anstrich gegen Rosten geschützt ist. In der Mitte dieser Plattenfeder ist eine kleine Schubstange befestigt, welche

die Durchbiegung der Feder mittels Winkelhebels und Zahnbogens auf die Zeigerachse überträgt. Durch eine bei allen Federmanometern auf dieser Achse angebrachte Spiralfeder soll toter Gang vermieden werden.

Die Röhrenfedermanometer (Abb. 406). Der Dampfdruck gelangt hier in eine „Bourdonsche Röhrenfeder“, das ist eine aus hartgezogener Metallegierung oder aus Stahl hergestellte Röhre, die etwa kreisförmig gekrümmt ist. Ihr Querschnitt ist oval und liegt mit seiner kleinen Achse in der Richtung des Krümmungshalbmessers. Am freien Ende ist sie geschlossen. Unter der Einwirkung des Druckes hat nun diese federnde Röhre das Bestreben, sich gerade zu richten. Dabei führt ihr freies Ende Bewegungen aus, die durch eine Lenkstange auf einen zweiarmigen Hebel

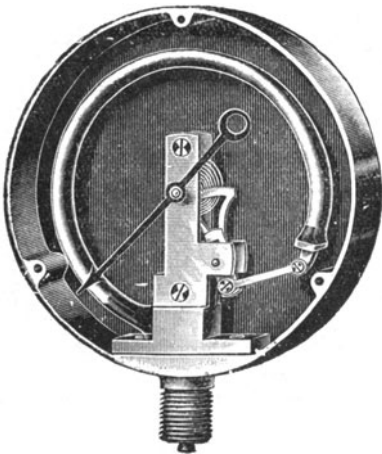


Abb. 406.

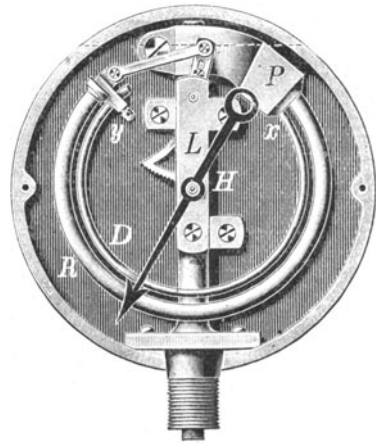


Abb. 407.

und von diesem mittels Zahnbogens auf die Zeigerachse übertragen werden.

Besonders bemerkenswert ist die in Abb. 407 dargestellte Bauart, welche von der Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop herrührt. Das mit Glycerin gefüllte Federrohr kann sich wegen seiner hängenden Anordnung nicht entleeren, so daß der Dampf nicht hineingelangen kann. Zur Unterstützung der Federkraft ist die Bourdonröhre mit einer Feder *D* aus Stahldraht verbunden.

Bei der Anbringung der Manometer ist zu berücksichtigen, daß die Federn bei den Dampftemperaturen leicht bleibende Formänderungen erfahren können. Man hat also dafür zu sorgen, daß der Dampf mit den Federn möglichst nicht in Berührung kommt. Zu diesem Zweck wird das Verbindungsrohr zwischen Kessel und Manometer derart U-förmig oder trompetenförmig (vgl. Abb. 390) gebogen, daß ein Wassersack entsteht, in dem das aus dem Dampfe kondensierte Wasser stehen bleibt. Wird zwischen dem Trompetenrohr und dem Manometer ein Dreiwegehahn

eingebaut, so kann man gelegentlich das Verbindungsrohr mit Dampf durchblasen und auch das Manometer vom Druck entlasten und zwar läßt

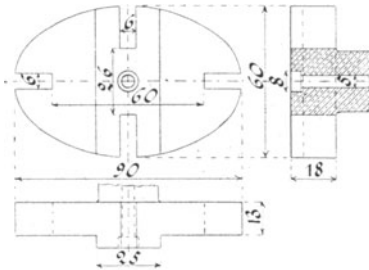


Abb. 408.

sich dies bei einiger Sorgfalt so vornehmen, daß daraus kein Schaden für die Manometerfeder entsteht. Auf die vordere Öffnung des Hahngehäuses wird zweckmäßig der zur Anbringung des Prüfungsmanometers ¹⁾ dienende Kontrollflansch (Abb. 408) aufgesetzt. Ein solcher Kontrollflansch ist in Preußen und in den meisten anderen deutschen Staaten vorgeschrieben. Ausnahmen hiervon bilden: Bayern (runder

Flansch von 37 mm Durchmesser), Braunschweig (runder Flansch von 45 mm Durchmesser) und Sachsen (Innengewinde von $\frac{1}{2}$ '' engl.), doch gelten diese Ausnahmen nicht für bewegliche und für Schiffskessel.

G. Anbringung der Ausrüstung am Kessel.

Die Anbringung der Ausrüstungsstücke geschieht gewöhnlich mit Hilfe von gußeisernen oder schmiedeeisernen Rohrstützen. Aus Gußeisen oder Temperguß hergestellte Stützen dürfen nur verwandt werden,

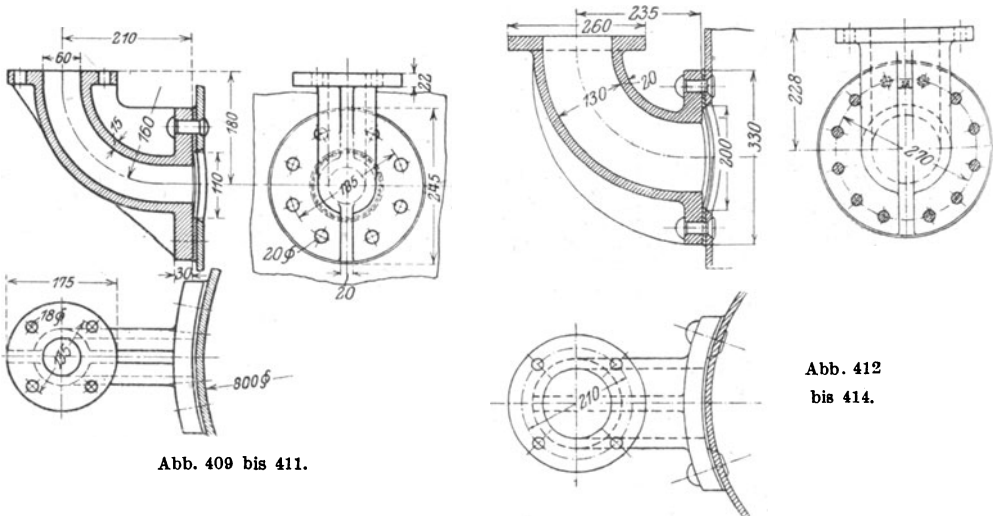


Abb. 409 bis 411.

Abb. 412
bis 414.

wenn ihre Lichtweite 250 mm nicht übersteigt und der Kesseldruck nicht mehr als 10 at Überdruck beträgt (vgl. § 2 der A. P. B. auf S. 302).

Die Stützen werden am Kesselkörper durch Nietung befestigt. Dabei wird unter den Flansch gegossener Stützen ein etwa 5 mm starkes Blech

¹⁾ Vgl. § 14 der A. P. B. auf S. 310.

aus weichem Flußeisen gelegt, das nach dem Nieten verstemmt wird. Aus gewalztem Schiedeeisen hergestellte Stützen machen eine solche Zwischenlage unnötig, da ihre Flanschen selbst verstemmt werden können. Die Nietung läßt sich nicht mit der Maschine ausführen, deshalb werden dazu in der Regel Niete von nicht mehr als 23 mm Stärke benutzt.

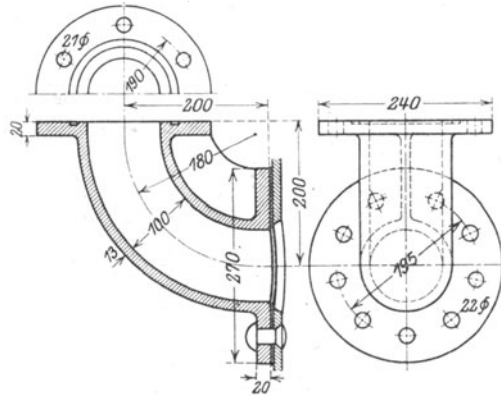


Abb. 415 u. 416.

Bei Gußeisen müssen die aufzunietenden Flanschen besonders kräftig sein. Sie werden daher meistens 30 bis 35 mm stark gemacht, während die Stärke des Mantels 15 bis 20 mm und die der oberen Flanschen 20 bis 25 mm beträgt. Außerdem werden die Flanschen gegen den Mantel häufig noch mit Rippen versteift (vgl. Abb. 409 bis 411 und 412 bis 414).

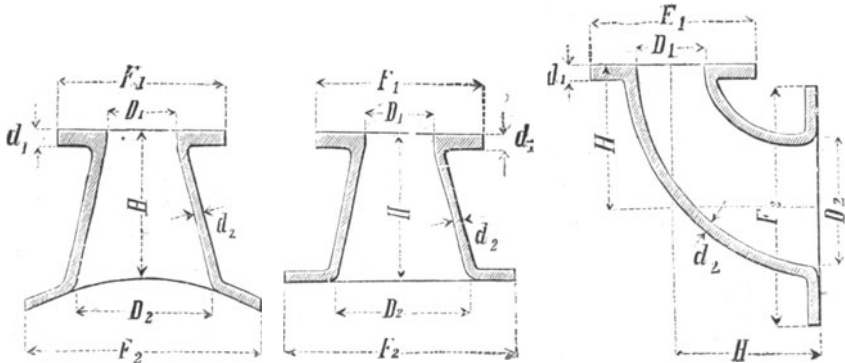


Abb. 417 u. 418.

Abb. 419.

Bei Stützen aus Formflußeisen (Ausführungsbeispiel in Abb. 415, 416) kommt man mit etwa $\frac{3}{4}$ dieser Wandstärken aus.

Für die Ausführung gerader (Abb. 417 und 418) und gekrümmter (Abb. 419) Stützen aus Schmiedeeisen gibt die umstehende Tabelle der Firma A. Leinweber & Co. in Gleiwitz, welche solche Stützen herstellt, einen Anhalt.

D ₁	F ₁	d ₁	H	d ₂	D ₂	F ₂	Ge- wicht ca. kg
Millimeter							
25	110	15	125	10	76	210	4,5
30	120	15	130	10	84	220	5
35	130	15	135	10	91	230	6
40	140	15	140	10	98	240	7
45	150	15	145	10	105	250	8
50	160	16	150	11	112	260	9
55	170	16	155	11	119	270	10
60	175	17	160	11	126	275	11
65	180	17	165	11	133	280	12
70	185	18	170	11	140	285	13
80	200	19	180	12	146	300	16
90	215	19	190	12	152	315	17
100	230	20	200	12	165	330	18
110	245	20	210	12	178	345	20
120	260	20	220	12	191	360	22
130	275	21	230	13	204	375	24,5
140	285	21	240	13	218	385	27
150	290	22	250	13	231	390	30
175	320	22	275	13	235	420	37
200	350	24	300	13	260	450	45
225	370	24	325	13	290	470	52
250	400	25	350	13	320	500	62
275	425	25	375	13	350	525	74
300	450	25	400	13	380	550	85

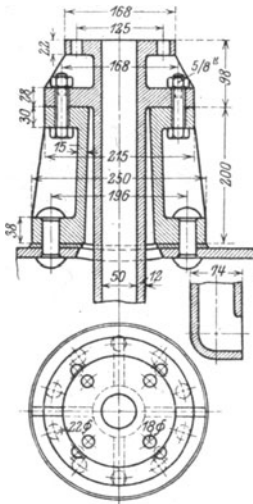


Abb. 420.

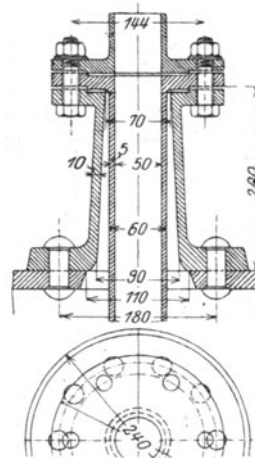


Abb. 421.

Speisestützen. Abb. 420 zeigt einen solchen aus Gußeisen, Abb. 421 einen aus Schmiedeeisen, wie sie auf den Mantel liegender Kessel gesetzt werden, während in Abb. 422, 423; 424, 425; 426, 427 schmiedeeiserne, an Kesselböden angebrachte Stützen dargestellt sind.

Ablaßstutzen aus Gußeisen (Abb. 372, 373), Formflußeisen (Abb. 428 bis 430) und Schmiedeeisen (Abb. 431, 432). Der mittels eingeleger-

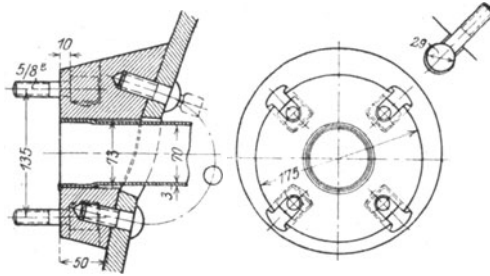


Abb. 422 u. 423.

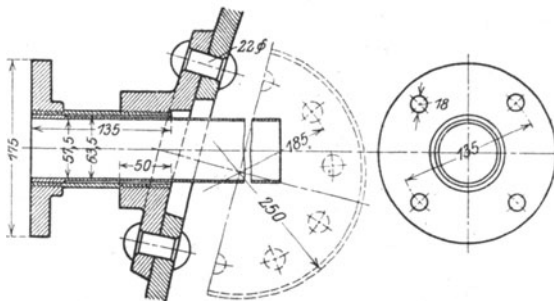


Abb. 424 u. 425.

$a =$	50	60	70	80
$b =$	60	70	80	90
$c =$	75	85	95	105

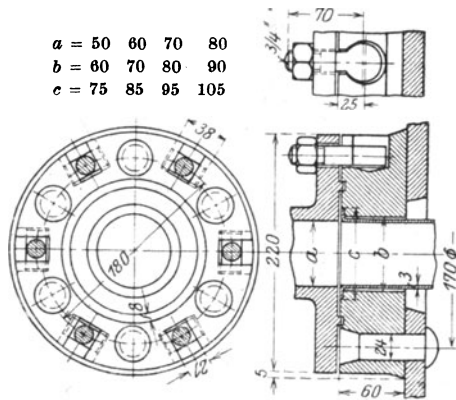


Abb. 426 u. 427.

Schrauben angesetzte Rohrkrümmer wurde früher aus Gußeisen (Abb. 372) oder Kupfer wird jetzt dagegen meistens aus Schmiedeeisen (Abb. 428) hergestellt.

Wasserstandsstutzen werden meistens in Schmiedeeisen ausgeführt. Beispiele finden sich in Abb. 433, 434, 435.

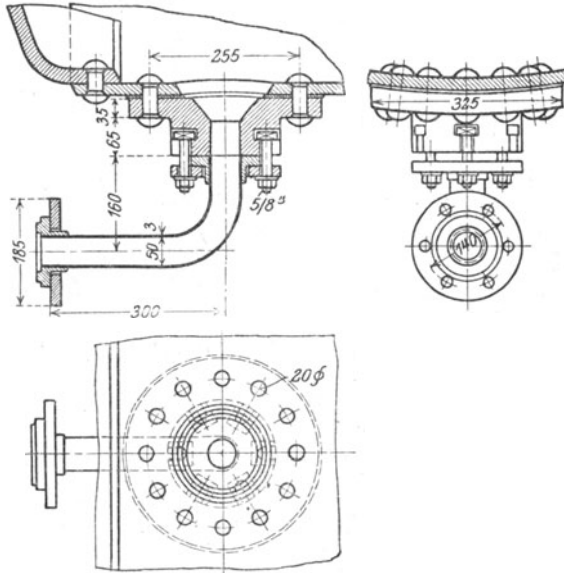


Abb. 428 bis 430.

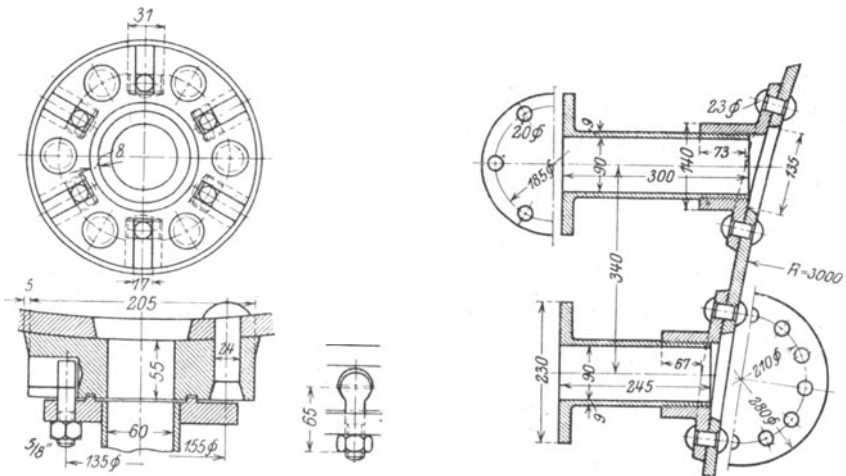


Abb. 431 u. 432.

Abb. 433.

Das Manometer bringt man an einem engen Rohr von $\frac{3}{4}$ bis 1'' Außendurchmesser an. Letzteres wird entweder oben in den gußeisernen Wasserstandskörper oder, bei ebenem Kesselboden, in diesen eingeschraubt und

mit Gegenmutter versehen. Bei gewölbtem Boden setzt man das Manometerrohr mit Flansch an einen kurzen Stutzen an, der ebenso wie ein Wasserstandsstutzen befestigt wird.

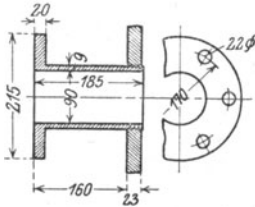


Abb. 434.

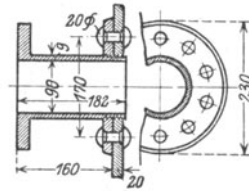


Abb. 435.

VIII. Abschnitt.

Hilfseinrichtungen.

34. Die Reinigung des Kesselspeisewassers.

Jedes in der Natur vorkommende Wasser nimmt aus dem Boden, den es durchströmt, Salze, Humus und sonstige Substanzen auf und ist deshalb stets mit Bestandteilen verunreinigt, die beim Verdampfen des Wassers als feste kristallinische Ausscheidungen (Kesselstein) oder als Schlamm zurückbleiben.

Beide üben eine mehr oder weniger schädliche Wirkung aus, indem sie zum Ausglühen und dadurch bewirkter Schwächung einzelner Kesselbleche oder gar zu Explosionen Veranlassung geben können, auf jeden Fall aber einen bedeutenden Wärmeverlust und damit einen Mehrverbrauch an Kohlen, außerdem auch Kosten für die Kesselreinigung bedingen.

Es ist daher in vielen Fällen vorteilhaft oder gar notwendig, das Wasser, welches zur Speisung von Dampfkesseln benutzt werden soll, vorher einer Reinigung zu unterwerfen. Letztere kann je nach Art der Verunreinigungen eine mechanische oder eine chemische sein.

A. Mechanische Reinigung.

Mechanische Beimengungen, die schwerer als Wasser und in nicht zu feiner Verteilung vorhanden sind, setzen sich sehr schnell zu Boden und werden deshalb schon durch Stehen im Klärfäß abgeschieden. Andere Bestandteile hingegen, die annähernd das gleiche spezifische Gewicht wie Wasser haben, oder aber solche, die in äußerst feiner Verteilung im Wasser vorhanden sind, wie z. B. Ton, müssen aus ihm durch Filtration entfernt werden, wozu man sich einer Kies- oder Koksschicht bedient.

Die Korngröße des genannten Filtermaterials wählt man am zweckmäßigsten von $\frac{1}{2}$ bis 3 mm, und die Filtration wird so geleitet, daß das Wasser erst die größeren und alsdann die feineren Schichten durchströmt.

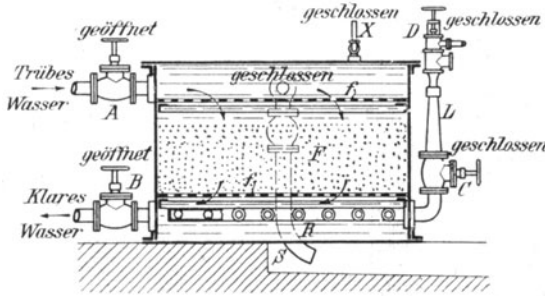


Abb. 436.

Zur Reinigung des Filters wird A geschlossen und Wasser durch B in den Raum R gelassen (Abb. 437). Es durchströmt das Filter in entgegengesetzter Richtung und fließt durch einen Überlauf ab. Zugleich wird der Dampfstrahl-Luftkompressor L angestellt. Die nun durch das untere Sieb gehende Preßluft mischt sich mit dem aufsteigenden Wasser,

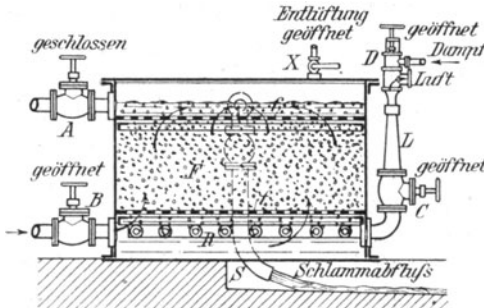


Abb. 437.

wühlt den Schlamm vom Filter auf und reißt ihn mit fort. Während des Auswaschens muß der Entlüftungshahn X geöffnet sein.

Die Filter sind so groß zu wählen, daß bei einer $2\frac{1}{2}$ fachen stündlichen Durchschnittsleistung der Speisepumpe das zu klärende Wasser eine Geschwindigkeit von 1,2 mm in der Sekunde durch

den vollen Querschnitt des Filters nicht überschreitet. In Wirklichkeit ist dabei die Geschwindigkeit wegen des Umströmens des Filtermaterials bedeutend größer.

Das idealste Material zur Speisung der Dampfkessel ist das destillierte Wasser, und als solches wäre das Kondenswasser der Dampfmaschinen zu betrachten, wenn dasselbe nicht durch die Schmieröle der Maschine selbst verunreinigt würde. Diese Öle aber wirken fast noch schädlicher als die oben genannten mineralischen Verunreinigungen. Tierische und pflanzliche Fette und Öle zerlegen sich nämlich unter hohem Drucke und bei Temperaturen, wie sie im Dampfkessel vorhanden sind, in ihre Bestandteile, Fettsäuren und Glycerin, und erstere greifen, wie alle Säuren,

das Kesselblech stark an. Außerdem aber verbinden sich die Fettsäuren mit den Alkalien zu Seifen und veranlassen so ein starkes Schäumen des Wassers. Der letztere Vorgang findet stets dann statt, wenn das Kondenswasser, wie es in der Praxis meistens der Fall ist, mit Rohwasser vermischt wird.

Die Mineralöle zersetzen sich in der vorgedachten Weise nicht, da sie ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen, dagegen bilden sie im Kessel gerade an den zumeist gefährdeten Stellen der Feuerplatten feste, die Wärme schlecht leitende Schichten, die schon bei einer Stärke von 1 bis 2 mm ein Erglühen der Feuerplatten bewirken können.

Zur Abscheidung des Öles genügt aber die oben beschriebene Art der Filtration nicht, vielmehr sind dazu andere Methoden erforderlich.

Die einfachsten Filter zur Abscheidung der Öle sind Gefäße, die mit Holzwolle gefüllt sind, und zwar läßt man das Wasser durch zwei oder mehrere Filter je nach der Größe der Kesselanlage hindurchgehen. Bei einer bestimmten Kesselanlage von etwa 600 qm Heizfläche genügten drei Filtergefäße von je 1,2 m Durchmesser und 2,5 m Höhe.

Sehr günstige Erfahrungen hat man in neuerer Zeit mit dem Badeschwamm als Filtermaterial gemacht. In die erweiterte Rohrleitung werden in Abständen drei Filterabteilungen gebildet, die durch je zwei Drahtsiebe begrenzt sind. Die Abteilungen werden mit Badeschwamm, der sehr große Mengen Öl aufsaugen kann, gefüllt. Von Zeit zu Zeit wird das öligste Filter herausgenommen, und es wird dieses durch Filter II, dieses durch Filter III ersetzt und für letzteres eine frische Füllung genommen. Für einen stündlichen Speisewasserverbrauch von 300 kg genügt ein Filterquerschnitt von 1 qdm. Die Schwämme können von neuem benutzt werden, sobald das Öl herausgepreßt ist und die Schwämme in Seifenwasser ausgekocht sind.

Einen sehr zweckmäßigen Entölungs-Apparat liefert die Firma A. L. G. Dehne in Halle a. S. Ein Speisewasser-Reinigungsapparat und -Vorwärmer, der hauptsächlich das Wasser von Öl und Luft befreien soll, wird von Pape, Henneberg & Co. in Hamburg geliefert.

B. Chemische Reinigung.

Außer den bereits im vorhergehenden erwähnten mechanischen Verunreinigungen enthält jedes in der Natur vorkommende Wasser noch Sauerstoff, Kohlensäure, Humussäuren, Salpetersäure und Chlorverbindungen, die das Kesselblech angreifen, sowie mehr oder weniger Salze, unter denen diejenigen des Calciums und des Magnesiums hauptsächlich in Betracht kommen.

Die Kalksalze sind im Wasser als schwefelsaurer und als doppelt-kohlensaurer Kalk gelöst vorhanden, von denen der letztere jedoch beim Kochen in unlöslichen einfachkohlensauren Kalk umgewandelt wird,

während die überschüssige Kohlensäure entweicht. Der kohlen saure Kalk kann daher durch Erhitzen des Wassers und darauffolgendes Stehen lassen oder Filtrieren entfernt werden. Der schwefelsaure Kalk hingegen bleibt unverändert und scheidet sich mit zunehmender Verdampfung des Wassers als fester Belag an den Kesselwänden ab. Selbstverständlich würde auch der kohlen saure Kalk, falls derselbe nicht entfernt würde, zugleich mit dem schwefelsauren Kalke (Gips) niedergeschlagen werden. Ebenso verhält es sich mit dem Magnesiasalze, das sich zumeist als kohlen saure Magnesia, aber auch als Chlormagnesium im Wasser gelöst vorfindet. Diese Ausscheidungen an den Kesselwänden, die je nach ihrer chemischen Zusammensetzung eine mehr oder weniger harte und feste Kruste bilden, führen den Namen Kesselstein. Sie sind sehr schlechte Wärmeleiter und können infolgedessen zu den schon früher erörterten Störungen im Dampfkesselbetriebe Veranlassung geben.

Ein Wasser, das sehr viel Kalk- und Magnesiasalze enthält, heißt hartes Wasser, und als Maß für die Härte, die in Graden ausgedrückt wird, dient der Gehalt an Calciumoxyd oder die demselben gleichwertige Menge von Magnesiumoxyd. Die Härtegrade sind jedoch in den verschiedenen Staaten verschieden.

Ein Gehalt von 1 Teil CaO in 100 000 Teilen Wasser ist 1 deutscher Härtegrad.

Ein Gehalt von 1 Teil $CaCO_3$ in 100 000 Teilen Wasser ist 1 französischer Härtegrad.

Ein Gehalt von 1 Teil $CaCO_3$ in 70 000 Teilen Wasser ist 1 englischer Härtegrad.

Danach ist:

1	deutscher	=	1,25	englischer	=	1,79	französischer	Härtegrad
0,8	„	=	1,00	„	=	1,43	„	„
0,56	„	=	0,70	„	=	1,00	„	„

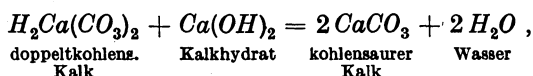
Ob und in welcher Weise die Reinigung des Kesselspeisewassers von Kesselsteinbildnern notwendig ist, hängt von der Bauart, der Betriebsart und der Anstrengung des Kessels ab. Im allgemeinen erscheint die Reinigung bei Großwasserraumkesseln notwendig, wenn die Härte des Wassers mehr als 12 deutsche Härtegrade beträgt. Bei schwer zugänglichen, also besonders bei Wasserrohrkesseln erscheint eine Reinigung dringend geboten bei 6 bis 7 deutschen Härtegraden.

Das Prinzip der chemischen Wasserreinigung besteht nun darin, die im Wasser löslichen Salze durch Einwirkung von Chemikalien in unlösliche Salze zu zerlegen. Da der schwefelsaure Kalk nur durch chemische Umsetzung in unlösliche Kalksalze verwandelt werden kann, so wird man bei Anwesenheit namhafter Mengen dieses Salzes stets die chemische Reinigung anwenden. Die so entstandenen, im Wasser unlöslichen Salze entfernt

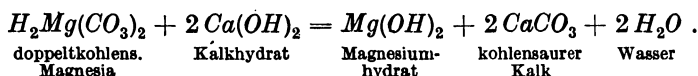
man aus dem Wasser durch Absetzenlassen oder durch Filtrieren. Zur besseren Einwirkung der Chemikalien wird das Wasser häufig noch vorgewärmt. Als Chemikalien verwendet man hauptsächlich gebrannten Kalk (CaO), und zwar entweder als Kalkwasser oder als Kalkmilch, beides Verbindungen des Calciumoxydes mit Wasser nach der Formel $Ca(OH)_2$, ferner Soda, d. h. kohlensaures Natron (Na_2CO_3), und Ätznatron ($NaOH$), und vereinzelt kohlensaures Baryt ($BaCO_3$).

a) Reinigung mittels Ätzkalkes oder gelöschten Kalkes [$Ca(OH)_2$].

Da basische und saure Verbindungen sich zu neutralen Salzen zu vereinigen streben, so wird sich beim Vermischen von doppeltkohlensaurem Kalke (saure Verbindung) mit gelöschtem Kalke (basische Verbindung) neutraler kohlensaurer Kalk bilden nach der Formel:



und dieselbe Umsetzung erfolgt mit dem Magnesiumsalze nach der Formel:

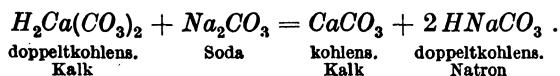


Wie aus den vorstehenden Formeln ersichtlich, ist zur Fällung der Magnesia doppelt soviel Ätzkalk erforderlich, als zur Fällung der äquivalenten Kalkmenge, da die Magnesia nicht als neutrales kohlensaures Salz, sondern nur als Ätzmagnesia $Mg(OH)_2$ im Wasser unlöslich ist.

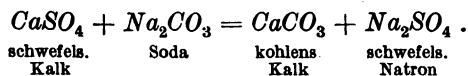
Noch anders steht es mit dem schwefelsauren Kalke. Dieser ist bereits ein neutrales Salz, und beim Vermischen desselben mit Ätzkalk würde keine Veränderung bewirkt werden.

b) Reinigung mittels Soda (Na_2CO_3).

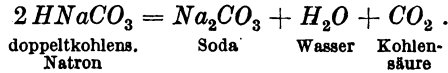
Beim Vermischen von doppeltkohlensaurem Kalke mit kohlensaurem Natron (Soda) wird sich zwar eine gewisse Menge neutralen kohlensauren Kalkes und doppeltkohlensaures Natron bilden, allein diese Umsetzung ist bei normaler Temperatur keine vollständige. Erst bei Erwärmung des Wassers erfolgt die Zersetzung nach der Formel:



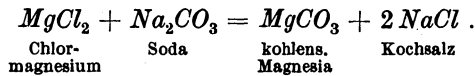
Schwefelsaurer Kalk aber und Soda setzen sich fast quantitativ um in kohlensauren Kalk und schwefelsaures Natron nach der Formel:



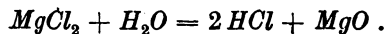
Das bei Anwendung von Soda durch Umsetzung mit saurem kohlen-sauren Kalke sich bildende doppeltkohlen-saure Natron wird im Kessel beim Sieden zerlegt nach der Formel:



Die Kohlensäure entweicht mit dem Dampfe, die Soda bleibt in Lösung und macht das Wasser alkalisch, auch das schwefelsaure Natron bleibt in Lösung und ist vollkommen unschädlich, da es erst bei sehr weitgehender Konzentration auskristallisiert. Um die Kristallisation zu vermeiden, genügt in allen Fällen ein vollständiges Abblasen des Kessels nach einem 80 bis 100tägigen Betriebe. Zuweilen ist etwas Chlormagnesium im Wasser enthalten, dasselbe wird durch Soda zersetzt nach der Formel:



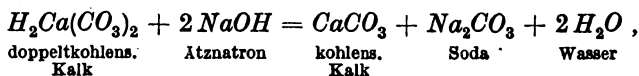
Die kohlen-saure Magnesia ist zwar nicht unlöslich, aber doch im Wasser ziemlich schwer löslich und sollte deshalb bei diesem Verfahren zum größten Teile abgeschieden werden. In der Praxis aber, wo zugleich noch die verschiedensten Substanzen im Wasser gelöst enthalten sind, die das Lösungsvermögen der kohlen-sauren Magnesia beeinflussen, ist die Abscheidung der letzteren keine so vollständige. Das unveränderte Chlormagnesium aber zersetzt sich unter hohem Drucke und bei hoher Temperatur im Dampfkessel in Magnesiumoxyd und Salzsäure nach der Gleichung:



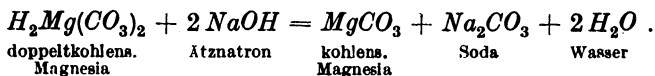
Die hier auftretende freie Salzsäure würde aber die Kesselwände stark angreifen, weshalb die vollständige Beseitigung des Chlormagnesiums durchaus erforderlich ist. Dieses geschieht durch Anwendung von Ätznatron.

e) Reinigung mittels Ätznatron [$\text{Na}(\text{OH})$].

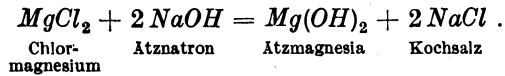
Doppeltkohlen-saurer Kalk und Ätznatron setzen sich um zu einfachkohlen-saurem Kalke und kohlen-saurem Natron unter Abscheidung von Wasser nach der Gleichung:



und die gleiche Umsetzung erfolgt mit doppeltkohlen-saurer Magnesia nach der Gleichung:



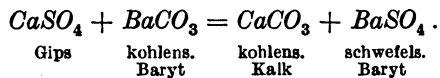
Das gebildete kohlen saure Natron (Soda) bleibt in Lösung und zersetzt noch etwa vorhandenen Gips. Diese Reinigung ist daher dann zu empfehlen, wenn das Wasser vorzugsweise doppeltkohlen sauren Kalk und daneben etwas Gips enthält. Chlormagnesium wird durch Ätznatron zersetzt in Ätzmagnesia und Kochsalz (Chlornatrium):



Die Art und Menge der hier aufgeführten und anzuwendenden Chemikalien kann nur auf Grund einer genauen chemischen Untersuchung des Wassers festgestellt werden. Ist vorzugsweise schwefelsaurer Kalk vorhanden, so genügt die Anwendung von Soda; bei vorherrschend doppeltkohlen saurem Kalke ist das billigste Fällungsmittel der Ätzkalk, in zweiter Linie Soda, während bei Gegenwart von Gips und doppeltkohlen sauren Kalk- und Magnesiumsalzen eine Neutralisation mit Natronlauge und außerdem Zusatz von Soda erforderlich ist.

d) Reinigung mit kohlen saurem Baryt [$BaCO_3$].

Dieses Verfahren ist der Firma Hans Reisert in Köln - Braunsfeld patentiert. Die Karbonate werden dabei wie gewöhnlich durch Kalk ausgefällt. Die Sulfate des Kalkes und der Magnesia werden aber durch das kohlen saure Baryt gefällt nach der Formel:

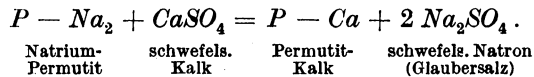
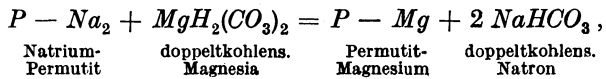
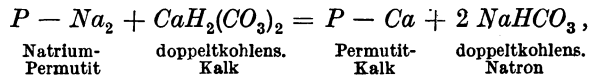


Es bilden sich hier nur im Wasser unlösliche Verbindungen, die sich vollkommen abscheiden, so daß das Wasser wirklich rein wird, keine Ausschwitzungen an den Armaturen stattfinden und die Armaturen nicht durch die Gegenwart von Soda angegriffen werden. Außerdem hat das Verfahren noch den Vorteil, daß das kohlen saure Baryt nicht genau abgemessen werden muß, sondern in beliebigem Überschuß zugesetzt werden kann, da dasselbe an sich unlöslich ist. Da keine im Wasser gelösten Salze in den Kessel kommen, braucht das Wasser auch nicht von Zeit zu Zeit abgelassen zu werden, wodurch manche Wärmeverluste vermieden werden.

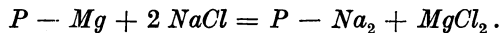
e) Das Permutitverfahren.

Das Permutit ist ein Aluminatsilicat, welches durch Zusammenschmelzen von Feldspat, Kaolin, Ton, Sand und Soda und nachherigem Auswaschen mit heißem Wasser zwecks Hydratisierung und Entfernung löslicher Silikate entstanden ist. Das zu reinigende Wasser wird in einfachen Gefäßen durch eine starke Schicht von Permutit filtriert, wobei das Natrium desselben sich mit dem im Wasser enthaltenen Kalzium

oder Magnesium austauscht und dadurch das Wasser enthärtet. Bezeichnet man das Permutit mit P , so findet die Reaktion nach folgenden Gleichungen statt:



Nach einiger Zeit kann durch Auswaschen des Filters mit heißer Kochsalzlösung das Permutit wieder regeneriert werden nach der Formel:



Als Vorteil des Verfahrens ist anzusehen, daß das Wasser vollkommen enthärtet wird, daß sich keine Schlamm Massen bilden, daß die erforderlichen Apparate sehr einfach sind, daß man keine genau der Zusammensetzung des Wassers entsprechend abgemessene Mengen von Chemikalien zusetzen muß, und daß das Permutit sehr haltbar ist. Es muß nur wegen des durch Spülung entstehenden geringen Verschleißes von Zeit zu Zeit etwas neues Permutit zugefügt werden.

Als Nachteil wird angesehen, daß das doppeltkohlen saure Natron und das schwefelsaure Natron mit in den Kessel gelangt. Das ist aber beim Sodaverfahren auch der Fall.

C. Einrichtungen zur chemischen Reinigung des Wassers.

Die Befreiung des Wassers von Kesselsteinbildnern geschieht am besten, ehe es in den Kessel gelangt. Dazu wird das Wasser in einer besonderen Reinigungsanlage der Einwirkung der Chemikalien ausgesetzt und, wenn dabei unlösliche Stoffe ausgeschieden wurden, noch auf mechanischem Wege von diesen befreit.

Wo es an Platz für die Aufstellung eines Wasserreinigers fehlt oder die Anlagekosten zu hoch erscheinen, kann man die Reinigung unter Umständen auch im Kessel vornehmen. Letzteres macht aber ein regelmäßiges Abschlämmen des Kessels unbedingt erforderlich.

In folgendem soll auf einige zur chemischen Reinigung des Speisewassers dienende Einrichtungen näher eingegangen werden.

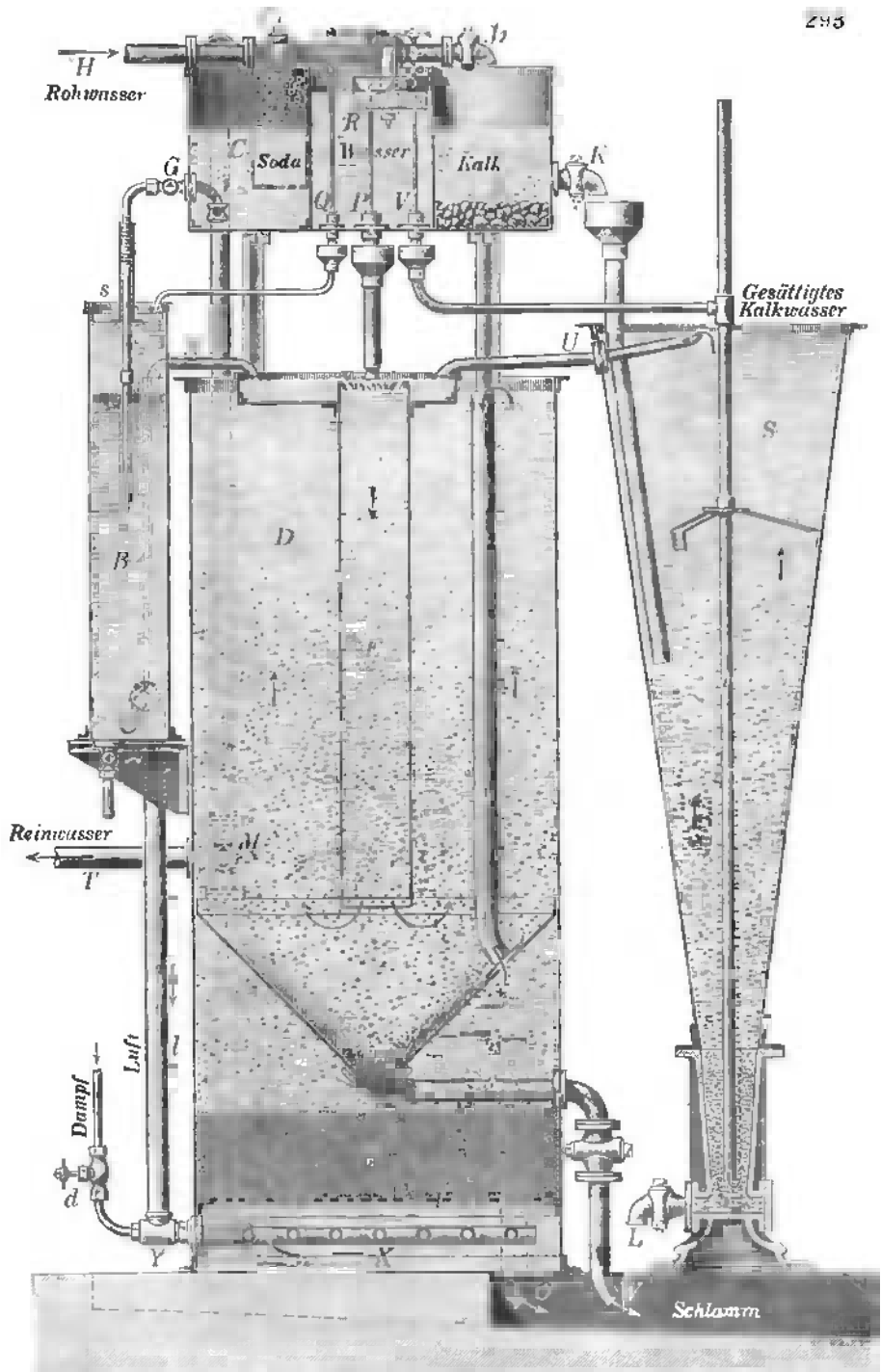


Abb. 438.

Der Wasserreiniger von Hans Reisert, Köln-Braunsfeld wird in verschiedenen Arten ausgeführt. Abb. 438 zeigt eine Ausführungsform, bei der die Kesselsteinbildner, nachdem sie durch Zusatz von Kalk und Soda gefällt sind, teils durch Absetzenlassen, teils durch Filtrieren beseitigt werden.

Der Reiniger besteht aus dem Verteiler $C - R - J$, Kalksättiger S , Sodastandgefäß B , Reaktionsgefäß D und Kiesfilter F .

Das Rohwasser gelangt durch die Leitung H in den Verteiler und zwar gewöhnlich nur in dessen mittlere Kammer R . Durch den Hahn C_1 kann es jedoch zeitweilig auch in die Kammer C , zur Bereitung der Sodalösung, abgelassen werden. Im allgemeinen wird das aber nur erfolgen, wenn dazu gereinigtes Wasser nicht zur Verfügung steht. Das Auflösen einer bestimmten, nach der Analyse des Wassers angegebenen Sodamenge wird in der Kammer C einmal täglich vorgenommen. Der Kammer J wird Rohwasser zugeführt, wenn darin Kalkmilch hergestellt werden soll.

Aus der mittleren Kammer R kann das Wasser durch die drei in ihrem Boden angebrachten Ventile Q , P , V dem Sodastandgefäß B , dem Reaktionsgefäß D und dem Kalksättiger S zugeführt werden. Diese Ventile lassen sich genau einstellen und da sie in gleicher Höhe liegen, so bleiben die ihnen entströmenden Wassermengen nach erfolgter Einstellung stets in gleichem Verhältnis zueinander. Da ferner aus dem Sodastandgefäß und dem Kalksättiger stets ebensoviel Flüssigkeit abfließt, wie ihnen zugeführt wird, so findet die Mischung des Rohwassers mit Sodalösung und Kalkwasser auch bei wechselndem Stande des Wassers in R stets in gleichem Verhältnis statt, sie regelt sich also selbsttätig.

Das Sodastandgefäß B wird nach vorausgegangener Entleerung durch den Hahn G und das anschließende Rohr täglich mit frischer Sodalösung gefüllt. Tritt darauf von Q her Rohwasser ruhig oben ein, so wird es sich nicht mit der Sodalösung mischen, vielmehr wird diese infolge ihres größeren spezifischen Gewichtes allmählich nach unten hin verdrängt und durch das von B abgehende Rohr N dem Gefäß D zugeführt werden. Je mehr nun von der schwereren Sodalösung aus B abfließt und durch Rohwasser ersetzt wird, um so höher wird der Flüssigkeitsspiegel in B steigen, da sich ja das spezifische Gewicht der Füllung im Rohre N nicht verändert. Nach dem Stande eines in B angebrachten Schwimmers s , welcher auf dem vom Hahn G ausgehenden Rohr geführt ist, kann somit beurteilt werden, wieviel Sodalösung noch in B vorhanden ist.

Aus dem Kalksättiger S wird vor Beginn jeder Arbeitsschicht durch den Hahn L der aus ausgelaugten Kalkresten bestehende Bodensatz abgelassen; sodann durch den Hahn K und das anschließende Rohr Kalkmilch zugesetzt. Läßt man nun von V her durch das Rohr v Wasser einfließen, so wühlt es die in den unteren Teil des Sättigers hinabgesunkene Kalkmilch auf, nimmt beim Emporsteigen Kalkteilchen mit, läßt sie aber infolge des nach oben erweiterten Gefäßes und der dadurch geringer werdenden Geschwindigkeit bald wieder fallen. Auf diese Weise wird erreicht, daß schließlich aus dem Rohre U gesättigtes, aber klares Kalkwasser abfließt.

Die Sodalösung und das Kalkwasser treffen nun mit dem von P zufließenden Rohwasser in einem Teller zusammen, der oben im Gefäß D angeordnet ist. An diesen Teller schließt sich das Mischrohr E an, in welchem das Gemisch hinabfließt, um darauf in dem eigentlichen Reaktionsraum D wieder ganz langsam aufwärts zu steigen. Hierbei wird ein großer Teil des ausfallenden Schlammes zu Boden sinken; der angesammelte Schlamm kann durch Hahn und Rohr W von Zeit zu Zeit abgelassen werden. Schließlich gelangt das Wasser durch ein Überlaufrohr in den Raum

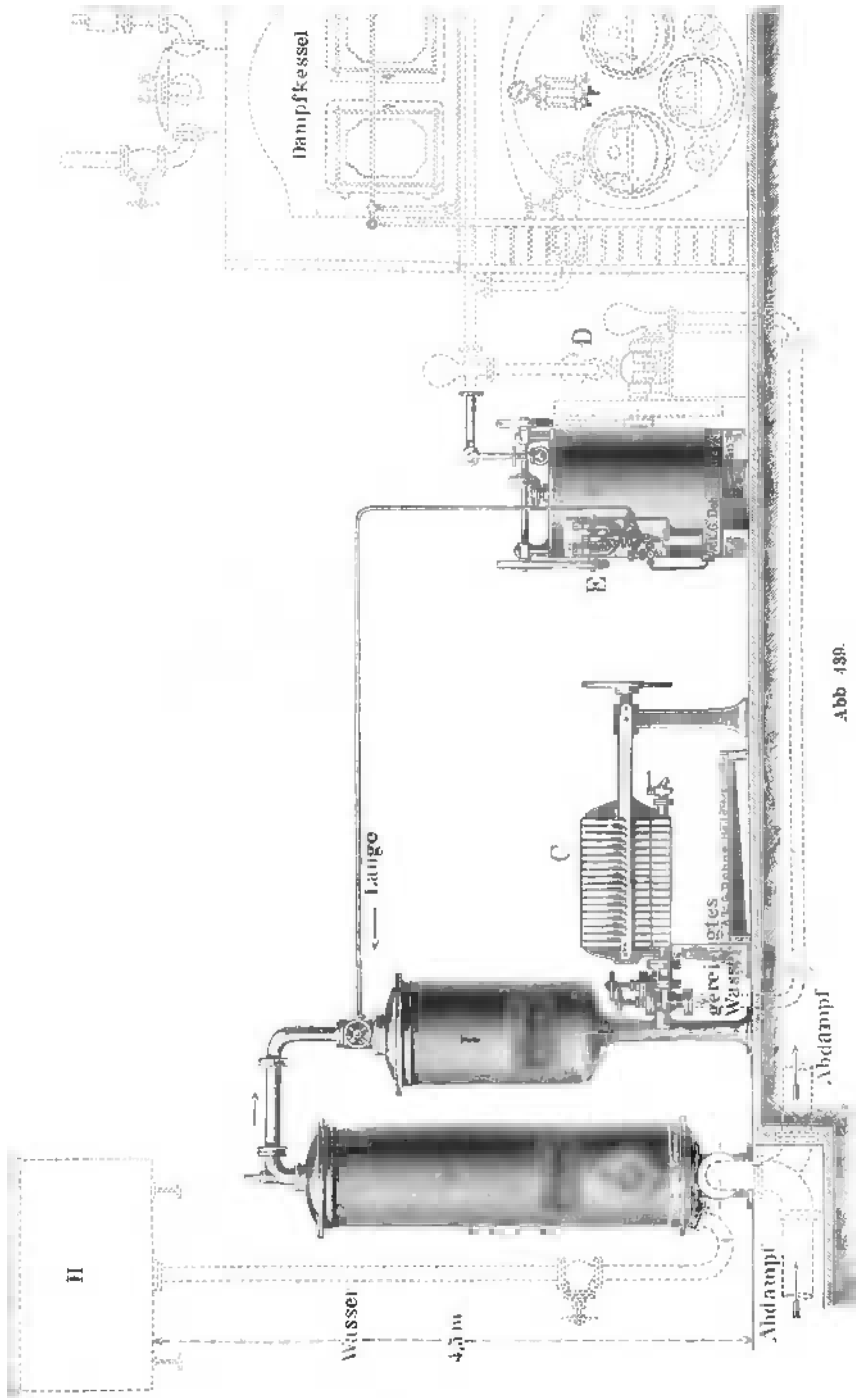


Abb. 489.

oberhalb des Filters *F*, durchfließt dasselbe und verläßt dann den Reiniger durch das Rohr *T*.

Wasserreinigungsanlage von A. L. Dehne, Halle a. S. (Abb. 439).

Das Rohwasser kommt vom Hochbehälter *H* oder aus einer Druckleitung und gelangt, durch den Vorwärmer *A* auf etwa 70° C angewärmt, in das Fällgefäß *B*.

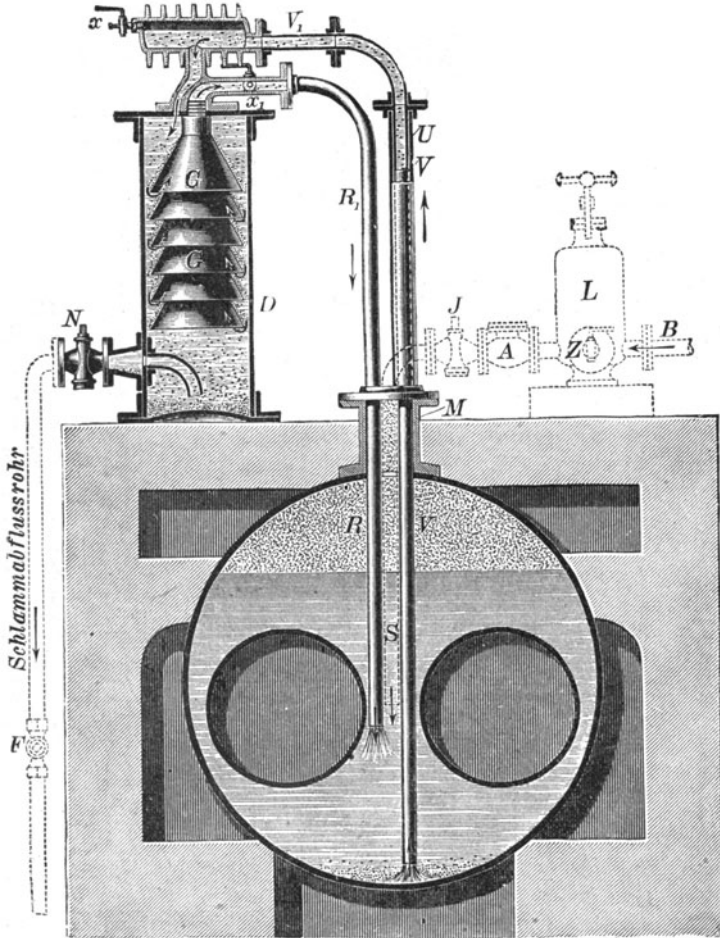


Abb. 440.

in welchem die Kesselsteinbildner ausgeschieden werden. Im Laugengefäß *F* werden die zuzusetzenden Chemikalien, entweder Ätzkalk, Soda oder Ätznatron gelöst. Die gewonnene Lauge wird durch die von der Speisepumpe *D* angetriebene Laugenpumpe *E* dem Fällgefäß *B* zugeführt. Von *B* aus gelangt das Wasser in die Filterpresse *C* und wird dann, völlig klar, von der Pumpe *D* in den Kessel befördert.

Dervaux-Schlammfänger von H. Reiser, Köln-Braunsfeld (Abb. 440). Wie weiter oben schon erwähnt wurde, ist es, bei Vornahme der Wasserreinigung im Kessel, erforderlich, den dort ausgefallenen Schlamm regelmäßig zu entfernen. Dies wird von dem vorliegenden Schlammfänger selbsttätig ausgeführt.

Dazu ist auf dem Kessel ein Gefäß *D* aufgestellt, von dem zwei in den Kessel geführte Rohre *V* und *R* ausgehen. Das Rohr *V* reicht fast bis zum unteren Scheitel des Kesselmantels und ist außerhalb des Kessels mit einem Dampfmantel *U* versehen, während das kürzere Rohr *R* dort nicht vor Abkühlung geschützt wird. Dadurch wird erreicht, daß das Wasser in *V* emporsteigt und nach Durchströmen des Gefäßes *D* in *R* wieder abfällt. In *D* sind nun Blecheinsätze *G* derart angeordnet, daß das durch *V* zugeführte Wasser den mitgerissenen Schlamm in *D* absetzt, der dann durch den Hahn *N* bequem entfernt werden kann.

Die zuzusetzenden Chemikalien werden entweder in den etwa vorhandenen Speisebehälter oder in einen besonderen Topf *L* gegeben, der dazu in die Speiseleitung eingebaut wird.

35. Die Kesselhausbekohlung.

Für die Wirtschaftlichkeit einer Kesselanlage ist die billige und sichere Anfuhr des Brennstoffs von wesentlicher Bedeutung. Es ist deshalb besonders bei größeren Anlagen Wert auf Anschluß an Eisenbahn oder Wasserstraßen zu legen. Ferner ist es wichtig, Vorratsräume für größere Brennstoffmengen zu schaffen, damit man im Falle von Störungen in der Kohlenzufuhr, den Betrieb nicht einzustellen braucht. Weiter gab die Einführung der mechanischen Feuerungen Anlaß zu dem Bestreben, den Brennstoff durch maschinelle Einrichtungen jeder einzelnen Feuerung zuzuführen.

So entstanden die modernen Kesselbekohlungsanlagen, bei denen die Kohlen aus dem Fahrzeug durch mechanische Einrichtungen entweder dem Kohlenlager und von dort aus nach Bedarf dem Kesselhause zugeführt oder sogleich in hochliegende Bunker gebracht werden, aus denen sie in die Schüttrichter der Feuerungen herabfallen. Dadurch ist es möglich, an Bedienungsmannschaften zu sparen, und den Heizer so zu entlasten, daß er seine Aufmerksamkeit dauernd auf die Vorgänge in der Feuerung und im Kessel richten kann. Legt man ferner die Kohlenbunker über den Heizerstand, so lassen sich größere Kohlenmengen lagern, ohne daß dazu besondere Grundfläche erforderlich ist. Diese Vorteile sind von so großer Bedeutung, daß sich die mechanische Kesselbekohlung nicht allein im Großbetriebe, sondern auch in weniger großen Anlagen mit erheblichem Nutzen anwenden läßt.

Man benutzt dazu hauptsächlich Elevatoren, Transportschnecken, Transportbänder, Becherketten (conveyer) und Hängebahnen, die sämtlich fast ausschließlich elektrisch angetrieben werden.

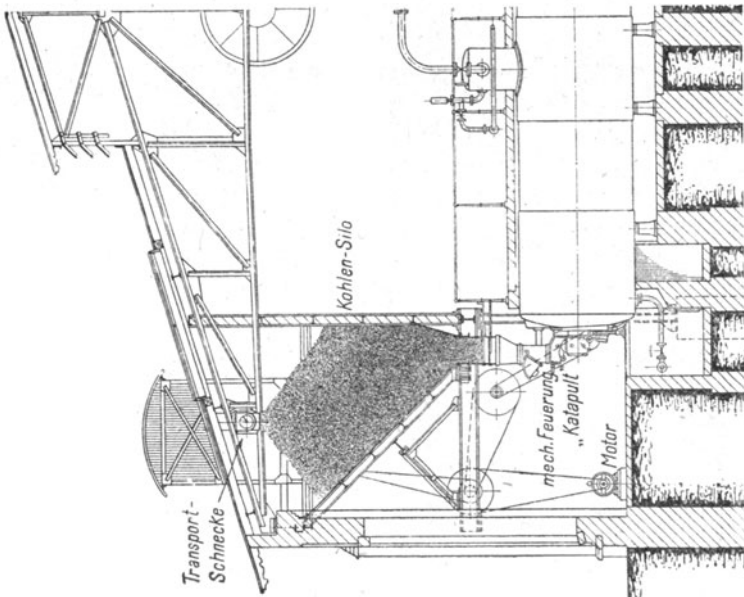
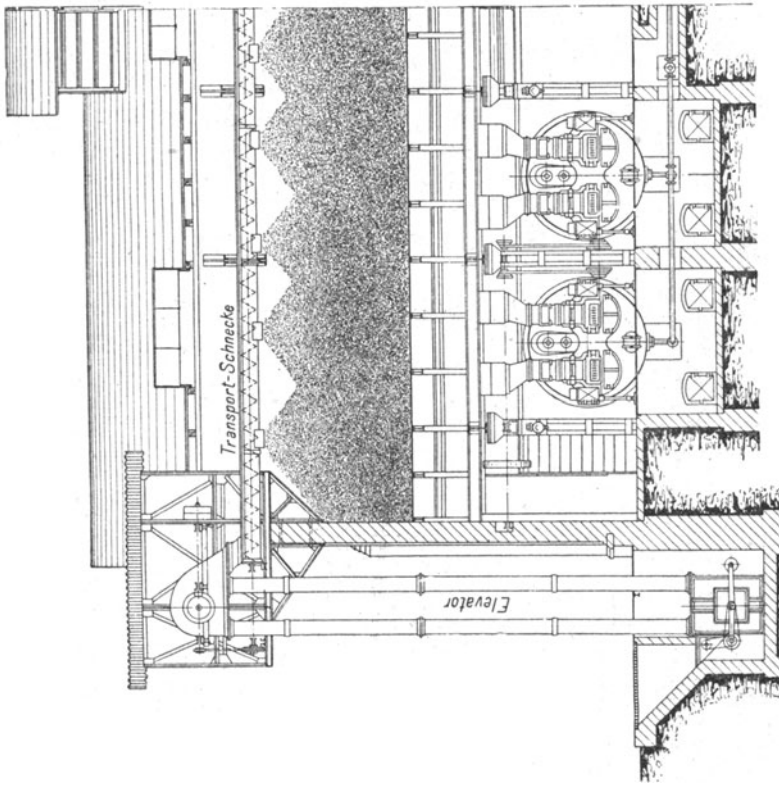


Abb. 441 u. 442.

Elevatoren bestehen aus Bechern, die meistens an zwei endlosen Ketten befestigt sind. Sie führen die Kohle aus einem unter Flur liegenden Schöpftrog zu den Bunkern empor. Bei kleineren Anlagen kann die Kohle dann durch mehrere Auslaufrinnen, die sich an die Abwurfstelle anschließen, in den Bunkern verteilt werden, während man dazu bei größerer Kesselanzahl wagerecht oder wenig geneigt liegende Transportschnecken oder Transportbänder benutzt.

Abb. 441, 442 zeigt eine mit Elevator und Verteilungsschnecke ausgestattete Bekohlungsanlage in der Ausführung der Firma J. A. Topf & Söhne in Erfurt.

Statt der Elevatoren wendet man vielfach Becherketten, conveyor, an. (Abb. 443, 444.) Sie bestehen aus einer Anzahl endlos hintereinander geschalteter, auf je 2 Rädern ruhender Rahmen, in welchen die

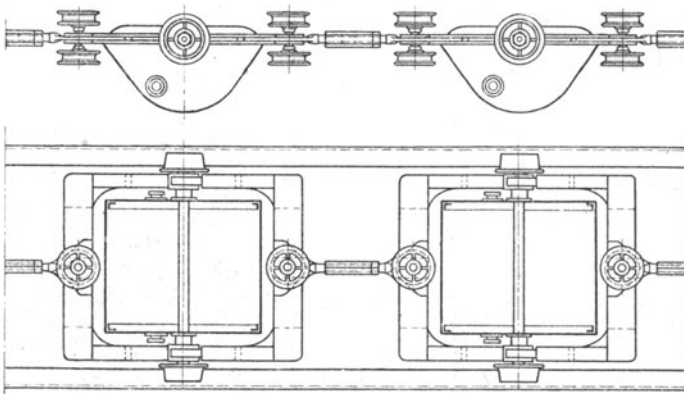


Abb. 443 u. 444.

Fördergefäße (Becher) pendelnd gelagert sind. Die Becher stellen sich durch ihr Eigengewicht stets so ein, daß ein selbsttätiges Umkippen und damit eine Entleerung ausgeschlossen ist. Dies ist erforderlich, da Rahmen und Kupplungen so gebaut werden, daß eine Beweglichkeit nach der Seite und in der dazu senkrechten Ebene möglich ist, die Kette daher sowohl senkrechte als auch wagerechte Kurven durchfahren kann. Die Räder werden dabei zwischen je zwei Schienen geführt. Abb. 445 bis 447 zeigen eine Bekohlungsanlage mit Becherkette, ausgeführt von Carl Schenk in Darmstadt.

Letztgenannte Firma wendet auch in vielen Fällen Elektrohängebahnen zur Kesselbekohlung an. Diese sind von besonderem Vorteil, wenn die Kohlen von einem in größerer Entfernung vom Kesselhause gelegenen Lager herbeizuführen sind. Die Wagen werden u. a. von der Firma so ausgeführt, daß sie auch auf Schmalspurgleis fahren und so an die Stelle des Lagers geschoben werden können, an welcher die Kohle

entnommen werden soll. Die beladenen Wagen werden gehoben und auf der Hängebahn zum Kesselhaus befördert. Dort werden sie über die Schüttrichter der Feuerungen hinweggeführt, so daß sie ihren Inhalt unmittelbar in jene entleeren können.

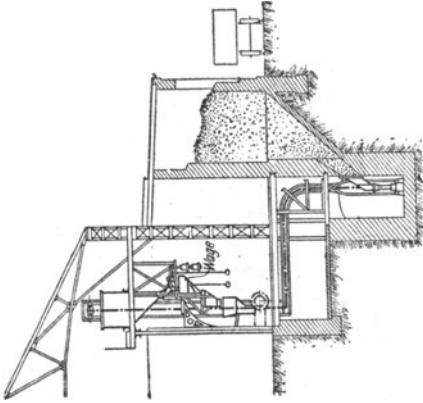
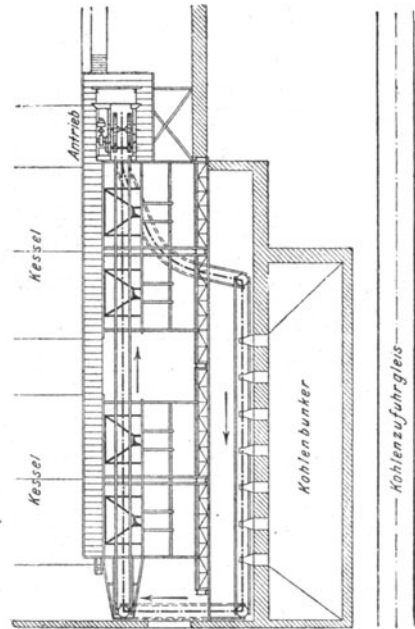
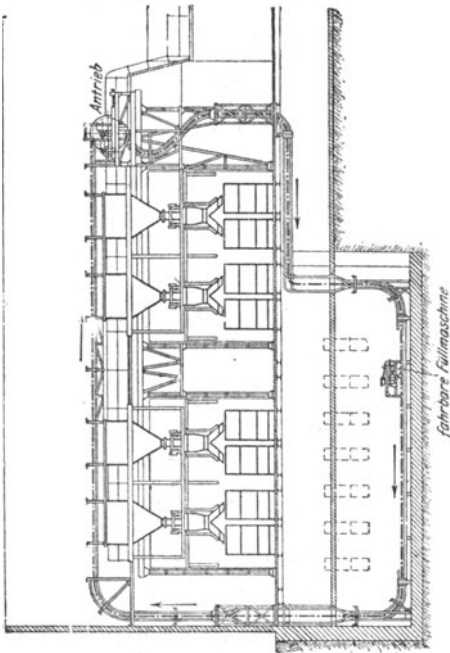


Abb. 445
bis 447.



IX. Abschnitt.

Vorschriften über Anlegung und Betrieb von Kesseln.¹⁾**36. Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln.²⁾**

(Vom 17. Dezember 1908.)

Auf Grund des § 24 Abs. 2 der Gewerbeordnung hat der Bundesrat nachstehende „Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln“ erlassen.

I. Geltungsbereich der Bestimmungen.

§ 1.

1. Als Dampfkessel im Sinne der nachstehenden Bestimmungen gelten alle geschlossenen Gefäße, die den Zweck haben, Wasserdampf von höherer als der atmosphärischen Spannung zur Verwendung außerhalb des Dampftwicklers zu erzeugen.

2. Als Landdampfkessel (Dampfkessel) gelten außer den an Land benutzten feststehenden und beweglichen Dampfkesseln auch die vorübergehend auf schwimmenden und im Wasser beweglichen Bauten aufgestellten Dampfkessel³⁾.

3. Den Bestimmungen für Landdampfkessel werden nicht unterworfen:

- a) Behälter, in denen Dampf, der einem anderen Dampftwickler entnommen ist, durch Einwirkung von Feuer besonders erhitzt wird (Dampfüberhitzer);
- b) Kessel, die mit einer Einrichtung versehen sind, welche verhindert, daß die Dampfspannung $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Überdruck übersteigen kann (Niederdruckkessel). Als Einrichtungen dieser Art gelten:

¹⁾ Ausführliche Vorschriften betr. die Anlegung, Untersuchung und den Betrieb von Land- und Schiffsdampfkesseln mit Bau- und Materialvorschriften und Polizeiverordnung betr. bewegliche Kraftmaschinen sind erschienen im Verlage von Otto Hammerschmidt in Hagen i. W.

²⁾ Die hiervon abweichenden, für Schiffskessel erlassenen Bestimmungen sind in Fußanmerkungen enthalten.

³⁾ Für Schiffsdampfkessel lauten die Bestimmungen hier:

2. Als Schiffsdampfkessel (Schiffskessel) gelten alle auf schwimmenden und im Wasser beweglichen Bauten aufgestellten, dauernd mit ihnen verbundenen Dampfkessel.

3. Den Bestimmungen für Schiffskessel werden nicht unterworfen:

- a) die Schiffskessel der Kriegsmarine; die Vorschriften über den Bau, die Ausrüstung, Prüfung und Aufstellung dieser Kessel erläßt der Staatssekretär des Reichs-Marineamts;
- b) Schiffskessel, die für das Ausland gebaut werden, auch wenn solche Kessel behufs ihrer Erprobung im Deutschen Reiche in Betrieb genommen werden;
- c) Schiffskessel fremder Staaten, die vorübergehend in deutschen Gewässern betrieben werden;
- d) Behälter, in denen Dampf, der einem anderen Dampftwickler entnommen ist, durch Einwirkung von Feuer besonders erhitzt wird (Dampfüberhitzer);
- e) Wie bei Landkesseln unter b);
- f) Wie bei Landkesseln unter c).

- α) ein unverschließbares, vom Wasserraum ausgehendes Standrohr von nicht über 5000 Millimeter Höhe und mindestens 80 Millimeter Lichtweite;
 - β) ein vom Dampfraum ausgehendes, nicht abschließbares Rohr in Heberform oder mit mehreren auf und ab steigenden Schenkeln, dessen aufsteigende Äste bei Wasserfüllung zusammen nicht über 5000 Millimeter, bei Quecksilberfüllung nicht über 370 Millimeter Länge haben dürfen, wobei die Lichtweite dieser Rohre so bemessen werden muß, daß auf 1 Quadratmeter Heizfläche (§ 3 Abs. 3) ein Rohrquerschnitt von mindestens 350 Quadratmillimeter entfällt. Die Lichtweite der Rohre muß mindestens 30 Millimeter betragen und braucht 80 Millimeter nicht zu überschreiten;
 - γ) jede andere von der Zentralbehörde des zuständigen Bundesstaats genehmigte Sicherheitsvorrichtung.
- c) Zwergkessel, das heißt Dampfentwickler, deren Heizfläche $\frac{1}{10}$ Quadratmeter und deren Dampfspannung 2 Atmosphären Überdruck nicht übersteigt, sofern sie mit einem zuverlässigen Sicherheitsventil ausgerüstet sind.

4. Für die Kessel in Eisenbahnlokomotiven bleiben die auf Grund der Artikel 42 und 43 der Reichsverfassung erlassenen besonderen Bestimmungen in Kraft.

Anmerkung. Die in Bäckereibetrieben benutzten Kleinkessel (Schwül-, Rasche- oder Dämpfeinrichtungen) unterliegen ohne Ansehung ihrer Größe den Bestimmungen über Dampfkesselanlagen, sobald sie absperrbar sind, so daß in ihnen ein höherer als der atmosphärische Druck entstehen kann. (Min.-Erl. v. 9. IX. 1908.) Ausgenommen würden nur sein die Zwergkessel gemäß vorstehendem § 1, Ziffer 3 c.

II. Bau.

§ 2. Kesselwandungen.

1. Jeder Dampfkessel muß in bezug auf Baustoff, Ausführung und Ausrüstung den anerkannten Regeln der Wissenschaft und Technik entsprechen. Als solche Regeln gelten bis auf weiteres die in den Anlagen I und II zusammengestellten Grundsätze, welche entsprechend den Bedürfnissen der Praxis und den Ergebnissen der Wissenschaft auf Antrag oder nach Anhörung einer durch Vereinbarung der verbündeten Regierungen anerkannten Sachverständigenkommission fortgebildet werden.

2. Die von den Heizgasen berührten Teile der Wandungen der Dampfkessel dürfen nicht aus Gußeisen oder Temperguß hergestellt werden; andere nur, sofern ihre lichten Querschnitte kreisförmig sind und ihre lichte Weite 250 Millimeter nicht übersteigt. Für höhere Dampfspannungen als 10 Atmosphären Überdruck ist Gußeisen oder Temperguß in keinem Teile der Kesselwandungen gestattet. Formflußeisen darf für alle nicht im ersten Feuerzuge liegenden Teile der Wandungen benutzt werden. Auf Gehäusewandungen von Dampfzylindern, die mit dem Dampfkessel verbunden sind, finden die vorstehenden Bestimmungen keine Anwendung.

3. Als Wandungen der Dampfkessel gelten die Wandungen derjenigen Räume, welche zwischen den Absperrventilen (§ 6 Abs. 1, 2 und 3) liegen. Den Kesselwandungen sind die mit ihnen verbundenen Anschlußteile gleich zu achten.

4. Die Verwendung von Messingblech ist nur für Feuerrohre gestattet, deren lichte Weite 80 Millimeter nicht übersteigt.

§ 3. Feuerzüge.

1. Die Feuerzüge der Dampfkessel müssen an ihrer höchsten Stelle mindestens 100 Millimeter unter dem festgesetzten niedrigsten Wasserstande liegen. Bei Dampfkesseln, deren Wasseroberfläche kleiner als das 1,3fache der gesamten Rostfläche ist, muß dieser Abstand mindestens 150 Millimeter betragen¹⁾. Bei Innenzügen ist der Mindestabstand über den von den Heizgasen berührten Blechen zu messen.

2. Die Bestimmungen über die Höhenlage der Feuerzüge finden keine Anwendung auf Dampfkessel, deren von den Heizgasen berührte Wandungen ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 Millimeter Lichtweite oder aus derartigen Rohren und den zu ihrer Verbindung angewendeten Rohrstücken bestehen, sowie auf solche Feuerzüge, in welchen ein Erglühen des mit dem Dampfraum in Berührung stehenden Teiles der Wandungen nicht zu befürchten ist. Die Gefahr des Erglühens ist in der Regel als ausgeschlossen zu betrachten, wenn die vom Wasser gespülte Kesselfläche, welche von den Heizgasen vor Erreichung der vom Dampfe gespülten Kesselfläche bestrichen wird, bei natürlichem Luftzuge mindestens zwanzigmal, bei künstlichem Luftzuge mindestens vierzigmal so groß ist als die gesamte Rostfläche. Bei Dampfkesseln ohne Rost ist der 4fache Betrag des Querschnitts des ersten Feuerzugs, unter Ausschluß des verengten Querschnitts über der Feuerbrücke, als der Rostfläche gleichstehend zu erachten.

3. Als Heizfläche der Dampfkessel gilt der auf der Feuerseite²⁾ gemessene Flächeninhalt der einerseits von den Heizgasen, andererseits vom Wasser berührten Wandungen.

4. Als künstlicher Luftzug gilt jeder durch andere Mittel als den Schornsteinzug erreichte Luftzug, welcher bei saugender Wirkung in der Regel mehr als 25 Millimeter Wassersäule, gemessen hinter dem letzten Feuerzuge, bei Preßluft mehr als 30 Millimeter Wassersäule, gemessen unter dem Roste, beträgt.

III. Ausrüstung.

§ 4. Speisevorrichtungen.

1. Jeder Dampfkessel muß mit mindestens zwei zuverlässigen Vorrichtungen zur Speisung versehen sein, die nicht von derselben Betriebsvorrichtung abhängig sind. Mehrere zu einem Betriebe vereinigte Dampfkessel werden hierbei als ein Kessel angesehen.

2. Jede der Speisevorrichtungen muß imstande sein, dem Kessel doppelt soviel Wasser zuzuführen, als seiner normalen Verdampfungsfähigkeit entspricht. Bei Pumpen, die unmittelbar von der Hauptbetriebsmaschine angetrieben werden (Maschinenspeisepumpen), genügt das 1½fache der normalen Verdampfungsfähigkeit. Zwei oder mehrere Speisevorrichtungen, die zusammen die geforderte Leistung ergeben, sind als eine Speisevorrichtung anzusehen. Maschinenspeisepumpen werden, wenn die Kessel beim Stillstande der Maschine auch noch anderen Zwecken dienen, nur dann als zweite Speisevorrichtung angesehen, wenn es dem regelmäßigen Betrieb entspricht, daß die Maschinen zum Speisen in Gang gesetzt werden³⁾.

¹⁾ Bei den Bestimmungen für Schiffskessel ist hier eingeschaltet:

Die vorgeschriebenen Mindestabstände müssen auch dann noch gewahrt werden, wenn sich der Schiffskörper um 4° nach den Seiten neigt.

²⁾ Bei Schiffskesseln: Wasserseite.

³⁾ Bei Schiffskesseln folgt hier: Eine der Speisevorrichtungen der Hauptkessel kann auch als Speisevorrichtung für Hilfskessel dienen, wenn die Druckleitungen der Pumpe voneinander getrennt sind.

3. Handpumpen sind nur zulässig, wenn das Produkt aus der Heizfläche in Quadratmeter und der Dampfspannung in Atmosphären Überdruck die Zahl 120 nicht übersteigt.

4. Die unmittelbare Benutzung einer Wasserleitung an Stelle einer der Speisevorrichtungen ist zulässig, wenn der nutzbare Druck der Wasserleitung am Kessel jederzeit mindestens 2 Atmosphären höher als der genehmigte Dampfdruck im Kessel ist.

§ 5. Speiseventile und Speiseleitungen.

1. In jeder zum Dampfkessel führenden Speiseleitung muß möglichst nahe am Kesselkörper ein Speiseventil (Rückschlagventil) angebracht sein, das bei Abstellung der Speisevorrichtungen durch den Druck des Kesselwassers geschlossen wird¹⁾.

2. Die Speiseleitung muß möglichst so beschaffen sein, daß sich der Dampfkessel bei undichtem Rückschlagventil nicht durch die Speiseleitung entleeren kann. Haben Speisevorrichtungen gemeinschaftliche Saug- oder Druckleitung, so muß jede Speisevorrichtung von der gemeinschaftlichen Leitung abschließbar sein²⁾. Übereinanderliegende Verbundkessel mit getrennten Wasserräumen sowie Dampfkessel mit verschiedenen hohem Betriebsdrucke müssen je für sich gespeist werden können.

§ 6. Absperr- und Entleerungsvorrichtungen.

1. Jeder Dampfkessel muß mit einer Vorrichtung versehen sein, durch die er von der Dampfleitung abgesperrt werden kann. Wenn mehrere Kessel, die für verschiedene Dampfspannung genehmigt sind, ihre Dämpfe in gemeinschaftliche Dampfleitungen abgeben, so müssen die Anschlüsse der Kessel mit niedrigerem Drucke an die gemeinsame Dampfleitung unter Zwischenschaltung eines Rückschlagventils erfolgen. Durch die Anwendung von Druckminderventilen oder Druckreglern wird das Rückschlagventil nicht entbehrlich gemacht.

2. Jeder Dampfkessel muß zwischen dem Speiseventil und dem Kesselkörper eine Absperrvorrichtung erhalten, auch wenn das Speiseventil abschließbar ist.

3. Jeder Dampfkessel muß mit einer zuverlässigen Vorrichtung versehen werden, durch die er entleert werden kann.

4. Die Speiseabsperrvorrichtungen und die Entleerungsvorrichtungen müssen gegen die Einwirkung der Heizgase geschützt sein und ebenso wie alle anderen Absperrvorrichtungen (§ 5 Abs. 2, § 6 Abs. 1) so angebracht werden, daß der verantwortliche Wärter sie leicht bedienen kann.

§ 7. Wasserstandsvorrichtungen.

1. Jeder Dampfkessel muß mit mindestens zwei geeigneten Vorrichtungen zur Erkennung seines Wasserstandes versehen sein, von denen wenigstens die eine ein Wasserstandsglas sein muß. Schwimmer und

¹⁾ Bei Schiffskesseln ist diesem Satz vorgeschaltet:

Schiffskessel müssen mindestens zwei Speiseleitungen erhalten.

²⁾ Von hier ab heißt es bei Schiffskesseln:

Speiseleitungen, die mit einer von der Hauptmaschine oder von einer Transmission aus angetriebenen Pumpe zusammenhängen, müssen mit einem Sicherheitsventile versehen sein. Schiffskessel mit verschieden hohem Betriebsdrucke müssen je für sich gespeist werden können.

Schmelzpfropfen sowie Spindelventile, die nicht durchstoßbar sind oder sich ganz herausdrehen lassen, sind als zweite Vorrichtung nicht zulässig. Die Vorrichtungen müssen gesonderte Verbindungen mit dem Innern des Kessels haben. Es ist jedoch gestattet, sie an einem gemeinschaftlichen Körper anzubringen, oder, falls zwei Wasserstandsgläser gesondert voneinander durch Rohre mit dem Kessel verbunden werden, die Dampfrohre durch eine gemeinsame Öffnung in den Kessel zu führen, wenn die Öffnung mindestens dem Gesamtquerschnitte beider Rohre gleich ist¹⁾.

2. Werden die Wasserstandsvorrichtungen an einem gemeinschaftlichen Körper angebracht, so müssen dessen Verbindungen mit dem Wasser- und Dampftraume mindestens je 6000 Quadratmillimeter lichten Querschnitt haben²⁾. Werden die Wasserstandsvorrichtungen einzeln durch Rohre mit dem Kessel verbunden, so müssen die Verbindungsrohre ohne scharfe Krümmungen geführt sein, unter Vermeidung von Wasser- und Dampfsäcken. Gerade, nach dem Kessel durchstoßbare Verbindungsrohre müssen mindestens 20 Millimeter, gebogene Verbindungsrohre bei Kesseln bis zu 25 Quadratmeter Heizfläche mindestens 35 Millimeter, über 25 Quadratmeter Heizfläche mindestens 45 Millimeter lichten Durchmesser haben. Verbindungsrohre sind gegen die Einwirkung der Heizgase zu schützen. Gebogene Zuleitungsrohre im Innern des Kessels zum Anschluß an die Wasserstandsvorrichtungen sind nicht gestattet.

3. Die Lichtweiten der Wasserstandsgläser sowie die Bohrungen der Wasserstandsvorrichtungen müssen mindestens 8 Millimeter betragen. Die Hähne und Ventile der Wasserstandsvorrichtungen müssen so eingerichtet sein, daß man während des Betriebs in gerader Richtung durch die Vorrichtungen hindurchstoßen kann. Wasserstandshahnköpfe müssen so ausgeführt sein, daß das Dichtungsmaterial nicht in das Glas gepreßt werden kann.

4. Alle Hahnkegel der Wasserstandsvorrichtungen müssen sich ganz durchdrehen lassen. Die Durchgangsrichtung muß bei allen Hähnen deutlich auf dem Hahnkopfe gekennzeichnet sein. Die Bohrung der Hahnkegel an Wasserstandsvorrichtungen muß so beschaffen sein, daß sich der Durchgangsquerschnitt beim Nachschleifen nicht vermindert.

¹⁾ Bei Schiffskesseln heißt es:

1. Jeder Schiffskessel muß mit mindestens drei geeigneten Vorrichtungen zur Erkennung seines Wasserstandes versehen sein, von denen wenigstens zwei Wasserstandsgläser sein müssen. Letztere sind in einer zur Längsrichtung des Schiffes rechtwinkligen Ebene in gleicher Höhe und Entfernung von der Kesselmitte, möglichst weit von ihr nach rechts und links abstehend, anzubringen. Bei Seeschiffskesseln kann der Abstand der Wasserstandsgläser voneinander bis auf 1000 Millimeter eingeschränkt werden, falls nicht der Kesseldurchmesser oder andere Verhältnisse ein noch geringeres Maß bedingen. Wird bei Schiffskesseln mit Feuerungen an beiden Enden nur eine der beiden Feuerungsseiten mit den vorgeschriebenen drei Wasserstandsvorrichtungen versehen, so muß an der anderen Seite mindestens ein Wasserstandsglas möglichst nahe der Kesselmitte angebracht werden. Schwimmer und Schmelzpfropfen werden nicht als Wasserstandsvorrichtungen gerechnet; Spindelventile, die nicht durchstoßbar sind oder sich ganz herausdrehen lassen, sind nicht zulässig.

²⁾ Bei Schiffskesseln heißt es unter 2 bis hierher:

Die Vorrichtungen müssen gesonderte Verbindungen mit dem Kessel haben. Es ist jedoch gestattet, falls die Verbindung von Wasserstandsgläsern mit dem Dampftraume des Kessels durch Rohre hergestellt wird, diese durch eine gemeinsame Öffnung in den Kessel zu führen, wenn die Öffnung mindestens dem Gesamtquerschnitte beider Rohre gleich ist.

5. Werden Probierröhre oder Probierventile als zweite Vorrichtung angewendet, so ist die unterste dieser Vorrichtungen in der Ebene des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes anzubringen¹⁾. Die Höhenlage der Wasserstandsgläser ist so zu wählen, daß der höchste Punkt der Feuerzüge mindestens 30 Millimeter unterhalb der unteren sichtbaren Begrenzung des Wasserstandsglases liegt²⁾. Dieses Erfordernis gilt nicht für Kessel, deren von den Heizgasen berührte Wandungen ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 Millimeter Lichtweite oder aus solchen Rohren und den zu ihrer Verbindung angewendeten Rohrstücken bestehen.

6. Es müssen Einrichtungen für ständige, genügende Beleuchtung der Wasserstandsvorrichtungen während des Betriebs der Dampfkessel vorhanden sein. Die Wasserstandsvorrichtungen müssen im Gesichtskreise des für die Speisung verantwortlichen Wärters liegen und von seinem Standorte leicht zugänglich sein.

§ 8. Wasserstandsmarke.

1. Der für den Dampfkessel festgesetzte niedrigste Wasserstand ist durch eine an der Kesselwandung anzubringende feste Strichmarke von etwa 30 Millimeter Länge, die von den Buchstaben N. W. begrenzt wird, dauernd kenntlich zu machen. Die Strichmarke ist bei der Bauprüfung des Dampfkessels unter Berücksichtigung des dem Kessel bei der Aufstellung etwa zu gebenden Gefälls festzulegen. Ihre Höhenlage ist durch Angabe ihres Abstandes von einem jederzeit erreichbaren Kesselteil in der über die Abnahmeprüfung aufzunehmenden Bescheinigung dann zu sichern, wenn die Marke nicht sichtbar bleibt.

2. Werden die Wasserstandsvorrichtungen unmittelbar an der Kesselwandung angebracht, so ist neben oder hinter jedem Wasserstandsglas in Höhe der Strichmarke ein Schild mit der Bezeichnung „Niedrigster Wasserstand“ mit einem bis nahe an das Wasserstandsglas reichenden wagerechten Zeiger anzubringen. Werden die Wasserstandsvorrichtungen an besonderen Wasserstandskörpern oder Rohren befestigt, so ist mit diesen in Höhe der Strichmarke neben oder hinter jedem Wasserstandsglase das vorbezeichnete Schild mit dem Zeiger zu verbinden³⁾. Für Dampfkessel mit weniger als

1) An Stelle dieses ersten Satzes steht bei Schiffskesseln:

Werden Probierröhre oder Probierventile angewendet, so müssen sie so am Kessel angebracht werden, daß sie in ihrer Wirksamkeit durch die Neigungen des Schiffes möglichst wenig beeinflußt werden.

2) Hier ist bei Schiffskesseln eingeschaltet:

Dabei darf der niedrigste Wasserstand nicht höher als in der Mitte des Glases liegen.

3) Von hier ab lauten die Bestimmungen für Schiffskessel:

3. An jedem Schiffskessel ist an der Außenwand oder, sofern die Wasserstandsgläser durch Rohre mit den Kesseln verbunden werden, an den Wasserstandskörpern die Lage der höchsten Feuerzüge nach der Richtung der Schiffsbreite in leicht erkennbarer, dauerhafter Weise durch die auf einem Schilde anzubringende Bezeichnung „Höchster Feuerzug“ kenntlich zu machen. Bei Kesseln, deren von den Heizgasen berührte Wandungen ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 Millimeter Lichtweite oder aus derartigen Rohren und den zu ihrer Verbindung angewendeten Rohrstücken bestehen, bedarf es der Anbringung eines Schildes nicht.

4. Für Schiffskessel mit weniger als 25 Quadratmeter Heizfläche kann, wenn es an Platz mangelt, die Bezeichnung „Niedrigster Wasserstand“ in N. W. und „Höchster Feuerzug“ in H. F. abgekürzt werden. Die Schilder sind dauerhaft, aber weder mit den Schrauben der Armaturgegenstände noch an der Bekleidung zu befestigen.

25 Quadratmeter Heizfläche kann, wenn es an Platz mangelt, die Bezeichnung „Niedrigster Wasserstand“ in N. W. abgekürzt werden. Die Schilder sind dauerhaft, aber weder mit den Schrauben der Armaturgegenstände noch an der Bekleidung zu befestigen.

§ 9. Sicherheitsventil.

1. Jeder feststehende Dampfkessel ist mit wenigstens einem¹⁾ zuverlässigen Sicherheitsventil, jeder bewegliche Dampfkessel mindestens mit zwei solchen Ventilen zu versehen. Die Sicherheitsventile müssen zugänglich und so beschaffen sein, daß sie jederzeit gelüftet und auf ihrem Sitz gedreht werden können. Bei Ventilen, die durch Hebel und Gewicht belastet werden, darf der auf jedes Ventil durch den Dampf ausgeübte Druck 600 Kilogramm nicht überschreiten. Die Belastungsgewichte der Ventile müssen je aus einem Stücke bestehen. Sind zwei Ventile vorgeschrieben, so muß ihre Belastung unabhängig voneinander erfolgen. Der Dampf darf den Ventilen nicht durch Rohre zugeführt werden, die innerhalb des Kessels liegen. Geschlossene Ventilgehäuse müssen in ihrem tiefsten Punkte mit einer nicht abschließbaren Entwässerungsvorrichtung versehen sein. Bei Hebelventilen ist die Stellung des Gewichts durch Splinte, bei Federventilen die Spannung der Federn durch Sperrhülsen oder feste Scheiben zu sichern²⁾.

2. Die Sicherheitsventile dürfen höchstens so belastet werden, daß sie bei Eintritt der für den Kessel festgesetzten Dampfspannung den Dampf entweichen lassen. Ihr Querschnitt³⁾ muß bei normalem Betrieb imstande sein, so viel Dampf abzuführen, daß die festgesetzte Dampfspannung höchstens um $\frac{1}{10}$ ihres Betrags überschritten wird. Sind zwei Sicherheitsventile vorgeschrieben oder bedingt die Größe des Kessels mehrere Ventile, so muß ihr Gesamtquerschnitt dieser Anforderung entsprechen. Änderungen in den Belastungsverhältnissen, die den Druck des Ventilkegels gegen den Sitz erhöhen, dürfen nur durch die amtlichen Sachverständigen vorgenommen werden⁴⁾. Über jede Änderung der bei der amtlichen Abnahme festgesetzten Belastung ist von dem dazu Berechtigten ein Vermerk in das Revisionsbuch (§ 19) aufzunehmen.

§ 10. Manometer.

Mit dem Dampfraume jedes Dampfkessels muß ein zuverlässiges nach Atmosphären (§ 12) geteiltes Manometer verbunden sein⁵⁾. Dieser Bestimmung wird auch durch Anschluß des Manometers an den Dampfraum eines dem § 7 Abs. 2 entsprechenden besonderen Wasserstandskörpers genügt. An dem Zifferblatte des Manometers ist die festgesetzte höchste

1) Bei Schiffskesseln „zwei“.

2) Bei Schiffskesseln kommt hierzu:

Geteilte Scheiben sind nur zulässig, wenn sie unter Verschluss gehalten werden.

3) Bei Schiffskesseln „Gesamtquerschnitt“.

4) Hier folgt bei Schiffskesseln:

jedoch dürfen auf Seeschiffen in längerer Fahrt federbelastete Ventile von dem leitenden Maschinisten unter Anwendung eines Kontrollmanometers berichtet werden. Der Maschinist ist jedoch verpflichtet, der zur regelmäßigen Beaufsichtigung des Kessels zuständigen Stelle hiervon ungesäumt schriftliche Mitteilung zu machen.

3. Wenigstens einem Ventil ist, mit Ausnahme der Kessel auf Seeschiffen, eine solche Stellung zu geben, daß die vorgeschriebene Belastung von Deck aus mit Leichtigkeit untersucht werden kann.

5) Für Schiffskessel werden zwei Manometer verlangt.

Dampfspannung durch eine unveränderliche, in die Augen fallende Marke zu bezeichnen. Das Manometer muß die Ablesung des bei der Druckprobe anzuwendenden Probedrucks (§§ 12 und 13) gestatten. Es muß so angebracht sein, daß es gegen die vom Kessel ausstrahlende Hitze möglichst geschützt ist und daß seine Angaben vom Kesselwärter jederzeit ohne Schwierigkeiten beobachtet werden können. Die Leitung zum Manometer muß mit einem Wassersack versehen und zum Ausblasen eingerichtet sein¹⁾.

§ 11. Fabrikschild.

1. An jedem Dampfkessel muß die festgesetzte höchste Dampfspannung, der Name und Wohnort des Fabrikanten, die laufende Fabriknummer und das Jahr der Anfertigung²⁾ auf eine leicht erkennbare und dauerhafte Weise angegeben sein.

2. Diese Angaben sind auf einem metallenen Schilde (Fabrikschild) anzubringen, das mit versenkt vernieteten kupfernen Stiftschrauben so am Kessel befestigt werden muß, daß es auch nach der Ummantelung oder Einmauerung des letzteren sichtbar bleibt.

IV. Prüfung.

§ 12. Bauprüfung, Druckprobe und Abnahme neu oder erneut zu genehmigender Dampfkessel.

1. Jeder neu oder erneut zu genehmigende Dampfkessel ist vor der Inbetriebnahme von einem zuständigen Sachverständigen einer Bauprüfung, einer Prüfung mit Wasserdruck und der nach § 24 Abs. 3 der Gewerbeordnung vorgeschriebenen Abnahmeprüfung zu unterziehen. Die Bauprüfung und Druckprobe müssen vor der Einmauerung oder Ummantelung des Kessels ausgeführt werden; sie sind möglichst miteinander zu verbinden. Die Bauprüfung kann jedoch auf Antrag des Fabrikanten auch während der Herstellung des Dampfkessels vorgenommen werden. Bei neu zu genehmigenden Dampfkesseln kann, wenn seit der letzten inneren Untersuchung noch nicht zwei Jahre verflossen sind, nach dem Ermessen des Sachverständigen von der Durchführung dieser Bestimmungen insoweit abgesehen werden, als eine erneute Prüfung für die Erneuerung der Genehmigung nicht erforderlich ist.

2. Die Bauprüfung erstreckt sich auf die planmäßige Ausführung der Abmessungen, den Baustoff und die Beschaffenheit des Kesselkörpers. Bei ihrer Ausführung ist der Dampfkessel äußerlich und, soweit es seine Bauart gestattet, auch innerlich zu untersuchen. Vor Ausführung der Prüfung ist

¹⁾ Hier folgt bei Schiffskesseln noch:

2. Die Manometer müssen so angebracht werden, daß sich das eine im Gesichtskreise des Kesselwärters, das andere, mit Ausnahme bei Seeschiffen, an einer vom Deck aus leicht sichtbaren Stelle befinden muß. Sind auf einem Schiffe mehrere Kessel vorhanden, deren Dampf Räume miteinander in Verbindung stehen, so genügt es, wenn außer einem an jedem einzelnen Kessel befindlichen Manometer die miteinander verbundenen Dampf Räume ein gemeinsames Manometer erhalten, welches vom Deck — bei Seeschiffen vom Maschinenstand — aus sichtbar ist. Bei Schiffskesseln mit Feuerungen an beiden Enden muß an jedem Ende ein Manometer angebracht sein.

²⁾ Für Schiffskessel kommt noch hinzu:
und der Mindestabstand des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes von der höchsten Stelle der Feuerzüge in Millimeter.

dem Sachverständigen bei neuen Dampfkesseln der Nachweis darüber zu erbringen daß der zu den Wandungen des Kessels verwendete Baustoff nach Maßgabe der Anlage I ¹⁾ geprüft worden ist. Über die Bauprüfung hat der Sachverständige ein Zeugnis nach Maßgabe der Anlage III ¹⁾ auszustellen und mit diesem den Materialnachweis und — falls nicht eine bereits genehmigte Zeichnung vorgelegt wird — die den Abmessungen des Dampfkessels zugrunde gelegte Zeichnung zu verbinden. Vom Lieferer sind im letzten Falle zwei Zeichnungen des Dampfkessels zur Verfügung des Sachverständigen zu halten. Bei erneut zu genehmigenden Dampfkesseln hat der Sachverständige in dem Zeugnis über die Bauprüfung zugleich ein Gutachten darüber abzugeben, mit welcher Dampfspannung der Kessel zum Betriebe geeignet erscheint.

3. Die Wasserdruckprobe erfolgt bei Dampfkesseln bis zu 10 Atmosphären Überdruck mit dem 1½fachen Betrage des beabsichtigten Überdrucks, mindestens aber mit 1 Atmosphäre Mehrdruck, bei Dampfkesseln über 10 Atmosphären Überdruck mit einem Drucke, der den beabsichtigten um 5 Atmosphären übersteigt. Die Kesselwandungen müssen während der ganzen Dauer der Untersuchung dem Probedrucke widerstehen, ohne undicht zu werden oder bleibende Formveränderungen aufzuweisen. Sie sind für undicht zu erachten, wenn das Wasser bei dem Probedruck in anderer Form als der von feinen Perlen durch die Fugen dringt. Über die Prüfung mit Wasserdruck hat der Sachverständige ein Zeugnis nach Maßgabe der Anlage IV ²⁾ auszustellen.

4. Unter dem Atmosphärendrucke wird der Druck von einem Kilogramm auf das Quadratcentimeter verstanden.

5. Nachdem die Bauprüfung und die Wasserdruckprobe mit befriedigendem Erfolge stattgefunden haben, sind die Niete des Fabrikshildes (§ 11) von dem zuständigen Sachverständigen mit dem amtlichen Stempel zu versehen, der in dem Prüfungszeugnis über die Wasserdruckprobe (Anlage IV) ²⁾ abzudrucken ist. Einer Erneuerung des Stempels bedarf es bei alten, erneut zu genehmigenden Dampfkesseln nicht, wenn der alte Stempel noch gut erhalten ist und mit dem amtlichen Stempel des Sachverständigen übereinstimmt.

6. Die endgültige Abnahme der Dampfkesselanlage muß unter Dampf erfolgen. Dabei ist zu untersuchen, ob die Ausführung der Anlage den Bedingungen der erteilten Genehmigung entspricht. Nach dem befriedigenden Ausfalle dieser Untersuchung und der Behändigung der Abnahmebescheinigung (Anlage V) ²⁾ oder einer Zwischenbescheinigung darf die Kesselanlage ohne weiteres in Betrieb genommen werden, soweit die baupolizeiliche Abnahme der etwa zur Kesselanlage gehörigen Baulichkeiten stattgefunden und zu keinen Bedenken Anlaß gegeben hat.

§ 13. Druckproben nach Hauptausbesserungen.

1. Dampfkessel, die eine Hauptausbesserung erfahren haben oder durch Wassermangel oder Brandschaden überhitzt worden sind ³⁾, müssen vor der

¹⁾ Die hierzu erforderlichen Vordrucke über die Bau- und Materialprüfung, sowie zur Wasserdruckprobe sind von der Verlagsbuchhandlung von Otto Hammerschmidt, Hagen i. W. zu beziehen.

²⁾ Die hierzu erforderlichen Vordrucke sind zu beziehen von der Verlagsbuchhandlung von Otto Hammerschmidt in Hagen i. W.

³⁾ Für Schiffskessel kommt hinzu: oder plötzlich im Betrieb unter Wasser gesetzt und abgekühlt worden sind.

Wiederinbetriebnahme von einem zuständigen Sachverständigen einer Prüfung mit Wasserdruck in gleicher Höhe wie bei neu aufzustellenden Dampfkesseln unterzogen werden. Der völligen Bloßlegung des Kessels bedarf es in solchem Falle in der Regel nicht.

2. Von der Außerbetriebsetzung eines Dampfkessels zum Zwecke einer Hauptausbesserung des Kesselkörpers hat der Kesselbesitzer oder sein Stellvertreter der zur regelmäßigen Prüfung des Dampfkessels zuständigen Stelle Anzeige zu erstatten. Die gleiche Pflicht liegt dem Kesselbesitzer oder seinem Vertreter ob, wenn ein Dampfkessel durch Wassermangel oder Brandschaden überhitzt worden ist¹⁾.

§ 14. Prüfungsmänometer.

1. Der bei der Prüfung ausgeübte Druck muß durch ein von dem zuständigen Sachverständigen amtlich geführtes Doppelmanometer festgestellt werden.

2. An jedem Dampfkessel muß sich in der Nähe des Manometers (§ 10) am Manometerrohr ein mit einem Dreiweghahn versehener Stutzen zur Anbringung des amtlichen Manometers befinden. Dieser Stutzen muß bei beweglichen Kesseln einen ovalen Flansch von 60 Millimeter Länge und 25 Millimeter Breite besitzen. Die Weite der Schlitze zur Einlegung der Befestigungsschrauben und die Öffnung des Stutzens muß 7 Millimeter, die Länge der Schlitze 20 Millimeter betragen.

Anmerkung. Zu § 14 ist zu bemerken, daß es in Preußen mit Rücksicht auf die vorhandenen Kontrollmanometer auch bei feststehenden Dampfkesseln bei der bisher üblichen, nur für bewegliche und Schiffskessel einheitlich vereinbarten Form des Kontrollflansches sein Bewenden behalten muß. (Min.-Erl. v. 28. I. 1909, H.-M.-Bl. S. 102.)

V. Aufstellung.²⁾

§ 15. Aufstellungsort.

1. Dampfkessel für mehr als 6 Atmosphären Überdruck und solche, bei welchen das Produkt aus der Heizfläche (§ 3 Abs. 3) in Quadratmeter und der Dampfspannung in Atmosphären Überdruck für einen oder mehrere gleichzeitig in Betrieb befindliche Kessel zusammen mehr als 30 beträgt, dürfen unter Räumen, die häufig von Menschen betreten werden, nicht auf-

¹⁾ Hier heißt es bei den Bestimmungen für Schiffskessel weiter: oder plötzlich im Betrieb unter Wasser gesetzt und abgekühlt wird.

³⁾ Auf Seeschiffskessel finden diese Bestimmungen mit der Maßgabe Anwendung, daß der leitende Maschinist bei Hauptausbesserungen oder Beschädigungen der im Abs. 1 genannten Art während der Fahrt oder bei dem Aufenthalte des Schiffes außerhalb des Deutschen Reiches zur Ausführung der Druckprobe verpflichtet ist, jedoch ungesäumt entsprechende Anzeige an die zur regelmäßigen Beaufsichtigung des Schiffskessels zuständige Stelle zu erstatten hat. Diese hat zu entscheiden, ob die Druckprobe nach Rückkehr des Schiffes in einen deutschen Hafen amtlich zu wiederholen ist.

²⁾ In den Bestimmungen für Schiffskessel steht unter Aufstellung nur:

§ 15.

Die Schiffskessel sind sorgfältig im Schiffe zu lagern und gegen seitliche Verschiebung und Drehung sowie gegen Verschiebung nach vorn und hinten gehörig zu sichern.

gestellt werden. Das gleiche gilt für die Aufstellung von Dampfkesseln über Räumen, die häufig von Menschen betreten werden, mit Ausnahme der Aufstellung über Kellerräumen. Innerhalb von Betriebsstätten und in besonderen Kesselräumen ist die Aufstellung solcher Dampfkessel unzulässig, wenn die Räume mit fester Wölbung oder fester Balkendecke versehen sind. Feste Konstruktionsteile über einem Teile des Kesselraums, die den Zwecken der Rostbeschickung dienen, sind nicht als feste Balkendecken anzusehen. Trockeneinrichtungen oberhalb des Dampfkessels sowie das Trocknen auf dem Kessel sind nicht zulässig. Bei eingemauerten Dampfkesseln, deren Plattform betreten wird, muß oberhalb derselben eine mittlere verkehrsfreie Höhe von mindestens 1800 Millimeter vorhanden sein.

2. Dampfkessel, die in Bergwerken unterirdisch oder auf Kraftfahrzeugen aufgestellt werden, und solche, welche ausschließlich aus Wasserrohren von weniger als 100 Millimeter Lichtweite oder aus derartigen Pöhren und den zu ihrer Verbindung angewendeten Rohrstücken bestehen, unterliegen den vorstehenden Bestimmungen nicht, Dampfkessel letzterer Art auch dann nicht, wenn sie mit Schlamm Sammlern und Oberkesseln, die nur als Dampfsammler dienen, versehen sind. Auf Wasserkammerrohrkessel mit Rohren unter 100 Millimeter Lichtweite finden die Bestimmungen des Abs. 1 dann keine Anwendung, wenn ihre Rohre nahtlos hergestellt sind, die Wandungen ihrer Oberkessel von den Heizgasen nicht berührt werden und ihr Dampfdruck 6 Atmosphären Überdruck nicht übersteigt.

§ 16. Kesselmauerung.

Zwischen dem Mauerwerke, das den Feuerraum und die Feuerzüge feststehender Dampfkessel einschließt, und den dieses umgebenden Wänden muß ein Zwischenraum von mindestens 80 Millimeter verbleiben, der oben abgedeckt und an den Enden verschlossen werden darf. Die Feuerzüge müssen durch genügend weite Einfahröffnungen zugänglich und in der Regel so groß bemessen sein, daß sie befahrbar sind. Werden die Feuerzüge benachbarter Kessel durch eine gemeinsame Mauer getrennt, so ist diese mindestens 340 Millimeter dick herzustellen. Das Kesselmauerwerk darf nicht zur Unterstützung von Gebäudeteilen benutzt werden.

VI. Bewegliche Dampfkessel und Kleinkessel.

§ 17. Bewegliche Dampfkessel.

Als bewegliche Dampfkessel gelten solche, deren Benutzung an wechselnden Betriebsstätten erfolgt. Als bewegliche Dampfkessel dürfen nur solche Dampfentwickler betrieben werden, zu deren Aufstellung und Inbetriebnahme die Herstellung von Mauerwerk, das den Kessel umgibt, nicht erforderlich ist.

§ 18. Kleinkessel.

Kleinkessel, das sind Dampfentwickler, bei denen das Produkt aus der Heizfläche in Quadratmeter und der Dampfspannung in Atmosphären Überdruck die Zahl 2 nicht übersteigt, gelten hinsichtlich ihres Aufstellungsorts als bewegliche Kessel, auch wenn sie von Mauerwerk umgeben sind und an einem Betriebsorte zu dauernder Benutzung aufgestellt werden.

VII. Allgemeine Bestimmungen.

§ 19. Aufbewahrung der Kesselpapiere.

1. Zu jedem Dampfkessel gehören:

- a) eine Ausfertigung der Urkunde über seine Genehmigung nach Maßgabe der Anlage VI ¹⁾ nebst den zugehörigen Zeichnungen und Beschreibungen²⁾.

Mit der Urkunde sind die Bescheinigungen über die Bauprüfung, die Wasserdruckprobe und die Abnahme (§ 12) zu verbinden. Letztere Bescheinigung muß einen Vermerk über die zulässige Belastung der Sicherheitsventile enthalten. Gelangen in einer Anlage mehrere Dampfkessel von gleicher Größe, Form, Ausrüstung und Dampfspannung gleichzeitig zur Aufstellung, so ist für diese nur eine Urkunde erforderlich.

- b) ein Revisionsbuch nach Maßgabe der Anlage VII ³⁾, das die Angaben des Fabrikschildes (§ 11) enthält. Die Bescheinigungen über die im § 13 vorgeschriebenen Prüfungen und die periodischen Untersuchungen müssen in das Revisionsbuch eingetragen oder ihm derart beigefügt werden, daß sie nicht in Verlust geraten können.

2. Die Genehmigungsurkunde nebst den zugehörigen Anlagen oder beglaubigte Abschriften dieser Papiere sowie das Revisionsbuch sind an der Betriebsstätte des Dampfkessels aufzubewahren und jedem zur Aufsicht zuständigen Beamten oder Sachverständigen auf Verlangen vorzulegen. Auf die Dampfkessel von Kraftfahrzeugen und Feuerspritzen findet diese Bestimmung keine Anwendung, wenn ihr Betrieb den Polizeibehörden und den zuständigen Kesselsachverständigen ihres Heimatsorts angemeldet ist.

§ 20. Entblindung von einzelnen Bestimmungen.⁴⁾

1. Bei Kleinkesseln (§ 18) ist es zulässig:

- a) von der Anbringung einer zweiten Speisevorrichtung,
 b) von dem Speiseventil (Rückschlagventil),
 c) von der Anbringung einer zweiten Wasserstandsvorrichtung abzusehen,

¹⁾ Exemplare dieses Vordruckes zur Urkunde über die Genehmigung eines Dampfkessels sind in vorschriftsmäßiger Ausführung zu beziehen aus der Verlagsbuchhandlung von Otto Hammerschmidt in Hagen i. W.

²⁾ Bei Schiffskesseln ist hier noch eingeschaltet:

Die Urkunde muß einen Lageplan über die Aufstellung des Schiffskessels im Schiffe enthalten, der wenigstens den Schiffsteil, der zum Einbau des Kessels dient, mit den benachbarten Räumen sowie die Art der Befestigung und Lagerung des Kessels und die Armaturen umfaßt.

³⁾ Exemplare eines Revisionsbuches für Land- und Schiffskessel und für bewegliche Kessel (Lokomobile), letztere in der Mitte gebogen und in Etui gesteckt, sind in vorschriftsmäßiger Ausführung zu beziehen aus der Verlagsbuchhandlung von Otto Hammerschmidt in Hagen i. W.

⁴⁾ Bei den Bestimmungen über Schiffskessel ist dies § 17, welcher lautet:

1. Bei Schiffskesseln, deren Heizfläche 7,5 Quadratmeter nicht übersteigt, ist es zulässig:

- a) nur ein Speiseventil anzubringen,
 b) von dem zweiten Manometer abzusehen,
 c) nur ein Wasserstandsglas und Probierröhne oder Probierventile anzubringen,
 d) den Mindestabstand des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes über der höchsten

d) nur ein Sicherheitsventil anzuwenden, auch wenn der Kessel beweglich betrieben wird,

e) die Lichtweiten der Wasserstandsgläser und die Bohrungen der Wasserstandsvorrichtungen auf 6 Millimeter zu ermäßigen.

2. Im übrigen sind die Zentralbehörden der einzelnen Bundesstaaten befugt, in einzelnen Fällen und für einzelne Kesselarten von der Beachtung der Bestimmungen der §§ 2 bis 19 und § 21 zu entbinden.

§ 21. Übergangsbestimmungen.

1. Bei Dampfkesseln, die zur Zeit des Inkrafttretens dieser Bestimmung auf Grund der bisher geltenden Vorschriften genehmigt sind, kann eine Abänderung ihres Baues, ihrer Ausrüstung oder Aufstellung nach Maßgabe dieser Bestimmungen so lange nicht gefordert werden, als sie einer erneuten Genehmigung nicht bedürfen.

2. Im übrigen finden die vorstehenden Bestimmungen für die Fälle der erneuten Genehmigung von Dampfkesseln mit der Maßgabe Anwendung, daß dabei von der Durchführung der Bestimmungen des § 2 Abs. 1 und 4 und des § 7 Abs. 5 zweiter Satz abgesehen werden kann. Bei der Genehmigung alter Dampfkessel, deren Materialbeschaffenheit nicht nachgewiesen wird, ist eine Festigkeit von höchstens 30 Kilogramm auf das Quadratmillimeter anzunehmen.

§ 22. Schlußbestimmungen.

1. Die Bekanntmachung, betreffend allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln, vom 5. August 1890, wird aufgehoben, insoweit sie nicht für bestehende Dampfkesselanlagen Geltung behält.

2. Die Bestimmungen des § 21 Abs. 2 über die zulässige Materialbeanspruchung alter Dampfkessel treten sofort in Kraft. Im übrigen treten die vorstehenden Bestimmungen erst ein Jahr nach ihrer Veröffentlichung in Wirksamkeit. Dampfkessel, die bereits vor diesem Zeitpunkte nach den vorstehenden Bestimmungen gebaut und angelegt werden, sind nicht zu beanstanden.

Berlin, den 17. Dezember 1908.

Der Reichskanzler.
In Vertretung:
von Bethmann Hollweg.

Stelle der Feuerzüge für Schiffskessel auf 100 Millimeter zu ermäßigen, wenn die Wasseroberfläche des Kessels größer als das 1,3fache der gesamten Rostfläche ist.

Die gleichen Erleichterungen sind zulässig bei Schiffskesseln der in § 3 Abs. 2 bezeichneten Art, auch wenn sie mit Wasserkammern und Oberkessel versehen sind, sofern ihre Heizfläche 10 Quadratmeter nicht übersteigt.

2. Bei Schiffskesseln, deren Heizfläche 25 Quadratmeter nicht übersteigt, ist es zulässig:

a) nur ein Speiseventil anzubringen,

b) von der dritten Wasserstandsvorrichtung neben den beiden Wasserstandsgläsern abzusehen.

3. Für Dampfkessel auf Baggern, Prähmen, Schuten und dergleichen, deren Heizfläche 15 Quadratmeter nicht übersteigt, können die Materialvorschriften für Landdampfkessel Anwendung finden.

4. Die Zentralbehörden der einzelnen Bundesstaaten sind befugt, in einzelnen Fällen und für einzelne Kesselarten von der Beachtung der Bestimmung der §§ 2 bis 15 zu entbinden.

37. Anweisung betreffend Genehmigung und Untersuchung der Dampfkessel. ¹⁾

(Vom 16. Dezember 1909.)

Auszug.

V. Regelmäßige technische Untersuchungen.

§ 28.

I. Jeder zum Betrieb aufgestellte Dampfkessel, er mag unausgesetzt oder nur in bestimmten Zeitabschnitten oder unter gewissen Voraussetzungen (z. B. als Reservekessel) betrieben werden, ist von Zeit zu Zeit einer technischen Untersuchung zu unterziehen. Das gleiche gilt von den Reserveteilen (§ 7).

II. Dieser Vorschrift unterliegen Dampfkessel dann nicht mehr, wenn ihre Genehmigung durch dreijährigen Nichtgebrauch (§ 18) oder durch ausdrücklichen der Polizeibehörde und dem zuständigen Kesselprüfer erklärten Verzicht erloschen ist. Endlich ruhen die Untersuchungen in dem durch § 31 Abs. VII vorgesehenen Falle.

III. Eine Entbindung von den wiederkehrenden Untersuchungen, die dauernde Verlängerung der Prüfungsfristen oder die Genehmigung zu einmaligen Fristüberschreitungen über sechs Monate hinaus (§ 31 Abs. VI) kann nur durch Verfügung des Ministers für Handel und Gewerbe erfolgen.

§ 29.

Die technische Untersuchung bezweckt die Prüfung:

1. der fortdauernden Übereinstimmung der Kesselanlage mit den bestehenden gesetzlichen und polizeilichen Vorschriften und mit dem Inhalte der Genehmigungsurkunde;
2. ihres betriebsfähigen Zustandes;
3. ihrer sachgemäßen Wartung.

§ 31.

I. Die amtliche Untersuchung der Dampfkessel ist eine äußere oder eine innere oder eine Prüfung durch Wasserdruck. Für die nachgenannten Untersuchungsfristen sind die Etatsjahre, d. h. der Zeitraum zwischen dem ersten April des einen und des folgenden Jahres maßgebend.

II. Die regelmäßige äußere Untersuchung findet bei feststehenden Dampfkesseln alle zwei Jahre, bei beweglichen und Schiffsdampfkesseln alle Jahre statt. Bei letzteren muß der Kessel im Betriebe sein, bei feststehenden und beweglichen Dampfkesseln ist der Zeitpunkt der Untersuchung so zu wählen, daß der Kessel voraussichtlich im Betrieb angetroffen wird. Die regelmäßige äußere Untersuchung kommt bei den feststehenden und den beweglichen Kesseln in denjenigen Jahren, in denen eine regelmäßige innere Untersuchung oder Wasserdruckprobe vorgenommen wird, als selbständige Untersuchung in Fortfall.

III. Die regelmäßige innere Untersuchung ist bei feststehenden Kesseln alle vier Jahre, bei beweglichen alle drei Jahre und bei Schiffsdampfkesseln alle zwei Jahre vorzunehmen.

IV. Die regelmäßige Wasserdruckprobe findet bei feststehenden Kesseln mindestens alle acht Jahre, bei beweglichen und Schiffsdampfkesseln

¹⁾ Gilt für Preußen.

mindestens alle sechs Jahre statt und ist mit der in demselben Jahre fälligen inneren Untersuchung möglichst zu verbinden. Müssen die Revisionstermine aus besonderen Gründen einmal in verschiedene Jahre gelegt werden, so sind sie bei der nächsten Gelegenheit wieder zu vereinigen. Ausnahmen von letzterer Regel sind bei Kesseln von Mitgliedern solcher Dampfkesselüberwachungsvereine zulässig, welche für die inneren Untersuchungen Fristen einhalten, die mit der nach dem vorstehenden Absatz III vorgeschriebenen Frist für die innere Untersuchung nicht im Einklange stehen.

V. Die innere Untersuchung kann nach Ermessen des Prüfers durch eine Wasserdruckprobe ergänzt werden. Sie ist stets durch eine Wasserdruckprobe zu ergänzen bei Kesselkörpern, welche ihrer Bauart halber nicht genügend besichtigt werden können.

38. Dienstvorschriften für Kesselwärter.

(Herausgegeben vom Zentralverbande der Preußischen Dampfkesselüberwachungs-Vereine.)

Allgemeines.

1. Die Kesselanlage ist stets rein, gut erleuchtet und von allen nicht dahingehörigen Gegenständen freizuhalten.
2. Der Kesselwärter darf Unbefugten den Aufenthalt in den Kesselanlagen nicht gestatten.
3. Der Kesselwärter ist für die Wartung des Kessels verantwortlich; er darf den Kessel während des Betriebes nicht ohne Aufsicht lassen.

Inbetriebsetzung des Kessels.

4. Vor dem Füllen des Kessels ist festzustellen, ob er im Innern gereinigt ist und Fremdkörper aus ihm entfernt sind. Alle zu ihm gehörigen Vorrichtungen müssen gangbar und deren Zuführungen zum Kessel frei sein.
5. Das Anheizen soll langsam und erst erfolgen, nachdem der Kessel mindestens bis zur Höhe des festgesetzten niedrigsten Wasserstandes gefüllt ist.
6. Während des Anheizens ist das Dampfventil geschlossen und der Dampfraum mit der äußeren Luft in offener Verbindung zu erhalten. Auch das Nachziehen der Dichtungen hat während dieser Zeit zu erfolgen.
7. Die Wasserstandsvorrichtungen sind vor und während des Anheizens zu prüfen, das Manometer ist stetig zu beobachten.

Betrieb des Kessels.

8. Hähne und Ventile sind langsam zu öffnen und zu schließen.
9. Der Wasserstand soll möglichst gleichmäßig gehalten werden und darf nicht unter die Marke des festgesetzten niedrigsten Standes sinken.

10. Die Wasserstandsvorrichtungen sind unter Benutzung aller Hähne oder Ventile, täglich recht oft zu prüfen. Unregelmäßigkeiten, insbesondere Verstopfungen sind sofort zu beseitigen.
11. Die Speisevorrichtungen sind täglich sämtlich zu benutzen und stets in brauchbarem Zustande zu erhalten.
12. Das Manometer ist zeitweise vorsichtig auf seine Gangbarkeit zu prüfen.
13. Der Dampfdruck soll die festgesetzte höchste Spannung nicht überschreiten.
14. Die Sicherheitsventile sind täglich durch vorsichtiges Anheben zu lüften. Jede Änderung der Belastung der Sicherheitsventile ist untersagt.
15. Beim jedesmaligen Öffnen der Feuertüren ist der Zug zu vermindern.
16. Vor und während Stillstandspausen ist der Kessel aufzuspeisen und der Zug zu vermindern.
17. Beim Schichtwechsel darf der abtretende Kesselwärter sich erst dann entfernen, wenn der antretende Wärter alles in ordnungsmäßigem Zustande übernommen hat.
18. Sinkt das Wasser unter die Marke des niedrigsten Standes, so ist die Einwirkung des Feuers aufzuheben und dem Vorgesetzten unverzüglich Anzeige zu erstatten.
19. Steigt der Dampfdruck zu hoch, so ist der Kessel zu speisen und der Zug zu vermindern. Genügt dies nicht, so ist die Einwirkung des Feuers aufzuheben.
20. Bei Beendigung des Kesselbetriebes hat der Kesselwärter den Dampf tunlichst wegzuarbeiten, das Feuer allmählich zu mäßigen und eingehen zu lassen bzw. vom Kessel abzusperrn, den Rauchschieber zu schließen und den Kessel aufzuspeisen.
21. Bei außergewöhnlichen Erscheinungen, Undichtheiten, Beulen, Erglühen von Kesselteilen usw. ist die Einwirkung des Feuers sofort aufzuheben und dem Vorgesetzten unverzüglich Meldung zu erstatten.
22. Das Decken (Bänken) des Feuers nach Beendigung der Arbeitszeit ist nur gestattet, wenn der Kessel unter Aufsicht bleibt. Außerdem darf der Rauchschieber nicht ganz geschlossen und der Rost nicht ganz bedeckt werden.

Außerbetriebsetzung des Kessels.

23. Das vollständige Entleeren des Kessels darf erst vorgenommen werden, nachdem das Feuer entfernt und das Mauerwerk genügend abgekühlt ist. Muß die Entleerung unter Dampfdruck erfolgen, so darf dies nur mit höchstens 1 Atmosphäre Überdruck geschehen.

24. Das Einlassen von kaltem Wasser in den eben entleerten, heißen Kessel ist streng untersagt.
25. Bei Frostwetter sind außer Betrieb zu setzende Kessel und deren Rohrleitungen gegen Einfrieren zu schützen.

Reinigung des Kessels.

26. Kesselstein und Schlamm sind aus dem Kessel oft und gründlich zu entfernen. Das Abklopfen des Kesselsteins darf nicht mit zu scharfen Werkzeugen ausgeführt werden.
27. Die Züge und die Kesselwandungen sind oft und gründlich von Flugasche und Ruß zu reinigen.
28. Der zu befahrende Kessel muß von den mit ihm verbundenen und im Betriebe befindlichen Kesseln in allen Rohrverbindungen durch genügend starke Blindflanschen oder durch Abnehmen von Zwischenstücken sichtbar abgetrennt werden. Die Feuerungseinrichtungen sind sicher abzusperren.
29. Der Kesselwärter hat sich von der stattgehabten gründlichen Reinigung des Kessels und der Züge persönlich zu überzeugen. Dabei sind die Kesselwandungen genau zu besichtigen und ist der Zustand des Kesselmauerwerks zu untersuchen. Unregelmäßigkeiten sind sofort zur Anzeige zu bringen und zu beseitigen.

X. Abschnitt.

Beispiele für die Berechnung von Dampfkesseln.

39. Mehrfacher Walzenkessel (Taf. IX, Fig. 2).

Es ist ein Batteriekessel zu entwerfen, der bei mäßigem Betriebe stündlich $D = 840$ kg Dampf von $p = 10$ at Überdruck liefert. Brennstoff: Steinkohle.

Heizfläche H .

Mit Batteriekesseln läßt sich bei mäßigem Betriebe eine Heizflächenbeanspruchung $\frac{D}{H} = 12$ kg erzielen (vgl. Tabelle auf S. 24). Danach ergibt sich

$$H = \frac{D}{\left(\frac{D}{H}\right)} = \frac{840}{12} = 70 \text{ qm.}$$

Rostfläche R .

Die Größe der Rostfläche berechnet sich aus der stündlichen Brennstoffmenge B . Sie ist, wenn gemäß Tabelle auf S. 25 hier für Steinkohle eine $d = 5,5$ fache Verdampfung zugrunde gelegt wird, zu

$$B = \frac{D}{d} = \frac{840}{5,5} = 152,7 \approx 153 \text{ kg}$$

Da es im allgemeinen zu vermeiden ist, mit der Rostbelastung $\frac{B}{R}$ bei Steinkohle unter 70 kg herunterzugehen (Tabelle auf S. 23), so folgt:

$$R = \frac{B}{\left(\frac{B}{R}\right)} = \frac{153}{70} = 2,19 \approx 2,2 \text{ qm.}$$

Wird eine Rostbreite von 1,4 m gewählt, so ist der Rost

$$l = \frac{2,2}{1,4} \approx 1,6 \text{ m}$$

lang zu machen.

Hauptabmessungen des Kessels.

Es werde ein Kessel mit zwei Oberkesseln und zwei Unterkesseln angenommen. Der Durchmesser des Oberkessels kann genommen werden zu:

$$d_1 = 0,12 \sqrt{H} = 0,12 \sqrt{70} = 0,12 \cdot 8,366 = 1,004$$

$$d_1 = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm.}$$

Der Durchmesser des Unterkessels wird:

$$d_2 = d_1 - 200 \text{ mm} = 800 \text{ mm.}$$

Die Entfernung von Mitte Oberkessel bis Mitte Oberkessel wird:

$$d_1 + 150 = 1150 \text{ mm.}$$

Der Abstand der Längsmauern voneinander wird:

$$b = 2 d_1 + 400 = 2400 \text{ mm.}$$

Die kleinste Entfernung von Mitte Oberkessel zu Mitte Unterkessel wird:

$$\frac{d_1 + d_2}{2} + 400 = 1300 \text{ mm.}$$

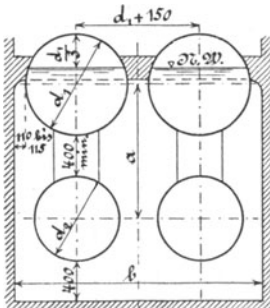


Abb. 448.

Die Breite der Feuerbrücke sei: 0,38 m. Es sei nun l_1 die Länge des Mantels des Oberkessels und l_2 die Länge des Mantels des Unterkessels, gerechnet bis Hinterkante des Mantels des Oberkessels.

Von der Feuerbrücke bis zum Mantel des Unterkessels nehmen wir etwa 0,5 m, hier der Abrundung wegen 0,52 m, dann ist die Länge des Unterkessels

$$l_2 = l_1 - 1,6 - 0,38 - 0,52$$

$$l_2 = l_1 - 2,5 \text{ m.}$$

Die Entfernung vom Niedrigwasserspiegel bis zum Scheitel des Kessels sei $\frac{1}{3}d_1 = \frac{1}{3}1000 = 333$, dafür rund 335 mm, dann ist von Mitte Kessel bis Niedrigwasserspiegel $500 - 335 = 165$ mm. Da die Oberkante des Zuges 100 mm unter diesem Wasserspiegel liegen soll, so bleibt von Mitte Kessel bis Oberkante Zug 65 mm. Dann ist der von den Gasen bestrichene Umfang des Oberkessels:

$$U_1 = \frac{d_1 \pi}{2} + 2 \cdot 0,065 = 1,57 + 0,130 = 1,7 \text{ m}$$

und der entsprechende Umfang des Unterkessels:

$$U_2 = d_2 \pi = 0,8 \pi = 2,513 \text{ m.}$$

Vorläufig kann man nun recht gut die vom Mauerwerke verdeckten Flächen gegen die Flächen der Verbindungsstutzen und der Böden vernachlässigen und bekommt für die eine Kesselhälfte:

$$\frac{H}{2} = 35 = U_1 l_1 + U_2 l_2 = 1,7 l_1 + 2,513 (l_1 - 2,5)$$

$$35 = 4,213 l_1 - 2,513 \cdot 2,5 = 4,213 l_1 - 6,283 .$$

Daraus ergibt sich:

$$l_1 = \frac{35 + 6,283}{4,213} = \frac{41,283}{4,213} = 9,8 \text{ m}$$

und

$$l_2 = 9,8 - 2,5 = 7,3 \text{ m.}$$

Festigkeitsberechnungen.

Oberkessel: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I, $K_z = 3600$ kg/qcm.

Die Blechstärke wird bei Annahme einer zweireihigen, von Hand genieteten Überlappungslängsnaht:

$$s_1 = \frac{d \cdot p \cdot \mathcal{C}}{2 K_z \cdot \varphi} + 0,1 = \frac{100 \cdot 10 \cdot 4,75}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 0,942 + 0,1 = 1,042 \text{ cm,}$$

dafür:

$$s_1 = 1,1 \text{ cm;}$$

die Feuerplatte bekomme eine Stärke von 1,2 cm.

Die Nietstärke wird:

$$\delta = s_1 + 0,8 = 1,9 \text{ cm,}$$

dafür nehmen wir:

$$\delta = 2 \text{ cm.}$$

Ferner wird die Entfernung der Niete vom Blechrande:

$$e = 1,5 \delta = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ cm,}$$

die Teilung der doppelten Längsnaht:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 = 6,7 \text{ cm,}$$

der Nietquerschnitt:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = \frac{2^2 \pi}{4} = 3,14 \text{ qcm.}$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt entfallende Kraft ist:

$$Q = \frac{d \cdot t_2 \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{100 \cdot 6,7 \cdot 10}{2 \cdot 2 \cdot 3,14} = 533 \text{ kg,}$$

was gering genug ist, da der Gleitwiderstand hier 550 bis 650 kg gerechnet werden kann.

Die Entfernung der beiden Nietreihen voneinander ist:

$$e_1 = 0,6 t_2 = 4 \text{ cm,}$$

die Teilung der einreihigen Quernaht:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 = 4,8 \text{ cm.}$$

Unterkessel: Die Blechstärke wird:

$$s_2 = \frac{80 \cdot 10 \cdot 4,75}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 0,753 + 0,1 = 0,85 .$$

Dafür wegen der Schwächung durch die Ausschnitte für die Verbindungsstutzen:

$$s_2 = 0,95 \text{ cm.}$$

Die Nietstärke wird:

$$\delta = s + 0,8 \text{ cm} = 1,75 = \sim 1,8 \text{ cm,}$$

die Entfernung der Nietnaht vom Blechrande:

$$e = 1,5 \cdot 1,8 = 2,7 \text{ cm,}$$

die Teilung der doppelten Längsnaht:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 = 6,18 = \sim 6,2 \text{ cm,}$$

der Nietquerschnitt:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 2,54 \text{ qcm.}$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt entfallende Kraft ist:

$$Q = \frac{d \cdot t_2 \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{80 \cdot 6,2 \cdot 10}{4 \cdot 2,54} = 488 \text{ kg,}$$

was nicht zuviel ist.

Die Teilung der einreihigen Quernaht wird:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 = 4,4 \text{ cm,}$$

die Entfernung der beiden Nietreihen der Längsnaht:

$$e_1 = 0,6 t_2 = 0,6 \cdot 6,2 = 3,7 \text{ cm.}$$

Die Böden des Oberkessels (Taf. IX, Fig. 2d). Nach der Tabelle von Thyssen & Co. (S. 212) erhalten die Böden einen Krümmungsradius von $R = 1200$ mm. Ihre Blechstärke wird also:

$$s_3 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k_z} = \frac{10 \cdot 120}{2 \cdot 650} = 0,92 \text{ cm.}$$

Da an beiden Böden Auflagerkonsole, am vorderen außerdem noch der Wasserstand angebracht werden soll, wird die Blechstärke gewählt zu

$$s_3 = 1,2 \text{ cm.}$$

Die Böden des Unterkessels (Taf. IX, Fig. 2e). Die Tabelle ergibt einen Krümmungsradius $R = 900$ m. Daher wird

$$s_4 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k_z} = \frac{10 \cdot 90}{2 \cdot 650} = 0,69 \text{ cm.}$$

Am hinteren Boden soll nun aber ein Mannloch angebracht werden, während der vordere Boden der Einwirkung sehr heißer Gase ausgesetzt wird. In Anbetracht dessen wird gewählt:

$$s_4 = 1,2 \text{ cm.}$$

Der Dampfsammler. Dieser verbindet die Dampfäume der beiden Oberkessel miteinander. Die Wandstärke wird bei doppelter, von Hand genieteter Längsnaht:

$$s_5 = \frac{70 \cdot 10 \cdot 4,75}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 0,66 + 0,1 = 0,76 = \approx 0,8 \text{ cm.}$$

Die Nietstärke wird:

$$\delta = s + 0,8 \text{ cm} = 0,8 + 0,8 = 1,6 \text{ cm,}$$

die Entfernung der Nietnaht vom Blechrande:

$$e = 1,5 \cdot 1,6 = 2,4 \text{ cm,}$$

die Teilung der doppelten Längsnaht:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 \text{ cm} = 2,6 \cdot 1,6 + 1,5 = 4,16 = \approx 4,2 \text{ cm.}$$

Der nötige Gleitwiderstand ist hier sicher vorhanden.

Für die Rundnaht wird:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 2 \cdot 1,6 + 0,8 = 4 \text{ cm.}$$

Die Stärke des Bodenbleches werde aus praktischen Gründen $s_6 = 1$ cm genommen, während die Rechnung nur

$$s_6 = \frac{10 \cdot 80}{2 \cdot 650} = 0,615 \text{ cm}$$

ergibt.

Die Verbindungsstutzen zur Verbindung der Ober- und Unterkessel und zur Verbindung der Oberkessel mit dem Dampfsammler bekommen eine Wandstärke von **1,2 cm**.

Schußeinteilung.

Oberkessel. Die unmittelbar über dem Rost liegende Feuerplatte rage noch etwa 0,9 m über die Feuerbrücke hinaus, dann wird ihre Länge: Rostlänge + Stärke der Feuerbrückenwand + 0,9 m = 1,6 + 0,38 + 0,9 = 2,88 m; oder von Mitte bis Mitte Rundnaht $2,88 - 2 \cdot 0,03 = 2,82$ m. Nun ist die Mantellänge zwischen den Mittlen der ersten und letzten Rundnaht:

$$9,8 - 2 \cdot 0,03 = 9,74 \text{ m,}$$

es bleibt somit für die übrigen Schüsse eine Länge:

$$9,74 - 2,82 = 6,92 \text{ m.}$$

Werden dafür vier Schüsse gewählt, so würde jeder von Mitte zu Mitte Rundnaht eine Länge von

$$\frac{6,92}{4} = 1,73 \text{ m}$$

erhalten, oder von Rand zu Rand

$$1,73 + 0,06 = 1,79 \text{ m.}$$

Rundet man dieses Maß auf 1800 mm ab, so muß die Feuerplatte eine Länge von

$$9740 - 4(1800 - 60) + 60 = 2840 \text{ mm}$$

von Rand zu Rand erhalten. Die beiden Mantelbleche, welche oberhalb der Feuerplatte einzunieten sind, werden je

$$\frac{2840 - 60}{2} + 60 = 1450 \text{ mm}$$

von Rand zu Rand lang.

Unterkessel. Nach der Zeichnung erhalten die Unterkessel von Mitte des vorderen Stutzens ab gerechnet eine Länge von 6800 mm. Vorn gilt dieses Maß bereits bis Mitte Nietnaht, hinten ist für die Entfernung von Mitte Niet bis zum Rande 27 mm abzuziehen. Somit wird die Mantellänge von Mitte der zweiten Rundnaht bis zur Mitte der Naht am hinteren Boden $6800 - 27 = 6773$ mm. Dafür werden mit Rücksicht auf zweckmäßige Anordnung des hinteren Stutzens 5 Schüsse gewählt, und zwar

4 Schüsse mit je 1355 und 1 Schuß mit 1353 mm Länge. Mit den Überlappungen messen also 4 Schüsse je 1409 und 1 Schuß 1407 mm in der Länge.

Der vor dem vorderen Verbindungsstutzen liegende — sechste — Schuß wird, um den Dampfblasen das Entweichen in den Oberkessel zu erleichtern, nach vorn auf 700 mm verengt. Um nun dadurch die Heizfläche nicht zu verkleinern, wird er etwas länger gemacht, als der errechneten Kessellänge entspricht, und zwar wird er 1,2 m lang.

Die Züge.

Der Fuchs erhält einen Querschnitt gleich dem vierten Teil der Rostfläche = $2,2 : 4 = 0,55$ qm. Wird seine Höhe gleich 0,8 m angenommen, so wäre er 0,7 m breit zu machen.

Die Entfernung zwischen der Feuerbrücke und der hinteren Mauer ergibt sich zu $9,8 + 0,7 - (1,6 + 0,38) - 0,45 = 8,07$ m. Nimmt man nun im ganzen 6 Zwischenwände an, drei hängend und drei stehend, von je 120 mm Stärke, so wird jede so abgeteilte Kammer

$$\frac{8070 - 6 \cdot 120}{7} = 1050 \text{ mm}$$

lang. Damit erhält der Zug an der engsten Stelle in Höhe der Unterkesselmitte einen Querschnitt von:

$$1,05 \cdot (2,4 - 2 \cdot 0,8) = 1,05 \cdot 0,8 = 0,84 \text{ qm,}$$

er wird also $0,84 : 0,56 = 1,5$ mal so groß wie der Fuchsquerschnitt. Soll der Zugquerschnitt über den Zwischenwänden etwa ebensoviel betragen, dann sind diese Wände wie folgt abzugrenzen:

Stehende Zwischenwand. Liegt die Oberkante der Wand o m unter der Mitte der Oberkessel und wird davon abgesehen, daß die obere Zugabdeckung etwas höher als diese Kesselmitte liegt, dann gilt für den Zugquerschnitt oberhalb der Wand:

$$o \cdot 2,4 - \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 0,84 .$$

Daraus folgt

$$o = \frac{0,84 + 0,7854}{2,4} = 0,677 \approx 0,7 \text{ m.}$$

Hängende Zwischenwand. Aus konstruktiven Gründen legt man die Unterkante dieser Wände nicht tiefer als die Mitte der Unterkessel. Macht man nun die Kesselstühle im Mittel 300 mm hoch, so daß also die Sohle der Kammern 700 mm unter der Unterkesselmitte liegen würde, so erhält der Zug unter der Wand einen Querschnitt von

$$0,7 \cdot 2,4 - \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 1,18 \text{ qm.}$$

Er wird somit sehr reichlich bemessen, was aber im Hinblick auf die Aschenablagerung vorteilhaft ist.

Ausrüstung.

Das Sicherheitsventil: Nach S. 276 gilt für den Querschnitt des Ventils:

$$F = 15 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot v_s}{p}} = 15 \cdot 70 \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot 0,1815}{10}} = 4473 \text{ qmm.}$$

Dem entspricht ein Durchmesser

$$d = 75 \text{ mm.}$$

Das Absperrventil: Seine Querschnittsfläche berechnet sich nach S. 262 zu

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{600 \cdot D}{\gamma_s \cdot c}.$$

Nimmt man nach der Tabelle auf S. 24 eine Heizflächenbeanspruchung von 20 kg als erreichbar an, so würde die stündliche Dampfmenge $D = 20 \cdot 70 = 1400$ kg. Aus der Dampftabelle auf S. 12 ergibt sich für $\gamma_s = 5,51$ kg/cbm. Wählt man nun noch die Dampfgeschwindigkeit $c = 25$ m, dann wird

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{600 \cdot 1400}{5,51 \cdot 25} = 6098 \text{ qmm}$$

und

$$d = 88,1 \approx 90 \text{ mm.}$$

Das Speiseventil. Nach vorstehendem ist bei flottem Betriebe $D = 1400$ kg, also nach S. 255:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{D}{c} = \frac{1400}{0,5} = 2800 \text{ qmm}$$

oder

$$d = \approx 60 \text{ mm.}$$

Der Ablaßstutzen. Da beide Unterkessel mit Ablaßstutzen zu versehen sind, gilt für den Durchmesser dieser Stutzen, wenn sie zusammen ungefähr ebensoviel Querschnittsfläche haben sollen wie das Speiseventil:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{2800}{2} = 1400$$

oder

$$d = \approx 40 \text{ mm.}$$

Genauere Berechnung der Heizfläche.

Da alle Schüsse mit Ausnahme desjenigen über dem Roste konisch sind, so können wir rechnen:

für den äußeren Durchmesser des Oberkessels durchweg 1,011 m,

für den äußeren Durchmesser des Unterkessels hinten 0,8095 m,

für den Durchmesser des ersten Schusses am Unterkessel 0,770 m.

Es soll nun zuerst die Heizfläche der einen Hälfte des Kessels berechnet werden.

Es ist die Heizfläche am Mantel des Oberkessels:

$$\left(\frac{1,011\pi}{2} + 2 \cdot 0,065\right) 9,8 = 16,827,$$

am Mantel des Unterkessels, hinten:

$$0,8095 \cdot \pi (6,8 - 0,45) = 16,142,$$

am Mantel des Unterkessels, vorderer Schuß:

$$0,770 \pi \cdot 1,2 = 2,902,$$

an den Mänteln der Verbindungsstutzen:

$$(0,45 + 2 \cdot 0,012) \pi \cdot 0,88 = 1,310,$$

am Oberkesselboden:

$$\frac{1^2 \pi}{4 \cdot 2} + 0,065 \cdot 1 = 0,457,$$

am Unterkesselboden:

$$\frac{0,7^2 \pi}{4} = 0,385$$

zusammen 38,023 qm.

Hiervon geht die Fläche ab, die durch die Verbindungsstutzen fortgenommen wird, und die Fläche, die von dem Mauerwerke der Zwischenwände und der Schutzkappe am Vorderschusse des Unterkessels verdeckt wird:

Es geht also ab:

durch die Verbindungsstutzen:

$$4 \cdot \frac{0,474^4 \pi}{4} = 0,705,$$

durch Verdecken am Oberkessel:

$$3 \cdot 0,12 \left(\frac{1,011\pi}{2} + 2 \cdot 0,065\right) = 0,618,$$

durch Verdecken am Unterkessel:

$$4 \cdot 0,120 \cdot 0,8095 \pi = 1,220,$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0,120 \cdot 0,770 \pi = 0,157,$$

$$0,65 \cdot 0,2 = 0,130$$

zusammen 2,830 qm.

Es bleiben also:

$$38,023 - 2,830 = 35,193 \text{ qm},$$

und für den ganzen Kessel ergibt sich die Heizfläche zu:

$$H = 2 \cdot 35,193 = 70,386 \text{ qm}.$$

40. Einflammrohrkessel. (Hierzu Tafel V.)

Es ist ein Einflammrohrkessel zu berechnen, der stündlich $D = 540$ kg Dampf von $p = 8$ at Überdruck liefert. Brennstoff: Steinkohle.

Heizfläche H .

Als Dampfleistung mäßig beanspruchter Einflammrohrkessel kann nach der Tabelle auf S. 24 15 kg je qm Heizfläche und Stunde angenommen werden. Dann wird

$$H = \frac{D}{\left(\frac{D}{H}\right)} = \frac{540}{15} = 36 \text{ qm.}$$

Rostfläche R .

Ergibt die verfeuerte Steinkohle eine 6fache Verdampfung (Tabelle auf S. 25), so werden stündlich

$$B = \frac{D}{6} = \frac{540}{6} = 90 \text{ kg}$$

Kohle verbrannt.

Dazu ist eine Rostfläche von

$$R = \frac{B}{70} = \frac{90}{70} = \approx 1,3 \text{ qm erforderlich,}$$

wenn in Anbetracht späterer größerer Anstrengung des Kessels mit der sehr niedrigen Rostbelastung von 70 kg Steinkohle je qm Rostfläche und Stunde (s. Tabelle S. 23) gerechnet wird.

Hauptabmessungen des Kessels.

Wenn nicht besondere Bedingungen wegen des Platzes gestellt sind, so kann man den Durchmesser eines Einflammrohrkessels zu

$$d = 0,26 \sqrt{H} \text{ Meter}$$

annehmen.

Hier wird dann:

$$d = 0,26 \sqrt{36} = 1,56 = \approx 1,6 \text{ m.}$$

Der Flammrohrdurchmesser kann dann zu

$$d_1 = \frac{d}{2} = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ m}$$

angenommen werden. Wir nehmen gewölbte Böden und wählen solche mit Einhalsung nach der Tabelle von Thyssen & Co. (S. 214), mit $d'_1 = 800$ mm; $s = 16$ mm; $H = 245$ mm; $h = 90$ mm; $h_1 = 75$ mm; $x = 60$ mm; $c = 150$ mm; $b = 160$ mm; $R = 2200$ mm.

Der innere Durchmesser der Einhalsung bzw. Aushalsung und somit der äußere Durchmesser des Flammrohres ist also:

$$d'_1 = 800 \text{ mm.}$$

Den inneren Flammrohrdurchmesser können wir dann vorläufig zu:

$$d_1 = 800 - 25 = 775 \text{ mm} = 0,775 \text{ m}$$

ansetzen. Hiermit wird die Rostlänge:

$$l_r = \frac{1,3}{0,775} = 1,675 = \approx 1,7 \text{ m.}$$

Setzen wir die Feuerbrückenlänge $l_f = 0,25 \text{ m}$, so wird die Länge des Rostes mit Feuerbrücke:

$$l_r = l_r + l_f = 1,95 \text{ m.}$$

Die Zugführung sei nun folgende:

- I. Flammrohr,
- II. eine Seite des Mantels nach vorn,
- III. andere Seite des Mantels nach hinten.

Der Niedrigwasserspiegel liege um

$$\frac{d}{4} = \frac{1600}{4} = 400 \text{ mm}$$

über der Mitte des Kessels. Die Oberkanten der Seitenzüge liegen um 100 mm tiefer, also 300 mm über Kesselmitte. Zeichnet man nun den Querschnitt des Kessels in einfachen Linien im Maßstabe 1 : 10 auf, so findet man, daß von der Kesselmitte bis zur Oberkante der Seitenzüge noch eine Manteloberfläche von etwa 310 mm Höhe liegt.

Die Größe des letzten Zuges kann man zu

$$\frac{1}{4}R = \frac{1}{4} \cdot 1,3 = 0,32 \text{ qm}$$

annehmen.

Ist der Zwischenraum zwischen Kessel und Sohle der Züge 350 mm hoch, so wird der vorn unter dem Kessel durchgehende Verbindungskanal der beiden Seitenzüge, dem wir die Größe $\approx 0,35 \text{ qm}$ geben wollen, die Breite $\frac{0,35 \text{ qm}}{0,35 \text{ m}} = 1 \text{ m}$ bekommen.

Ist L die Länge des Kessels¹⁾ und berücksichtigt man, daß vorn eine Mantellänge von 0,38 m, hinten eine solche von $\frac{0,25}{2} = 0,125$, also zusammen

$$0,38 + 0,125 = 0,505 \text{ m}$$

¹⁾ Der Einfachheit halber rechnen wir als Länge L immer die eigentliche Mantellänge, dann wird allerdings bei gewölbten Böden die Heizfläche des Kessels etwas größer als bei ebenen Böden.

vom Mauerwerk verdeckt wird, so kann man genau genug die Heizfläche des Mantels rechnen:

$$H_m = 0,6 d \pi (L - 0,505) = 0,6 \cdot 1,6 \pi L - 0,6 \cdot 1,6 \pi \cdot 0,505 \\ = (3,02 L - 1,52) \text{ qm.}$$

Die Heizfläche des Flammrohres wird, wenn man die vom Roste und von der Feuerbrücke verdeckte Fläche abzieht, etwa:

$$H_f = d_1 \pi L - \frac{d_1 \pi}{2} l_r = 0,775 \cdot \pi \cdot L - \frac{0,775 \pi}{2} 1,95 = (2,43 L - 2,37) \text{ qm.}$$

Die Heizfläche des hinteren Bodens kann man rechnen zu:

$$H_b = 0,75 \frac{d^2 \pi}{4} - \frac{d_1^2 \pi}{4} = 0,75 \frac{1,6^2 \pi}{4} - \frac{0,775^2 \pi}{4} = (1,51 - 0,47) \text{ qm.}$$

Dann ist die ganze Heizfläche:

$$H = 36 = H_m + H_f + H_b,$$

also

$$36 = 3,02 L - 1,52 + 2,43 L - 2,37 + 1,51 - 0,47 = 5,45 L - 2,85 . \\ 5,45 L = 38,85 .$$

$$L = \frac{38,85}{5,45} = 7,13 \text{ m} = \sim 7,15 \text{ m.}$$

Genauer würde man folgendermaßen rechnen:

Es ist:

der Umfang des Mantels bis Oberkante Kanal:

$$0,5 \cdot 1,6 \cdot \pi = 2,51 \\ + 2 \cdot 0,31 = 0,62 \\ \hline U_m = 3,13 \text{ m,}$$

der Umfang des Flammrohrs:

$$U_f = 0,775 \pi = 2,43 \text{ m,}$$

die Heizfläche des hinteren Bodens:

$$\frac{1,6^2 \pi}{4} \cdot 0,5 = 1,00 \text{ qm} \\ + 1,55 \cdot 0,3 = 0,46 \text{ ,,} \\ \hline 1,46 \text{ qm} \\ - \frac{0,775^2 \cdot \pi}{4} = 0,47 \text{ ,,} \\ \hline H_b = 0,99 \text{ qm.}$$

Die vom Roste verdeckte Fläche ist:

$$H_r = 0,5 \cdot 0,775 \cdot \pi \cdot 1,95 = 2,37 \text{ qm.}$$

Vom äußeren Mantel wird verdeckt:

Vorn eine Mantellänge von 0,38 m, hinten eine solche von

$$\frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ m,}$$

außerdem unten durch die Mauerwerkszunge von der Breite 0,12 m eine Fläche:

$$H_z = 0,12 (L - 0,38 - 1 - 0,125) = 0,12 (L - 1,505) \text{ qm.}$$

Dann ist:

$$H = 36 = U_m (L - 0,38 - 0,125) + U_f \cdot L - H_r + H_b - H_z,$$

$$36 = 3,13 (L - 0,505) + 2,43 L - 2,37 + 0,99 - 0,12 (L - 1,505),$$

$$36 = (3,13 + 2,43 - 0,12) L - 0,505 \cdot 3,13 - 2,37 + 0,99 + 1,505 \cdot 0,12,$$

$$36 = 5,44 L - 2,7,$$

$$5,44 L = 36 + 2,7 = 38,7,$$

$$L = 7,12 \text{ m} = \sim 7,15 \text{ m.}$$

In diesem Falle erhalten wir also durch beide Rechnungen dasselbe. Gehen jedoch die Gase in einem zweiten Zuge am ganzen wasserberührten Mantel entlang und im dritten Zuge über den Kessel, so wird die Differenz etwas größer.

Festigkeitsberechnungen.

Kesselmantel: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_z = 3600 \text{ kg}$ für 1 qcm.

Angenommen zweireihige mit Maschine genietete Überlappungs-nietung in der Längsnaht.

Blechstärke:

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \zeta}{2 K_z \cdot \varphi} + 0,1 = \frac{160 \cdot 8 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 1,24 \text{ cm,}$$

dafür

$$s = 1,3 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$\delta = 1,3 + 0,8 = 2,1 = \sim 2,2 \text{ cm.}$$

Nietquerschnitt:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 3,8 \text{ qcm.}$$

Nietteilung für doppelreihige Längsnaht:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 \text{ cm} = 2,6 \cdot 2,2 + 1,5 = 7,2 \text{ cm.}$$

Dann kommt auf 1 qcm Nietquerschnitt die ein Gleiten anstrebende Kraft:

$$Q = \frac{d \cdot t_2 \cdot p}{2n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{160 \cdot 7,2 \cdot 8}{2 \cdot 2 \cdot 3,8} = 605 \text{ kg,}$$

was zulässig ist.

Die Teilung für die einreihige Rundnaht:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 2 \cdot 2,2 + 0,8 = 5,2 \text{ cm.}$$

Für die Rundnaht würde die auf 1 qcm Nietquerschnitt entfallende Kraft sein:

$$Q_1 = \frac{d \cdot t_1 p}{4n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{160 \cdot 5,2 \cdot 8}{4 \cdot 1 \cdot 3,8} = 483 \text{ kg,}$$

während bis 700 kg zulässig ist.

Die Entfernung der Nietreihen bei der doppelten Naht:

$$e_1 = 0,6 t_2 = 0,6 \cdot 7,2 = 4,3 \text{ cm.}$$

Die Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ cm.}$$

Flammrohr: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I. Das Flammrohr werde durch die Adamsonsche Versteifung in Abständen von etwa 1,2 m versteift und mit Längsschweißnaht versehen.

Blechstärke:

$$s_1 = \frac{p \cdot d_1}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \cdot \frac{l}{l + d_1}} \right) + 0,2.$$

Die Entfernung von wirksamer Versteifung zu wirksamer Versteifung sei:

$$l = 120 \text{ cm.}$$

Dann wird:

$$s_1 = \frac{8 \cdot 77,5}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{80}{8} \cdot \frac{120}{120 + 77,5}} \right) + 0,2 = 0,95 + 0,2 = 1,15,$$

dafür

$$s_1 = 1,2 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$d = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ cm.}$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8 \text{ cm.}$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ cm.}$$

Kesselboden: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I.

Blechstärke:

$$s_2 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k_z} = \frac{8 \cdot 220}{2 \cdot 650} = 1,36 \text{ cm, } ^1)$$

dafür aber nach Tabelle von Thyssen & Co.:

$$s_2 = 1,6 \text{ cm.}$$

Dom: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_z = 3600 \text{ kg/qcm}$.

Es werde der Durchmesser $d_2 = 650 \text{ mm}$, die Höhe des Dommantels = 700 mm genommen.

Blechstärke:

$$s_3 = \frac{d_2 \cdot p \cdot \zeta}{2 K_z \varphi} + 0,1 = \frac{65 \cdot 8 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,56} + 0,1 = 0,68 \text{ cm,}$$

dafür

$$s_3 = 1,0 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$\delta = s_3 + 0,8 \text{ cm} = 1,8 \text{ cm.}$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 4,4 \text{ cm.}$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 2,7 \text{ cm.}$$

Der erforderliche Widerstand gegen Gleiten ist hier sicher vorhanden.

Domboden: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I.

Der Boden werde am Mannlochrande mit einer Umbördelung versehen und bekomme die Blechstärke:

$$s_4 = 20 \text{ mm.}$$

Versteifungsring am Mannloch im Kesselmantel. (Abb. 257.)

Das Mantelblech war mit $\varphi = 0,7$ berechnet, also wird:

$$2b \cdot c = a \cdot \varphi \cdot s.$$

Mit $c = 20 \text{ mm}$ wird:

$$2 \cdot b \cdot 20 = 300 \cdot 0,7 \cdot 13,$$

$$b = \frac{300 \cdot 0,7 \cdot 13}{40} = 68,3 = \sim 68 \text{ mm.}$$

Wegen der Schwächung des Ringes durch die Nietlöcher muß man

$$b = 68 + 22 = 90 \text{ mm}$$

machen.

¹⁾ Nach den Bauvorschriften für Landkessel, Absatz VII, kann man bei solchen durch Aus- oder Einhalzung versteiften Böden mit k_z bis 750 kg gehen.

Anzahl der Nieten im halben Ringe:

$$n = \frac{d \cdot a \cdot p}{1000 \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{160 \cdot 30 \cdot 8}{1000 \cdot 3,8} = 10,1 \text{ dafür } 10.$$

Man macht nun vielleicht (Abb. 257):

$$e = 30 ; e_1 = 30 .$$

Einteilung der Mantelschüsse.

Der Kessel hat eine Mantellänge von $L = 7150$ mm, daraus ergibt sich die Länge von erster bis letzter Rundnaht zu

$$L' = 7150 - 66 = 7084 \text{ mm.}$$

Nimmt man 5 Schüsse an, so bekommt einer die Länge

$$\frac{7084}{5} = 1416,8 \text{ mm,}$$

dafür

$$4 \text{ Schüsse zu } 1417 = 5668 \text{ mm}$$

und

$$1 \text{ Schuß zu } 1416 = \frac{1416 \text{ mm}}{7084 \text{ mm}}$$

Oder man nimmt gleich 5 Schüsse zu 1417, da es auf das eine Millimeter nicht ankommt.

Mit Überlappung bekommen die Schüsse die Längen $1417 + 66 = 1483$ und $1416 + 66 = 1482$ mm.

Nimmt man für einen Schuß ein Blech, so erhält man von Mitte Längsnaht bis Mitte Längsnaht:

a) Bei einem großen Schusse

$$\pi(1600 + 13) = 5068 \text{ mm.}$$

b) Bei einem kleinen Schusse

$$\pi(1600 - 13) = 4976 \text{ mm.}$$

Somit beträgt die Blechlänge im bearbeiteten Zustande:

für a)

$$5068 + 43 + 2 \cdot 33 = 5177 \text{ mm,}$$

für b)

$$4976 + 43 + 2 \cdot 33 = 5085 \text{ mm.}$$

Einteilung des Flammrohres.

Unter Berücksichtigung der Bödenabmessungen wird die ganze Länge des Flammrohres:

$$L_f = 7084 - 2 \cdot 33 + 2 \cdot 60 + 2 \cdot 60 = 7258 .$$

Wählt man 6 Schüsse, so bekommt man 5 Zwischenlagen zu 12 mm mit zusammen $5 \cdot 12 = 60$ mm Länge.

Mithin bleiben:

$$7258 - 60 = 7198 \text{ mm.}$$

Ein Schuß würde dann die Länge

$$\frac{7198}{6} = 1199,66 \text{ mm}$$

bekommen, dafür nehmen wir:

$$5 \text{ Schüsse zu } 1200 = 6000 \text{ mm,}$$

$$1 \text{ Schuß zu } 1198 = 1198 \text{ mm,}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 7198 \text{ mm.}$$

Ausrüstung.

Das Sicherheitsventil. Es wird nach S. 276

$$F = 15 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot v_s}{p}} = 15 \cdot 36 \sqrt{\frac{1000 \cdot 0,2194}{8}} = 2830 \text{ qmm}$$

und danach

$$d \approx 60 \text{ mm.}$$

Das Absperrventil. Die stündliche Dampfmenge kann bei flottem Betriebe gerechnet werden zu (vgl. Tabelle S. 24):

$$D = 25 \cdot H = 25 \cdot 36 = 900 \text{ kg.}$$

Dann wird, wenn $c = 25$ m gesetzt wird,

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{600 \cdot D}{\gamma_s \cdot c} = \frac{600 \cdot 900}{4,56 \cdot 25} = 4737 \text{ qmm,}$$

also

$$d = 77,6 \approx 80 \text{ mm.}$$

Das Speiseventil. Für $c = 0,5$ m (s. S. 255) wird

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{D}{c} = \frac{900}{0,5} = 1800 \text{ qmm.}$$

und

$$d = 47,9 \approx 50 \text{ mm.}$$

Die Ablaßvorrichtung. Die Weite des Ablaßstutzens wird gleich der des Speiseventils gewählt, also

$$d = 50 \text{ mm.}$$

41. Zweiflammrohrkessel. (Hierzu Tafel VI.)

Für eine stündliche Dampfmenge $D = 950$ kg und eine Dampfspannung von 8,5 at Überdruck ist ein Zweiflammrohrkessel zu berechnen.

Die Rostfläche soll unter Berücksichtigung nachstehender Angaben bestimmt werden:

Brennstoff: Steinkohle mit folgender Zusammensetzung: 70,6% C, 5,1% H, 0,7% S, 16,4% O, 3% Feuchtigkeit, 4,3% Asche. Wirkungsgrad: der Feuerung $\eta_1 = 0,9$, der Heizfläche $\eta_2 = 0,7$.

Vorwärmung: Das Wasser gelangt mit $t_0 = 60^\circ \text{C}$ in den Kessel.

Heizfläche H .

Mit Zweiflammrohrkesseln läßt sich bei mäßigem Betriebe eine Dampfleistung von 16 kg je qm Heizfläche und Stunde erzielen (Tabelle auf S. 24). Danach wird

$$H = \frac{D}{16} = \frac{950}{16} = 59,3 = \infty 60 \text{ qm.}$$

Rostfläche R .

Für die Größe der Rostfläche gilt

$$R = \frac{B}{\left(\frac{B}{R}\right)}.$$

Der danach zur Berechnung der Rostfläche erforderliche Wert $\left(\frac{B}{R}\right)$, die Rostbelastung, kann wie bei den früheren Rechnungsbeispielen nach der Tabelle auf S. 23 angenommen werden. Dagegen ist es hier möglich, die stündliche Brennstoffmenge zu berechnen.

Nach Abschnitt 11 B auf S. 27 ist nämlich:

$$\eta = \frac{D \cdot \lambda_k}{B \cdot W} \quad \text{oder} \quad B = \frac{D \cdot \lambda_k}{\eta \cdot W}.$$

Darin bedeutet λ_k die Wärmemenge, welche jedem kg Wasser, das in den Kessel gelangt, zuzuführen ist, ehe es als Dampf den Kessel verläßt. Im vorliegenden Fall tritt nun das Wasser auf 60° vorgewärmt in den Kessel, so daß also jedes kg Wasser $q_0 = \infty 60$ WE mitbringt. Wäre das nicht der Fall, so wäre zur Dampfbildung je kg eine Wärmemenge von $\lambda = q + r$ voll aufzuwenden. Hier sind dazu also nur $q - q_0 + r$ WE erforderlich. Das träfe aber nur zu, wenn der dem Kessel entströmende Dampf völlig trocken wäre. Nun enthält der in Flammrohrkesseln erzeugte Dampf erfahrungsgemäß etwa 2 bis 3% Nässe — angenommen 3% — so daß in 1 kg Rohdampf $x = 0,97$ kg Trockendampf vorhanden wäre. Wird das ebenfalls berücksichtigt, so folgt nach Abschnitt 3 B auf S. 6:

$$\lambda_k = q - q_0 + x \cdot r$$

und wenn noch die Werte für q und r bei einem Dampfdruck von 9,5 at abs. aus der Dampftabelle (S. 12) entnommen werden:

$$\lambda_k = 178,6 - 60 + 0,97 \cdot 484,5 = \infty 589 \text{ WE.}$$

Der Gesamtwirkungsgrad η ist nach Abschnitt 11 B auf S. 26:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63 .$$

Der Heizwert W der zu verfeuernden Steinkohle ist nach Abschnitt 7 auf S. 19:

$$\begin{aligned} W &= 8100 \cdot c + 29000 \left(h - \frac{o}{8} \right) + 2500 \cdot s - 600 \cdot w \\ &= 8100 \cdot 0,706 + 29000 \left(0,051 - \frac{0,164}{8} \right) + 2500 \cdot 0,007 - 600 \cdot 0,03 \\ &= 6602,6 = \approx 6600 \text{ WE.} \end{aligned}$$

Es wird daher:

$$B = \frac{950 \cdot 589}{0,63 \cdot 6600} = \approx 135 \text{ kg.}$$

was einer $d = \frac{D}{B} = \frac{950}{135} = 7$ fachen Verdampfung entsprechen würde.

Wird nun, wie bei den früheren Rechnungsbeispielen, eine Rostbelastung von 70 kg gewählt, so ergibt sich die erforderliche Größe der Rostfläche:

$$R = \frac{135}{70} = 1,93 \text{ qm.}$$

Hauptabmessungen des Kessels.

Den Durchmesser eines Zweiflammrohrkessels wählt man vorteilhaft:

$$d = 0,24 \sqrt{H} .$$

Hiernach wird:

$$d = 0,24 \sqrt{60} = 1,86 \text{ m} = \approx 1,9 \text{ m.}$$

Der äußere Flammrohrdurchmesser wird:

$$d_1 = \frac{d}{2} - 0,25 = 0,95 - 0,25 = 0,70 \text{ m.}$$

Werden gepreßte Böden mit Ein- oder Aushalsungen für die Flammrohre genommen, so kann man die Flammrohrdurchmesser aus den Tabellen der Hüttenwerke entnehmen.

Rechnet man vorläufig auf eine Flammrohrwandstärke von 10 mm, so ist der innere Flammrohrdurchmesser:

$$d_1 = 0,70 - 0,02 = 0,68 \text{ m.}$$

Hiermit wird die Rostlänge:

$$l_r = \frac{1,93}{2 \cdot 0,68} = 1,42 \text{ m, dafür } 1,4 \text{ m.}$$

Setzt man die Feuerbrückenlänge $l_f = 0,25$ m, so wird die Länge des Rostes mit Feuerbrücke $l'_r = l_r + l_f = 1,65$ m.

Die Zugführung sei nun folgende:

I. Beide Flammrohre, II. eine Seite des Mantels nach vorn, III. andere Seite des Mantels nach hinten.

Die Böden werden nach Tabelle von Thyssen & Co. in Mülheim a. d. Ruhr genommen mit

$$b = 115 \text{ mm}; \quad c = 850 \text{ mm}; \quad R = 2800 \text{ mm}; \quad w = 780 \text{ mm}; \\ H = 300 \text{ mm}; \quad h_1 = 75 \text{ mm}; \quad h = 100 \text{ mm}; \quad y = 425 \text{ mm}.$$

Für den hinteren Boden ergibt sich noch $x = 55$ mm. Eine Speisestutzenfläche soll nicht angepreßt sein. Setzt man den oberen Wasserstandsstutzen um w über die Mitte der Flammrohre¹⁾ und rechnet von dort bis zum Niedrigwasserspiegel 220 mm, so wird die Entfernung von Mitte Kessel bis zum Niedrigwasserspiegel:

$$w - b - 220 = 780 - 115 - 220 = 445 \text{ mm}.$$

Die Seitenzüge liegen 100 mm tiefer als der Niedrigwasserspiegel, also über Mitte Kessel:

$$445 - 100 = 345 \text{ mm}.$$

Mitten unter dem Kessel liegt eine Mauerzunge von 0,12 m Stärke, diese ist vorn auf eine gewisse Länge ausgespart, damit die Gase vom einen zum anderen Seitenzuge gehen können. Soll der Querschnitt dieser Öffnung

$$\frac{1}{4} R = \frac{1}{4} 1,93 = 0,48 \text{ m}$$

groß sein, so wird bei 0,40 m Höhe die Breite der Öffnung

$$\frac{0,48}{0,40} = 1,2 \text{ m}.$$

Die Heizfläche des Kessels setzt sich zusammen:

1. Heizfläche des Mantels:

$$H_m = 0,6 d \pi (L - 0,38 - 0,125) = 0,6 \cdot 1,9 \pi L - 0,6 \cdot 1,9 \pi \cdot 0,505 \\ = 3,58 L - 1,81 .$$

2. Heizfläche der Flammrohre:

$$H_f = 2 d_1 \pi L - d_1 \pi (l_r + l_f) = 2 \cdot 0,68 \pi L - 0,68 \pi \cdot 1,65 = 4,27 L - 3,52 .$$

3. Heizfläche des hinteren Bodens:

$$H_b = 0,75 \frac{d^2 \pi}{4} - 2 \frac{d_1^2 \pi}{4} = 0,75 \frac{1,9^2 \pi}{4} - 2 \frac{0,68^2 \pi}{4} = 2,12 - 0,73 .$$

¹⁾ Es ist nicht durchaus nötig, daß die Mitte des oberen Wasserstandsstutzen um w (siehe Abb. 277) über der Mitte der Flammrohre, also gerade auf der Mitte der Abrundung in der am vorderen Boden angebrachten Wasserstandsfläche liegt.

Es ist also:

$$H = 60 = H_m + H_f + H_b,$$

also:

$$60 = 3,58 L - 1,81 + 4,27 L - 3,52 + 2,12 - 0,73 = 7,85 L - 3,94$$

$$7,85 L = 60 + 3,94$$

$$L = \frac{63,94}{7,85} = 8,15 = \sim 8,2 \text{ m.}$$

Oder man rechnet wie folgt:

Es ist der Umfang des Mantels bis Oberkante Kanal

$$0,5 \cdot 1,9 \pi = 2,98$$

$$+ 2 \cdot 0,345 = 0,69$$

$$\underline{U_m = 3,67 \text{ m,}}$$

der Umfang der Flammrohre:

$$U_f = 2 \cdot 0,68 \cdot \pi = 4,27 \text{ m.}$$

Ferner ist die Heizfläche des hinteren Bodens:

$$\frac{1,9^2 \pi}{4} \cdot 0,5 = 1,42 \text{ qm}$$

$$+ 1,85 \cdot 0,345 = 0,64 \text{ ,,}$$

$$\underline{2,06 \text{ qm}}$$

$$- \frac{0,68^2 \pi}{4} \cdot 2 = 0,73 \text{ ,,}$$

$$\underline{H_b = 1,33 \text{ qm.}}$$

Die vom Roste verdeckte Fläche ist:

$$H_r = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,68 \cdot \pi \cdot 1,65 = 3,52 \text{ qm.}$$

Am äußeren Mantel wird verdeckt:

Vorn eine Mantellänge von 0,38 m, hinten eine solche von

$$\frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ m,}$$

also zusammen eine Länge von

$$0,38 + 0,125 = 0,505 \text{ m,}$$

außerdem unten durch die Mauerwerkszunge, wenn L die Länge des Kesselmantels ist, eine Fläche

$$H_z = 0,12 (L - 0,38 - 1,2) = 0,12 (L - 1,58) .$$

Damit ist:

$$H = 60 = U_m(L - 0,505) + U_f L - H_r + H_b - H_z$$

$$60 = 3,67(L - 0,505) + 4,27L - 3,52 + 1,33 - 0,12(L - 1,58)$$

$$60 = (3,67 + 4,27 - 0,12)L - 0,505 \cdot 3,67 - 3,52 + 1,33 + 0,12 \cdot 1,58$$

$$60 = 7,82L - 3,85$$

$$L = \frac{60 + 3,85}{7,82} = \approx 8,2 \text{ m.}$$

Festigkeitsberechnungen.

Kesselmantel: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_s = 3600 \text{ kg}$ je qcm. Angenommen zweireihige mit Maschine genietete Überlappungs-nietung in der Längsnaht.

Blechstärke:

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \varnothing}{2 K_s \cdot \varphi} + 0,1 = \frac{190 \cdot 8,5 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 1,44 + 0,1 = 1,54 \text{ cm,}$$

dafür

$$s = 1,6 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,4 \text{ cm} = \sqrt{5 \cdot 1,6} - 0,4 = 2,4 \text{ cm}$$

oder

$$\delta = s + 0,8 = 1,6 + 0,8 = 2,4 \text{ cm.}$$

Nietquerschnitt:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 4,52 \text{ qcm.}$$

Nietteilung für die doppelreihige Längsnaht:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 \text{ cm} = 6,24 + 1,5 = 7,74 = \approx 7,8 \text{ cm.}$$

Dann kommt auf 1 qcm Nietquerschnitt die ein Gleiten anstrebende Kraft:

$$Q = \frac{d \cdot t_2 \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{190 \cdot 7,8 \cdot 8,5}{2 \cdot 2 \cdot 4,52} = 697 \text{ kg,}$$

während bei zweireihiger Nietnaht diese Kraft nur 550 bis 650 kg betragen sollte.

Es dürfte daher hier besser sein, ein stärkeres Niet zu wählen. Nehmen wir an, wir hätten auf Lager alle vorkommenden Niete von 2 zu 2 mm steigend in geraden Zahlen, so nehmen wir hier nicht $\delta = 2,5 \text{ cm}$, sondern $\delta = 2,6 \text{ cm}$. Da nun die Kraft Q nicht sehr viel zu groß ist,

so können wir die Teilung nach der größeren Nietstärke $\delta = 2,6$ cm nehmen und bekommen:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 5,3; \quad t_2 = 2,6 \cdot 2,6 + 1,5 = 8,2 \text{ cm};$$

damit wird:

$$Q = \frac{190 \cdot 8,2 \cdot 8,5}{2 \cdot 2 \cdot 5,3} = 625 \text{ kg},$$

was zulässig ist.

Die Teilung für die einreihige Rundnaht wird:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 6 \text{ cm},$$

damit die auf 1 qcm Nietquerschnitt kommende Kraft:

$$Q_1 = \frac{d \cdot t_1 \cdot p}{4 \cdot n \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{190 \cdot 6 \cdot 8,5}{4 \cdot 1 \cdot 5,3} = 457 \text{ kg},$$

also sehr wenig.

Ferner wird die Entfernung der Nietreihen bei der doppelten Längsnaht:

$$e_1 = 0,6 t_2 = 0,6 \cdot 8,2 = 4,9 \text{ cm} = \sim 5 \text{ cm},$$

die Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 3,9 \text{ cm} = \sim 4 \text{ cm}.$$

Flammrohr: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I.

Blechstärke: Für eine ungefähre Länge $l = 1$ m von wirksamer Versteifung zu wirksamer Versteifung und bei Annahme geschweißter Rohre wird:

$$s_1 = \frac{p \cdot d_1}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p} \frac{l}{l + d_1}} \right) + 0,2,$$

$$s_1 = \frac{8,5 \cdot 68}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{80}{8,5} \frac{100}{100 + 68}} \right) + 0,2 = 0,86 + 0,2 = 1,06 = \sim 1,1 \text{ cm}.$$

Nietstärke:

$$d = s_1 + 0,8 \text{ cm} = 1,1 + 0,8 = 1,9 = \sim 2 \text{ cm}.$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 2 \cdot 2 + 0,8 \text{ cm} = 4,8 \text{ cm}.$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ cm}.$$

Kesselboden: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I.

Blechstärke:

$$s_2 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k_2} = \frac{8,5 \cdot 280}{2 \cdot 650} = 1,83 = \sim 1,9 \text{ cm.}^1)$$

¹⁾ Siehe Anmerkung auf Seite 331.

Dom: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_z = 3600 \text{ kg/qcm}$.
Es werde der Durchmesser $d_2 = 800 \text{ mm}$, die Höhe des Dommantels
auch = 800 mm genommen.

Blechstärke:

$$s_3 = \frac{d_2 \cdot p \cdot \varrho}{2 K_z \cdot \varphi} + 0,1 = \frac{80 \cdot 8,5 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,56} + 0,1 = 0,86 \text{ cm},$$

dafür

$$s_3 = 1 \text{ cm}.$$

Nietstärke:

$$\delta = s_3 + 0,8 \text{ cm} = 1,8 \text{ cm}.$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \delta + 0,8 \text{ cm} = 4,4 \text{ cm}.$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \delta = 2,7 \text{ cm}.$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt in der Längsnaht kommende Kraft wird:

$$Q = \frac{d_2 \cdot t_1 \cdot p}{2 \cdot n \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{80 \cdot 4,4 \cdot 8,5}{2 \cdot 1 \cdot 2,54} = 590 \text{ kg},$$

also sehr wenig.

Eine Untersuchung der Rundnaht am Boden ist nicht erforderlich.

Domboden: Baustoff: Flußeisen, Blechsorte I. Der Krümmungsradius des Bodens ist nach Tabelle von Thyssen & Co. $R = 900 \text{ mm}$.

Blechstärke:

$$s_4 = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k_z} = \frac{8,5 \cdot 90}{2 \cdot 650} = 0,588 = \infty 0,6 \text{ cm}.$$

Dafür mit Rücksicht auf Herstellung und bessere Dichtung am Mannloche:

$$s_4 = 1,2 \text{ cm}.$$

Versteifungsring am Mannloch im Kesselmantel (siehe Abb. 257):

Das Mantelblech war mit $\varphi = 0,7$ berechnet, also wird:

$$2b \cdot c = a \cdot \varphi \cdot s,$$

$$2b \cdot 20 = 300 \cdot 0,7 \cdot 16,$$

$$b = \frac{300 \cdot 0,7 \cdot 16}{40} = \infty 84 \text{ mm}.$$

Wegen der Schwächung des Ringes durch die Nietlöcher muß sein:

$$b = 84 + 26 = 110 \text{ mm}.$$

Anzahl der Niete im halben Ringe:

$$n = \frac{d \cdot a \cdot p}{1000 \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{190 \cdot 30 \cdot 8,5}{1000 \cdot 5,3} = 9,1,$$

dafür

$$n = 9.$$

Es kann

$$e = 40 \text{ mm}, \quad e_1 = 30 \text{ mm}$$

gemacht werden.

Versteifungsring am Mannloch im Domboden:

$$2 \cdot b \cdot c = a \cdot s.$$

Hier muß wegen der Kugelform $a = 400$ genommen werden.

Für s ist hier die durch Rechnung gefundene Wandstärke 6 mm einzusetzen, nehmen wir noch $c = 15$ mm an, so wird:

$$2b \cdot 15 = 400 \cdot 6$$

und

$$b = \frac{400 \cdot 6}{2 \cdot 15} = 80 \text{ mm}.$$

Die Nietstärke nimmt man am besten nach der ausgeführten Blechstärke von 12 mm zu:

$$d = 1,2 + 0,8 \text{ cm} = 2 \text{ cm};$$

also wird die schließliche Breite des Ringes:

$$b = 8 + 2 = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}.$$

Dann ist die erforderliche Anzahl der Niete im halben Ringe:

$$n = \frac{R \cdot p \cdot a}{2 \cdot 500 \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{90 \cdot 8,5 \cdot 40}{1000 \cdot 3,14} = 9,75 = \infty 10 \text{ Stück}.$$

Schlußenteilung.

Mantel: Der Kessel hat eine Mantellänge von 8200 mm, daraus ergibt sich die Länge von erster bis letzter Rundnaht, da $e = 4$ cm sein soll, zu

$$L' = 8200 - 80 = 8120 \text{ mm}.$$

Nimmt man 5 Schüsse an, so bekommt einer von Naht zu Naht die Länge:

$$\frac{8120}{5} = 1624 \text{ mm}$$

und mit Überlappung

$$1624 + 80 = 1704 \text{ mm}.$$

Nimmt man für einen Schuß ein Blech, so erhält man von Mitte Längsnaht bis Mitte Längsnaht:

Bei einem großen Schusse

$$\pi \cdot 1916 = 6019 \text{ mm.}$$

Somit beträgt die Blechlänge im bearbeiteten Zustande, da $e_1 = 5 \text{ cm}$ ist,

$$6019 + 50 + 2 \cdot 40 = 6149 \text{ mm.}$$

Bei einem kleinen Schusse

$$\pi \cdot 1884 = 5919 .$$

Somit beträgt die Blechlänge im bearbeiteten Zustande

$$5919 + 50 + 2 \cdot 40 = 6049 \text{ mm.}$$

Flammrohre: Nach der Bodentabelle auf S. 211 wird

$$y = 425 \text{ mm und } x = 55 \text{ mm.}$$

Nimmt man ferner vorläufig an, daß das Flammrohr um $b = 30 \text{ mm}$ aus dem vorderen Boden herausragt und für die Nietung, mit der das Flammrohr am hinteren Boden befestigt wird, eine Gesamtüberlappung von 66 mm , so wird die Länge des Flammrohres:

$$L_f = 8120 - 2 \cdot 40 + 425 + 30 + 55 + 66 = 8613 \text{ mm.}$$

Wählt man 8 Schüsse, so bekommt man 7 Zwischenlagen zu 11 mm mit zusammen $7 \cdot 11 = 77 \text{ mm}$ Länge.

Mithin bleiben:

$$8613 - 77 = 8536 \text{ mm,}$$

dafür rund 8540 mm , dann wird b 4 mm größer, also $b = 34 \text{ mm}$ und $L_f = 8613 + 4 = 8617 \text{ mm}$.

Das gibt 6 Schüsse zu $1060 = 6360 \text{ mm}$

1 Schuß zu $1040 = 1040 \text{ ,,}$

1 Schuß zu $1140 = 1140 \text{ ,,}$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 8540 \text{ mm.}$$

Bei dem einen Flammrohre ist dann der erste Schuß 1040 mm und der letzte Schuß 1140 mm lang, beim zweiten Flammrohre ist es umgekehrt, so daß alle Flanschen der beiden Rohre um $1140 - 1040 = 100 \text{ mm}$ versetzt sind.

Die Änderung der Flammrohrschußlänge von 1000 , wie zuerst angenommen, auf 1140 mm hat auf die Wandstärke keinen bemerkenswerten Einfluß.

Ausrüstung¹⁾.**Sicherheitsventil:**

$$d = 75 \text{ mm.}$$

Absperrventil:

$$d = 100 \text{ mm} \left(\text{mit } \frac{D}{H} = 25 \text{ und } c = 25 \right).$$

Speiseventil: Mit

$$c = 0,6 \text{ m}$$

wird

$$d = 60 \text{ mm.}$$

Ablaßvorrichtung:

$$d = 60 \text{ mm.}$$

42. Zweiflammrohrkessel mit Überhitzer. (Hierzu Tafel VII.)

Für eine stündliche Leistung von $D = 1800 \text{ kg}$ auf $t' = 300^\circ$ überhitzten Dampf bei 10 at Überdruck ist ein Flammrohrkessel zu entwerfen. Dabei soll folgendes berücksichtigt werden:

Brennstoff: Steinkohle mit $W = 7500 \text{ WE}$ Heizwert, und einem theoretischen Bedarf von $L = 9,2 \text{ kg}$ Verbrennungsluft, werde in der Kesselanlage unter durchschnittlicher Zuführung des $m = 1,8$ fachen dieser Luftmenge verfeuert.

Wirkungsgrad der Feuerung $\eta_1 = 0,85$, der Heizfläche $\eta_2 = 0,80$.
Vorwärmung des Speisewassers erfolge auf $t_0 = 75^\circ$.

Heizfläche H.

Läßt man eine Heizflächenbeanspruchung von $\frac{D}{H} = 18 \text{ kg}$ zu, so ergibt sich

$$H = \frac{1800}{18} = 100 \text{ qm.}$$

Rostfläche R.

Nach Abschnitt 3 C auf S. 6 ist die zur Erzeugung von 1 kg überhitzten Dampf erforderliche Gesamtwärme

$$\lambda' = \lambda + c_{pm} \cdot (t' - t_s) .$$

Im vorliegenden Falle wird

$$\lambda'_k = \lambda + c_{pm}(t' - t_s) - t_0 .$$

da das Wasser, auf $t_0^\circ \text{ C}$ vorgewärmt, in den Kessel gelangt. Setzt man für λ und t_s die der Dampfspannung von 11 at abs. entsprechenden Werte (Dampftabelle S. 12) und für c_{pm} den Wert (Tabelle auf S. 7) ein, welcher dem Temperaturbereich t_s bis $t' = 300^\circ$ bei 11 at abs. entspricht, so erhält man:

$$\lambda'_k = 665 + 0,53(300 - 183) - 75 = \approx 652 \text{ WE.}$$

¹⁾ Berechnung wie beim Einflammrohrkessel.

Damit wird die Verdampfungsziffer:

$$\frac{D}{B} = d = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot W}{\lambda_k} = \frac{0,85 \cdot 0,80 \cdot 7500}{652} = 7,8$$

und die stündliche Brennstoffmenge:

$$B = \frac{D}{d} = \frac{1800}{7,8} = \approx 230 \text{ kg.}$$

Läßt man nun in Anbetracht des gasreichen und daher ziemlich leicht entzündlichen Brennstoffs eine Rostbelastung $\frac{B}{R} = 90 \text{ kg zu}$, so ergibt sich:

$$R = \frac{230}{90} = \approx 2,6 \text{ qm.}$$

Überhitzerfläche H' .

Nach Abschnitt 29 D auf S. 231 ist:

$$H' = D \cdot \frac{\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t)}{k \cdot \vartheta_m},$$

worin der mittlere Temperaturunterschied zwischen Heizgas und Dampf:

$$\vartheta_m = \frac{t_e + t_a}{2} - \frac{t' + t}{2}$$

ist. Die Temperatur der Gase t_a beim Austritt aus dem Überhitzer berechnet sich zu

$$t_a = t_e - \frac{D}{B} \cdot \frac{\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t)}{\eta \cdot G \cdot c_{pg}}.$$

Wird hierin die Eintrittstemperatur der Gase nach S. 232 zu $t_e = 550^\circ$, der Feuchtigkeitsgehalt des Rohdampfes zu $w = 2\%$ und der Wirkungsgrad des Überhitzers zu $\eta = 0,95$ geschätzt, ferner die aus 1 kg Brennstoff entstandene Gasmenge aus den gegebenen Werten berechnet zu

$$G = 1 + mL = 1 + 1,8 \cdot 9,2 = \approx 17,6 \text{ kg,}$$

so folgt:

$$t_a = 550 - 7,8 \cdot \frac{0,02 \cdot 480 + 0,53 \cdot (300 - 183)}{0,95 \cdot 17,6 \cdot 0,24} = \approx 410,$$

damit

$$\vartheta_m = \frac{550 + 410}{2} - \frac{300 + 183}{2} = \approx 238^\circ$$

und

$$H' = 1800 \cdot \frac{0,02 \cdot 480 + 0,53(300 - 183)}{13 \cdot 238},$$

worin nach S. 231 die Wärmedurchgangszahl $k = 13 \text{ WE}$ eingesetzt ist. Es ergibt sich somit:

$$H' = 42 \text{ qm.}$$

Hauptabmessungen des Kessels.

Da die Flammrohre als Wellrohre ausgeführt werden sollen, kann man für den Kesseldurchmesser nehmen $d = 0,22\sqrt{H}$ bis $0,23\sqrt{H}$, hier sei

$$d = 0,22\sqrt{H} = 0,22\sqrt{100} = 2,2 \text{ m}$$

und der Durchmesser des Flammrohrs:

$$d_1 = \frac{d}{2} - 0,25 = \frac{2,2}{2} - 0,25 = 0,85 \text{ m.}$$

Es sei dieses der innere Durchmesser der Wellrohre, dann wird die Heizfläche dieser Rohre verhältnismäßig groß und der Kessel trotz des verhältnismäßig kleinen Manteldurchmessers mäßig lang. Die Rostlänge wird:

$$l_r = \frac{2,6}{2 \cdot 0,85} = 1,53 = \approx 1,5 \text{ m.}$$

Die Länge der Feuerbrücke sei:

$$l_f = 0,3 \text{ m.}$$

Es wird also die Länge des Rostes und der Feuerbrücke:

$$l_r + l_f = 1,5 + 0,3 = 1,8 \text{ m.}$$

Durch die Einmauerung geht vorn am Kessel eine Länge des Mantels von $0,38 + 0,12 = 0,5 \text{ m}$ für die Heizfläche verloren.

Der Niedrigwasserspiegel würde normal um $\frac{d}{4} = 550 \text{ mm}$ über die Mitte des Kessels zu liegen kommen. Legen wir ihn hier einmal 600 mm über Mitte Kessel, so wird der der Heizfläche gegebene Umfang des Mantels etwa gleich $0,64$ mal dem ganzen Umfang.

Die Heizfläche des Kessels setzt sich dann zusammen aus:

1. Heizfläche des Mantels:

$$H_m = 0,64 d \pi (L - 0,5) = 0,64 \cdot 2,2 \cdot \pi L - 0,64 \cdot 2,2 \pi \cdot 0,5 = 4,42 L - 2,21.$$

2. Heizfläche des Flammrohrs:

Das Wellrohr hat eine Heizfläche gleich dem $1,14$ fachen der Oberfläche eines glatten Rohres vom mittleren Durchmesser d'_1 des Wellrohres.

Dieser mittlere Durchmesser ist hier $d'_1 = \frac{850 + 950}{2} = 900 \text{ mm}$. Es ist daher die Heizfläche des Flammrohrs:

$$\begin{aligned} H_f &= 2 d'_1 \pi \cdot 1,14 L - d'_1 \pi 1,14 l_r = 2 \cdot 0,9 \pi \cdot 1,14 L - 0,9 \pi \cdot 1,14 \cdot 1,8 \\ &= 6,48 L - 5,83. \end{aligned}$$

Die Böden geben keine Heizfläche.

Es ist dann:

$$\begin{aligned} H &= 100 = H_m + H_f \\ 100 &= 4,42 L - 2,21 + 6,48 L - 5,83 = 10,9 L - 8 \\ 10,9 L &= 100 + 8 = 108 \\ L &= \frac{108}{10,9} = \approx 9,9 \text{ m.} \end{aligned}$$

Festigkeitsrechnungen.

Ähnlich wie unter Nr. 41. Die Längsnaht des Mantels ist als dreireihige Doppellashennietung, die Rundnaht zweireihig überlappt auszuführen.

Unterbringung der Überhitzerfläche.

Die Entfernung der Längswände des Kesselmauerwerks sei 2610 mm. In der Überhitzerkammer seien die Wände aber um $2 \cdot 130 = 260$ mm weiter voneinander entfernt, also hat die Überhitzerkammer eine Breite $2610 + 260 = 2870$ mm. Beim Aufzeichnen findet man, daß man die Weite der beiden Kanäle, durch die die Gase vom Überhitzer kommend abwärts gehen, 405 mm machen kann. Wird der Querschnitt dieser Kanäle etwa

$$\frac{R}{3,5} = \frac{2,6}{3,5} = \approx 0,75 \text{ qm,}$$

so wird ihre Tiefe:

$$\frac{0,75}{2 \cdot 0,405} = \approx 0,93 \text{ m} = 930 \text{ mm.}$$

Die Tiefe der Überhitzerkammer werde noch um 130 mm größer, so daß der Querschnitt dieser Kammer die Größe erhält:

$$(930 + 130) \cdot 2870 = 1060 \cdot 2870 .$$

Nimmt man die Entfernung von Mitte Überhitzerrohr bis zur Mauerwand etwa 80 mm, so gehen von 2870 zunächst $2 \cdot 80 = 160$ ab, es bleibt dann $2870 - 160 = 2710$ vom äußeren Rohr der einen Schlange bis zum äußeren Rohr der nächsten Schlange. Ist m die Anzahl der geraden Stücke einer Schlange und haben die einzelnen Stücke eine Entfernung von etwa 200 mm, so muß

$$(m - 1 + \frac{1}{2}) \cdot 200 = (m - \frac{1}{2}) 200 = 2710$$

sein, also wird:

$$m = \frac{2710 + 100}{200} = 14,05 .$$

Dafür gewählt 14 Stück. Dann wird die Entfernung der äußeren Rohre bis zu der Mauer:

$$\frac{1}{2} [2870 - (14 - \frac{1}{2}) \cdot 200] = 85 \text{ mm.}$$

Die Bogenstücke bekommen einen Halbmesser von 100 mm. Ist die Entfernung von Mitte Rohr bis zur Wand im Bogenstück 80 mm, so sind die geraden Stücke der Schlange

$$1060 - 2 \cdot 80 - 2 \cdot 100 = 700 \text{ mm}$$

lang zu machen.

Eine Überhitzerschlange hat demnach eine Länge von:

$$\text{in den geraden Stücken } 14 \cdot 0,7 = 9,80 \text{ m}$$

$$\text{in den Bogenstücken } 13 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2}{2} = 4,08 \text{ m,}$$

$$\text{dazu kommt, an den Enden } 2 \cdot 0,18 = 0,36 \text{ m}$$

$$\text{also insgesamt } \underline{14,24 \text{ m.}}$$

Werden Rohre von 44 mm Außendurchmesser gewählt, so hat somit ein Rohr eine Oberfläche von

$$\pi \cdot 0,044 \cdot 14,24 = 1,96 \text{ qm.}$$

Die erforderliche Anzahl der Rohrschlangen ist also:

$$n = \frac{42}{1,96} = \infty 22.$$

Da die Rohrschlangen in den Schleifen aufeinanderliegen sollen, so wird die gesamte Höhe des Rohrbündels $22 \cdot 44 = 968 \text{ mm}$, doch wird sich dieses Maß wegen der nicht zu vermeidenden geringen Ungenauigkeiten der Schlangen um etwa 22 mm also auf 990 mm erhöhen.

43. Flammrohrkessel mit darüberliegendem Heizrohrkessel.

(Hierzu Tafel XII.)

Es ist eine Dampfkesselanlage zu entwerfen, die stündlich bei mäßigem Betriebe $D = 4300 \text{ kg}$ Dampf von $p = 11,5 \text{ at}$ Überdruck erzeugen kann. Da der Platz beschränkt ist, so sollen dazu Doppelkessel verwendet werden.

Brennstoff: Steinkohle von 7200 WE Heizwert.

Gesamtwirkungsgrad: angenommen zu $\eta = 72\%$.

Vorwärmung des Speisewassers $t_0 = 50^\circ \text{ C}$.

Heizfläche H .

Nimmt man nach der Tabelle auf S. 24 für $D : H = 12$ an, so wird

$$H = \frac{4300}{12} = \infty 360 \text{ qm,}$$

verteilt man diese auf zwei Kessel, so erhält ein jeder

$$H = \frac{360}{2} = 180 \text{ qm.}$$

Rostfläche R .

Jeder der beiden Kessel soll stündlich

$$D = \frac{4300}{2} = 2150 \text{ kg}$$

von 12,5 at abs. aus Speisewasser von $t_0 = 50^\circ$ erzeugen. Der erzeugte Dampf ist feucht, und zwar kann angenommen werden, daß in 1 kg Dampf $1 - x = 0,03$ kg Wasser enthalten ist. Nach Abschnitt 3 B auf S. 6 werden somit in dem Kessel zur Erzeugung von 1 kg Dampf erfordert:

$$\lambda_k = q - t_0 + x \cdot r \text{ WE}$$

oder nach der Dampftabelle

$$= 191,6 - 50 + 0,97 \cdot 475,5 = \approx 603 \text{ WE.}$$

Daraus ergibt sich für die Verdampfungsziffer:

$$\frac{D}{B} = d = \frac{\eta \cdot W}{\lambda_k} = \frac{0,72 \cdot 7200}{603} = \approx 8,6 .$$

Die stündliche Brennstoffmenge beträgt also

$$B = \frac{2150}{8,6} = 250 \text{ kg.}$$

Für die zu verfeuernde, ziemlich gute Steinkohle kann eine Rostbelastung von etwa 80 kg als niedrig angesehen werden. Es wird dann:

$$R = \frac{250}{80} = \approx 3 \text{ qm.}$$

Hauptabmessungen des Kessels.

Die Länge des Rostes sei $l = 2$ m, dann ist die erforderliche Breite $\frac{3}{2} = 1,5$ m. Sind zwei Flammrohre vorhanden, so bekommt jedes den Durchmesser $\frac{1,5}{2} = 0,75$ m.

Wir nehmen den äußeren Flammrohrdurchmesser daher vorläufig zu 0,775 m an und können dazu einen Kesseldurchmesser $d = 2,1$ m nehmen. Der Durchmesser des Oberkessels werde ebenso groß genommen.

Nun verzeichnen wir uns zunächst den Querschnitt des Kessels etwa im Maßstab $1/10$ (Abb. 449). Die Abmessungen für die Böden sollen den Normalien von Schulz Knaudt in Essen entnommen werden.

Die Entfernung des Niedrigwasserspiegels von der Kesselmitte nehmen wir etwa

$$\frac{d}{4} = \frac{2100}{4} = 525 \text{ mm.}$$

Beim Oberkessel wollen wir diese Entfernung um etwa 50 mm geringer nehmen, also gleich

$$525 - 50 = 475 \text{ mm.}$$

Dadurch wird der Dampfraum im Oberkessel größer, was wegen der größeren Heizfläche gut ist.

In der Mitte des Oberkessels nehmen wir die lichte Entfernung zwischen den Heizrohren etwa 350 mm. Der äußere Durchmesser der Rohre sei 95 mm, dann ist in der Mitte des Oberkessels die Entfernung von senkrechter Rohrreihe zu senkrechter Rohrreihe

$$350 + 95 = 445 ,$$

dafür 450 mm.

Vom Niedrigwasserspiegel bis zu den Rohren nehmen wir 130 mm, bis Mitte Rohr ist dann die Entfernung

$$130 + \frac{95}{2} = 177,5 = \approx 180 \text{ mm.}$$

Die Entfernung der einzelnen Rohrreihen sei

$$95 + 25 = 120 \text{ mm}$$

$$\text{(oder } 1,25 \cdot 95 = 119 = \approx 120 \text{).}$$

Aus der Abb. 449 ergibt sich dann, daß man 98 Rohre unterbringen kann.

Die Bestimmung der Kessel-länge kann nun wie folgt geschehen. Es ist beim Unterkessel:

der Mantelumfang
$$U_m = \frac{2,1 \cdot \pi}{2} + 2 \cdot 0,55 = 3,3 + 1,1 = 4,40 \text{ m,}$$

der Umfang der beiden Flammrohre
$$U_f = 2 \cdot 0,75 \cdot \pi = 4,71 \text{ m.}$$

Summe $U_1 = 9,11 \text{ m.}$

Es ist beim Oberkessel:

der Mantelumfang
$$U'_m = \frac{2,1 \pi}{2} + 2 \cdot 0,38 = 4,06 \text{ m,}$$

der innere Umfang eines Heizrohres bei $3\frac{1}{4}$ mm Wandstärke

$$0,0885 \cdot \pi = 0,278 ,$$

der Umfang der 98 Rohre also

$U_r = 27,24 \text{ m.}$

Summe $U_2 = 31,30 \text{ m.}$

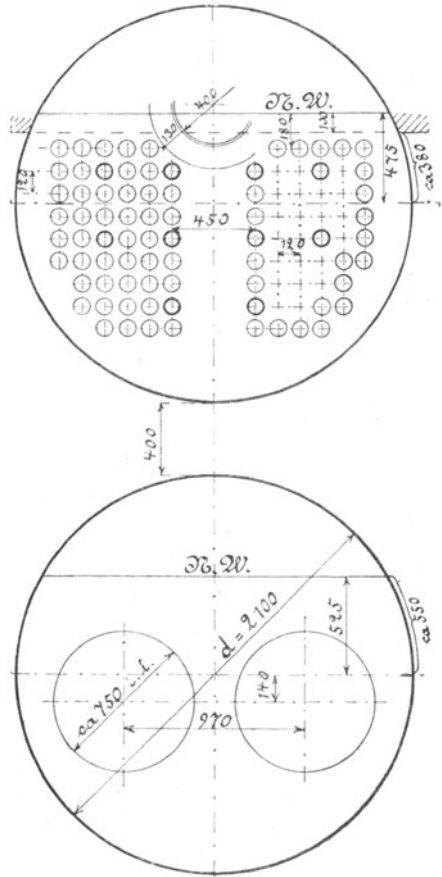


Abb. 449.

Wird eine Einmauerung gewählt, wie sie auf Tafel XII angegeben ist, so wird von der Heizfläche verdeckt:

vom Roste	$\frac{2 \cdot 0,75 \pi (2 + 0,17)}{2} = 5,1 \text{ qm,}$
am Mantel des Unterkessels vorn 0,38,	
hinten 0,12 m, zusammen 0,5 m	
Länge, entsprechend der Fläche	$0,5 \cdot 4,4 = 2,2 \text{ qm,}$
am Mantel des Oberkessels hinten 0,12 m	
Länge, entsprechend der Fläche	<u>$0,12 \cdot 4,06 = 0,49 \text{ qm,}$</u>
	im ganzen 7,79 qm,
oder rund 7,8 qm.	

Die Zungen, die beim Unterkessel die Seitenzüge vom Unterge trennen, sollen nicht berücksichtigt werden, ebenso nicht die Mantelflächen, die vom Verbindungsstutzen verdeckt werden. Dafür rechnen wir aber auch die Böden des Oberkessels nicht. Der hintere Boden des Unterkessels bietet der Zeichnung nach keine Heizfläche.

Wir rechnen nun wegen der 7,8 qm, die von der Heizfläche verdeckt werden, $180 + 7,8 = 187,8$ qm Heizfläche. Da die zu bestimmenden Längen der Kessel für die zylindrischen Mäntel der Kessel gerechnet werden sollen, so kann man für die Heizrohre bei gewölbten Böden noch eine Länge von mindestens 0,33 m im Mittel besonders rechnen, entsprechend einer Heizfläche $0,33 \cdot 27,24 = 8,99$ qm ≈ 9 qm, die noch von den 187,8 qm in Abzug kommen. Es bleiben $187,8 - 9 = 178,8$ qm. Den Unterkessel macht man in der Regel 1,1 m länger als den Oberkessel. Bei diesem Kessel würde der Länge 1,1 m des Unterkessels eine Heizfläche $1,1 \cdot 9,11 = 10$ qm entsprechen, so daß sich als Länge des Oberkessels ergibt:

$$L_2 = \frac{178,8 - 10}{U_1 + U_2} = \frac{168,8}{40,41} = 4,18$$

$$L_2 = \approx 4,2 \text{ m.}$$

Die Länge des Unterkessels ist dann:

$$L_1 = 4,20 + 1,10 = 5,3 \text{ m.}$$

Sollte der Kessel, um den vorhandenen Platz auszunutzen, etwas länger gemacht werden, so würde dabei nach obigem durch eine Verlängerung der Kesselmäntel um 100 mm eine Vergrößerung der Heizfläche um

$$(U_1 + U_2) \cdot 0,1 = 40,41 \cdot 0,1 = 4,04 \text{ qm}$$

erreicht werden.

Festigkeitsberechnungen.

Kesselmantel: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_z = 3600$ kg je qcm.

Blechstärke: Wir nehmen hier dreireihige Doppellaschen Nietung an, die mit der Maschine genietet ist, dann ist:

$$s = \frac{d \cdot p \cdot \xi}{2 \cdot K_z \cdot \varphi} + 0,1 = \frac{210 \cdot 11,5 \cdot 4}{2 \cdot 3600 \cdot 0,85} + 0,1 = 1,58 + 0,1 = 1,68 \text{ cm,}$$

dafür

$$s = 1,7 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$\delta = \sqrt{5s} - 0,7 = 2,2 \text{ cm}$$

oder

$$d = s + 0,5 = 2,2 \text{ cm.}$$

Nietquerschnitt:

$$\frac{\delta^2 \pi}{4} = 3,8 \text{ qcm.}$$

Nietteilung für die dreireihige Laschennietung:

$$t'_3 = 6\delta + 2 \text{ cm} = 6 \cdot 2,2 + 2 = 15,2 \text{ cm.}$$

Laschenstärke:

$$s_0 = 0,8 \cdot s = 0,8 \cdot 1,7 = 1,36 = \approx 1,4 \text{ cm.}$$

Die zulässige, größte Entfernung der Niete der äußeren Nietreihe ist dann: $8 \cdot 1,4 = 11,2$ cm, während $t'_3 = 15,2$ ist. Wir lassen daher die äußere Lasche die äußere Nietreihe nicht mitfassen. Es ist dann die Anzahl der Nietquerschnitte, die auf eine Teilung entfallen, $n = 9$.

Dann kommt auf 1 qcm Nietquerschnitt die ein Gleiten anstrebende Kraft:

$$Q = \frac{d \cdot t'_3 \cdot p}{2 n \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{210 \cdot 15,2 \cdot 11,5}{2 \cdot 9 \cdot 3,8} = 536 \text{ kg,}$$

was zulässig ist, da Wg bis 550 kg angenommen werden kann.

Die Entfernung der Nietreihen der dreireihigen Naht:

$$e_1 = \frac{3}{8} t'_3 = \frac{3}{8} 15,2 = 5,7 \text{ cm.}$$

Die Überlappung:

$$e = 1,5\delta = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ cm.}$$

Damit die äußere Lasche und die Nietköpfe der äußersten Nietreihe gut verstemmt werden können, machen wir die Entfernung der beiden äußersten Nietreihen voneinander $= 2e = 66$ mm, oder auch $2 \cdot 0,9e = 60$ mm.

Nehmen wir einreihige Rundnaht, so wird $t_1 = 5,2$ und die auf 1 qcm Nietquerschnitt entfallende Kraft:

$$Q_1 = \frac{d \cdot t_1 \cdot p}{4 \cdot n \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{210 \cdot 5,2 \cdot 11,5}{4 \cdot 1 \cdot 3,8} = 825 \text{ kg,}$$

was zuviel ist. Wir müssen daher doppelreihige Rundnaht nehmen.

Querteilung:

$$t_2 = 2,6 \delta + 1,5 = 2,6 \cdot 2,2 + 1,5 = 7,22 \text{ cm.}$$

Auf 1 qcm Nietquerschnitt kommt dann:

$$Q_1 = \frac{210 \cdot 7,22 \cdot 11,5}{4 \cdot 2 \cdot 3,8} = 573 \text{ kg,}$$

was zulässig ist:

Entfernung der Nietreihen der Quernaht:

$$e_1 = 0,6 t_2 = 0,6 \cdot 7,22 = 4,33 = \approx 4,4 \text{ cm.}$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ cm.}$$

Flammrohr: Flußeisen, Blechsorte I.

Blechstärke: Für eine ungefähre Länge $l = 1,4$ m von wirksamer Versteifung zu wirksamer Versteifung und bei Annahme geschweißter Rohre wird die Blechstärke:

$$s_1 = \frac{11,5 \cdot 75}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{80}{11,5} \cdot \frac{140}{140 + 75}} \right) + 0,2 = 1,21 + 0,2 = 1,41 \text{ cm,}$$

dafür

$$s_1 = 1,4 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$d = 1,4 + 0,8 = 2,2 \text{ cm.}$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \cdot 2,2 + 0,8 = 5,2 \text{ cm.}$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ cm.}$$

Kesselboden: Flußeisen, Blechsorte I.

Für den Unterkessel gilt:

Blechstärke:

$$s_2 = \frac{p \cdot R}{2 k_z} = \frac{11,5 \cdot 300}{2 \cdot 750} = 2,3 \text{ cm.}$$

Für den Oberkessel gilt:

Blechstärke:

$$s_2 = \frac{11,5 \cdot 300}{2 \cdot 650} = 2,65 = \approx 2,7 \text{ cm.}$$

Dom: Flußeisen, Blechsorte I mit $K_z = 3600$ kg je qcm. Es sei der Durchmesser $d_2 = 800$ mm, die Höhe = 900 mm. Angenommen einreihige mit Maschine genietete Überlappungsnaht.

Blechstärke:

$$s_3 = \frac{11,5 \cdot 80 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,56} + 0,1 = 1,13 \text{ cm,}$$

dafür

$$s_3 = 1,2 \text{ cm.}$$

Nietstärke:

$$\delta = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ cm.}$$

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8 \text{ cm.}$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt in der Längsnaht kommende Kraft wird:

$$Q = \frac{d_2 \cdot t_1 \cdot p}{2n \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{80 \cdot 4,8 \cdot 11,5}{2 \cdot 1 \cdot 3,14} = 703 \text{ kg,}$$

während nur bis 700 kg zulässig ist. Wir nehmen daher lieber zwei-reihige Längsnaht, dann wird:

$$s_3 = \frac{11,5 \cdot 80 \cdot 4,5}{2 \cdot 3600 \cdot 0,7} + 0,1 = 0,92 = \approx 1 \text{ cm.}$$

Es soll aber $s_3 = 1,2$ cm genommen werden, weil einerseits beim Umbördeln etwas verloren geht, andererseits bei der größeren Wandstärke die Dichtung besser erreicht wird.

Nietstärke:

$$\delta = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ cm.}$$

Nietteilung:

$$t_2 = 2,6 \cdot 2 + 1,5 \text{ cm} = 5,2 + 1,5 = 6,7 \text{ cm.}$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt in der Längsnaht kommende Kraft wird:

$$Q = \frac{80 \cdot 6,7 \cdot 11,5}{2 \cdot 2 \cdot 3,14} = 490 \text{ kg,}$$

während bis 650 kg zulässig ist.

Entfernung der Nietreihen:

$$e_1 = 0,6 \cdot 6,7 = 4,02 = \approx 4 \text{ cm.}$$

Überlappung:

$$e = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ cm.}$$

Für die Rundnaht wählen wir einreihige Naht.

Nietteilung:

$$t_1 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8 \text{ cm.}$$

Die auf 1 qcm Nietquerschnitt in der Rundnaht kommende Kraft wird:

$$Q_1 = \frac{80 \cdot 4,8 \cdot 11,5}{4 \cdot 1 \cdot 3,14} = 351,5 \text{ kg,}$$

also sehr wenig.

Die Befestigung des Domes am Kessel geschieht hier des ziemlich hohen Druckes und des großen Durchmessers des Domes wegen am besten mit doppelreihiger Nietsnaht.

Domboden: Flußeisen, Blechsorte I.

Blechstärke:

$$s_4 = \frac{p \cdot R}{2 k_z} = \frac{11,5 \cdot 95}{2 \cdot 650} = 0,84 \text{ cm,}$$

dafür gewählt

$$s_4 = 1,2 \text{ cm.}$$

Verstärkungsring am Mannloch im Kesselmantel:

Das Mantelblech war mit $\varphi = 0,85$ berechnet, also wird, wenn man außerdem $c = 25$ mm annimmt:

$$\begin{aligned} 2 b \cdot c &= a \cdot \varphi \cdot s, \\ 2 b \cdot 25 &= 300 \cdot 0,85 \cdot 17, \\ b &= \frac{300 \cdot 0,85 \cdot 17}{50} = 86,5 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Die Nietstärke werde hier zu 24 mm angenommen, dann wird:

$$b = 86 + 24 = 110 \text{ mm.}$$

Anzahl der Niete im halben Ringe:

$$n = \frac{d \cdot a \cdot p}{2 \cdot 500 \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{210 \cdot 30 \cdot 11,5}{1000 \cdot 4,52} = 16 \text{ Niete.}$$

Es kann sein: $e = 36$; $e_1 = 38$ (Abb. 257).

Verstärkungsring am Mannloch im Domboden:

$$2 b \cdot c = a \cdot s_4.$$

Hier muß $a = 400$ genommen werden; ferner nehmen wir:

$$s_4 = 0,84 \text{ cm,}$$

wie berechnet, dann wird mit $c = 20$ mm:

$$2 b \cdot 20 = 400 \cdot 8,4$$

$$b = \frac{400 \cdot 8,4}{40} = 84.$$

Nimmt man die Nietstärke nach der Blechstärke des Bodens, so wird hier $\delta = 1,2 + 0,8 = 2$ cm, also die schließliche Breite des Ringes:

$$b = 84 + 20 = 104 \text{ mm.}$$

Die erforderliche Anzahl der Niete im halben Ringe:

$$n = \frac{R \cdot a \cdot p}{2 \cdot 500 \cdot \frac{\delta^2 \pi}{4}} = \frac{95 \cdot 40 \cdot 11,5}{1000 \cdot 3,14} = 13,9 = \approx 14.$$

Die innere Nietreihe muß innen versenkte Nietköpfe bekommen.
Man kann nehmen:

$$e = 30; \quad e_1 = 44. \quad (\text{Abb. 257.})$$

Einteilung der Schüsse.

Unterkessel: Der Mantel hat eine Länge von 5300 mm, daraus ergibt sich die Länge von erster Nietreihe der ersten Rundnaht bis zu erster Nietreihe der letzten Rundnaht mit Rücksicht auf Tafel XII, Fig. 2:

$$L'_1 = 5300 - (33 + 77) = 5190.$$

Bei drei Schüssen bekommt einer die Länge:

$$\frac{5190}{3} = 1730 \text{ mm}$$

und mit Überlappung:

$$1730 + 110 = 1840 \text{ mm.}$$

Der mittlere Schuß muß der Lagerung des Kessels wegen konisch gemacht werden.

Die Länge des Flammrohres wird:

$$L_f = 5300 - 2 \cdot 110 + 505 + 50 + 100 + 73 = 5808.$$

Wählt man vier Schüsse, so bekommt man drei Zwischenlagen zu 12 mm mit zusammen 36 mm, mithin bleiben

$$5808 - 36 = 5772 \text{ mm.}$$

Wir nehmen:

$$\begin{array}{r} 3 \text{ Schüsse zu } 1410 = 4230 \text{ mm} \\ 1 \text{ Schuß zu } 1542 = 1542 \text{ ,,} \\ \hline 5772 \text{ mm.} \end{array}$$

Bei dem einen Flammrohre ist der erste Schuß 1542 mm lang, beim zweiten Flammrohre der letzte, so daß die Flanschen um 1542 - 1410 = 132 mm versetzt sind.

Oberkessel: (Taf. XII, Fig. 3). Der Mantel hat eine Länge $L_2 = 4200$ mm, daraus ergibt sich:

$$L'_2 = 4200 - 110 = 4090 \text{ mm.}$$

Bei drei Schüssen bekommt einer die Länge:

$$\frac{4090}{3} = 1363\frac{1}{3},$$

dafür

$$\begin{array}{r} 2 \text{ Schüsse zu } 1360 = 2720 \text{ mm} \\ 1 \text{ Schuß zu } 1370 = 1370 \text{ „} \\ \hline 4090 \text{ mm;} \end{array}$$

oder mit Überlappungen 2 Schüsse zu 1470 und 1 Schuß zu 1480 mm.

Ausrüstung.

Sicherheitsventil: Es wird nach S. 276

$$F = 15 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot v_s}{p}} = 15 \cdot 180 \sqrt{\frac{1000 \cdot 0,1607}{11,5}} = \infty 10100 \text{ qmm.}$$

Es ist daher

$$\frac{F \cdot p}{100} = \frac{10100 \cdot 11,5}{100} = 1161,5 > 600,$$

so daß zwei Ventile von je $\frac{10100}{2} = 5050$ qmm Querschnitt anzu-
bringen sind. Dem entspricht ein Durchmesser

$$d = \infty 80 \text{ mm.}$$

Der gemeinsame Stutzen ist 115 mm weit zu machen.

Absperrventil: Sieht man eine Heizflächenbeanspruchung von 18 kg
als erreichbar an, so wird

$$D = 18 \cdot 180 = 3240 \text{ kg.}$$

Dann ergibt sich, für $c = 25$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{600 \cdot D}{\gamma_s \cdot c} = \frac{600 \cdot 3240}{6,22 \cdot 25} = \infty 12500 \text{ qmm}$$

oder $d = 126$ mm, dafür gewählt $d = 130$ mm.

Speiseventil: Für $c = 0,6$ m wird

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{D}{c} = \frac{3240}{0,6} = 5400 \text{ mm}$$

oder

$$d = \infty 83 \text{ mm. gewählt } d = 85 \text{ mm.}$$

Der Oberkessel und der Unterkessel erhalten je eine Speisung, und zwar ist es üblich, auch die am Unterkessel so groß zu machen, daß sie für den ganzen Kessel ausreichen würde. Die beiden Speiseventile erhalten also in vorliegenden Falle je 85 mm Durchmesser.

Ablaßvorrichtung. An der tiefsten Stelle des Oberkessels und auch des Unterkessels ist eine Ablaßvorrichtung anzubringen. Man wird daher hier für diese passende Abmessungen erhalten, wenn man den Querschnitt einer Vorrichtung reichlich halb so groß wie die Speiseventile nimmt. Es wird danach:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{5400}{2} = 2700 \quad \text{oder} \quad d = \approx 59,$$

dafür gewählt: $d = 65 \text{ mm.}$

44. Wasserrohrkessel. (Hierzu Tafel XVII.)

Zur Erzeugung einer stündlichen Dampfmenge von $D = 1800 \text{ kg}$ soll ein Zweikammerkessel entworfen werden. Der höchste Betriebsdruck betrage 12 at Überdruck. Der Dampf werde auf $t' = 300^\circ$ überhitzt.

Brennstoff: Steinkohle von $W = 6800 \text{ WE}$ Heizwert. Ihr theoretischer Bedarf an Verbrennungsluft betrage $L = 8,9 \text{ kg}$. Bei der Verbrennung werde ihr das $m = 1,9$ fache dieser Luftmenge zugeführt.

Wirkungsgrad: Der Feuerung 0,96, der Heizflächen 0,76.

Vorwärmung: des Speisewassers auf $t_0 = 80^\circ$.

Heizfläche H .

Bei mäßigem Betriebe läßt sich mit Kammerkesseln $\frac{D}{H} = 14$ erreichen (vgl. Tabelle auf S. 24). Es ist demnach

$$H = \frac{1800}{14} = \approx 130 \text{ qm.}$$

Hauptabmessungen des Kessels.

Man bekommt passende Verhältnisse, wenn man sich an folgende Abmessungen hält:

Heizfläche in Quadratmeter	Länge der Rohre	Durchmesser des Oberkessels
$H = 20 \text{ bis } 90$	3000 mm	$\sqrt{\frac{H}{100}} + 0,4 \text{ m}$
$H = 30 \text{ bis } 280$	4000 mm	$\sqrt{\frac{H}{150}} + 0,4 \text{ m}$
$H = 65 \text{ bis } 350$	5000 mm	$\sqrt{\frac{H}{200}} + 0,4 \text{ m}$

In der Höhe werden in der Regel 10—8 Rohre genommen, bei kleineren Kesseln bis herab zu 5.

Abb. 450 zeigt praktische Verhältnisse einer Wasserkammer für Kessel mit Rohren von 95 mm äußerem Durchmesser. Die Weite der Kammer wird gewöhnlich 160 bis 300 mm genommen.

Wir wählen eine Länge der Rohre von 5000 mm, dann paßt dazu ein Durchmesser des Oberkessels:

$$d = \sqrt{\frac{H}{200}} + 0,4 = \sqrt{\frac{130}{200}} + 0,4,$$

$$d = 0,8 + 0,4 = 1,2 \text{ m.}$$

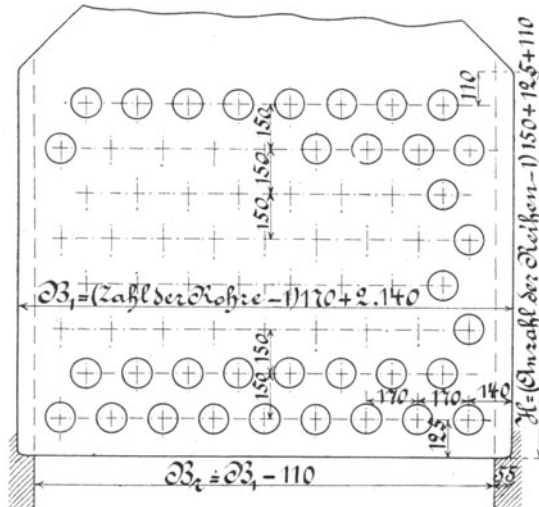


Abb. 450.

Nimmt man die Oberkante des Zuges 150 mm unter Mitte Oberkessel an, so liegt vom Oberkessel

$$\frac{1,2\pi}{2} - 2 \cdot 0,15 = 1,885 - 0,3 = 1,585 \text{ m}$$

Umfang im Zuge. Dann ist die Heizfläche des Oberkessels bei einer Länge seiner Heizfläche von etwa 4 m:

$$1,585 \cdot 4 = 6,34 = \approx 6 \text{ qm.}$$

Für die Rohre bleibt also bei Vernachlässigung der Heizfläche an den Rohrwänden der Kammern

$$130 - 6 = 124 \text{ qm.}$$

Ein Rohr von 95 mm Durchmesser hat einen Umfang von 0,2985 m, also eine Heizfläche von

$$0,2985 \cdot 5 = 1,49 \text{ qm,}$$

daher sind

$$\frac{124}{1,49} = \approx 83 \text{ Rohre}$$

erforderlich.

Bei 8 Rohrreihen in der Höhe lassen sich 83 Rohre nicht gut unterbringen, wohl aber 80 oder 84 Rohre. Wir wählen die größere Zahl, dann bekommen wir

$$\begin{array}{l} 4 \text{ Reihen mit je } 10 \text{ Rohren} = 40 \text{ Rohre} \\ 4 \text{ „ „ „ „ } 11 \text{ „ „} = \underline{44 \text{ „ „}} \\ \text{zusammen } 84 \text{ Rohre.} \end{array}$$

Bei Anwendung von nur 80 Rohren bekäme jede Reihe 10 Rohre. Mit den 84 Rohren wird die Heizfläche etwas vergrößert. Wir bekommen ein Rohr mehr mit $1,49 = \sim 1,5$ qm Heizfläche, so daß die Heizfläche des Kessels:

$$H = 130 + 1,5 = 131,5 \text{ qm}$$

wird. Auf 1 qm Heizfläche kommt dann eine Verdampfung von

$$\frac{1800}{131,5} = \sim 13,7 \text{ kg}$$

gegen 14 kg wie angenommen.

Die Breite der Kammer wird dann nach Abb. 450

$$B_1 = (11 - 1)170 + 2 \cdot 140 = 1980 \text{ mm,}$$

die Breite des Zuges und des Rostes:

$$B_r = B_1 - 110 = 1980 - 110 = 1870 \text{ mm.}$$

Die Höhe der Kammer wird, wenn die Zwischenräume zwischen den Rohrreihen gleich sein sollen, nach Abb. 450

$$H = (8 - 1)150 + 125 + 110 = 1285 \text{ mm.}$$

Wenn aber zwischen der 1. und 2. Rohrreihe von unten ein Zwischenraum von 350 und zwischen der 4. und 5. ein solcher von 250 mm sein soll, so wird die ganze Höhe um 300 mm größer, also:

$$H = 1285 + 300 = 1585 \text{ mm.}$$

Die vordere Wasserkammer habe 200 mm, die hintere 170 mm Weite.

Rostfläche und Züge.

Zur Verwandlung von 1 kg Wasser, das auf $t_0 = 80^\circ$ vorgewärmt war, in Dampf von 13 at abs. und zur Überhitzung desselben auf $t' = 300^\circ$ sind erforderlich

$$\lambda_k = \lambda + c_{pm}(t' - t) - t_0 = 667,5 + 0,537(300 - 190,8) - 80 = \sim 646 \text{ WE.}$$

Damit ergibt sich eine Verdampfungsziffer:

$$\frac{D}{B} = d = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot W}{\lambda_k} = \frac{0,95 \cdot 0,76 \cdot 6800}{646} = \sim 7,6$$

und eine stündliche Brennstoffmenge

$$B = \frac{D}{d} = \frac{1800}{7,6} = \sim 240 \text{ kg.}$$

Da die Kohle, nach ihrem Heizwert, nur eine mäßige Brenngeschwindigkeit besitzt, so empfiehlt es sich, mit der Rostbelastung $B : R$ bis auf 70 kg herunterzugehen. Demnach wird:

$$R = \frac{240}{70} = \approx 3,4 \text{ qm.}$$

Bei der berechneten Rostbreite 1870 mm wird dann die **Rostlänge**:

$$\frac{3,4}{1,87} = \approx 1,85 \text{ m.}$$

Den Querschnitt des letzten Zuges zwischen den Rohren wollen wir hier etwa gleich $\frac{1}{4}$ der Rostfläche machen, also gleich

$$\frac{R}{4} = \frac{3,40}{4} = 0,85 \text{ qm.}$$

Die Breite dieses Zuges ist nach Abzug der Rohrdurchmesser:

$$1,870 - 11 \cdot 0,095 = 0,825 \text{ m,}$$

also wird die Weite dieses Zuges:

$$\frac{0,85}{0,825} = 1,03 = \approx 1 \text{ m.}$$

Der erste senkrechte Zug hinter der Feuerbrücke bekomme etwa die Größe:

$$\frac{R}{3} = \frac{3,40}{3} = 1,13 \text{ qm,}$$

dann wird seine Weite:

$$\frac{1,13}{0,825} = 1,37 = \approx 1,4 \text{ m.}$$

Der senkrechte Zug unmittelbar vor dem Überhitzer bekomme die Größe:

$$\frac{R}{3,5} = \frac{3,40}{3,5} = 0,97 \text{ qm,}$$

seine Weite wird dann:

$$\frac{0,97}{0,825} = 1,175 = \approx 1,2 \text{ m.}$$

Der Querschnitt des Fuchses sei etwa $\frac{1}{4}$ der Rostfläche, also 0,85 qm. Bei einer Höhe von 1 m bekommt er also eine Breite von 0,85 m.

Überhitzerfläche H' .

Die Überhitzerfläche H' kann vorläufig zu

$$H' = \frac{H}{3} = \frac{131,5}{3} = 43,8 \text{ qm}$$

angenommen werden. Dem würde nach praktischen Erfahrungen eine Kesselheizfläche von etwa

$$\frac{2}{3} \cdot 43,8 = \approx 29 \text{ qm}$$

entsprechen. Die gedachte Gesamtheizfläche beträgt demnach:

$$131,5 + 29 = 160,5 \text{ qm.}$$

Die Heizfläche des Kessels, die vor dem Überhitzer liegt, ergibt sich wie folgt:

Zunächst werden von den Feuergasen bestrichen:

$$2 \cdot 11 + 2 \cdot 10 = 42 \text{ Rohre von } 3,85 \text{ m Länge und}$$

$$2 \cdot 11 + 2 \cdot 10 = 42 \text{ Rohre von } 1,20 \text{ m Länge,}$$

das gibt eine Länge von

$$42(3,85 + 1,20) = 42 \cdot 5,05 = 212 \text{ m.}$$

Dem entspricht eine Heizfläche

$$212 \cdot 0,2985 = 63 \text{ qm,}$$

dazu die Hälfte der Heizfläche des Oberkessels mit 3 qm gibt eine Fläche von:

$$63 + 3 = 66 \text{ qm.}$$

Dann liegen vor dem Überhitzer

$$\frac{66 \cdot 100}{160,5} = 41\%$$

der ideellen Heizfläche. Die durch diese Heizfläche aufgenommene Wärme läßt sich aus Abb. 451¹⁾ bestimmen. Auf der Abszissenachse sind die bestrichenen ideellen Heizflächen, in % ausgedrückt, aufgetragen, senkrecht dazu die Wärmemengen, die bereits übertragen sind in % der ganzen auf den Kessel zu übertragenden Wärmemenge. Wir sehen nun, daß, wenn die bestrichene Heizfläche 41% ausmacht, die dann übertragene Wärmemenge 79% der Gesamtwärmemenge beträgt. Diese Gesamtwärmemenge beträgt in der Stunde:

$$1800 \cdot 646 = \approx 1163000 \text{ WE}^2).$$

Vor dem Überhitzer werden davon übertragen:

$$0,79 \cdot 1163000 = 919000 \text{ WE.}$$

Schätzt man, daß bis zum Überhitzer 3% der im Brennstoff enthaltenen Wärme durch Strahlung verlorengeht, so beträgt dieser Verlust:

$$0,03 \cdot 240 \cdot 6800 = 49000 \text{ WE.}$$

¹⁾ Die Grundlagen hierzu sind dem Verfasser in freundlichster Weise von der Rheinischen Dampfkessel- und Maschinenfabrik Büttner in Uerdingen a. Rh. zur Verfügung gestellt.

²⁾ Es genügt, diese Wärmemengen auf 1000 abzurunden.

Der Gesamtwärmeverbrauch vor dem Überhitzer stellt sich also auf:

$$919\,000 + 49\,000 = 968\,000 \text{ WE.}$$

Auf dem Rost werden nun stündlich

$$0,95 \cdot 240 \cdot 6800 = 1\,550\,000 \text{ WE}$$

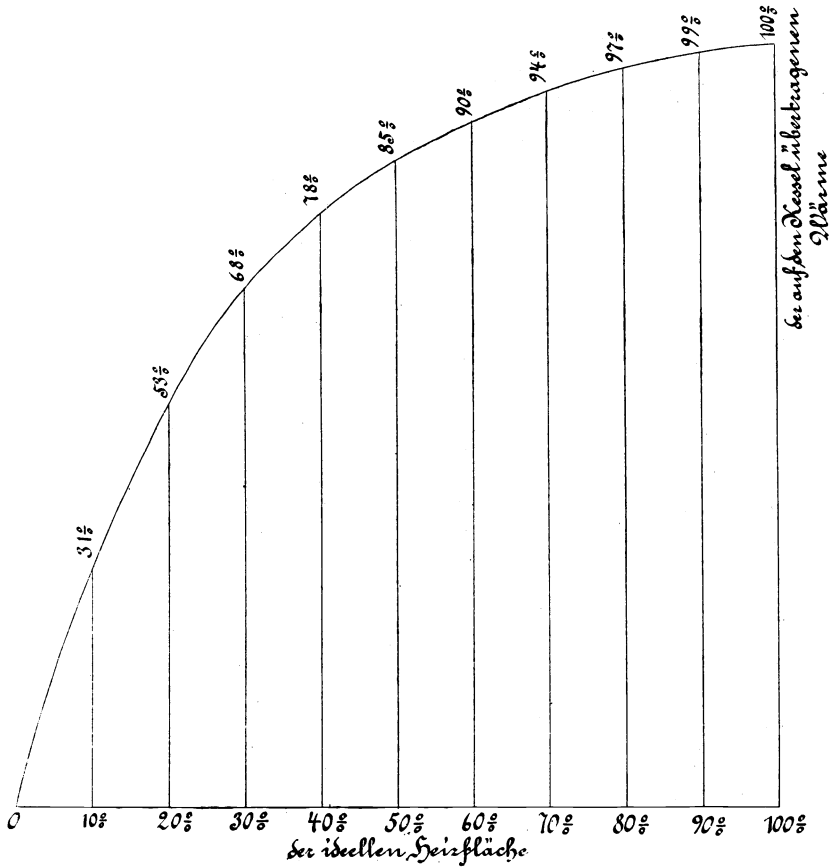


Abb. 451.

entwickelt, so daß vor dem Überhitzer noch

$$1\,550\,000 - 968\,000 = 582\,000 \text{ WE}$$

verfügbar sind. Sie erzeugen dort eine Gastemperatur von

$$\frac{582\,000}{c_g \cdot (1 + mL) \cdot B} = \frac{582\,000}{0,24 \cdot (1 + 1,9 \cdot 8,9) \cdot 240} = \approx 564^\circ.$$

Die für die Überhitzung stündlich aufzuwendende Wärmemenge beträgt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Rohdampfes zu $w = 3\%$ angenommen wird:

$$D \left[\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t) \right] = 1800 \cdot [0,03 \cdot 474,1 + 0,537(300 - 190,8)] \\ = \infty 131\,000 \text{ WE.}$$

Stellt man den Strahlungsverlust am Überhitzer mit $\frac{1}{2}\%$ der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge in Rechnung, also mit

$$0,005 \cdot 240 \cdot 6800 = \infty 8000 \text{ WE,}$$

so verlieren die Gase beim Bestreichen des Überhitzers insgesamt:

$$131\,000 + 8000 = 139\,000 \text{ WE.}$$

Es bleiben daher stündlich hinter dem Überhitzer noch

$$582\,000 - 139\,000 = 443\,000 \text{ WE}$$

übrig. Setzt man jetzt, um Undichtheiten im Mauerwerk zu berücksichtigen, die 1 kg Brennstoff zugeführte Luftmenge gleich $1,1 \cdot m \cdot L$ statt mL kg, so ergibt sich die Gastemperatur hinter dem Überhitzer zu

$$\frac{443\,000}{0,24(1 + 1,1 \cdot 1,9 \cdot 8,9) \cdot 240} = \infty 392^\circ.$$

Am Überhitzer beträgt daher die mittlere Gastemperatur

$$\frac{564 + 392}{2} = 478^\circ,$$

im Überhitzer ist eine mittlere Dampftemperatur von

$$\frac{300 + 191}{2} = 245^\circ$$

vorhanden. Der mittlere Temperaturunterschied zwischen Gas und Dampf ist daher

$$478 - 245 = 233^\circ.$$

Wird nun entsprechend der niedrigen Heizflächenbeanspruchung eine Wärmedurchgangszahl von $k = 13$ angenommen, so daß also stündlich $13 \cdot 233 = 3029$ WE durch 1 qm Überhitzerfläche übertragen werden, so wird

$$H' = \frac{131\,000}{3029} = 43,25,$$

dafür gewählt

$$H' = 44 \text{ qm.}$$

Dies stimmt mit dem angenommenen Wert zufällig fast genau überein. Ergäbe sich zwischen beiden Werten ein größerer Unterschied, so wäre die Rechnung mit dem erhaltenen Wert noch einmal durchzuführen.

Festigkeitsrechnungen.

Die Blechstärken und Vernietungen des Oberkessels und der Stützen werden ebenso berechnet wie es bei den übrigen Kesseln geschah. Für die Rohre kann man die normale Wandstärke $3\frac{1}{4}$ mm nehmen. Die Wandstärke der Wasserkammer läßt sich wegen der vielen Aussparungen nicht genau berechnen. Erfahrungsgemäß genügt eine Wandstärke von **18 mm** bei allen vorkommenden Dampfspannungen. Die Stehbolzen zur Versteifung der Kammerwände können wie folgt berechnet werden.

Die auf einen Stehbolzen entfallende, vom Dampfe gedrückte Fläche hat die Größe:

$$15 \cdot 17 = 255 \text{ qcm.}$$

Die auf einen Bolzen kommende Belastung ist demnach:

$$p = 255 \cdot 12 = 3060 \text{ kg.}$$

Rechnet man eine zulässige Beanspruchung des Bolzens von $k_z = 600$ kg für das qcm, so wird der Bolzenquerschnitt:

$$\frac{d^2 \pi}{4} = \frac{p}{k_z} = \frac{3060}{600} = 5,1 \text{ qcm}$$

und der Durchmesser des Bolzens:

$$d = 2,55 = \sim 2,6 \text{ cm.}$$

Die Bolzen sollen in die Wand mit einem Gewinde von 11 Gang auf 1" engl. und 1,5 mm Gewindetiefe eingeschraubt und dann vernietet werden. Der Durchmesser in den Spitzen wird demnach:

$$d' = 2,6 + 0,3 = 2,9 \text{ cm.}$$

Schußeinteilung.

Die Schußerteilung bei diesem Kessel bietet nichts Neues und kann deshalb hier übergangen werden.

Ausrüstung.

Sicherheitsventil: Es sollen zwei Hochhubventile angewandt werden. Dann ist die gesamte Ventilfläche

$$F = 5 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{1000 v}{p}} = 5 \cdot 131,5 \cdot \sqrt{\frac{154,4}{12}} = \sim 2400 \text{ qmm.}$$

Für jedes Ventil ergibt sich somit

$$\frac{F}{2} = \sim 1200 \text{ qmm} \quad \text{oder} \quad d = \sim 40 \text{ mm.}$$

Absperrventil: Die stündliche Dampfleistung eines Kammerkessels mit Überhitzer läßt sich bis zu etwa 26 kg auf 1 qm Heizfläche steigern (vgl. Tabelle S. 24); soll das Ventil hierfür ausreichen, so ist zu nehmen:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{600 \cdot D}{\gamma \cdot c} = \frac{600 \cdot 26 \cdot 131,5}{6,5 \cdot 25} = 12\,624 \text{ qmm}$$

oder

$$d = 127 = \infty 130 \text{ mm.}$$

Speiseventil: Für eine Wassergeschwindigkeit im Ventil von $c = 0,65$ m wird

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{D}{c} = \frac{26 \cdot 131,5}{0,65} = 5260 \text{ qmm}$$

oder

$$d = 81,8 \text{ mm, dafür gewählt } d = 80 \text{ mm.}$$

Ablaßvorrichtung: Es wird je ein Ablaßrohr am Oberkessel und an der hinteren Wasserkammer angebracht. Das erstere kann im Querschnitt etwa halb so groß wie das Speiseventil bemessen, also mit

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{5260}{2} = 2630 \quad \text{oder} \quad d = \infty 60 \text{ mm}$$

ausgeführt werden. Für den Unterkessel wird gewöhnlich ein etwas kleineres Ventil, hier etwa mit

$$d = 50 \text{ mm}$$

gewählt. Dagegen ist es üblich, dem gemeinsamen Ablaßrohr, in welchem sich die beiden Rohre vereinigen, einen Querschnitt gleich dem des Speiseventils zu geben. Es erhält daher hier:

$$d = 80 \text{ mm.}$$

45. Überhitzer mit besonderer Feuerung. (Abb. 291.)

Es ist ein Zentralüberhitzer zu entwerfen, mit dem stündlich 8000 kg Dampf bei 10 at Überdruck auf $t' = 350^\circ \text{ C}$ überhitzt werden können.

Feuchtigkeitsgehalt des Rohdampfes: $w = 5\%$.

Brennstoff: Steinkohle, von 7500 WE Heizwert und mit einem theoretischen Luftbedarf von $L = 10,5$ kg.

Wirkungsgrad: der Feuerung $\eta_1 = 0,95$, der gesamten Überhitzeranlage $\eta = 0,5$.

Strahlungsverlust: insgesamt 10%, und zwar vor dem Überhitzer 4%, am Überhitzer 5% und hinter demselben bis zum Eintritt in den Fuchs 1% der im Brennstoff enthaltenen Wärme.

1 kg Rohdampf verbraucht bei der Überhitzung:

$$\frac{w}{100} \cdot r + c_{pm}(t' - t) = 0,05 \cdot 479,8 + 0,521 \cdot (350 - 183,2) = 110,9 \text{ WE,}$$

insgesamt werden daher stündlich für die Überhitzung benötigt:

$$8000 \cdot 110,9 = \approx 887000 \text{ WE.}$$

Die dafür aufzuwendende Brennstoffmenge berechnet sich zu

$$B = \frac{887000}{\eta \cdot W} = \frac{887000}{0,5 \cdot 7500} = \approx 237 \text{ kg.}$$

Den Verbrennungsgasen soll nun durch die über den Feuertüren angebrachten Luftzuführöffnungen so viel Luft zugeführt werden, daß die Gase über dem Rost eine Temperatur von $t_r = 950^\circ$ annehmen. Der dabei herrschende Luftüberschuß wird gefunden aus:

$$t_r \cdot c_g \cdot (1 + m L) = \eta_1 \cdot W$$

oder

$$m = \left(\frac{\eta_1 \cdot W}{t_r \cdot c_g} - 1 \right) \cdot \frac{1}{L} = \left(\frac{0,95 \cdot 7500}{950 \cdot 0,24} - 1 \right) \cdot \frac{1}{10,5} = \approx 2,88.$$

Die gesamte Gasmenge ist dann:

$$G = B \cdot (1 + m \cdot L) = 237 \cdot (1 + 2,88 \cdot 10,5) = \approx 7400 \text{ kg.}$$

Die über dem Rost in den Gasen enthaltene Wärmemenge ist

$$G \cdot t_r \cdot c_g = 7400 \cdot 950 \cdot 0,24 = \approx 1687000 \text{ WE.}$$

Durch Strahlung gehen bis zum Überhitzer 4% des Heizwertes verloren oder

$$0,04 \cdot 237 \cdot 7500 = \approx 71000 \text{ WE.}$$

Es sind daher unmittelbar vor dem Überhitzer noch vorhanden:

$$1687000 - 71000 = 1616000 \text{ WE.}$$

Diese Wärmemenge erzeugt dort eine Gastemperatur

$$t_e = \frac{1616000}{G \cdot c_g} = \frac{1616000}{7400 \cdot 0,24} = \approx 910^\circ.$$

Davon verlieren die Gase beim Bestreichen des Überhitzers:

$$\frac{887000}{7400 \cdot 0,24} = \approx 500^\circ,$$

ferner erleiden sie dabei einen Strahlungsverlust von 5% des Heizwertes der Kohle, was einer weiteren Temperaturabnahme entspricht um:

$$\frac{0,05 \cdot 237 \cdot 7500}{7400 \cdot 0,24} = \approx 50^\circ.$$

Als Gastemperatur hinter dem Überhitzer ergibt sich somit:

$$t_a = 910 - 500 - 50 = 360^\circ.$$

Die mittlere Gastemperatur wird dann:

$$\frac{t_e + t_a}{2} = \frac{910 + 360}{2} = 635^\circ.$$

Da die mittlere Dampftemperatur

$$\frac{i' + t}{2} = \frac{350 + 183}{2} = 267^\circ$$

ist, so ergibt sich an der Überhitzerfläche ein mittlerer Temperaturunterschied von

$$635 - 267 = \approx 370^\circ.$$

Dann gehen, eine Wärmedurchgangszahl von $k = 20$ vorausgesetzt, stündlich $20 \cdot 370 = 7400$ WE durch 1 qm Überhitzerfläche. Letztere ist also

$$H' = \frac{887\,000}{7400} = 119,8, \text{ dafür gewählt } 120 \text{ qm}$$

groß zu machen.

Additional information of this book

(Die Dampfkessel; 978-3-662-24193-6) is provided:



<http://Extras.Springer.com>

Taschenbuch für den Maschinenbau. Unter Mitwirkung bewährter Fachlehrter herausgegeben von Prof. **Heinrich Dubbel**, Ingenieur in Berlin. Dritte, erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 2620 Textfiguren und 4 Tafeln.
In zwei Teilen: In einem Band gebunden Preis M. 70.—
In zwei Bänden gebunden Preis M. 84.— (ohne Teuerungszuschlag)

Hilfsbuch für den Maschinenbau. Für Maschinentechniker sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten. Unter Mitwirkung von hervorragenden Fachgelehrten herausgegeben von Oberbaurat **Fr. Freytag †**, Prof. i. R. Sechste, erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 1288 in den Text gedruckten Figuren, einer farbigen Tafel und 9 Konstruktionstafeln. Geb. Preis M. 60.—

Die Dampfkessel und ihr Betrieb. Allgemeinverständlich dargestellt von Geheimem Regierungsrat **K. E. Th. Schlippe**. Vierte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 114 Abbildungen. Gebunden Preis M. 5.—

Die Grundlagen der deutschen Material- und Bauvorschriften für Dampfkessel. Von Prof. **R. Baumann** (Stuttgart). Mit einem Vorwort von Prof. Dr.-Ing. **C. v. Bach**. Mit 38 Textfiguren. Kart. Preis M. 2.80

Die Herstellung der Dampfkessel. Von Inspektor **M. Gerbel**. Mit 60 Textabbildungen. Preis M. 2.—

Die Grundgesetze der Wärmestrahlung und ihre Anwendung auf Dampfkessel mit Innenfeuerung. Von Ing. **M. Gerbel**. Mit 26 Textfiguren. Preis M. 2.40

Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes mit einem Anhang über allgemeine Wärmetechnik. Von Dr.-Ing. **Georg Herberg**, Beratender Ingenieur (Stuttgart). Zweite, verbesserte Auflage. Mit 59 Abbildungen und Schaulinien, 90 Zahlentafeln, sowie 47 Rechnungsbeispielen. Gebunden Preis M. 18.—

Kohlenstaubfeuerungen für ortsfeste Dampfkessel. Eine kritische Untersuchung über Bau, Betrieb und Eignung. Von Dr.-Ing. **Friedrich Münzinger**. Mit 61 Textfiguren. Preis M. 24.—

Entwerfen und Berechnen der Dampfturbinen mit besonderer Berücksichtigung der Überdruckturbinen einschließlich der Berechnung von Oberflächenkondensatoren und Schiffsschrauben. Von **John Morrow**. Autorisierte deutsche Ausgabe von Dipl.-Ing. **Carl Kisker**. Mit 187 Textabbildungen und 3 Tafeln. Gebunden Preis M. 14.—

Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen. Ein Lehr- und Handbuch für Studierende und Konstrukteure. Von Professor **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 554 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 52.—

Die Steuerungen der Dampfmaschinen. Von Professor **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 494 Textabbildungen. Erscheint Anfang des Jahres 1921

Bau und Berechnung der Dampfturbinen. Eine kurze Einführung. Von Ingenieur **Franz Seufert**, Oberlehrer (Stettin). Mit 54 Textabbildungen. Preis M. 5.—

Technische Thermodynamik. Von Prof. Dipl.-Ing. **W. Schüle**.
Erster Band: Die für den Maschinenbau wichtigsten Lehren nebst technischen Anwendungen. Vierte, neubearbeitete Auflage. Mit 240 Textfiguren und 7 Tafeln. Unter der Presse
Zweiter Band: Höhere Thermodynamik mit Einschluß der chemischen Zustandsänderungen nebst ausgewählten Abschnitten aus dem Gesamtgebiet der technischen Anwendungen. Dritte, erweiterte Auflage. Mit 202 Textabbildungen und 4 Tafeln. Gebunden Preis M. 36.—

Leitfaden der technischen Wärmemechanik. Kurzes Lehrbuch der Mechanik der Gase und Dämpfe und der mechanischen Wärmelehre. Von Prof. Dipl.-Ing. **W. Schüle**. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 93 Textfiguren und 3 Tafeln. Steif broschiert M. 18.—

Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe. Eine Einführung für Ingenieure und Studierende. Von Ing. **F. Seufert** (Stettin). Zweite Auflage. In Vorbereitung

Anleitung zur Durchführung von Versuchen an Dampfmaschinen, Dampfkesseln, Dampfturbinen und Dieselmotoren. Zugleich Hilfsbuch für den Unterricht in Maschinenlaboratorien technischer Lehranstalten. Von Oberlehrer Ing. **Fr. Seufert**, Stettin. Sechste Auflage. Unter der Presse

Die Heizerschule. Vorträge über die Bedienung und die Einrichtung von Dampfkesselanlagen mit einem Anhang über Niederdruckkessel für Heizungsanlagen. Von Gewerberat **F. O. Morgner**, Leiter der Heizerkurse in Chemnitz. Dritte Auflage. Mit etwa 160 Textfiguren. In Vorbereitung

Die Maschinistenschule. Vorträge über die Bedienung von Dampfmaschinen und Dampfturbinen zur Ablegung der Maschinistenprüfung. Von Gewerberat **F. O. Morgner**, Leiter der Heizer- und Maschinistenkurse in Chemnitz. Mit 119 Textabbildungen. Preis M. 8.—

Maschinentechnisches Versuchswesen. Von Professor Dr.-Ing. **A. Gramberg.**

Erster Band: **Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle.** Zum Gebrauch in Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Vierte, vielfach erweiterte und umgearbeitete Auflage. Mit 326 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 64.—

Zweiter Band: **Maschinenuntersuchungen und das Verhalten der Maschinen im Betriebe.** Ein Handbuch für Betriebsleiter, ein Leitfaden zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien. Zweite, durchgesehene Auflage. Mit etwa 320 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. Unter der Presse

Regelung und Gleichgang der Kraftmaschinen. Berechnung und Konstruktion der Schwungräder, des Massenausgleichs und der Kraftmaschinenregler in elementarer Behandlung. Von Dr. **Max Tolle**, Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Dritte, verbesserte und stark vermehrte Auflage. Mit etwa 500 Textfiguren und 25 Tafeln. Unter der Presse

Die Zentrifugalpumpen mit besonderer Berücksichtigung der Schaufel-schnitte. Von Dipl.-Ing. **Fritz Neumann.** Zweiter, verbesserter Nachdruck. Mit etwa 221 Textfiguren und 7 lithographischen Tafeln. In Vorbereitung

Die Theorie der Wasserturbinen. Ein kurzes Lehrbuch von **Rudolf Escher**, Professor an der Eidgenössischen technischen Hochschule in Zürich. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 357 Textfiguren und auf 1 Tafel. Gebunden Preis M. 58.—

Wasserkraftmaschinen. Eine Einführung in Wesen, Bau und Berechnung neuzeitlicher Wasserkraftmaschinen und -anlagen. Von Dipl.-Ing. **L. Quantz**, Stettin. Dritte, erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 164 Textfiguren. Preis M. 10.—

Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen und Kraftgasanlagen.

Von Maschinenbaudirektor Dr.-Ing. e. h. **H. Güldner** in Aschaffenburg. Dritte, neubearbeitete und bedeutend erweiterte Auflage. Mit 1282 Textfiguren, 35 Konstruktionstafeln und 200 Zahlentafeln. Unveränderter Neudruck.

Gebunden Preis M. 120.— (ohne Teuerungszuschlag)

Bau und Berechnung der Verbrennungskraftmaschinen.

Eine Einführung von Studienrat Ing. **Fr. Seufert**. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 94 Abbildungen und 2 Tafeln. Preis M. 11.—

Betrieb und Bedienung von ortsfesten Viertakt-Dieselmotoren.

Von Dipl.-Ing. **Arthur Balog** und Werkführer **Salomon Sygall**. Mit 58 Textfiguren und 8 Tafeln. Preis M. 7.—

Schnellaufende Dieselmotoren

unter besonderer Berücksichtigung der während des Krieges ausgebildeten U-Boots-Dieselmotoren und Bord-Dieseldynamos. Von Dr.-Ing. **Otto Föppl**, Marinebaumeister, Wilhelmshaven und Dr.-Ing. **H. Strombeck** in Wilhelmshaven. Mit 95 Textfiguren und 6 Tafeln, darunter Zusammenstellungen von Motoren von A. E. G., Benz, Daimler, Germaniawerft, Görlitzer M. A. G. Körting und M A N Augsburg.

Preis M. 16.—; gebunden M. 21.—

Ölmotoren. Wissenschaftliche und praktische Grundlagen für Bau und Betrieb der Verbrennungsmotoren. Von Professor **St. Löffler** in Berlin und Professor **A. Riedler** in Berlin. Mit 288 Textabbildungen.

Gebunden Preis M. 16.—

Ölmotoren, ihre theoretischen Grundlagen und deren Anwendung auf den Betrieb unter besonderer Berücksichtigung von Schiffsbetrieben. Von Marineoberingenieur **M. W. Gerhards**. Mit 65 Textabbildungen.

Gebunden Preis M. 9.—

Schiffsölmotoren. Ein Handbuch zur Einführung in die Praxis des Schiffsoilmotorenbetriebes. Von Direktor Dipl.-Ing. Dr. **W. Scholz** in Hamburg. Zweite, verbesserte und erheblich erweiterte Auflage. Mit 143 Textabbildungen.

Preis M. 12.—; gebunden M. 14.—

Die Technologie des Maschinentechnikers. Von Professor Ing. Karl Meyer (Köln). Fünfte, verbesserte Auflage. Mit 431 Textfiguren. Gebunden Preis M. 28.—

Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung. Ein Leitfaden. Von Professor Fr. W. Hülle, Dortmund. Zweite, vermehrte Auflage. Mit 282 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 10.—

Die Werkzeugmaschinen, ihre neuzeitliche Durchbildung für wirtschaftliche Metallbearbeitung. Ein Lehrbuch. Von Prof. Fr. W. Hülle (Dortmund). Vierte, verbesserte Auflage. Mit 1020 Abbildungen im Text und auf Textblättern sowie 15 Tafeln. Unveränderter Neudruck. Gebunden Preis M. 102.— (ohne Teuerungszuschlag)

Die Schneidstähle, ihre Mechanik, Konstruktion und Herstellung. Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 545 Textabbildungen. Preis M. 6.—

Die Dreherei und ihre Werkzeuge in der neuzeitlichen Betriebsführung. Von Betriebs-Oberingenieur W. Hippler. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 319 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 16.—

Der Dreher als Rechner. Wechselräder-, Touren-, Zeit- und Konusberechnung in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von E. Busch. Mit 28 Textfiguren. Gebunden Preis M. 8.40

Handbuch der Fräserei. Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch für den allgemeinen Gebrauch. Gemeinverständlich bearbeitet von Emil Jurthe und Otto Mietzschke, Ingenieure. Fünfte, durchgesehene und vermehrte Auflage. Mit 395 Abbildungen, Tabellen und einem Anhang über Konstruktion der gebräuchlichsten Zahnformen bei Stirn- und Kegelrädern sowie Schnecken- und Schraubenrädern. Gebunden Preis M. 18.—

Maschinenelemente. Leitfaden zur Berechnung und Konstruktion für technische Mittelschulen, Gewerbe- und Werkmeisterschulen sowie zum Gebrauche in der Praxis. Von Ingenieur Hugo Krause. Dritte, vermehrte Auflage. Mit 380 Textfiguren. Gebunden Preis M. 15.—

Technische Mechanik. Ein Lehrbuch der Statik und Dynamik für Maschinen- und Bauingenieure von Ed. Autenrieth †. Dritte Auflage. Neu bearbeitet von Professor Dr.-Ing. Max Eusslin in Stuttgart.
In Vorbereitung

Theoretische Mechanik. Eine einleitende Abhandlung über die Prinzipien der Mechanik. Mit erläuternden Beispielen und zahlreichen Übungsaufgaben. Von Professor A. E. H. Love, M. A., D. Sc., F. R. S. (Oxford). Autorisierte deutsche Übersetzung der zweiten Auflage von Dr.-Ing. Hans Polster. Mit 88 Textfiguren. Preis M. 48.—; gebunden M. 54.—

Lehrbuch der technischen Mechanik. Von Martin Grübler, Professor an der Technischen Hochschule zu Dresden.
Erster Band: **Bewegungslehre.** Zweite, verbesserte Auflage. Mit 144 Textabbildungen. Unter der Presse
Zweiter Band: **Statik der starren Körper.** Mit 222 Textfiguren. Preis M. 18.—
Dritter Band: **Dynamik starrer Körper.** Mit 77 Textfiguren. Preis M. 24.—

Planimetrie mit einem Abriß über die Kegelschnitte. Ein Lehr- und Übungsbuch zum Gebrauche an technischen Mittelschulen. Von Dr. Adolf Heß, Professor am kantonalen Technikum in Winterthur. Zweite Auflage. Mit 207 Textfiguren. Preis M. 6.60

Trigonometrie für Maschinenbauer und Elektrotechniker. Ein Lehr- und Aufgabenbuch für den Unterricht und zum Selbststudium. Von Dr. Adolf Heß, Professor am kantonalen Technikum in Winterthur. Dritte Auflage. Mit 112 Textfiguren. Preis M. 6.—

Lehrbuch der Mathematik. Für mittlere technische Fachschulen der Maschinenindustrie. Von Prof. Dr. R. Neuendorff, Oberlehrer an der Staatlichen höheren Schiffs- und Maschinenbauschule, Privatdozent an der Universität in Kiel. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 262 Textfiguren. Gebunden Preis M. 12.—

„Serve“-Schnellrechner. D. R. G. M., D. R. W. Z. Der neue ideale Schnellrechner für Lohnabrechnungen, Preisberechnungen, Kalkulationsrechnungen, Massenberechnungen und alle Multiplikationsarbeiten. Von Joseph Serve, Leiter eines Lohn- und Kalkulationsbüros der Firma Ludwig Loewe & Co., A.-G., Berlin. Gebunden Preis M. 14.—

Santz-Multiplikator. D. R. G. M. Kleinste, das gesamte Zahlenreich umfassende Rechentafel zum unmittelbaren Ablesen des Ergebnisses aller Längen-, Flächen-, Inhalts-, Gewichts- und Preisberechnungen, wie überhaupt der Multiplikation und Division beliebig vieler Zahlen von Adolf Santz, Oberingenieur in Berlin. Gebunden Preis M. 30.—
