

F. D. Morgner  
Die Heizerschule

Ein Lehrbuch zur Ablegung der  
staatlichen Kesselwärterprüfung

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

# Die Heizerschule

Vorträge über die Bedienung und die Einrichtung  
von Dampfkesselanlagen und Niederdruckkesseln

Ein Lehrbuch  
zur Ablegung der staatlichen Kesselwärterprüfung

nach den Richtlinien des Herrn Reichs- und  
Preussischen Wirtschaftsministers

von

**F. D. Morgner VDI**

Regierungs-Gewerberat, Leiter der Heizer-  
und Maschinistenkurse in Chemnitz

Sechste erneuerte Auflage

Mit 174 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1937

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1937

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1937

ISBN 978-3-662-27520-7  
DOI 10.1007/978-3-662-29007-1

ISBN 978-3-662-29007-1 (eBook)

## Aus den Vorworten zur ersten bis fünften Auflage.

Das vorliegende Buch enthält im wesentlichen meine Vorträge für Dampfkesselheizker und entspricht hierbei den im Reichswirtschaftsministerium aufgestellten Richtlinien für die Heizkerkurse.

In eingehender Weise sind die Verbrennungsvorgänge und die Bedienung des Kesselfeuers vom Standpunkte der Rauchverhütung und des möglichst sparsamen Kohlenverbrauches aus besprochen.

Ferner sind mehrere von mir in Fachzeitschriften veröffentlichte Aufsätze über:

Die physikalischen Vorgänge im Kesselfeuer,

Die Verhütung von Stiohflammen bei der Verfeuerung von Kohlen Schlamm auf Schrägrosten,

Die Lebensdauer und Schonung der Kroststäbe,

Eine Gasexplosion in einem Kohlen silo (ein Beitrag über die Selbstentzündlichkeit von Braunkohlenbriketts),

verwertet.

In dem Abschnitt über die Vorgänge im Kesselfeuer habe ich die physikalischen und chemischen Vorgänge voneinander geschieden. Soweit mir die einschlägige Literatur bekannt, ist diese ausdrückliche Form bisher (1918) noch nirgends angewendet worden, so daß ich, obgleich meine Heizkerschule in einer durchaus volkstümlichen Fassung geschrieben ist, in dieser Hinsicht wohl die Priorität für mich in Anspruch nehmen darf.

Eingefügt wurden ferner mehrere wärmetheoretische Berechnungen einfachster Art (Seite 76 u. 144), um dem geschulten Heizker die Möglichkeit zu gewähren, sich auf rechnerischem Wege einen ungefähren Überblick über die Kohlenersparnisse zu verschaffen, die mit der Anwendung von Speisewasservorwärmern und der hohen Dampfdrücke verbunden sind. Eine eingehende Behandlung ist den Rauchgasprüfern zuteil geworden. Doch ist hierbei nicht als Ziel der theoretischen Heizkerausbildung betrachtet worden, den Heizker für eine wissenschaftliche Beurteilung der Wärmevorgänge reif machen zu wollen, denn dies würde selbstverständlich einer viel längeren und gründlicheren Schulung bedürfen, als sie je ein Heizkerkursus zu bieten vermag. Welche Schwierigkeiten sich auch der Beurteilung der scheinbar einfachen Angaben der Rauchgasprüfer entgegenstellen, möge aus der Fußnote auf Seite 9 hervorgehen, wo darauf hingewiesen ist, daß eine Feuerung, bei der die Heizgase 15 Prozent Kohlen säure und 1 Prozent Kohlenoxyd gas enthalten, nicht wirtschaftlicher arbeitet als eine Feuerung mit 10 Prozent Kohlen säuregehalt und keinem Gehalt an brennbaren Bestandteilen. Ein derartiger wärmetheoretischer Nachweis kann selbstverständlich keinem Heizker zugemutet werden, auch wenn er einen Heizkerkursus besucht und eine Schlußprüfung bestanden hat. Seine Aufgabe muß vielmehr darin bestehen, durch die praktische Beobachtung das richtige Verhältnis zwischen Schiohthöhe und Zugstärke im Feuer herauszufinden, wie er dies auch bei Dampfkesselanlagen ohne Rauchgasprüfer tun muß.

Für die gute Aufnahme und die weite Verbreitung der Heizerschule in Heizerkursen, Fachkursen usw. sprechen nicht nur die wiederholten Neuauflagen, sondern auch der Umstand, daß kurz vor dem Kriege Übersetzungen derselben in die russische, polnische und holländische Sprache geplant waren.

1913/1929.

F. D. Morgner.

## Vorwort zur sechsten Auflage.

Seit dem Erscheinen der 5. Auflage der Heizerschule sind weitere Fortschritte im Dampfkesselbetrieb gemacht worden, die in ihren Grundzügen in der vorliegenden Neuauflage berücksichtigt worden sind. Neubearbeitet wurden die Abschnitte über Steinkohle und Kesselfeuerungen für Höchstleistung, die Zonenwandroste und die Stokerfeuerungen. Bei den in letzten Jahren in den Hintergrund geratenen Kohlenstaubfeuerungen wurde die Krämermühlenfeuerung erwähnt, die im Gegensatz zu den sonstigen Kohlenstaubfeuerungen eine größere Verbreitung zu finden scheint. In Erfüllung eines Wunsches aus Leserkreisen habe ich dem Abschnitt über Feuerungsanlagen eine Besprechung der Ölfeuerung hinzugefügt, die an Landkesseln selten, an Schiffskesseln aber häufig anzutreffen ist.

Bei den betriebstechnischen Anforderungen, die z. B. an das Kesselspeisewasser gestellt werden, war eine vollständige und gründliche Umarbeitung des Abschnittes über die Aufbereitung des Speisewassers unerlässlich. Einbezogen wurde das Trinatriumphosphatverfahren und, auch auf Wunsch aus Leserkreisen, das Permutterverfahren ausführlicher als in den vorhergehenden Auflagen behandelt. Im Verfolge einer weiteren Anregung von dritter Seite habe ich auf die Bedeutung einer gewissen Alkalität des Kesselwassers, der sogenannten Natronzahl, und die Verhütung der Laugen sprödigkeit der Kesselbleche bei hohen Drücken und Temperaturen hingewiesen.

Bei den Armaturen war auf die selbstgesteuerten Sicherheitsventile einzugehen, da sich bei der Verwendung der gewöhnlichen Vollhub Sicherheitsventile für Hochdruckkessel ganz unhaltbare Zustände herausgebildet haben. Müßte doch ein solcher Kessel mit 17 (!) Vollhubventilen ausgerüstet werden, weil sich auf anderem Wege das gesetzliche Maximalgewicht des Belastungsgewichtes — 50 kg — nicht einhalten ließ. Bei den Wasserstandsapparaten für hohe Kessel sind einige neuere Ausführungen der Fernwasserstandsanzeiger und der heruntergezogenen Wasserstände beschrieben und abgebildet worden.

Im Abschnitt über Kesselbauarten sind veraltete Kesselarten durch die neueren Höchstleistungskessel und die auch für mittlere Betriebe geeigneten Strahlungskessel ersetzt worden. Zur Veranschaulichung der technischen Entwicklung wurde ein Wasserammerkessel (Steinmüllerkessel), der einem durchgreifenden Umbau zu einem Höchstleistungskessel unterzogen worden war, in seinen Ausführungen vor und nach dem Umbau zeichnerisch dargestellt (S. 54). Bei den Großwasserraumkesseln habe ich eine Höchstleistung des Dampfkesselbaues, einen Zweiflammenrohrkessel von 180 qm Heizfläche und für 18 at Betriebsdruck, zeichnerisch dargestellt. Er ist zugleich ein Zeichen dafür, daß diese in mittleren Betrieben altbewährte, für Großkraftanlagen aber nicht mehr ausreichende Kesselart ihren Verwendungsbereich zu behaupten weiß.

Der Vorzug der Höchstleistungskessel mit Unterwindzonenrost, den Belastungsschwankungen innerhalb weiter Grenzen fast augenblicklich folgen zu können, machte eine neue kritische Einstellung zu den Wärmespeichern erforderlich.

Durch die Aufnahme der selbsttätigen Feuerungsregler und der Dampfmengenregler (Dampfuhren) in die Neuauflage, über die sich mir gegenüber Betriebsführer und Heizer anerkennend ausgesprochen haben, glaube ich eine bisher bestehende Lücke der Heizerschule ausgefüllt zu haben.

Mit Rücksicht darauf, daß nach den neuen amtlichen Richtlinien zukünftig auch die Niederdruckdampfkessel in die Heizerlehrgänge einzubeziehen sind, habe ich den Abschnitt über Heizkessel umgearbeitet. Bei diesen Kesseln besteht zwar bei vorschriftsmäßiger Ausführung keine Explosionsgefahr, doch bedürfen sie einer unterrichteten Bedienung, sind mir doch Fälle bekannt, in denen der Niederdruckkessel infolge von Wassermangel zerföhrt worden ist und erneuert werden mußte.

Dem Einwand, der vielleicht erhoben werden könnte, die neue Heizerschule gehe z. T. über das für einen Kesselwärter Wissenswerte hinaus, möchte ich im voraus dadurch begegnen, daß im Zuge des technischen Fortschrittes auch höhere Ansprüche an die Berufsausbildung des Bedienungspersonals zu stellen sind. Im übrigen habe ich keineswegs die Grundlagen für einen elementaren Unterricht hintangestellt.

Die neuen amtlichen Richtlinien für die Heizerkurse betonen ausdrücklich, daß den Kursusleitern freie Hand bei der Einteilung des Lehrstoffes gelassen ist. Ich habe daher den bisherigen Aufbau der Heizerschule beibehalten. Demselben ist der Weg der Wärme im Dampfkesselbetrieb zugrunde gelegt, und es sind daher die theoretische Verbrennung, die Feuerungen, die Verdampfung usw. zuerst und die Armatur zuletzt besprochen. Gelegenheit, auf das Fundament der Kesselbedienung, die Instandhaltung des Wasserstandsapparates, gleich am Anfang der Lehrgänge eindringlich hinzuweisen, was aus pädagogischen Gründen sehr zu empfehlen ist, bietet sich bereits im ersten Vortrag, in welchem die Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit als Hauptaufgabe des Heizers bezeichnet wird.

Den vielen Firmen sowie den Herren aus Fachkreisen, die mich in überaus entgegenkommender Weise durch Auskünfte und Anregungen unterstützt haben, spreche ich auch an dieser Stelle vielen Dank aus.

Chemnitz/Glauchau 1937.

**F. D. Morgner.**

# Inhaltsübersicht.

## Einführung.

|   | Seite |
|---|-------|
| Die amtlichen Richtlinien für Heizerkurse . . . . . | 1     |
| Die Aufgaben des Kesselheizers . . . . .            | 1     |

### 1. Die Brennstoffe im allgemeinen.

|  |   |
|--|---|
| Entstehung und innerer Aufbau der Brennstoffe . . . . .                | 2 |
| Tabelle über die Zusammensetzung der wichtigsten Kohlenarten . . . . . | 3 |

### 2. Die Verbrennungsvorgänge.

|  |   |
|--|---|
| Allgemeines über die Verbrennung . . . . . | 5 |
| Verbrennungstemperaturen . . . . .         | 5 |
| Die vier Verbrennungsabschnitte . . . . .  | 5 |
| Die Entstehung des Rauches . . . . .       | 7 |

### 3. Die Zusammensetzung und die Untersuchung der Heizgase.

|  |    |
|--|----|
| Die Zusammensetzung der Heizgase . . . . .                     | 8  |
| Der praktische Luftbedarf (Luftüberschuß) des Feuers . . . . . | 9  |
| Die Rauchgasprüfer . . . . .                                   | 12 |

### 4. Die einzelnen Brennstoffarten.

|   |    |
|---|----|
| Der Heizwert der Brennstoffe . . . . .          | 16 |
| Die Wärmeeinheit oder Kalorie . . . . .         | 16 |
| Die festen Brennstoffe . . . . .                | 18 |
| Die flüssigen und gasigen Brennstoffe . . . . . | 21 |

### 5. Die Bedienung des Kesselheizers.

|  |    |
|--|----|
| Das Anzünden des Feuers . . . . .  | 22 |
| Anforderungen an die Brennschicht . . . . .                                      | 22 |
| Die Kofbelastung . . . . .   | 24 |
| Die Regelung des Feuers bei schwankendem Dampfverbrauch. . . . .                 | 24 |
| Die Beschichtung des Planrostes zur Erzielung eines rauchfreien Feuers . . . . . | 25 |
| Das Abschladen . . . . .   | 27 |
| Das Decken des Feuers . . . . .  | 28 |
| Hilfsapparate bei der Befuerung, die Zugmesser . . . . .                         | 28 |
| Prämien für den Kesselheizer . . . . .   | 30 |

### 6. Die Feuerungsanlagen der Dampfkessel.

|   |    |
|---|----|
| Die Planrostfeuerung . . . . .          | 31 |
| Die Treppenrostfeuerung . . . . .       | 36 |
| Halbgasfeuerung . . . . .               | 39 |
| Die Sägespä- und Holzfeuerung . . . . . | 40 |
| Die Muldenrostfeuerung . . . . .        | 41 |
| Die Unterwindfeuerung . . . . .         | 42 |
| Die Gasfeuerung . . . . .               | 42 |
| Die Ölfeuerung . . . . .                | 43 |

**7. Die rauchverbütenden Dampfkesselfeuerungen.**

|   | Seite |
|---|-------|
| Rauchverbrennung durch Zusatzluft . . . . .           | 46    |
| Die Feuerungen mit mechanischer Beschickung . . . . . | 47    |
| Die Wander- und Kettenroste . . . . .                 | 50    |
| Die Stokerfeuerung . . . . .                          | 56    |
| Die Kohlenstaubfeuerung . . . . .                     | 56    |

**8. Die Feuerzüge und der Schornstein.**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Die Heizfläche . . . . .             | 60 |
| Feuerzüge und Wasserumlauf . . . . . | 60 |
| Der Schornsteinverlust . . . . .     | 62 |
| Der künstliche Zug . . . . .         | 63 |

**9. Die Aufbereitung des Kesselspeisewassers.**

|  |    |
|--|----|
| Gute und schlechte Wärmeleiter . . . . .     | 64 |
| Ruß und Kesselstein . . . . .                | 65 |
| Die Aufbereitung des Speisewassers . . . . . | 65 |
| Die Verfahren zu seiner Enthärtung . . . . . | 65 |
| Destilliertes Wasser . . . . .               | 70 |
| Die Entgasung des Speisewassers . . . . .    | 71 |
| Die Kontrolle des Wassers . . . . .          | 72 |
| Die Kesselreinigung . . . . .                | 75 |

**10. Die Verdampfung des Wassers.**

|   |    |
|---|----|
| Die Aggregatzustände des Wassers . . . . .  | 74 |
| Die Schmelzwärme des Eises . . . . .        | 74 |
| Die Flüssigkeitswärme des Wassers . . . . . | 74 |
| Die Verdampfungswärme des Wassers . . . . . | 76 |
| Die Gesamtwärme des Dampfes . . . . .       | 76 |
| Der Dampfdruck . . . . .                    | 77 |
| Der Luftdruck (Atmosphäre) . . . . .        | 77 |
| Sattdampf und überhitzter Dampf . . . . .   | 79 |
| Tabelle über überhitzten Dampf . . . . .    | 79 |
| Die Dampfüberhitzer . . . . .               | 79 |
| Die Heißdampfzähler . . . . .               | 83 |
| Die Wärmespeicher . . . . .                 | 85 |

**11. Die gebräuchlichsten Kesselbauarten.**

|  |     |
|--|-----|
| Allgemeine Anforderungen . . . . .                     | 86  |
| Die Großwassertraumkessel . . . . .                    | 87  |
| Der Flammrohrkessel . . . . .                          | 87  |
| Der Heizrohrkessel . . . . .                           | 91  |
| Stehende Feuerbüchskessel . . . . .                    | 92  |
| Der kombinierte oder zusammengesetzte Kessel . . . . . | 93  |
| Der ausziehbare Röhrenkessel (Lokomobile) . . . . .    | 95  |
| Der Siederohrkessel . . . . .                          | 97  |
| Der Schiffskessel . . . . .                            | 104 |
| Der Strahlungskessel . . . . .                         | 105 |

**12. Bau und Reparatur der Dampfkessel.**

|   |     |
|---|-----|
| Der Baustoff . . . . .                            | 106 |
| Beschädigungen der Kesselbleche . . . . .         | 107 |
| Nietung und Schweißung . . . . .                  | 107 |
| Das Einwalzen der Siede- und Rauchrohre . . . . . | 109 |
| Die Wasserdruckprobe . . . . .                    | 109 |

**13. Die Ausrüstung des Dampfkessels.**

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Die Wasserstandsanzeiger . . . . .  | 110 |
| Manometer und Vakuummeter . . . . . | 118 |
| Die Sicherheitsventile . . . . .    | 119 |
| Die Speisevorrichtungen . . . . .   | 122 |

|  | Seite |
|--|-------|
| Die Injektoren . . . . .                       | 125   |
| Die Kreiselpumpe . . . . .                     | 128   |
| Die selbsttätigen Wasserstandsregler . . . . . | 130   |
| Das Speise- und Rückschlagventil . . . . .     | 134   |
| Die Abbläsvorrichtung . . . . .                | 134   |
| Abperrventile und -schieber . . . . .          | 135   |
| Die Rohrleitungen . . . . .                    | 137   |
| Der Wärmeschutz . . . . .                      | 138   |

#### 14. Die Speisewasservorwärmer und Lufterhitzer.

|  |     |
|--|-----|
| Der Abdampfvorwärmer . . . . .               | 139 |
| Der Rauchgasvorwärmer (Economiser) . . . . . | 140 |
| Der Abgaslufterhitzer . . . . .              | 145 |

#### 15. Betriebsvorschriften für die Kesselwärter von Landdampfesseln.

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Wortlaut der Vorschriften . . . . . | 147 |
|-------------------------------------|-----|

#### 16. Wärmewirtschaft und Kesselhausüberwachung.

|  |     |
|--|-----|
| Die selbsttätige Feuerregelung . . . . . | 149 |
| Die Dampfuhren (Mengenmessung) . . . . . | 152 |
| Die selbsttätige Rückspeisung . . . . .  | 152 |
| Die laufende Überwachung . . . . .       | 153 |

#### 17. Die Heizkessel.

|   |     |
|---|-----|
| I. Die Niederdruckdampfessel . . . . .                                    | 154 |
| II. Warmwasserkessel . . . . .  | 158 |
| III. Merkblatt „Wie spart man Brennstoff bei Zentralheizungen?“ . . . . . | 159 |
| <b>Sachverzeichnis</b> . . . . .  | 160 |

#### Fremdwörter-Erläuterungen.

##### Sonstige Ausrüstungsteile für Dampfanlagen.

Kondenstöpfe  
 Druckminderungs- (Reduzier-) Ventile  
 Dampftöpler  
 Schmierapparate

} sind im Leitfaden  
 „Die Maschinistenschule“  
 Vorträge über die Bedienung von Dampfma-  
 schinen und Dampfturbinen von F. D. Morg-  
 ner behandelt.

## Zur Einführung.

**Die amtlichen Richtlinien für die Heizerlehrgänge** sind vom Reichs- und Preussischen Wirtschaftsminister von neuem erlassen und auch auf die Niederdruckdampf- und die Warmwasserkessel ausgedehnt worden. Ihr Zweck ist nach dem veröffentlichten Wortlaut **eine sicherheitstechnische und wärmewirtschaftliche Ausbildung der Heizer**. Zur Durchführung von Lehrgängen sind von den Schulleitern Schulausschüsse aus Vertretern der Behörden, der Industrie und der Deutschen Arbeitsfront zu berufen. Bedingungen für die Zulassung zu den Heizerlehrgängen sind: 1. Erfüllung des 18. Lebensjahres, 2. Nachweis mindestens einjähriger Tätigkeit als selbständiger Landkesselheizer oder als Heizer und Maschinenwärter oder als selbständiger Heizer auf Binnen-schiffahrtsdampfern, 3. Lehrzeugnisse als Maschinenbauer, Schlosser oder Kesselschmied und Nachweis mindestens dreimonatiger Tätigkeit als selbständiger Heizer oder 4. mindestens einjähriger Tätigkeit als Heizer auf Seeschiffen und Nachweis dreimonatiger Tätigkeit als selbständiger Heizer in einer Landdampfkesselanlage.

Mit den Lehrgängen ist eine Abschlußprüfung vor dem Schulausschuß verbunden, worüber die erfolgreichen Teilnehmer ein Prüfungszeugnis mit einheitlich für das Reich festgesetzter Fassung erhalten.

**Die Aufgaben des Kesselheizers.** Der Zweck jeder Dampfkesselanlage besteht in der Erzeugung von gespanntem Dampf, wobei der Heizer 1. für die Betriebssicherheit und 2. für die beste wirtschaftliche Ausnutzung der Kesselanlage zu sorgen hat.

Die Betriebssicherheit muß der Heizer unbedingt wahren, da Verstöße gegen dieselbe schwere Folgen (Kesselschäden, im schlimmsten Falle sogar Kesselexplosionen) haben können. Es ist daher seine unerläßliche Pflicht, die Sicherheitsvorrichtungen (**Wasserstandsanzeiger**<sup>1)</sup> — Seite 113, Sicherheitsventile, Manometer), die Speisevorrichtungen und die sonstige Armatur (Absperrventile, Hähne), sowie den Kessel tadellos in Ordnung zu halten. Außerdem muß er bis in alle Einzelheiten mit seiner Kesselanlage genau vertraut sein, damit er sich im Gefahrenfalle schnell und sicher zu helfen weiß.

Seine volle berufliche Tüchtigkeit muß er jedoch durch die wirtschaftliche Ausnutzung der Kesselanlage, d. h. durch möglichst geringen Kostenverbrauch beweisen und sich hierbei dessen bewußt sein, daß die Kohle im Kesselbetrieb ohnehin nicht völlig ausgenutzt werden kann und bei gut in Ordnung gehaltenen Kesselanlagen nur 70 Prozent des Wärmegehaltes der Kohle in den Dampf übergeführt werden (12 Prozent gehen durch Ausstrahlung durch das eiserne Feuergeschränk, das Kesselmauerwerk und die Schlacke und Asche verloren und 18 Prozent ziehen mit den Schornsteingasen ab). Bei schlechten, mangelhaften Kesselanlagen sind die Wärmeverluste jedoch viel größer und beträgt der Nutzeffekt mitunter bloß 50 bis 60 Prozent.

<sup>1)</sup> Ein eingehender Hinweis auf die große Bedeutung der Wasserstandsanzeiger ist aus pädagogischen Gründen an dieser Stelle am Platze.

Noch geringer ist der Wirkungsgrad der Dampfmaschinen, in denen 13 Prozent der Wärme des eintretenden Dampfes durch Kondensation an den Zylinderwänden und Ausstrahlung verloren gehen, 10 Prozent zur Überwindung der inneren Reibung der Dampfmaschine selbst verbraucht werden, 65 Prozent in dem Auspuffdampf verbleiben, so daß nur 12 Prozent der in die Dampfmaschine gelangten Wärme für die Nutzleistung (Abgabe von Kraft) zur Verfügung stehen, wobei der in der Dampfleitung nach der Maschine auftretende Wärmeverlust infolge der unvermeidlichen Ausstrahlung (etwa 5 Prozent) noch nicht berücksichtigt ist.

Es besteht daher alle Ursache, vom Heizer zu verlangen, daß er durch geschickte Bedienung des Feuers, durch Anpassen der Schichthöhe desselben und der Schieberstellung an den jeweiligen Dampfverbrauch, durch sachkundige Beobachtung der Speisewasservorwärmer, der Dampfüberhitzer, der Wasserreinigungsanlage, durch den regelrechten Gebrauch der Speisevorrichtungen, durch gleichmäßiges Halten der Dampfspannung auf den höchsten zulässigen Betriebsdruck, durch gute Instandhaltung des Kesselmauerwerks, der Wärmeschutzverkleidung und der Kontrollinstrumente (Zugmesser, Rauchgasprüfer, Speisewassermesser und Thermometer) den Wirkungsgrad der Dampfmaschine auf voller Höhe hält und daß er etwaige Mängel erkennt und Abhilfe schafft.

## 1. Die Brennstoffe im allgemeinen.

**Entstehung und innerer Aufbau der Brennstoffe.** Unsere hauptsächlichsten natürlichen Brennstoffe sind die Steinkohle, die Braunkohle, der Torf und das Holz. Ihr innerer Aufbau ist für die Verbrennungsvorgänge maßgebend. Steinkohlen und Braunkohlen sind die Überreste von Wäldern und Pflanzen, die vor einer unermesslich langen, sich jeder menschlichen Schätzung entziehenden Zeit durch Wetterkatastrophen und Erdumwälzungen entwurzelt, fortgeschwämmt und verschüttet worden sind. Unter dem Einfluß der Wärme, des Druckes und der Feuchtigkeit der darauf lastenden Erdschichten sind diese Holzmassen dann allmählich zu Kohle geworden, als welche sie heute der Bergmann zutage fördert.

Diese Entwicklung weist auch ohne wissenschaftliche Untersuchung darauf hin, daß die Kohle aus ähnlichen Bestandteilen wie das Holz aufgebaut sein muß. Das Holz besteht, wie wir beim Betrachten eines Baumstammes sofort ersehen können, aus mehreren verschiedenen Substanzen, und zwar aus der eigentlichen Holzfaser, die den Hauptbestandteil ausmacht, ferner aus Harzen oder teerartigen Stoffen, die in geringerer Menge vorhanden sind, an einzelnen Stellen aus dem Baumstamme herausquellen, aber auch, wenn dies auch weniger augenfällig und sichtbar ist, das ganze Holz durchdringen; schließlich fühlt sich das Holz noch feucht an, so daß es auch Wasser enthalten muß. Die Harze oder teerartigen Bestandteile bilden, wie wir später noch ersehen werden, beim Verbrennen der Kohle und der Brennstoffe überhaupt die leuchtende Flamme des Feuers oder, wenn sie unverbrannt aus dem Feuer abziehen, den Rauch. Man nennt sie daher auch die flammbaren oder die rauchigen Bestandteile. Der Wassergehalt des Holzes, von dem hier die Rede ist, ist nicht bloß die beim Anfassen äußerlich wahrnehmbare, sondern eine innerliche Masse, die man feststellen kann, wenn das Holz längere Zeit dem Trocknen ausgesetzt und hernach sein Gewichtsverlust bestimmt wird. Ferner enthält das Holz noch einen vierten Bestandteil, der beim Verbrennen als Asche und Schlacke zurückbleibt, also unverbrennlich ist, und den man auch die feinsten oder mineralischen Bestandteile des Holzes nennt.

Diese vier Bestandteile des Holzes müssen wir, wenn auch in veränder-

tem Zustand und in anderer Form, in der Kohle wiederfinden, da auf der Erde ein Stoff wohl eine Veränderung erfahren, aber niemals verloren gehen kann. Die anfänglich weiße oder grünliche, weiche und leichte Holzfasern sind schwarz, glänzend, feinartig, dichter und schwerer geworden und bilden den Hauptbestandteil der Kohle, weshalb sie Kohlenstoff genannt wird. Die harzigen Bestandteile des Holzes haben sich unter Abgabe von Gasen, d. h. die Grubengase oder schlagenden Wetter, gleichfalls verdichtet und bilden die teerartigen Bestandteile der Kohle, die, wie beim Holze, beim Verbrennen die leuchtende Flamme oder, wenn sie unverbraunt abziehen, den Rauch des Feuers bilden. Auch das Wasser ist in der Kohle geblieben, nur hat der Wassergehalt der Kohle mit deren zunehmendem Alter abgenommen. Ferner mischte sich die Kohle während ihrer langen Entstehungszeit stellenweise mit den darauf lastenden Sand- und Erdmassen und nahm in manchen Gegenden auch weitere Bestandteile, z. B. den Schwefel daraus auf, die im Holze fehlen. Die Folge davon ist, daß die Kohle mehr Asche und Schlacke enthält, daß sie schwerer ist, sich erst bei einer höheren Temperatur entzündet und mehr Wärme entwickelt (oder einen höheren Heizwert hat) als das Holz.

In nachstehender Tabelle ist die Zusammensetzung einiger Kohlenarten in ganz rohen Durchschnittswerten angegeben. Die teerartigen (auch flammbaren oder rauchigen) Bestandteile fehlen im Kohse, da sie bei der Verkokung der Kohle (Glühen in luftdicht geschlossenen Retorten) als Gase austreten.

| Hauptbestandteile                    | Holz<br>% | Stein-<br>kohle<br>% | Kohlen-<br>schlamm<br>% | Braun-<br>kohle<br>% | Koh-<br>braun-<br>kohle<br>% | Koks<br>% | Braun-<br>kohlen-<br>briketts<br>% |
|--------------------------------------|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|-----------|------------------------------------|
| 1. Kohlenstoff . . . . .             | 40—60     | 66                   | 40                      | 42                   | 31                           | 86        | 53                                 |
| 2. Teerartige Bestandteile . . . . . | 15—18     | 21                   | 14                      | 16                   | 10                           | —         | 23                                 |
| 3. Wasser . . . . .                  | 20—40     | 8                    | 25                      | 32                   | 47                           | 3,5       | 15                                 |
| 4. Mineralische Bestandteile         | } 1,5—2   | 4                    | 19                      | 6,5                  | 9                            | 7         | } 9                                |
| 5. Schwefel u. a. . . . .            |           | 1                    | 2                       | 3,5                  | 3                            | 3,5       |                                    |

**Die chemische Zusammensetzung der Brennstoffe.** Für die Beurteilung, ob die Verbrennung der Kohle richtig erfolgt, ob die Kohle also gut oder schlecht ausgenutzt wird, kann man sich mit der ganz rohen Angabe, daß die Kohle aus den vier Bestandteilen: Kohlenstoff, teerartigen Bestandteilen, Wasser und mineralischen Bestandteilen zusammengesetzt ist, nicht begnügen, und muß man sie vom wissenschaftlichen Standpunkte der Chemie aus auf ihren Gehalt an solchen Stoffen untersuchen, die in keiner Weise, weder durch Erhitzung noch durch Wärme noch auf elektrischem Wege oder sonstwie weiter zerlegbar sind. Solche Stoffe nennt man Elemente oder Urstoffe, von denen wir z. Bt. etwa 90 kennen. (Blei, Kupfer, Eisen, Antimon, das bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Quecksilber, der Schwefel, das in eisernen Flaschen in den Handel gebrachte Sauerstoffgas und Wasserstoffgas u. a.)

Auch der Hauptbestandteil unserer Brennstoffe, der Kohlenstoff, ist ein solcher Urstoff und nimmt in erster Linie an der Verbrennung teil.

Der zweite Bestandteil der Kohle, die teerartigen oder flammbaren oder rauchigen Bestandteile, die, wie wir sahen, von dem Harze des untergegangenen Holzes abstammen, sind jedoch kein solcher Grundstoff und zerfallen bei der Verbrennung in Kohlenstoff, und zwar ist dies Kohlenstoff derselben Grundart wie der Hauptbestandteil der Kohle, sowie in einen zweiten Stoff, den gasförmigen Wasserstoff. Dieser Zusammensetzung halber führen sie auch die wissenschaftliche Bezeichnung Kohlenwasserstoffe. Ob ihre Zerlegung tatsächlich im

Kesselfeuer immer eintritt, ist allerdings eine andere Frage; bei der Untersuchung der Verbrennungsvorgänge müssen wir aber mit ihr rechnen. Sie erfolgt erst bei hoher Temperatur, und zwar bei der Entzündungstemperatur der teerartigen Bestandteile, d. s. etwa 320 bis 350° Celsius. Wird diese Temperatur im Kesselfeuer nicht erreicht, so erfolgt diese Zerlegung nicht (es bildet sich dann der schwarze Rauch).

Der dritte Bestandteil der Brennstoffe, das Wasser, ist gleichfalls bei hoher Erhitzung, wenn Dampf über glühende Kohle geleitet wird, in zwei Grundstoffe oder Elemente zerlegbar, nämlich in zwei Gase, den Wasserstoff und den Sauerstoff. Die Zerlegung des Wassers findet im Kesselfeuer zumeist nicht statt, da es als Wasserdampf entweicht. Man begnügt sich deshalb bei den Angaben über die chemische Zusammensetzung der Kohle mit der Feststellung ihres Wassergehaltes.

Der vierte Hauptbestandteil der Kohle, die mineralischen (oder steinigen) Bestandteile sind gleichfalls in verschiedene Grundstoffe zerlegbar; für den Verbrennungsvorgang ist indes nur wesentlich, daß sie auch Sauerstoff enthalten, der sich im Feuer abspaltet, während die übrigen (die erdigen) Bestandteile zusammensintern und zusammenbacken und die Asche und die Schlacke bilden.

Die sonst in der Kohle vorhandenen Grundstoffe, z. B. der Schwefel, sind wegen ihrer geringen Menge nur von ganz nebensächlicher Bedeutung für den Verbrennungsvorgang.

Fassen wir die bisherigen Betrachtungen über die chemische Zusammensetzung der Brennstoffe zusammen, so ergibt sich unter Berücksichtigung einer einfachen, dem Gesichtskreis des Heizers angepaßten Auffassung folgendes:

Die Brennstoffe bestehen:

I. aus brennbaren Grundstoffen, und zwar

- a) aus Kohlenstoff. Derselbe rührt in erster Linie von der eigentlichen Holzfasern und zweitens von dem Kohlenstoff aus den teerartigen Bestandteilen her.
- b) aus Wasserstoff, der sich im Feuer im wesentlichen aus den teerartigen Bestandteilen abspaltet.

II. aus nicht brennbaren Bestandteilen, nämlich:

- a) aus Wasser,
- b) aus mineralischen (oder steinigen) Bestandteilen,

III. aus Sauerstoff, soweit er sich bei der Verbrennung der Brennstoffe aus den mineralischen Verbindungen abspaltet. Er ist für sich nicht brennbar, wird aber bei der Verbrennung der vorstehends unter Ziffer I genannten Grundstoffe verzehrt. Die in den Brennstoffen enthaltene Sauerstoffmenge ist ziemlich klein und daher für die Verbrennung nicht wesentlich.

**Kohlenstoff** in nahezu reiner Form sind die Holzkohle (98 Prozent), der Graphit und der Ruß. Letztere sind schwer brennbar. Graphit wird deshalb zur Verhütung des Festbrennens der Wasserstandsähne als Zusatz zur Schmiermasse verwendet. Der Ruß entsteht beim Abkühlen der Flammen an den Kesselblechen und bleibt dort bis auf die heißesten Stellen über dem Feuer haften.

**Der Wasserstoff** verbrennt mit dem Sauerstoff der Luft zu hoch erhitztem Wasserdampf, so daß sein Verbrennungsprodukt, auf gewöhnliche Temperatur abgekühlt, das Wasser ist (daher sein Name Wasserstoff). Er entsteht u. a. bei der chemischen Zerlegung des Wassers, beispielsweise beim Laden der elektrischen Akkumulatoren. Da er mit Luft vermischt das heftig explodierende Knallgas bildet, müssen die Akkumulatorkammern gut gelüftet und dürfen nicht mit Licht betreten werden.

**Der Sauerstoff** ist wie der Wasserstoff ein Gas. Lateinisch heißt er Oxygenium (oxydieren = mit Sauerstoff vereinigen, z. B. Kasten, Verbrennen). Man spricht daher auch von Kohlenoxyd, Schwefeloxyd usw.

## 2. Die Verbrennungsvorgänge.

**Allgemeines über die Verbrennung.** Die Verbrennung ist die Vereinigung der Brennstoffe mit dem Sauerstoff der Luft unter Wärme- und Lichtentwicklung. Sie tritt mit der Entzündungstemperatur und bei genügender Luftzufuhr ein. Wird erstere unterschritten, etwa beim Abschlagen, so erlischt das Feuer ebenso wie bei Luftabschluß, wie wir dies aus dem Verlöschen einer Kerze unter einer luftdicht abgeschlossenen Glasglocke ersehen können. Ist ein Brennstoff einmal angezündet, so vermag er auch andere Brennstoffe mit höherer Entzündungstemperatur in Brand zu setzen, z. B. Holz die Steinkohle, oder Holz und Steinkohle den Koks.

**Die Luft** ist ein Gemisch aus mehreren Gasen und Wasserdampf. Für unsere Zwecke genügt die Angabe, daß sie aus 21 Prozent Sauerstoff und 79 Prozent Stickstoff besteht. Der Sauerstoff ist für die Verbrennung unentbehrlich. Der Stickstoff hingegen brennt überhaupt nicht, sondern erstickt, wie schon sein Name sagt, jede Verbrennung. Für die Ausnützung der Kohle ist dies sehr nachteilig, da er mit erwärmt werden muß und hierbei die Temperatur im Feuer herabgedrückt wird. Würde die Verbrennungsluft nur aus Sauerstoff bestehen, so würde die Temperatur der Verbrennungsgase 10015° betragen (d. i. eine Temperatur, von der wir uns überhaupt keine Vorstellung machen können), infolge des Stickstoffgehaltes der Luft beträgt sie nur etwa 2200°. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, daß nur die nach der theoretischen Berechnung nötige Luftmenge zur Feuerung hinzuströmt. Durch den unvermeidlichen Luftüberschuß in der Feuerung ermäßigt sich die Temperatur eines gut in Ordnung gehaltenen Feuers auf 1000 bis 1500° Celsius (d. i. ungefähr die Schmelztemperatur des Eisens).

Verbrennungstemperaturen<sup>1)</sup> einiger Brennstoffe in ° Celsius.

| Kohlen säuregehalt <sup>2)</sup><br>% | Steinkohlen<br>7300 kgcal | Braunkohlen-<br>brikette<br>4800—5000 kgcal | Braunkohle<br>2700 kgcal |
|---------------------------------------|---------------------------|---|--------------------------|
| 9                                     | 1050° Celsius             | 980° Celsius                                | 820° Celsius             |
| 10,5                                  | 1120° "                   | 1120° "                                     | 950° "                   |
| 12,5                                  | 1300° "                   | 1300° "                                     | 1080° "                  |
| 14,0                                  | 1550° "                   | 1450° "                                     | 1200° "                  |

**Die vier Verbrennungsabschnitte.** Bei der Verbrennung treten an jedem Kohlenstück im Feuer in nachstehender zeitlicher Reihenfolge vier hauptsächlichste Vorgänge auf, nämlich:

1. die Verdampfung des Wassers oder das Trocknen des Brennstoffes,
2. die Vergasung und Verbrennung der teerartigen Bestandteile oder die Verkokung der Kohle,
3. die Verbrennung der kohligen Bestandteile (d. i. der Kohlenstoff),
4. die Bildung der unverbrennlichen Rückstände, der Asche und Schlacke.

Die Verdampfung des Wassers, die Vergasung der Kohle und die Bildung der Rückstände stellen keine eigentlichen Verbrennungsercheinungen dar, weil der Wasserdampf und die aus den teerartigen Bestandteilen bestehenden Gase im Feuer nur ihre Zustandsform geändert haben, keine Verbindung mit dem Sauerstoff der Brennluft eingegangen sind und durch Abkühlung wieder in ihre an-

<sup>1)</sup> Nach Herberg: Feuerungstechnik u. Dampfkesselbetrieb. Berlin: Julius Springer.

<sup>2)</sup> Gemessen in der Feuerung. Der am Kesselende gemessene Kohlen säuregehalt ist zu meist um 1 bis 2 Prozent niedriger.

fängliche Form zurückgeführt werden können. Man nennt sie deshalb auch **physikalische Vorgänge**.

Bei der Verbrennung der vergasteten teerartigen Bestandteile und des Kohlenstoffes entstehen aber völlig neue Stoffe (Gase) und zwar die chemischen Verbindungen mit dem Sauerstoff der Luft. Man nennt diese Vorgänge daher auch **chemische Vorgänge**.

Die Verbrennung der Kohle besteht demnach aus physikalischen und chemischen Vorgängen, die teilweise ineinander übergehen und sich weder in der Praxis noch vom wissenschaftlichen Standpunkt aus scharf voneinander trennen lassen. Die weitaus wichtigeren sind die chemischen Vorgänge, weil sie sich an dem Hauptteil der Kohle, an deren Brennmasse, abspielen und Wärme erzeugen, während die physikalischen Vorgänge nur kurze Zeit andauern, Wärme verbrauchen und nur insofern von Bedeutung sind, als sie die chemischen Vorgänge zu erleichtern oder zu erleichtern vermögen.

Die einzelnen Bestandteile der Kohle, der Kohlenstoff, die teerartigen Bestandteile (die Kohlenwasserstoffe), das Wasser und die mineralischen Bestandteile verhalten sich bei der Verbrennung der Kohle sehr verschieden voneinander.

**Das Verdampfen und die Bedeutung der Kohlemasse.** Letztere entweicht bei der Erwärmung der Kohle bei 100° als Wasserdampf in den Heizgasen und verursacht demnach einen Wärmeverbrauch und Wärmeverlust. Obgleich die Kohle demnach in möglichst lufttrockenem Zustande verfeuert werden sollte, ist doch das vielfach übliche Anfeuchten derselben mitunter vorteilhaft, um das Zusammenbacken der Schlacken und beim Verfeuern von trockener feinkörniger Kohle das Fortreißen von unverbrannten Kohlenteilen in die Feuerzüge zu verhüten. Durch den Wassergehalt kann auch die Entgasung der Kohle vorteilhaft verzögert und hierbei eine Kohlenersparnis erzielt werden, weil bei einer verlangsamten Vergasung die Verbrennung der flüchtigen Kohlendase erleichtert wird. Auch wird die Schädlichkeit der äußeren Feuchtigkeit der Kohle vielfach überschätzt, als die zu ihrer Verdampfung erforderliche Wärmemenge für viel höher gehalten wird, als sie tatsächlich ist.

**Die Entgasung und Verkofung der Kohle.** Nach dem Verdampfen des Wassergehaltes werden die teerartigen Bestandteile, die Kohlenwasserstoffe flüchtig, d. h. sie gehen, wie das Wasser, in Dampfform über und füllen den Feuerraum über dem Roste aus. Man sagt, die Kohle entgast oder verkofet. Sie verbrennen im Raume über dem Rost (Raumverbrennung) mit hell leuchtender Flamme, die mit fortschreitender Entgasung abnimmt und schließlich völlig verschwindet, was man in den von Hand beschickten Feuerungen oder bei mechanisch angetriebenen Feuerungen dann gut beobachten kann, wenn die Beschickungsapparate bei vollem Betrieb einmal für 5 bis 10 Minuten abgestellt werden.

Die flüchtigen Bestandteile zerfallen beim Verbrennen (wenn sich also, wie vorstehend erwähnt, die Flamme bildet) in ihre Urbestandteile, den Kohlenstoff und den Wasserstoff, woraus als Verbrennungsprodukte Kohlenäure und sehr hoch erhitzter Wasserdampf entstehen.

Das Leuchten der Flamme beruht darauf, daß in ihr infolge von Luftmangel fein verteilter Kohlenstoff ausgeschieden und auf Weißglut erhitzt wird. Am Rande und an der sonstigen Oberfläche der Flamme, wo die Verbrennungsluft ungehinderten Zutritt hat, verbrennt der weißglühende Kohlenstoff, wobei eine ganz schwach leuchtende Zone an der Flamme entsteht. Man kann dies deutlich an einer ruhig brennenden Kerze beobachten. Davon, daß das Leuchten der Flamme tatsächlich von weißglühendem Kohlenstoff herrührt, kann man sich überzeugen, wenn man in die Flamme (etwa einer Kerze) einen kalten Gegenstand (einen

Porzellanteller oder einen Eisenstab) hineinhält, an welchem sich alsdann der weißglühende Kohlenstoff abkühlt und als **Ruß** absetzt. Im Kesselfeuer erfolgt dieses Auscheiden des Rußes beim Anheizen des Kessels an den kalten Wandungen über und hinter dem Feuerraum

**Die Entstehung des Rauches.** Die flüchtigen Bestandteile verbrennen nur beim Vorhandensein ihrer Entzündungstemperatur (etwa 300°) und bei genügendem Luftzutritt, andernfalls ziehen sie unverbrannt als Rauch ab. Letzterer besteht demnach aus wärmetechnisch sehr wertvollen brennbaren, mit Ruß durchsetzten Gasen, und es sind bei starker Rauchentwicklung die Wärmeverluste beträchtlich.

Gasarme Brennstoffe, Anthrazit, Koks usw., lassen sich leichter rauchschwach verfeuern als gasreiche. Die Rauchentwicklung beim Braunkohlen- oder Holzfeuer ist leichter vermeidbar als beim Steinkohlenfeuer, weil ihre flüchtigen Bestandteile leichter brennbar sind.

**Die vollständige und unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffes.** Nach der Entgasung bleibt der feste Bestandteil der Kohle, der Kohlenstoff mit den mineralischen Bestandteilen zurück. Die Kohle hat dann ihr Aussehen geändert und ist porös und zu Koks geworden. Derselbe verbrennt im glühenden Zustande auf dem Roß (Schichtverbrennung) **in zwei Abstufungen:** Zunächst an seiner glühenden Oberfläche zu einem Gas, dem **Kohlenoxydgas**, das noch brennbar ist und bei ausreichendem Luftzutritt und bei der verhältnismäßig niedrigen Temperatur von 300° Celsius weiterverbrennt, und zwar zu **Kohlenäure**. Bei Luftmangel in der Feuerung, also bei verschlacktem Roß, bei ungenügendem Essenzug oder zu hoher Feuerhöhe, die einen sehr großen Luftbedarf und infolgedessen einen sehr starken Essenzug erfordert, zieht das Kohlenoxyd unverbrannt ab, was natürlich ein Mangel ist, denn die Kohle soll in jedem Falle so weit verbrennen, daß die abziehenden Gase keine brennbaren Bestandteile mehr enthalten. Die Kohlenäure ist nicht weiter brennbar. Man nennt daher die Verbrennung zu Kohlenoxydgas die **unvollständige**, und die Verbrennung zu Kohlenäure die **vollständige** Verbrennung des Kohlenstoffes. Um zu Kohlenäure zu verbrennen, verbraucht 1 Kilogramm Kohlenstoff 2,4 Kubikmeter Sauerstoff, der in 11,4 Kubikmeter Luft enthalten ist. Für die Verbrennung zu Kohlenoxydgas ist jedoch nur die Hälfte dieser Sauerstoff- oder Luftmenge erforderlich. In Gewichtsmengen ausgedrückt stellt sich die Verbrennung des Kohlenstoffes wie folgt dar:

1) 1 Kilogramm Kohlenstoff + 1,33 Kilogramm Sauerstoff = 2,33 Kilogramm Kohlenoxydgas.  $C(\text{arbon}) + O(\text{xygenium}) = CO$ .

2) 2,33 Kilogramm Kohlenoxydgas + 1,33 Kilogramm Sauerstoff = 3,66 Kilogramm Kohlenäure.  $CO + O(\text{xygenium}) = CO_2$ .

Im ersten Falle werden rund 2500, im zweiten Falle insgesamt 8100 Wärmeinheiten, also über  $\frac{2}{3}$  mehr erzeugt.

Bei der Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxydgas, also bei seiner unvollständigen Verbrennung, entsteht demnach nur etwa der **dritte** Teil der Wärmemenge wie bei der vollständigen Verbrennung zu Kohlenäure. Der Heizer muß daher darauf sehen, daß die Rauchgase kein oder möglichst wenig Kohlenoxydgas enthalten; während der Gehalt derselben an der unverbrennlichen Kohlenäure möglichst hoch sein soll. **Dies ist auch der Grund, weshalb man die Rauchgase im Essenzug auf ihren Gehalt an Kohlenäure und Kohlenoxydgas untersucht.** Der geübte Heizer erkennt das Kohlenoxydgas an der bläulichen, kurzen Flamme, mit der es über der Grundglut des Feuers zu Kohlenäure verbrennt; doch kann diese Verbrennung auch bereits innerhalb der Glühhöhe erfolgen und dabei keine Flamme sichtbar sein. Im übrigen sind die Kohlenäure und das Kohlenoxydgas farblos und geruchlos. Der Heizer muß also, da äußerlich wahr-

nehmbare Unterscheidungsmerkmale zwischen diesen beiden Gasen nicht vorhanden sind, darauf achten, daß genügend Luft zum Feuer hinzutreten kann, den Kofst erforderlichenfalls abschlagen, den Luftzug verstärken oder die Feuerfchicht niedriger halten oder mit dem Schüreifen aufbrechen und lockern. Große Mengen von Kohlenoxydgas treten sehr leicht in den Schüttfeuerungen von Niederdruckkesseln (siehe Abschnitt 17) auf, wenn dieselben mit Kofst betrieben werden und letzterer zum Zusammenbacken neigt oder viel Schlacke absondert. Die beim Öffnen der Feuerfüre über der glühenden Kofstfchicht sich bildenden langen blauen Flammen zeigen dann an, daß große Mengen Kohlenoxydgas vorhanden waren.

Tritt die unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffs nicht bloß vorübergehend auf und erstreckt sie sich ferner auf die ganze Feuerung, so macht sich der damit verbundene enorme Wärmeverlust durch schnelles Fallen des Dampfdruckes bemerkbar, so daß der Heizwert einen deutlichen Hinweis auf einen Mangel im Feuer erhält. Das Kohlenoxydgas (Kohlendunst) ist übrigens giftig und wirkt, in größeren Mengen eingeatmet, tödlich.

**Die unverbrennlichen Bestandteile** der Brennstoffe bleiben zurück. Je nachdem sie einen mehr oder minder hohen Schmelzpunkt haben, fließen sie zusammen und bilden auf dem Kofst eine zusammenhängende Masse, die Schlacke, oder fallen als einzelne Körner (Asche) durch die Kofstspalten hindurch in den Aschenfall.

Von den sonstigen Bestandteilen der Kohle ist noch der **Schwefel** brennbar. Er verbindet sich beim Verbrennen mit dem Sauerstoff der Luft zu schwefliger Säure, die für den Heizwert der Kohle ohne Belang ist, sich aber mitunter durch ihre Schädlichkeit für die Umgebung der Kesselanlage bemerkbar macht.

### 3. Die Zusammensetzung und die Untersuchung der Heizgase.

**Die theoretische Zusammensetzung der Heizgase.** Die Schilderung der Verbrennungsvorgänge zeigt, daß die brennbaren Bestandteile der Brennstoffe bei der Verbrennung ganz bestimmte Gase bilden und somit auch die im Feuer entstehenden Heizgase eine ganz bestimmte Zusammensetzung haben müssen. Die Heizgase enthalten bei einer theoretisch durchgeführten Verbrennung:

1. Stickstoff als unverbrennlichen Bestandteil aus der Verbrennungsluft,
2. Kohlenfäure und Wasserdampf, die bei der Verbrennung der teerartigen Bestandteile entstehen,
3. Kohlenfäure als Produkt der vollständigen Verbrennung des festen Kohlenstoffes der Kohle,
4. Wasserdampf und schweflige Säure, die von der Kohlenmasse und dem Schwefelgehalt der Kohle herrühren.

Die Heizgase sind demnach in sehr einfacher Weise zusammengesetzt und enthalten als Verbrennungsprodukt (abgesehen von der unwesentlichen schwefligen Säure) nur Kohlenfäure und Wasserdampf. Würde man die Verbrennung theoretisch durchführen, so betrüge der Kohlenfäuregehalt in den Heizgasen (eine mittlere Steinkohle vorausgesetzt) 19,2 Prozent, die übrigen 80,8 Prozent der Heizgasmenge würden in erster Linie Stickstoff (etwa 79 Prozent) und im übrigen (etwa 2 Prozent) Wasserdampf und schweflige Säure sein.

**Die praktische Zusammensetzung der Heizgase.** Dieses Ergebnis ist jedoch in der Praxis nicht zu erzielen, weil die theoretische Luftmenge, die nach der wärmetechnischen Berechnung für die Verbrennung der Kohle ausreichen müßte, im Feuer nicht so verteilt werden kann, daß ihr Sauerstoff restlos verzehrt wird. Die Folge sind Wärmeverluste durch große Mengen Kohlenoxydgas in den Verbren-

nungsgasen. Man muß daher in allen Feuerungen mit einer größeren als der theoretischen Luftmenge, mit einem **Luftüberschuß**, arbeiten. Derselbe verursacht, weil die überschüssige Luft mit erwärmt werden muß und die Verbrennungstemperatur herabsetzt, auch einen Wärmeverlust, und ist daher möglichst klein zu halten, d. h. so zu bemessen, daß er zur Verhütung des Kohlenoxydgases, also der unvollständigen Verbrennung, gerade ausreicht. Jedenfalls soll er nicht etwa größere Wärmeverluste als das Kohlenoxyd zur Folge haben. Ist er gleich der theoretischen Luftmenge, so beträgt der Kohlen säuregehalt in dem oben angenommenen Falle und unter Zugrundelegung der untenstehenden Tabelle  $19,2 : 2 = 9,6$  oder rund 10 Prozent, der mit ihm unvermeidlich verbundene Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase  $19,2 - 10 = 9,2$  Prozent und der Wärmeverlust etwa 18 Prozent. Im allgemeinen sollen die Heizgase im Essensfuchs 11 bis 14 Prozent Kohlen säure und kein Kohlenoxydgas enthalten, und der Sauerstoffanteil etwa 5 Prozent, jedenfalls nicht über 8 Prozent betragen, was etwa dem  $1\frac{1}{2}$ fachen bis doppelten der theoretischen Luftmenge entspricht. Bei geringerem Kohlen säure- und größerem Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase ist der Luftüberschuß zu groß und muß er vom Heizer durch tieferes Einstellen des Essenschiebers vermindert werden. Läßt der Heizer hierbei den Essenschieber zu tief herab, so entstehen in der Feuerung Luftmangel und die wirtschaftlich ungünstige Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxydgas, so daß der Dampfdruck fällt. Der Heizer muß den Essenschieber alsdann wieder mehr öffnen, zieht er ihn zu hoch, so entstehen durchgebrannte Stellen im Feuer und der Luftüberschuß wird wieder zu groß. Der Heizer muß daher den Essenschieber so lange verstellen, bis er dessen richtige Stellung gefunden hat.

Bei dieser theoretischen Betrachtung über die beste wirtschaftliche Zusammensetzung der Heizgase ergibt sich demnach eine sehr wichtige Regel für die praktische Bedienung des Feuers. **Es ist nämlich eine Hauptaufgabe des Heizers, die richtige Schichthöhe des Feuers und die richtige Stellung des Essenschiebers ausfindig zu machen und beide mit der jeweiligen Inanspruchnahme des Dampfkessels in Einklang zu bringen.** Ist dies der Fall, so wird die Verbrennung mit der vom praktischen Standpunkt aus günstigsten Luftmenge durchgeführt und der sparsamste Kohlenverbrauch erzielt.

Die nachstehende Tabelle<sup>1)</sup> über die Beziehungen des Kohlen säuregehaltes, des Luftüberschusses und den Wärmeverlusten einer Kesselfeuerung ist für eine mittelgute Steinkohle und eine Abgastemperatur von  $270^{\circ}$  berechnet.

|                                      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|--------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| Bei einem Kohlen säuregehalt von     | 19,2 | 15  | 14  | 13  | 12  | 10  | 8   | 6   | 4   | 2 Prozent                                       |
| ist der Luftüberschuß                | 1    | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,4 | 3,2 | 4,7 | 9,5 mal so groß wie die theoretische Luftmenge. |
| Der Kohlenverlust beträgt dann . . . | 0    | 12  | 13  | 14  | 15  | 18  | 23  | 30  | 45  | 90 Prozent                                      |

<sup>1)</sup> Diese Tabelle gilt, was nicht außer acht gelassen werden darf, nur dann, wenn in den Heizgasen keine unverbrannten Gase (Kohlenoxydgas, Wasserstoff) vorhanden sind, andernfalls wird der Wirkungsgrad des Feuers trotz einem hohen Gehalt an Kohlen säure in den Rauchgasen ungünstig. Ist beispielsweise in dem Rauchgas ein Gehalt von 14 Prozent Kohlen säure und von 1 Prozent Kohlenoxydgas festgestellt (was sehr leicht zutreffen kann), so ergibt das Auftreten des Kohlenoxyds einen Wärmeverlust von rund 5 Prozent, wie folgende Rechnung aufweist:  $C + O = CO$  mit 29 Wärmeeinheiten;  $C + O_2 = CO_2$  mit 97 Wärmeein-

**Die Untersuchung der Feuer gases** bietet dem Heizer eine gute Unterlage dafür, ob das Kesselfeuer und die Kesselzüge in Ordnung sind oder nicht. Man benutzt hierzu besondere Apparate, die Rauchgasprüfer. Gewöhnlich sind sie nur für die Feststellung des Kohlen säuregehaltes eingerichtet; doch gibt es auch Apparate, mit denen außerdem der Gehalt an Kohlenoxydgas oder an brennbaren Bestandteilen überhaupt (Kohlenoxydgas, Wasserstoff) laufend festgestellt und registriert wird.

Die Zahl der verschiedenen Rauchgasprüfapparate ist ziemlich groß (etwa 30). Sie beruhen darauf, daß die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Kohlen säure auf verschiedene Weise zur Messung ausgenützt werden.

Für wissenschaftliche Zwecke, für Einzeluntersuchungen von Dampfkesselanlagen und zur Kontrolle von anderen Rauchgasprüfern bedient man sich der volumetrischen Messung. Dieselbe besteht darin, daß man mittels einer an den Rauchgasprüfer angeschlossenen Rohrleitung von etwa 20 Millimeter Durchmesser aus dem Kessel eine bestimmte Rauchgasmenge — gewöhnlich 100 Kubikzentimeter — heraus saugt und diese Rauchgasprobe der Reihe nach durch drei Behälter (Absorptions gefäße) mit je einer besonderen Flüssigkeit in Berührung bringt. Die eine Flüssigkeit (Alkalilösung) saugt dann die Kohlen säure, die andere (Pyrogallussäure) das Kohlen oxydgas und die dritte (Kupferchlorürlösung) den Sauerstoff aus der Rauchgas probe auf, so daß man aus der in drei Abstufungen entstehenden Verringerung der Rauchgasprobe die Menge der darin enthaltenen Gasarten ersehen kann. Preßt man z. B. 100 Kubikzentimeter Rauchgas durch eine Alkalilösung, so wird nur die Kohlen säure der Gasprobe von der Alkalilösung aufgesaugt, während die übrigen Gase wieder aus ihr heraustreten. Bleiben dann von der Gasprobe nur noch 88 Kubikzentimeter übrig, so betrug der Kohlen säuregehalt der Feuer gases 100 — 88 = 12 Prozent. In den beiden übrigen Absorptionsgefäßen bestimmt man alsdann in gleicher Weise den Gehalt des Gasrestes an Kohlenoxydgas und Sauerstoff.

Ein derartiger Apparat ist der **Orsatapparat**, der mit 2 oder 3 Absorptions gefäßen hergestellt wird. Die in Abb. 1 dargestellte Bauart hat 2 Absorptionsgefäße, die zur Feststellung des Kohlen säure- und des Sauerstoff- oder des Kohlenoxyd gasgehaltes dienen.

Im Gefäß  $a_1$  befindet sich Kalilauge zum Auffaugen der Kohlen säure, im Gefäß  $a_2$  Pyrogallussäure oder Phosphor in Stängchenform zum Auffaugen des Sauerstoffs. Beide Gefäße sind bis etwa  $\frac{2}{3}$  ihrer Höhe gefüllt. Zum Ansaugen von Gas führt eine Rohrleitung vom Filter nach dem letzten Feuerzug. Mit der Schlauchpumpe und durch wechselnde Einstellung des Dreiweghahnes  $h_3$  zieht man das Gas in die Rohrleitung. Die Niveauflasche und die Bürette sind mit Wasser gefüllt und mittels eines Gummischlauches miteinander verbunden. Senkt man die Niveauflasche, so nimmt sie das Wasser aus der Bürette auf und das Gas wird nach entsprechender Einstellung des Dreiweghahnes  $h_3$  in die Bürette hineingesaugt. Zu feiner Untersuchung dreht man den Hahn  $h_3$  wie in der Abbildung angegeben, stellt die Durchgangsöffnung des Hahnes  $h_1$  senkrecht und treibt die

heiten.  $\frac{(97 - 29)}{15 \cdot 97} \cdot 100 = 4,85$  Prozent (rund 5 Prozent). Der gesamte Kohlenverlust würde

dann nach vorstehender Tabelle betragen:  $13 + 5 = 18$  Prozent und die Verbrennung wäre demnach wärmetheoretisch nicht günstiger als eine solche mit 10 Prozent Kohlen säuregehalt und keinem Kohlenoxyd. Die Beurteilung der Ergebnisse einer Rauchgasanalyse kann selbstverständlich nicht dem Heizer zugemutet werden und muß dem Ingenieur obliegen; obgleich auch Fälle in der Praxis vorkommen, bei denen der Heizer bemerkt, daß er mit einem geringeren Kohlen säuregehalt den Dampf besser als bei hohem Kohlen säuregehalt halten kann. Die analytische Untersuchung der Rauchgase auf Kohlenoxydgas (oder unverbrannte Gase überhaupt) ist somit für eine wissenschaftliche Betriebsführung sehr wichtig.

Gasprobe durch Anheben der Niveauflasche in das Absorptionsgefäß  $a_1$  für die Kohlensäure. Letztere wird hierbei von der Alkalilösung aufgesaugt. Senkt man hierauf die Niveauflasche, so strömt das Gas in die Bürette zurück und die Kalilauge wird bis zum Hahn  $h_1$  hochgezogen. Hierauf hebt man die Niveauflasche so weit, bis die Wasserpiegel in der Niveauflasche und in der Bürette auf gleicher Höhe stehen. Es steht dann der Gasrest in der Bürette (d. i. die Gasprobe, verringert um die Kohlensäure) unter demselben Druck wie die äußere Atmosphäre und die Zahl am Wasserstand in der Bürette zeigt an, um wieviel Kubikzentimeter die anfänglich 100 Kubikzentimeter große Gasprobe verringert worden ist, d. h. sie gibt den Kohlenäuregehalt der letzteren an.

Die Bestimmung des Sauerstoff- oder des Kohlenoxydgasgehaltes erfolgt in der Weise, daß man den verbliebenen Gasrest durch Heben und Senken der Niveauflasche in das Absorptionsgefäß  $a_2$  leitet und wieder zurücksaugt. Hierauf werden die

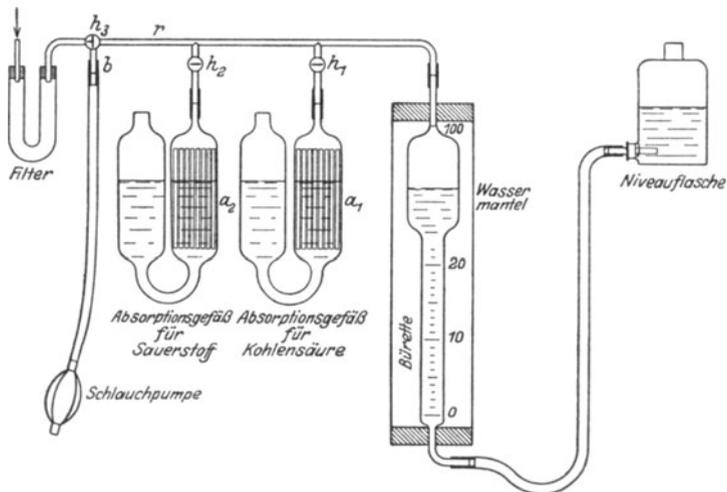


Abb. 1<sup>1)</sup>. Orsatapparat mit 2 Absorptionsgefäßen, die mit verschiedenen Chemikalien gefüllt werden und zur Bestimmung des Kohlensäure- und des Sauerstoff- oder des Kohlenoxydgasgehaltes in den Rauchgasen dienen.

Wasserpiegel in der Bürette und in der Niveauflasche wieder auf gleiche Höhe eingestellt. Die an der Bürette ablesbare Zahl gibt dann an, wieviel Kohlensäure und Sauerstoff zusammengenommen in der Gasprobe enthalten waren. Die Bestimmung des Sauerstoff- und des Kohlenoxydgasgehaltes ist übrigens wegen der komplizierten Zusammenfözung und des Verhaltens der dabei erforderlichen Chemikalien bei der Berührung mit der Luft ziemlich umständlich und schwierig, so daß bei nicht genügender Sorgfalt sehr leicht falsche Angaben entstehen. Untersuchungen mit diesem Apparat können daher nur von Fachingenieuren vorgenommen werden.

Nach demselben Grundsatz wie der Orsatapparat sind eine Anzahl Rauchgasprüfer für die laufende und ununterbrochene Untersuchung der Rauchgase auf den Kohlenäuregehalt hin gebaut. Der Apparat (Abb. 2) arbeitet wie folgt:

Durch den kleinen Hahn a fließt ständig Wasser zu. Letzteres steigt in dem Rohr R und zugleich in dem Schenkel b des Hebers in die Höhe. Hierbei wird

<sup>1)</sup> Abb. 1 ist „Franz Seufert: Verbrennungslehre und Feuerungstechnik“, Berlin: Julius Springer, entnommen.

die Rauchgaszufuhr aus dem Gasrohr *d* unterbrochen, sobald dessen untere Öffnung vom Wasser verschlossen ist. Die Gase in dem Behälter *W* können beim weiteren Ansteigen des Wassers zunächst noch durch das Rohr *e* entweichen, bis auch dieses unten durch das Wasser versperert wird. Die in dem Behälter *W* alsdann eingeschlossenen Rauchgase werden nunmehr durch das Röhrchen *g* hindurch nach dem Behälter *L* gedrückt, dessen Lauge die Kohlensäure absorbiert. Die Lauge wird hierbei in den Kanälen *h* und *i* in die Höhe gedrückt, und zwar um so mehr, je weniger Kohlensäure aufgesaugt worden ist. Beim Ansteigen der Lauge tritt zunächst die Luft durch das Rohr *k* hindurch aus dem Apparat heraus, bis das untere Ende des Rohres *k* durch die Lauge verschlossen wird und die im Rohr *l* eingeschlossene Luft die bewegliche Glocke *m* hebt, die an einem Hebelgestänge die Schreibfeder *S* auf der Papierrolle *T* aufwärts schiebt.

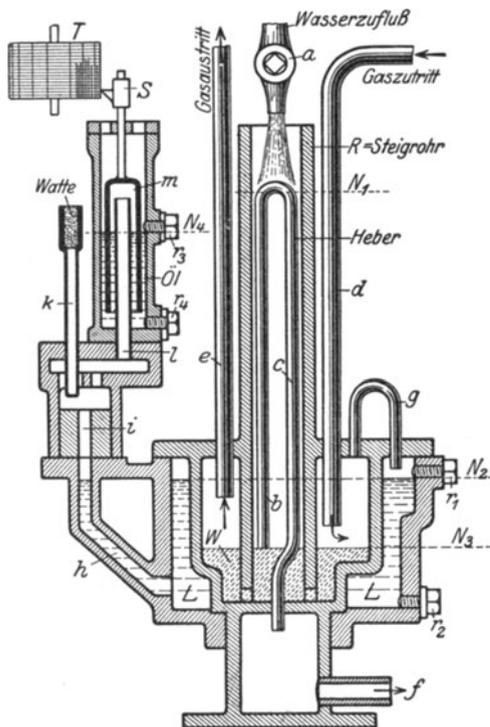


Abb. 2. Schematische Schnittzeichnung eines Rauchgasprüfers. *L* = der Behälter mit Alkalilauge, welche die Kohlensäure aus der im Apparat abgesperrten Rauchgasprobe herausfängt.

Bevor sie in den Apparat gelangen, werden sie in einem (nicht gezeichneten) Filter mit Holzwolle vom mitgeführten Staub gereinigt. Der Apparat muß genau in der Waage stehen und selbstverständlich gut abgedichtete Rohranschlüsse haben.

Bei dem elektrischen Kohlensäuremesser der **Siemens-Halske u. G.** (Abb. 3) ist eine physikalische Eigenschaft, nämlich das Wärmeleitvermögen, als Meßgröße für den Kohlensäuregehalt zugrunde gelegt. Ist das Wärmeleitvermögen von Luft = 100, so beträgt es für Kohlensäure nur 59, d. h. letztere leitet die Wärme nur nahezu halb so gut wie Luft. Spannt man demnach einen dünnen Draht in die zylindrische Bohrung eines Metallklozes und erhitzt man ihn durch einen elektrischen Strom, so wird er, falls die zylindrische Bohrung von Kohlensäure durchströmt wird, heißer werden als ein zweiter, in gleicher Weise ein-

ist das Wasser in dem Rohr *R* bis zur Höhe *N*<sub>1</sub> gestiegen, so tritt der Heber in Tätigkeit. Das Rohr *R* und der Behälter *W* werden schnell bis zur unteren Mündung des Rohrschenkels *b* entleert, so daß die Rauchgase wieder durch den Apparat hindurchströmen können und die Lauge wieder in die Lage *N*<sub>2</sub> zurückkehrt. Zugleich gehen auch die Glocke *m* und mit ihr der Schreibstift *S* in ihre Anfangsstellungen zurück.

Die Lauge ist durch das Entlüftungrohr täglich bis zur Niveauschraube *r*<sub>1</sub> aufzufüllen; ebenso das Öl im Glockenbehälter bis zur Schraube *r*<sub>3</sub>. Die Schrauben *r*<sub>2</sub> und *r*<sub>4</sub> sind Ablassschrauben. Das Rohr *k* erhält oben zur Verhütung der Verschmutzung durch Staub einen Wattepfropfen. Das aus dem Heber periodisch abfließende Wasser wird durch das Rohr *f* abgeleitet. Das Ansaugen der Gase wird durch einen kleinen, mit Wasser betriebenen Snyjektor im Gasrohr *e* bewirkt.

gespannter Draht, der in einem Luftstrom liegt. Die Drahttemperatur ist demnach abhängig von dem Kohlen säuregehalt des Rauchgases. Steigt letzterer, so wird der Draht, welcher von den Rauchgasen umspült wird, wärmer, wobei zugleich der Widerstand, den er einem elektrischen Strom gegenüberstellt, größer wird. Da der elektrische Widerstand leicht meßbar ist (mittels der sog. Wheatstoneschen Brücke), läßt sich der jeweilige Kohlen säuregehalt der Rauchgase auf diesem Wege feststellen. Der elektrische Rauchgasprüfer wird mit einer weithin sichtbaren Anzeigevorrichtung, einer Schreibvorrichtung und nach Bedarf auch mit einem Fernschreibgerät ausgerüstet.

Abb. 4 bis 7 zeigen den **Kanarexapparat** der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin. Ein Elektromotor in der Kapsel über der Skala treibt zwei Ventilatoren mit entgegengesetzter Drehrichtung an, von denen der obere das Rauchgas, der untere Luft ansaugt. Der hierbei vor jedem Ventilator, in den Meßkammern, entstehende Wirbel bläht oben und unten auf je ein Meßrad und sucht dieses zu verdrehen. Die Achsen der Meßräder durchdringen die Kammerdeckel in kleinen Lagern und sind, wie aus Abb. 5 ersichtlich, gelenkig miteinander verbunden, so daß eine Gaswaage entsteht. Mit der unteren Achse ist außerdem der nach der Skala führende Zeiger verbunden. Da die Kohlen säure schwerer ist als Luft, überwiegt die Drehkraft des Rauchgaswirbels vor dem oberen Meßrad je nach der Höhe des Kohlen säuregehaltes mehr oder weniger die entgegengesetzt gerichtete Drehkraft des Luftwirbels vor dem unteren Meßrad und bewirkt hierdurch einen entsprechenden Ausschlag der Gaswaage mit dem Zeiger auf der Skala. Der untere Ventilator saugt die Luft im ständigen Kreislauf über dem Wasserpiegel eines Wasserbehälters im Unterteil des Apparates an, um den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Rauchgase auszugleichen.

Werden die Dreiveghähne so eingestellt, daß beide Ventilatoren Außenluft ansaugen, so ist die Drehkraft der Luftwirbel vor den Meßrädern gleich groß und muß sich der Zeiger auf Null einstellen.

Damit der obere Ventilator das Rauchgas besser ansaugt, wird es durch eine Rückleitung nach dem Rauchkanal zurückgeführt. Das Entnahmerohr für das Rauchgas darf nicht glühend werden, weil sich sonst die Kohlen säure an dem glühenden Eisen zersetzt und der Apparat nicht richtig anzeigt.

Eine in wenigen Exemplaren zur Ausföhrung gekommene **Gaswaage** beruhte darauf, daß die Kohlen säure 1,5 mal so schwer ist wie die atmosphärische Luft. Ein an einem Waagebalken befindliches, andauernd von Rauchgasen durchzogenes Hohlglas wird daher einen um so größeren Ausschlag der Waage herbeiföhren, je

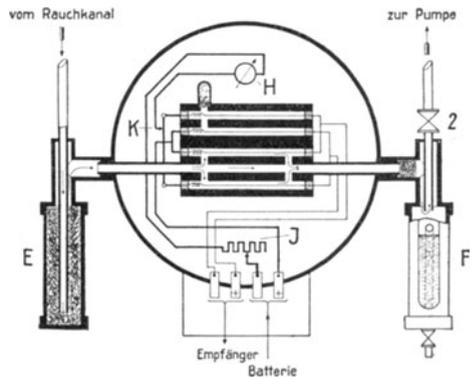


Abb. 3. Elektrischer Kohlen säuremesser von Siemens & Halske. Schnitt durch die Meßkammer. Als Stromquelle dient eine Akkumulatorenbatterie von 6 Volt Spannung und 3,5 Amp. J = kleiner Widerstand zum Einstellen einer konstanten Stromstärke. K = Metallkloß mit den Meßdrähten. H = Kontrollinstrument für die Meßstromstärke. F = mit Glycerin gefülltes Glasgefäß (Manometer) zum Messen des Saugdruckes in der Rauchgasleitung. E = Wattefilter. In dem Metallkloß K sind die beiden oberen Kanäle von Luft, die beiden unteren Kanäle von den Rauchgasen durchzogen. Das (nicht mit gezeichnete) Anzeigeinstrument wird an die mit Empfänger bezeichnete Stelle angeschlossen und befindet sich in der Nähe des Heizerstandes.

höher der Kohlen säuregehalt der Rauchgase ist. Da es sich hierbei um äußerst geringe Gewichtsmengen handelt, dürfte wohl die übermäßige Empfindlichkeit der Gaswaage deren Einführung in die Praxis verhindert haben, wie dies auch bei mehreren anderen Bauarten der Fall ist.

Außer dem Zeiger erhalten die Apparate eine Registriereinrichtung mit einem Uhrwerk und einem rotierenden Papierstreifen, der alle 24 Stunden erneuert wird und auf dem der Verlauf der Feuerführung (Öffnen der Feuertüre beim Abschlacken, beim Aufbrechen der Grundglut, zu niedrige Feuerschicht usw.) durch selbsttätiges Aufzeichnen der gemessenen Werte ersichtlich gemacht ist.

Der Gebrauch der Rauchgasprüfer erfordert zwar einige Übung, ist jedoch von jedem Kesselheizer leicht erlernbar. **Die Hauptsache ist aber, daß der**

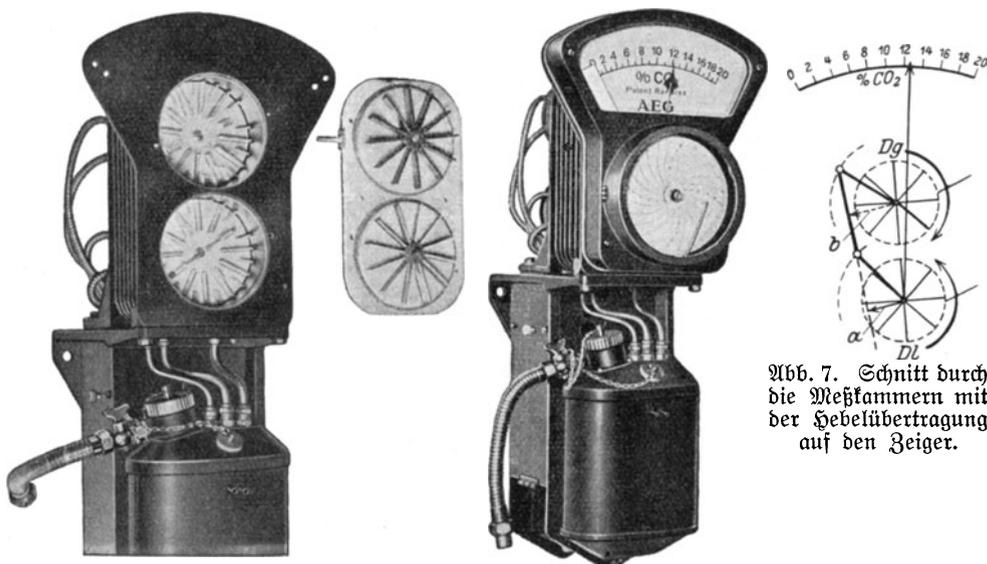


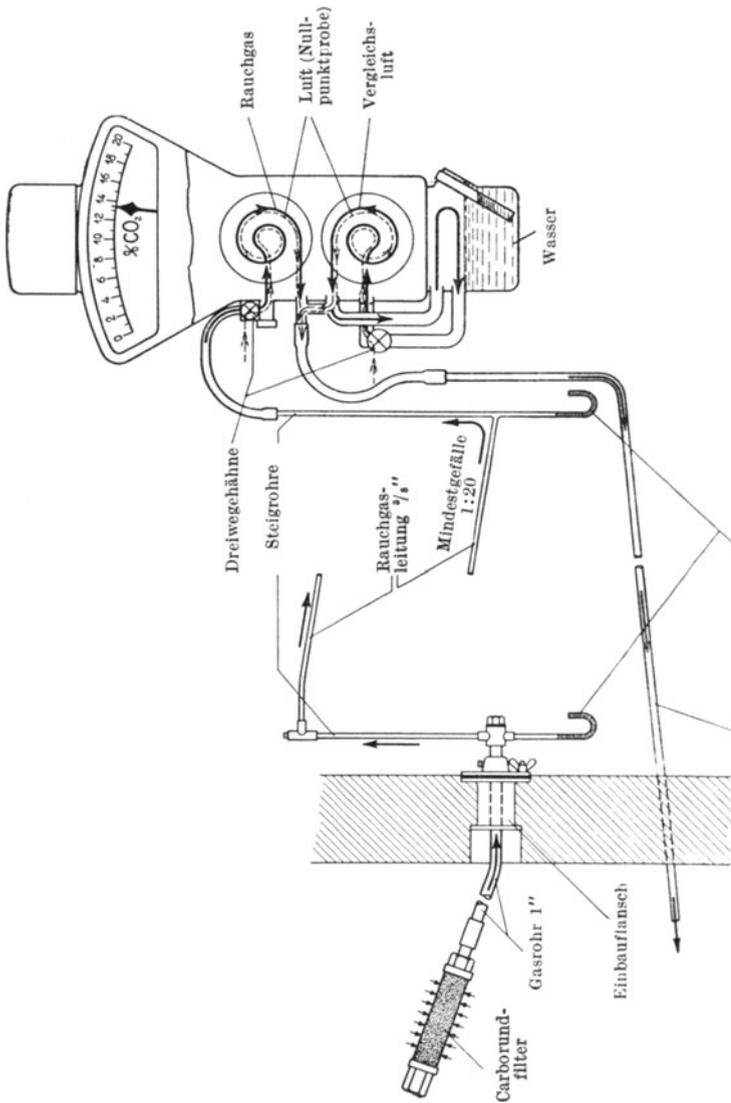
Abb. 7. Schnitt durch die Meßkammern mit der Hebelübertragung auf den Zeiger.

Abb. 4 bis 6. Kanaregapparat der AEG, Berlin.

links: geöffnet, rechts: Ansicht.

**Heizer die Nutzanwendung aus den Angaben des Apparates zieht.** Zeigt letzterer zu wenig Kohlen säure an, so ist zunächst das Feuer nachzusehen, ob die Brennschicht ungleichmäßig oder zu niedrig ist und zuviel Luft durch das Feuer hindurchzieht. Im zutreffenden Falle muß der Heizer die Brennschicht ausgleichen und den Essenschieber herablassen. Ergibt sich hierbei eine zu niedrige Brennschicht und eine zu tiefe Schieberstellung, also eine sehr schwache Zugstärke der Verbrennungsluft, so ist der Koft zu groß und muß verkleinert werden. Der verkleinerte Koft macht dann eine größere Schütthöhe im Feuer und ein Aufziehen des Schiebers erforderlich. Doch kann der ungenügende Kohlen säuregehalt der Rauchgase auch auf eine Verschlackung des Feuers oder auf einen zu engen Koft und somit nicht auf einen Luftüberschuß, sondern auch auf einen Luftmangel im Feuer zurückzuführen sein. **Die Regelung des Feuers nach den Angaben des Rauchgasprüfers läuft demnach darauf hinaus, daß der Heizer ein gut bedecktes und gut in Ordnung gehaltenes Feuer unterhält, und zwar mit einer richtig bemessenen Luftmenge, die er dadurch regelt, daß er den Essenschieber so einstellt, wie es die jeweilig erforder-**

derliche Dampferzeugung verlangt. Da jedoch die Rauchgase für den Rauchgasprüfer aus dem Ofenfuchs dicht an dem Ofenschieber entnommen werden, kann ein zu geringer Kohlen säuregehalt auch auf andere Ursachen als einem schlecht bedeckten Feuer zurückzuführen sein. Der Heizer muß daher auch nach



Rückleitung 3/4\"/>

sehen, ob das Kesselmauerwerk überall dicht hält und nicht irgendwo kalte Luft in die Kesselzüge einströmt, da durch eine derartige Verdünnung der Rauchgase mit Luft der Kohlen säuregehalt der Rauchgase in schädlicher Weise vermindert wird.

Die Rauchgasprüfer sind gewissenhaft zu bedienen und gut instand zu halten, wenn sie immer richtig arbeiten sollen. In diesem Falle machen sie sich aber auch durch die Kohlenersparnis bald bezahlt und erleichtern dem Heizer die Dampf-

erzeugung ganz wesentlich. Ihre regelmäßige Instandsetzung, das Erneuern der etwa verwendeten Chemikalien (Ätzlauge), der Filter usw., wird am besten durch einen Oberheizer besorgt, so daß dem Heizer nur obliegt, das Feuer nach den Angaben des Rauchgasprüfers zu bedienen.

In Kesselhäusern, in denen kein solcher Apparat vorhanden ist, ist es für den Heizer schwieriger, die richtige Schütthöhe des Feuers und die richtige Stellung des Essenschiebers ausfindig zu machen, denn er ist in diesem Falle ausschließlich auf seine Beobachtungsgabe angewiesen.

#### 4. Die einzelnen Brennstoffarten.

**Der Heizwert der Brennstoffe.** Ein Heizer wird vielleicht mit einer bestimmten Steinkohlensorte den Dampf ganz gut auf gleicher Höhe halten können; ist er jedoch aus irgendeinem Anlaß einmal gezwungen, statt der Steinkohle etwa Braunkohlenbricketts oder Rohbraunkohle zu verfeuern, so wird er merken, daß sich alsdann die nötige Dampfmenge auch bei angestrengter Bedienung des Feuers sehr schwer erzeugen läßt. Die Ursache hierfür liegt daran, daß die Steinkohle besser ist als die übrigen Kohlenarten, oder, wie man sagt, daß sie einen höheren Heizwert hat. Unter Heizwert der Brennstoffe versteht man die Wärmemenge, die man aus 1 Kilogramm Brennstoff bei der vollständigen Verbrennung erhält. Genau so, wie wir eine Gewichtseinheit (das Kilogramm), eine Maßeinheit (das Meter), eine Zeiteinheit (die Sekunde), haben, so haben wir auch eine „**Wärmeeinheit**“ (oder **Kalorie** vom lateinischen Worte calor d. i. Wärme), mittels welcher man die in einem Brennstoffe oder in einem sonstigen Körper oder in einer Flüssigkeit aufgespeicherte Wärmemenge mißt. So wie wir das Gewicht von 1 Liter Wasser als die Gewichtseinheit = 1 Kilogramm bezeichnen, verstehen wir unter Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um die Temperatur von 1 Liter Wasser um 1° Celsius zu erhöhen<sup>1)</sup>: Speist man beispielsweise in einen Dampfkessel stündlich 2500 Kilogramm Wasser und wird dasselbe in einem Speisewasservorwärmer von 12° auf 93° erwärmt, so beträgt die Wärmemenge, welche dem Speisewasser hierbei zugeführt wird  $93 - 12 = 81 \times 2500 = 202500$  Wärmeeinheiten und die gesamte in den 2500 kg Speisewasser enthaltene Wärmemenge  $93 \times 2500 = 232500$  WE.

Nehmen wir an, der Heizwert einer mittleren Steinkohle betrage 6400 Wärmeeinheiten, so heißt dies, mit 1 Kilogramm derselben kann man 6400 Kilogramm Wasser um 1° Celsius, also etwa 10 auf 11°, oder 800 Kilogramm Wasser um 8°, also etwa von 10 auf 18° Celsius erwärmen. Um 1 Kilogramm Wasser in Dampf von atmosphärischem Druck zu verwandeln, müssen ihm 638,2 Wärmeeinheiten zugeführt werden (siehe Spalte 6 der Tabelle Seite 75). Es könnte demnach 1 Kilogramm Kohle von 6400 Wärmeeinheiten rund 10 Kilogramm Wasser verdampfen. Da jedoch ein beträchtlicher Teil des Wärmegehaltes der Kohle in den Schornsteingasen abzieht und Wärmeverluste beim Abschlagen und durch Ausstrahlung entstehen, können nicht mehr als etwa 7 Kilogramm Wasser verdampft werden. Man sagt dann, der Kessel arbeitet mit einer siebenfachen Verdampfung. In der Praxis ist demnach eine vollständige Ausnutzung der Kohle nicht möglich, und es ist schon als sehr günstig zu bezeichnen, wenn 75 Prozent der in der Kohle enthaltenen Wärmemenge in das Kesselwasser oder in Dampf übergeführt werden. Die Wärmeeinheit ist demnach ein sehr wichtiges Maß, das

<sup>1)</sup> Nach dem Reichsgesetz vom 7. Aug. 1924 (siehe Reichsgesetzblatt Teil I) ist die gesetzliche Einheit für die Messung von Wärmemengen die Kilokalorie (Kcal) = derjenigen Wärmemenge, durch welche 1 Kilogramm Wasser bei Atmosphärendruck von 14,5° auf 15,5° C erwärmt wird.

bei allen praktischen und theoretischen Untersuchungen der Wärmetechnik angewendet wird.

Der Heizwert (oder der Wärmegehalt) der Brennstoffe ist je nach deren Art verschieden und von ausschlaggebender Bedeutung für den ganzen Kesselbetrieb. Hat 1 Kilogramm Steinkohle beispielsweise 6000, 1 Kilogramm Braunkohle aber nur 3000 Wärmeeinheiten, so müßte, rein theoretisch betrachtet, die doppelte Menge Braunkohle verfeuert werden, um mit ihr die gleiche Dampfmenge wie mit der Steinkohle zu erzeugen. Tatsächlich reicht dies aber nicht aus, denn beim Verfeuern einer schlechten Kohlenforte macht sich auch ein öfteres Abschlagen des Feuers nötig, wobei Wärmeverluste und öftere Unterbrechungen in der Verdampfung auftreten, so daß schätzungsweise nicht bloß die doppelte, sondern vielleicht die dreifache Menge Braunkohle verfeuert werden muß, wenn die gleiche Dampfmenge wie bei der Verfeuerung der Steinkohle erzeugt werden soll. Um eine so erheblich größere Menge Braunkohle verfeuern zu können, muß aber auch ein viel größerer Koft vorhanden und die ganze Feuerung dementsprechend angelegt sein. Wir ersehen demnach, daß der Heizwert der Brennstoffe sehr wichtig ist und daß auch der Heizer über ihn unterrichtet sein muß, damit er den Feuerungsbetrieb richtig beurteilen kann.

Der Heizwert ist abhängig von der Zusammensetzung des Brennstoffes, d. h. von dessen Gehalt an brennbaren Bestandteilen, an Kohlenstoff und Wasserstoff, und an unverbrennlichen Bestandteilen, d. i. Wasser, Asche und Schlacke. Außerdem kommt noch das Verhalten des Brennstoffes im Feuer in Betracht. Haben wir z. B. Kohlenforten, die nach der wissenschaftlichen Untersuchung gleichen Heizwert haben, so kann der Wert dieser Kohlen doch verschieden sein, je nachdem die eine Kohlenforte mehr oder weniger bössartig brennt, schlackt usw. Eine Kohlenforte mit hohem theoretischen Heizwert kann daher auch ausnahmsweise einen geringeren praktischen Heizwert haben und eine geringere Verdampfung ergeben, als eine andere Kohle mit geringerem theoretischen Heizwert, die aber gleichmäßig verbrennt und eine lockere Schlacke zurüchläßt. Der theoretische Heizwert der Kohle kann daher nicht allein für den Preis der Kohle maßgebend sein. Er wird in chemischen Laboratorien bestimmt, indem man aus einer Kohlenprobe (ungefähr 1 Gramm) feststellt, wieviel Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefel darin enthalten sind, und man berechnet dann den Wärmegehalt. Genauere Ergebnisse erhält man bei einer anderen Methode, die darin besteht, daß man eine genau abgewogene Brennstoffmenge in einem geschlossenen Gefäß (Kalorimeter) verbrennt und die Verbrennungsgase in einer vom Wasser umspülten Rohrschlange bis auf die Temperatur der Außenluft abkühlt. Aus der Temperaturerhöhung des Kühlwassers berechnet man dann den Wärmegehalt der verbrannten Kohlenprobe<sup>1)</sup>.

Ganz genau läßt sich der Heizwert einer Kohle nicht bestimmen; bei aller Gründlichkeit und Gewissenhaftigkeit zeigen sich mitunter in den Untersuchungsergebnissen noch Heizwertunterschiede. Das Schwierige bei der Feststellung des Heizwertes ist aber nicht die Laboratoriumsuntersuchung, sondern die Probeentnahme, bei welcher die größte Vorsicht anzuwenden ist, um einen richtigen Durchschnittswert zu erhalten. Bei großen, namentlich den staatlichen Kaufabschlüssen ist es üblich und jedenfalls auch sehr zweckmäßig, von den Kohlenzechen eine Garantie über einen Mindestheizwert der Kohle zu verlangen.

<sup>1)</sup> Bei der Ermittlung des Heizwertes eines Brennstoffes im Kalorimeter (d. i. Wärmemesser) wird auch die Wärme mit angerechnet, die der Wasserdampf der Verbrennungsgase bei seiner Abkühlung zu Wasser abgibt. Man erhält so den „oberen Heizwert“. Der „untere Heizwert“ ist um diese Wärmemenge geringer und wird in der Praxis ausschließlich verwendet, da in den Kesselanlagen der Wasserdampf der Heizgase stets als solcher entweicht.

In nachstehender Tabelle ist der Heizwert einiger Brennstoffe angegeben. Man ersieht daraus, daß die Steinkohle einen viel höheren Heizwert besitzt als die Braunkohle. Der Heizwert der Braunkohlenbriketts kommt dem Heizwert einer mittelguten Steinkohle ziemlich nahe. Die Zahl der Wärmeeinheiten beträgt im allgemeinen in 1 Kilogramm der nachstehenden Brennstoffe:

|                           |           |                          |           |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| Torf (lufttrocken) . . .  | 3000      | Ruhrkohle . . . . .      | 7000—8000 |
| Holz (lufttrocken) . . .  | 3500      | englische Steinkohle . . | 7700—8000 |
| Rohbraunkohle . . . . .   | 1600—2500 | Saarkohle . . . . .      | 6500—7700 |
| böhmische Braunkohle .    | 4000—4500 | schlesische Steinkohle . | 6300—7300 |
| Braunkohlenbriketts . .   | 4700—5000 | Steinkohlenbriketts . .  | 6000—6400 |
| bayerische Steinkohle . . | 4500—5400 | Koks . . . . .           | 6000—7000 |
| sächsishe Steinkohle . .  | 5800—6400 | Kohlenchlamm . . . . .   | 3000—4000 |

**Die Steinkohle** wird nach Handelsbrauch auf Grund der Eigenschaften bezeichnet, die bei der Verkokung und Verbrennung am deutlichsten hervortreten und sich ausschlaggebend nach dem Gehalt an brennbaren Gasen richten. Man spricht daher von langflammigen und kurzflammigen, oder fetten und mageren, und von badenden und nichtbadenden Kohlen. Die langflammigen, fetten und badenden Steinkohlen weisen hinsichtlich der Menge und Güte der flüchtigen Bestandteile und des Koksrückstandes die beste Zusammensetzung auf. Mit dem hohen Gasgehalt verbunden ist die leichte Entzündbarkeit der Kohle. Dies hat den Vorteil, daß sich die Feuerung schnell hoch heizen, dem schwankenden Dampf- und Wärmebedarf gut anpassen und flott im Gange halten läßt. Ein weiterer Vorzug des Gasgehaltes ist die „Raumverbrennung“. Je gasärmer die Kohle ist, um so mehr Wärme wird in der eigentlichen Brennschicht, also unmittelbar auf dem Kofst entwickelt (Schichtverbrennung). Je gasreicher sie aber ist, um so mehr Wärme wird im Feuerraum über und hinter dem Kofst erzeugt. Bei einer gasarmen Kohle haben wir demnach hohe Temperaturen in der Glutschicht auf dem Kofst, was mit Rücksicht auf die Schonung der Kofstläbe und deren Verschlackung nicht erwünscht ist, während bei der gasreichen Kohle die Wärme durch die Flamme weit in die Heizflächen des Kessels hineingetragen und besser verteilt wird.

Andererseits ist aber die gasreiche Kohle schwerer rauchschwach als die gasarme zu verfeuern. Mager- und Anthrazitkohlen, die mit kurzer heller Flamme unter starker Wärmeentwicklung rauchlos verbrennen, einen stärkeren Schornsteinzug oder die Anwendung von Unterwind verlangen, eignen sich daher gut zur Mischung mit gasreicher Kohle, um die Rauchentwicklung zu vermindern. Auch sonst ist es häufig von Vorteil, verschiedene Kohlenarten zu vermischen; z. B. Kohle mit badender Schlacke zu einem Viertel bis einem Drittel mit Braunkohlenbriketts oder kleinstücker Braunkohle. Letztere verbrennen hierbei schneller als die Steinkohle, verhindern durch ihre sandartige Asche das Zusammenbacken der Steinkohle und halten infolgedessen das Feuer locker und luftdurchlässig.

Die Förderkohle wird in technisch hochentwickelten Anlagen einem sorgfältigen Aufbereitungsverfahren unterworfen, wobei auf Legebändern und in einem Waschverfahren die Gesteinsbeimengungen entfernt werden und der Aschegehalt auf 4 bis 5 Prozent heruntergebracht, sowie in Sortieranlagen die Kohle nach Korngröße ausgefibt wird. Für die Dampfkesselfeuerungen werden hauptsächlich Knorpel-Flammkohle I mit Kantenlängen 15 × 25, Rußflammkohle I und II mit Kantenlängen 12 × 15 und 8 × 12, Waschlarkohle I und II mit Kantenlängen 3 × 8 und 1 × 3, sowie (für Staubfeuerungen) gewaschene und scharf getrocknete Grustkohle und Windficherungskohle mit Korngröße 0—3 und 0—2 Millimeter verwendet. Die gleichmäßige Stückgröße der Kohle ist feuerungstechnisch erforderlich, um gleich

hohe Glut, gleichmäßigen Luftwiderstand und gleichmäßigen Abbrand im Kofstbette zu erzielen. Durch den Waschprozeß wird der Wassergehalt der Kohle nicht merkbar erhöht, da das Wasser nicht in den Kern der Kohle eindringt und nur in einer hauchdünnen Schicht an der Oberfläche haftet; wohl aber wird das Stauben der Kohle beim Transport und bei der späteren Verwendung verhindert.

Auf den neuzeitlichen Wanderrosten und auf Kühltokern auch an Flammrohrkesseln lassen sich im Gegensatz zu den handbedienten Feuerungen auch aschenreiche Kohlen bequem verfeuern. Das Bestreben der Kohlenzechen geht daher dahin, zur Erzielung von Ersparnissen in der Kohlenwäsche gewisse, in große Mengen anfallende Kohlen Sorten ungewaschen abzusetzen, und zwar bei den erwähnten Feuerungen mit großem Verbrennungsraum, wo mit Koksflug nicht zu rechnen ist, Korngröße 1—15, und bei niedrigerem Verbrennungsraum (Flammrohrkessel), bei denen bei scharfem Essenzug Koksflug zu befürchten ist, Korngröße ab 10 Millimeter.

**Die Braunkohle.** Manche Sorten haben noch deutliches Holzgefüge. Man unterscheidet nach ihrer äußeren Beschaffenheit Lignit oder fossiles Holz, ferner erdige Braunkohle, das ist ein geringwertiger, pulveriger und glanzloser Brennstoff, und stückige, der Steinkohle äußerlich ähnliche Braunkohle, z. B. die böhmische Braunkohle. Die Braunkohle enthält im Gegensatz zur Steinkohle viel Wasser und zwar 25 bis 35 Prozent. Man erkennt daher auch die Braunkohlenfeuerungen mitunter schon von weitem an dem weißlichen, dem Schornstein entströmenden Dampfschwaden. Braunkohlen mit hohem Wassergehalt haben einen niedrigen Heizwert und können daher, wenn weite und teure Transportwege in Frage kommen, nicht mit der Steinkohle in Wettbewerb treten. Die Entzündungstemperatur der Braunkohle und namentlich auch der flüchtigen Stoffe liegt wesentlich niedriger als bei der Steinkohle. Infolgedessen läßt sich der Rauch in den Braunkohlenfeuerungen leichter verhüten. Der Verbrennungsrückstand der Braunkohle besteht nur zu einem geringen Teile aus zusammenhängender Schlacke, zum großen Teil ist er bröcklig und fällt durch die Kofstspalten hindurch in den Aschenraum. Infolge ihrer Minderwertigkeit erfordert die Braunkohle große Kofstflächen (am besten Treppensteroste), wenn im Kessel dieselbe Dampfmenge wie bei Steinkohlenfeuerung erzeugt werden soll. Dies gilt namentlich für die Rohbraunkohle, die viel erdige Rückstände (Asche) sowie 40 bis 50 Prozent Wasser enthält und auf Planrosten nur als Streckmittel (bis zu  $\frac{1}{4}$ ) für Steinkohle und Briketts und unter Anwendung von Unterwindgebläsen verfeuerbar ist.

**Der Torf** ist infolge seines hohen Wassergehaltes, der bei lufttrockenem Torfe immer noch ein Viertel bis ein Drittel des Gewichtes beträgt, ein ziemlich minderwertiger Brennstoff, und es kann auch der durch Pressen verdichtete Torf, der sog. Preßtorf, nur in der Umgebung der Torflager verfeuert werden. Auf weite Entfernungen würde sich sein Transport nicht lohnen. Häufig ist der Torf noch mit beträchtlichen erdigen Beimengungen durchsetzt, die beim Verbrennen als Asche zurückbleiben.

Er wird in Form von Ziegeln verfeuert und erfordert sehr große Feuerungen und hohe Feuerschichten, soll der Kohlen säuregehalt der Rauchgase auf eine befriedigende Höhe gebracht werden. Er eignet sich wegen seines geringen Heizwertes wenig für stark beanspruchte Kessel; auch macht er ein sehr häufiges Reinigen der Kesselzüge erforderlich und verursacht auch sonst viel Arbeit bei der Befschickung des Kesselfeuers.

**Das Holz** kann bei uns für Dampfkesselfeuerungen nur als Abfall, in Sägewerken, Tischlereien usw. in Betracht kommen. Es hinterläßt beim Verbrennen sehr wenig Asche und hat frisch gefällt 40 Prozent, in lufttrockenem Zustand 20 Pro-

zent Wasser, wodurch sein Heizwert sehr herabgedrückt wird. Die vergasbaren Bestandteile des Holzes sind noch leichter entzündlich als die der Braunkohle, weshalb Holzfeuerungen bei einigermaßen richtiger Anlage sehr wenig rauchen. Große Holzstücke sind zu zerleinern, wenn ihr Heizwert gut ausgenutzt werden soll. Hartholzlägespäne sind nach Bedarf mit Holzabfällen zu vermischen, da sie sich allein schwer verheizen lassen (siehe auch Holzfeuerung S. 40).

**Die Braunkohlenbriketts** sind getrocknete und mit einem Druck von 1000 bis 1500 Atmosphären zusammengepreßte Feinkohle. Bei der Erwärmung der Braunkohle wird das darin enthaltene Harz oder Erdpech zähflüssig und verkittet die Kohlenteile beim Erkalten zu einer festen, dauerhaften Masse. Da die Braunkohlen bei der Brikettierung nahezu ihr sämtliches Wasser verlieren, wird der Heizwert der Briketts gegenüber dem der Förderkohle erheblich gesteigert, so daß er dem einer mittleren Steinkohle gleichkommt. Für Dampfkesselfeuerungen sind 30 Millimeter große Würfelbriketts bestimmt, die teils in Mischung mit Steinkohlen teils für sich allein verfeuert werden und mit Rücksicht auf ihre große Brenngeschwindigkeit und weiträumige Schütthöhe hoch aufgeschichtet werden müssen.

**Die Steinkohlenbriketts** werden aus dem bei der Förderung und Aufbereitung erhaltenen Kohlengrus bis zu 7 Millimeter Korngröße hergestellt. Da die Steinkohle von Anfang an viel weniger Wasser als die Braunkohle enthält, wird sie vor der Brikettierung nur in beschränktem Maße, hauptsächlich nur bei Verwendung von gewaschener Kohle, getrocknet. Sie muß jedoch vor dem Brikettieren, was mit einem Drucke von 200 bis 300 Atmosphären geschieht, mit einem besonderen Bindemittel, wie Pech, Harz oder Asphalt, innig vermischt werden, da die Steinkohlenbriketts andernfalls nach dem Erkalten und beim Lagern wieder zerbröckeln.

Die Stein- und Braunkohlenbriketts sind ein sehr gutes Feuerungsmaterial. Ihre Vorzüge bestehen in der gleichmäßigen Größe, der gleichartigen Zusammensetzung und in der erhöhten, in der Verminderung des Wassergehaltes begründeten Heizkraft. Auch sind die Steinkohlenbriketts infolge des Zusatzes an Bindemitteln und die Braunkohlenbriketts infolge des verringerten Wassergehaltes leichter entzündlich und verbrennen mit längerer Flamme als die Rohkohlen.

**Der Koks** entsteht bei der Vergasung der Bad- und Sinterkohlen in den Koksereien und Gasanstalten. Aus 100 Kilogramm Kohle werden etwa 60 bis 70 Kilogramm Koks gewonnen. Da er nur die festen Bestandteile der Kohle enthält, verbrennt er fast **rauchlos** und wird aus diesem Grunde für Dampfkesselfeuerungen verwendet, bei denen eine Belästigung der Umgebung durch Rauchgase unter allen Umständen vermieden werden muß, z. B. bei Straßenwalzen, Dampfkesseln für die pneumatische Düngerabfuhr in den Städten usw. Auch für Schüttfeuerungen (Zentralheizungsanlagen siehe Seite 154) ist er unerläßlich und Kohle wegen der schnellen Veruffung der Heizflächen nicht verwendbar. Das hauptsächlichste Verwendungsgelände für den Koks sind die Gießereien und Hochofen. Es gibt Stückkoks, der nahezu völlig (bis zu 97 Prozent) aus brennbaren Bestandteilen entsteht und infolgedessen wenig Asche und Schlacken hinterläßt. Die Schlacke sammelt sich hauptsächlich im Koksabfall an; letzterer hat daher einen sehr hohen Schlackengehalt (oft bis zu 20 Prozent seines Gewichts), so daß sein Heizwert beträchtlich niedriger als der des Stückkokes ist und der Koks oft verschlackt.

Infolge seines ganz geringen Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen entzündet er sich sehr schwer und wird während des Brennens nicht locker und mürbe. Er verbrennt im wesentlichen an der Oberfläche und verlangt eine möglichst innige Berührung zwischen Luft und Oberfläche. Für Kesselfeuerungen sind daher in erster Linie gebrochener Koks kleiner Körnung oder auch Siebkoks zu empfehlen.

Auch muß die Schütthöhe größer gewählt und ein scharfer (künstlicher) Zug verwendet werden. Gemische aus Kohlen und Koks müssen sorgfältig ausprobiert werden, wenn der Koks richtig mitverbrennen und nicht in der Schlacke verloren gehen soll. Eingehende Versuche haben ergeben, daß schon eine Koksbeimischung von nur 10 v. H. für den Wirkungsgrad der Feuerung und für die Verdampfung nachteilig ist.

**Der Braunkohlentoks** ist der Rückstand bei der Braunkohlenverschmelzung<sup>1)</sup> und wird seit einigen Jahren in zunehmendem Umfange auch in Dampfkesselfeuerungen verheizt. Er ist bröcklig und leicht zerreiblich, was ihn für Staubfeuerungen (Krämermühlenfeuerung S. 57) gut geeignet macht. Heizwert: 4000 bis 5000 WE.

**Lagerungsverlust und Selbstentzündung der Kohle.** Bei längerer Lagerung im Freien verwittert jede Kohle und verliert dabei mitunter einen ganz wesentlichen Teil ihres Heizwertes. Der Verlust ist um so größer, je feiner und gashaltiger die Kohle ist. Bei Feinkohle steigt er mitunter nach 3 Monaten bis zu 20 Prozent an. Die Verwitterung der Kohlen vollzieht sich beträchtlich schneller, wenn sich der Kohlenhaufen im Innern durch den eigenen Druck erwärmt. Diese Erwärmung kann zur Selbstentzündung der Kohle führen. Um der Verwitterung vorzubeugen, darf man daher die Kohle nicht in zu hohen Haufen lagern, und muß man sie vor Regen schützen. Ganz gering sind die Lagerungsverluste und die Gefahren einer Selbstentzündung bei Koks. Er nimmt jedoch viel Wasser auf und muß daher vor Regen bewahrt werden.

Manche Braunkohlenbriketts geraten nach verhältnismäßig kurzer Lagerfrist im Kohlenstilo infolge des eigenen Druckes in Brand. Abhilfe ist in solchen Fällen möglich durch Benutzung eines Kohlenstilos mit Druckentlastung durch schräg eingebaute Querwände oder durch Beimischung einer Gruskohle, die die von den Briketts gebildeten Zwischenräume ausfüllt und ein Zerbröckeln und allzugesstes Zusammendrücken der Briketts verhindert; auch müssen die Kohlen trocken in den Silo gebracht werden, da die Masse das Zerbröckeln und Zusammenballen der abgebröckelten Braunkohlen begünstigt. Zur Vermeidung der wiederholt in den Dachräumen der Kohlenstilos vorgekommenen Gasexplosionen sind dieselben gut zu entlüften. In Brand geratene Silozellen sind ins Freie zu entleeren, die brennende Kohle ist in dünner Schicht auszubreiten, mit Wasser zu löschen und sofort zu verfeuern. Hören die Silobrände trotz aller Maßnahmen nicht auf, so muß eine andere Brikettforte verwendet werden.

**Als flüssige Brennstoffe** werden in Dampfkesselfeuerungen Steinkohlenteeröle und ausländische Heizöle verfeuert. Sie haben einen sehr hohen Heizwert (8900 bis 9000 WE.), beanspruchen einen wesentlich kleineren Raum für die Lagerung als Steinkohle, ergeben sehr hohe Verdampfungsziffern (bis 14,2 auf Schnelldampfer Scharnhorst), sind in der Handhabung sehr reinlich und werden wegen dieser Vorzüge auf Seeschiffen viel verfeuert, während sie in Landanlagen wegen des niedrigeren Preises der Steinkohle selten verwendet werden.

Mit **Gas** beheizte Kesselfeuerungen sind ganz vereinzelt anzutreffen. In Hüttenwerken verwendet man die aus Hochöfen, Koksöfen usw. entweichenden Gase, die noch brennbar sind, entweder zum Betriebe von Gasmaschinen oder, was seltener ist, zur Befuerung von Dampfkesseln. Auch in Glashütten werden die Kessel mitunter mit dem Gas aus den Schachtgeneratoren für die Schmelzöfen befeuert.

<sup>1)</sup> Die Schwelung der Braunkohle (Tieftemperaturentgasung) liefert wertmäßig als Haupterzeugnis den Teer, der auf Benzin, Treib- und Heizöl und Paraffin verarbeitet wird, und dürfte voraussichtlich in den nächsten Jahren sehr zunehmen. Koks und Schwelgas sind wertmäßig Nebenerzeugnisse. Auch Versuche mit der Steinkohlenschwelung sind im Gange.

## 5. Die Bedienung des Kesselfeuers.

Beim **Anzünden des Feuers** verfährt man nach der Entzündlichkeit des Brennstoffes. Bei Braunkohlen und leicht entzündlichen Steinkohlen genügt ein Holzfeuer, auf welches allmählich einige Schaufeln Kohle zu legen sind, bis eine genügend hohe Brennschicht vorhanden ist. Bei schwer entzündlichen Steinkohlen, Kohlen Schlamm oder Koks würde hierbei sehr viel Holz verbraucht werden. Man legt in solchen Fällen auf das Holzfeuer zunächst einige Schaufeln Braunkohle auf, und erst, nachdem letztere in Brand geraten sind, beginnt man mit dem Verfeuern des Kosses oder der schwer entzündlichen Steinkohle. Man erspart hierdurch nicht nur Holz, sondern das Anzünden geht auch schneller vonstatten. Dies ist namentlich bei den mit Koks beheizten Niederdruckkesseln für Zentralheizungen in Schulen, Kirchen, Krankenhäusern usw. zu beachten, wobei man sich aber wegen der schnellen Verußung der Heizflächen vor zu großem Verbrauch von Braunkohlen hüten muß.

**Die gleichmäßige und lockere Beschaffenheit der Brennschicht.** Der Heizer hat den Kofst gleichmäßig mit Kohle bedeckt zu halten. Sind auf dem Kofste unbedeckte Stellen vorhanden oder ist das Feuer stellenweise durchgebrannt, so strömt durch diese „Löcher im Feuer“ kalte Luft in den Feuerraum. Diese Luft kann zwar zur Verbrennung halb verbrannter Rauchgase im Feuerraum beitragen; im allgemeinen aber ist sie schädlich, weil sie den Luftüberschuß in der Feuerung erhöht und die Temperatur der Heizgase herabdrückt. Die Folge ist dann ein zu großer Kohlenverbrauch. Bemerkt der Heizer derartige Unregelmäßigkeiten, so muß er das Feuer besser beschicken oder öfters mit der Krücke ausgleichen. Letzteres ist namentlich dann öfters — etwa je nach 30 Minuten — erforderlich, wenn die Kohle durch mechanische Kofstbeschickungsapparate auf den Kofst geschleudert wird. Denn diese Apparate haben trotz ihrer vielen Vorzüge den Nachteil, daß eine völlig gleichmäßige Schütthöhe nicht erreichbar ist.

Befindet sich im Kesselhause ein Rauchgasprüfer, so wird der Heizer durch den geringen Kohlen säuregehalt der Rauchgase auf die mangelhafte Beschickung des Feuers hingewiesen.

**Das Ausgleichen des Feuers** verursacht stets eine sehr beträchtliche Rauchentwicklung, da bei demselben die noch nicht völlig durchgebrannten Kohlenstücke mit der Grundglut innig durcheinander gerührt werden und sehr lebhaft entgasen. Der Heizer muß also darauf sehen, daß das Feuer von vornherein möglichst gleichmäßig bedeckt ist und ohne Röhren gleichmäßig niederbrennt. Bei Kohlen, z. B. Braunkohlenbrüetts, die im Feuer zerfallen, hat das Röhren außerdem zur Folge, daß ein großer Teil derselben unverbrannt in den Ascheraum hindurchfällt.

Die Brennschicht soll aber nicht nur eine gleichmäßige Höhe besitzen, um einen zu großen Luftüberschuß zu verhüten, sie muß dabei auch locker und luftdurchlässig gehalten werden, damit in der Feuerung kein Luftmangel eintritt und die unwirtschaftliche Bildung von Kohlenoxydgas vermieden wird. Sintert also die Kohle während des Abbrandes zusammen, so muß sie vor dem Beschicken vom Heizer mit dem Schüreisen aufgebrochen und gelockert werden.

**Das Aussehen der Flamme.** Wie wir bereits früher gesehen haben, wird die Flamme des Kohlenfeuers von den vergasbaren Bestandteilen der Kohle gebildet. Ihr Leuchten beruht darauf, daß in ihr in Folge von Luftmangel fein verteilter Kohlenstoff ausgeschieden wird, der zur Weißglut erhitzt wird. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man in die Flamme (etwa einer Kerze) einen kalten Körper hineinhält (etwa einen Porzellanteller oder einen Eisenstab), auf welchem sich dann der weißglühende Kohlenstoff als Ruß absetzt. An der Ober-

fläche und am Rande der Flamme verbrennt der weißglühende Kohlenstoff zur Kohlenfäure, was man bei einer brennenden Kerze an dem äußeren, ganz schwach leuchtenden Rande der Flamme gut beobachten kann.

Nach dem Aussehen der Flamme läßt sich beurteilen, ob der Feuerung genügend oder zu wenig Luft zufließt. Beobachtet man das Feuer nach dem Verschicken mit frischer Kohle, so reicht der Luftzug zur Verbrennung der Rauchgase gewöhnlich nicht aus. Die Flamme leuchtet dann nicht hell auf, sondern sieht dunkelrot aus und stößt schwarze Rauch(Ruß)wolken aus. Der Kohlenstoff aus den Rauchgasen kann nicht verbrennen und wird nur bis zur Rotglut erhitzt. Öffnet man in solchen Fällen die Feuertür ein wenig, so daß durch einen schmalen Spalt noch Luft hinzutreten kann, so wird die Flamme helleuchtend und die Rauchgase verbrennen.

**Die Stichtlamme.** Leitet man in das Innere einer helleuchtenden Flamme einen Luftstrom, so verbrennt der weißglühende Kohlenstoff schon hier. Die Flamme wird dann nichtleuchtend und sehr heiß, wie wir dies bei den Lötlampen sehen. Infolge der Temperaturzunahme und weil bei der Verbrennung des weißglühenden Kohlenstoffes große Mengen Kohlenfäure entstehen, wird die Flamme aber auch plötzlich vergrößert, so daß sie sich explosionsartig ausbreitet, d. h. es entsteht eine Stichtlamme.

Auch beim Öffnen der Feuertüre entstehen durch die einströmende Luft öfters Stichtlammen, die beim Herausschlagen aus der Feuerung für den Heizer gefährlich sind. Solange das Feuer noch mit heller Flamme brennt, ist die Feuertüre überhaupt geschlossen zu halten. Muß der Heizer aber in einem solchen Falle dennoch einmal die Feuertüre öffnen, etwa beim Ausgleichen des Feuers, so sorge er für einen kräftigen Luftzug in dem Feuerraum, entweder durch Aufziehen des Essenschiebers oder durch Schließen der Klappe vom Aschefall, so daß, falls durch die eintretende Luft wirklich eine Stichtlamme gebildet wird, diese nicht zur Feuertüre herausschlägt, sondern in das Flammrohr oder in den Feuerzug hineingesaugt wird.

**Der zu große Kofst.** Kann der Heizer mit einem stellenweise unbedeckten Kofst die Dampfspannung im Kessel gut auf gleicher Höhe halten, so ist dies ein sicheres Zeichen dafür, daß der Kofst zu groß ist und verkleinert werden muß. Es ist dann entweder eine Querreihe Kofststäbe herauszunehmen oder ein Teil des Kofstes mit Schamottesteinen abzudecken. Das teilweise Abdecken des Kofstes hat den Vorteil, daß es wenig Arbeit verursacht und daß man den Kofst durch Herausziehen der Schamottesteine schnell wieder auf die ursprüngliche Kofstfläche vergrößern kann. Diese Verminderung der Kofstfläche ist namentlich bei den Dampfkesseln zu empfehlen, die im Winter stärker als im Sommer beansprucht sind. In derartigen Betrieben sollte kein Heizer veräumen, im Sommer mit einer kleineren Kofstfläche auszukommen.

Will der Heizer trotzdem mit einem offen ersichtlich zu großen Kofst auszukommen versuchen, indem er die Feuerschicht möglichst dünn hält, so hat dies zwar den Vorzug, daß die Rauchgase besser verbrennen und die Feuerung rauchschwach arbeitet, es ist dies jedoch immerhin nicht vorteilhaft, da alsdann leicht ein zu großer Luftüberschuß auftritt oder zu dessen Verhütung die Brenngeschwindigkeit durch starke Drosselung des Essenzuges vermindert werden muß, wobei ein mattes, schwelendes Feuer entsteht, in welchem Wärmeverluste durch die unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxydgas kaum zu vermeiden sind. Das Feuer soll hoch geschichtet sein und lebhaft brennen.

**Der zu kleine Kofst** macht sich nach außen hin durch starkes Rauchen des Feuers bemerkbar sowie dadurch, daß sich der Dampfdruck schwer hoch halten läßt. Die Brenn-

schicht muß durch öfteres und reichlicheres Beschicken sehr hoch gehalten werden, brennt trotz des erforderlichen lebhaften Essenzuges nicht genügend durch und verschlactt schnell, so daß der Heizer zur Vermeidung von Wärmeverlusten infolge von Luftmangel und um überhaupt genügend Dampf zu erzielen, öfter abschladen muß, was für den Kohlenverbrauch natürlich nicht zuträglich ist. Der zu kleine Roß kennzeichnet sich daher durch großen Brennstoffverbrauch, die starke Rauchentwicklung und die starken Anforderungen an den Heizer. Ist ein ausreichender Schornsteinzug vorhanden, so empfiehlt es sich, in solchen Fällen den Roß um eine Stabreihe zu verlängern.

**Die richtige Größe der Roßfläche** muß durch die Erfahrung im einzelnen Fall bestimmt werden. Je hochwertiger der Brennstoff und je kräftiger der Essenzug ist, um so kleiner kann sie sein. Auch die Rauchverhütung aus Rücksichtnahme auf die Anwohner erfordert oft eine Vergrößerung der Roßfläche, nach der alten Erfahrung, daß mit zunehmender Roßbelastung die Rauchentwicklung zunimmt und das wirksamste Mittel, die Rauchbildung ohne Zuhilfenahme besonderer rauchverzehrender Feuerungen zu verringern oder zu vermeiden, geringe Roßanstrengung, d. h. Vergrößerung der Roßfläche ist.

**Die Roßbelastung** wird nach der stündlich je Quadratmeter Roßfläche verfeuerten Kohlenmenge ermittelt und beträgt auf dem gewöhnlichen Planroß bei Steinkohlenfeuer 80 bis 100 Kilogramm, bei Braunkohlenbrickettfeuer 120 bis 150. Bei Roß und anderen gasarmen Brennstoffen ist sie wegen deren schwereren Entzündlichkeit geringer, wie auch bei Brennstoffen mit großem Schlacken Gehalt. Durch Anwendung von Unterwind, von Wanderrosten und Stokerfeuerungen ist die praktisch erreichbare Roßbelastung auf das doppelte bis dreifache des angegebenen Wertes gesteigert worden. Sie wird auch nach Wärmeeinheiten bemessen: Werden stündlich 100 Kilogramm Steinkohle mit einem Heizwert von 6700 Wärmeeinheiten je Quadratmeter Roßfläche verfeuert, so sagt man, die Roßwärmebelastung beträgt  $100 \times 6700 = 670000$  Wärmeeinheiten ( $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$ ) ( $\text{h} = \text{hora} = \text{stündlich}$ ).

**Die Höhe der Brennschicht** richtet sich in erster Linie nach der Stückgröße der verfeuerten Kohle. Bei grobstückiger Kohle und grobstückigem Roß sowie bei Briquets muß sie hoch sein, da diese Brennstoffe weiträumig auf dem Roß lagern und eine sehr luftdurchlässige Brennschicht ergeben. Markkohle liegt dichter, erhöht den Luftwiderstand und muß daher in niedriger Schicht verfeuert werden. Stark bafende Kohle erfordert ebenfalls eine niedrige, vor dem Beschicken aufzulockende Brennschicht. Bei der üblichen Kesselskohle (siehe Seite 18) liefert eine etwa 10 Zentimeter hohe Brennschicht gute Ergebnisse. Im übrigen ergibt sich die richtige Schichthöhe von selbst aus der Regelung der Luftzufuhr mit dem Essenschieber nach Maßgabe des jeweiligen Dampfbedarfes.

**Die Beschickungszeit.** Nach der Entgasung werden die an ihrer glühenden Oberfläche verbrennenden Kohlenstücke von der vorbeiziehenden Brennluft allmählich aufgezehrt, bis sie zuletzt ganz verschwinden und schließlich nur noch die Asche und die Schlacke zurückbleiben und das Feuer allmählich schwarz wird und auslöscht. Der Heizer darf daher das Feuer nie herunterbrennen lassen und muß immer für eine gute, nicht zu niedrige, etwa handhohe Grundglut sorgen, welche die frisch aufgeworfene Kohle rasch in Brand setzt und in welcher ununterbrochen Heizgase erzeugt werden.

**Die Regelung des Feuers** muß nach dem Dampfverbrauche erfolgen. Beginnt die Dampfspannung zu fallen, so ist das Feuer durch öfteres Beschicken zu verstärken und die Brenngeschwindigkeit durch Aufziehen des Essenschiebers zu erhöhen. Die Brennschicht wird dabei höher und gibt infolge der größeren Berührungsfläche mit der lebhaft zuströmenden Brennluft mehr Wärme und mehr

Heizgase ab, so daß auch die Dampferzeugung steigt. Ist die Dampfspannung zu hoch gestiegen und wird wenig Dampf gebraucht, so ist umgekehrt zu verfahren, d. h. es ist weniger Kohle aufzugeben und der Essenzug durch teilweises Herablassen des Essenschiebers zu vermindern. Nicht vorteilhaft ist in letzterem Falle, durch Öffnen der Feuertüren kalte Luft in die Feuerung einströmen zu lassen. Die einströmende kalte Luft bewirkt zwar eine sofortige Abkühlung des Feuerraumes und verhütet ein weiteres Anwachsen der Dampfspannung; der schroffe Temperaturwechsel erzeugt aber möglicherweise Risse im Blech und in den Nietreihen. Da das Speisewasser in der Regel kälter als das Kesselwasser ist, muß die Speisung bei fallender Dampfspannung abgestellt werden, bei steigender Dampfspannung kann sie wieder beginnen. Treten die Schwankungen im Dampfverbrauch regelmäßig zu bestimmten Tagesstunden auf, so muß der Heizer dafür sorgen, daß der Kessel zu Beginn des höchsten Dampfverbrauches auch regelmäßig voll Wasser ist.

**Die Beschickung des Planrostes.** Der Heizer kann das Feuer auf verschiedene Weise beschicken. Die hauptsächlichsten Bedienungsarten des Planrostes sind:

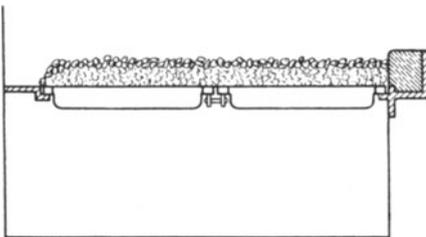


Abb. 9. Dünn bestreute, gleichmäßig hohe Feuererschicht.

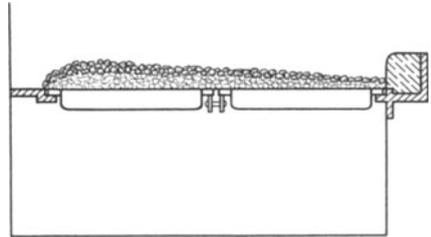


Abb. 10. Die Feuererschicht ist hinten niedriger als vorn.

1. gleichmäßige Beschickung der ganzen Rostfläche,
2. Beschickung des vorderen Teiles der Rostfläche nach vorherigem Zurückschieben der Glut, das sog. Kopfheizen,
3. abwechselndes Beschicken einzelner Stellen des Rostes.

Die erste Bedienungsart ist diejenige, bei der die Rostfläche am höchsten beansprucht werden kann und der Kessel am leistungsfähigsten ist. Aus diesem Grunde ist sie auch am häufigsten. Sie hat aber den Nachteil, daß das Feuer stark raucht, sobald der Heizer die Kohlenglut weit niederbrennen läßt und beim Aufheuern viel Kohle aufwirft. Soll die Feuerung rauchschwach arbeiten und die Kohle möglichst gründlich ausgenutzt werden, **so muß die Kohle öfter und jedesmal in dünner Schicht aufgestreut werden** (Abb. 9 und 10), weil hierbei die nach jeder Beschickung aus der Kohle entweichenden Gasmengen gering sind und leicht verbrennen. Beschickt der Heizer hingegen seltener und jedesmal mit einer großen Kohlenmenge (was für ihn schließlich die bequemste Bedienungsart des Feuers ist), so wird der Feuerraum stark abgekühlt und es treten im Feuerraum plötzlich so große Gasmengen aus, daß sie nicht verbrennen können. Der Schornstein raucht dann so lange, bis endlich die Flammen die Kohlenschicht durchbrechen und die Rauchgase entzünden. Bei der zweiten Beschickungsart, dem sog. **Kopfheizen**, wirft der Heizer den Brennstoff nicht gleichmäßig auf das Feuer, sondern schiebt zunächst die im vorderen Teile der Feuerung liegende obere Kohlenglut nach hinten und legt die frische Kohle in Form eines Haufens vorn auf die Kohlenglut auf. Die Rauchgase werden dann nur allmählich aus der frischen Kohle frei und sind beim Abzuge gezwungen, über das Feuer auf der

hinteren Hälfte des Koftes hinwegzustreichen, wobei sie verbrannt werden (Abb. 11 und 12). Eine andere, dem Kopfheizen ähnliche Methode besteht darin, daß der Heizer auf dem vorderen Teile des Koftes überhaupt keinen Brand unterhält,

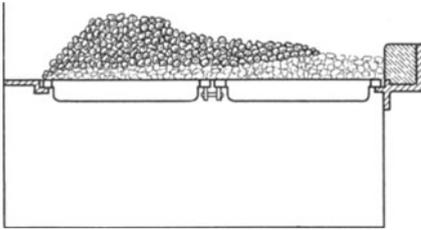


Abb. 11. Das Kopfheizen.

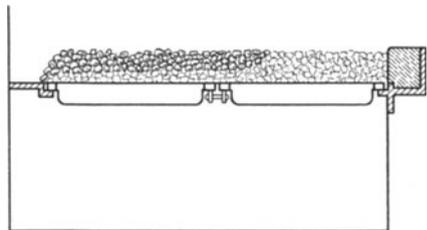


Abb. 12. Eine andere Art des Kopfheizens.

sondern die Kohle (etwa 3 bis 5 Schaufeln) dort unmittelbar auf den Kofst legt. Ist das Feuer hinter diesem Kohlenhaufen niedergebrannt, so schiebt der Heizer die inzwischen entgaste Kohle nach hinten und schüttet vorn frisch auf. Die Ent-

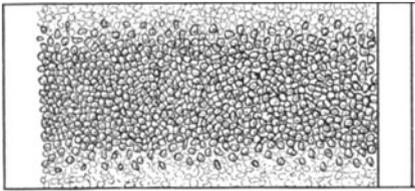


Abb. 13.

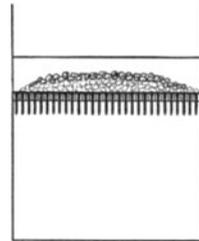


Abb. 14.

Die Feuerschicht ist der Rauchverbrennung halber an den Längsseiten niedriger als in der Mitte.

gung der Kohle dauert bei dieser Heizmethode etwas länger als beim Kopfheizen. Zu beiden Seiten der frisch aufgeworfenen Kohle bleibt je ein Streifen der Kohlenglut liegen; bei Luftmangel können die vordersten Kofstspalten auf 2 bis 5 Zentimeter Länge unbedeckt bleiben (Abb. 15 u. 16)<sup>1)</sup>.

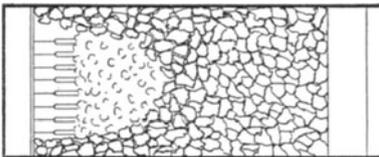
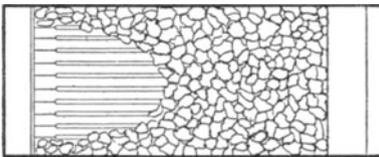


Abb. 15 und 16. Abart des Kopfheizens vor und nach dem Beschicken des Kofstes.

Diese beiden Heizmethoden haben sich bei nicht allzu hoch beanspruchten Feuerungen gut bewährt. Ihr Vorteil beruht in einer merklichen Kohlenersparnis und in der wesentlichen Verminderung des Rauches. Es sollte daher kein Heizer versäumen, beide Heizmethoden gründlich auszuprobieren. Dabei hat er insbesondere zu beachten, daß die frisch aufgeworfene Kohle schnell genug entgast und sich während dieser Entgasung keine leeren Stellen auf dem hinteren Teile der Kofstfläche bilden.

Da bei diesen Beschickungsarten der vordere Teil des Kofstes nicht für die eigentliche Verbrennung der Kohle mit ausgenutzt wird, muß die hintere Kofstfläche mehr leisten oder der ganze Kofst vergrößert werden. Auch mit einer dritten Beschickungs-

<sup>1)</sup> Abb. 9 bis 16 sind aus „Gaier, Dampfkesselfeuern, 2. Aufl.“, Berlin: Julius Springer, entnommen.

art, abwechselnd nur gewisse Teile der Kofstfläche mit frischer Kohle zu bewerfen, oder bei der Beschickung die Seiten des Kofstes nur teilweise zu bedecken (Abb. 13 und 14), will man eine sparsame und rauchfreie Verbrennung erzielen. Eine weitere, bei breiten Kofstflächen mit mehreren Feuertüren gebräuchliche Bedienungsart, die auch bei Zweiflammenkesseln zur Rauchverminderung angewendet werden kann, besteht darin, daß durch die einzelnen Türen abwechselnd beschickt wird.

**Bei allen diesen Heizmethoden muß der Heizer darauf achten, daß das Feuer hinten hell brennt.** Für Kessel mit sehr stark beanspruchten Feuerungen eignen sie sich insofern weniger, als sie für den Heizer beträchtlich mehr Arbeit verursachen und dessen Aufmerksamkeit fortgesetzt in höherem Maße erfordern als die gewöhnliche gleichmäßige Beschickung des ganzen Kofstes. Sie sind daher nur bei nicht stark beanspruchten Kesselanlagen anwendbar.

**Der Heizer darf** beim Bedienen des Kesselfeuers **nicht schematisch verfahren**, treten im Betriebe Stunden mit geringerm Dampfverbrauche ein, so muß er versuchen, mit dem Kopfheizen oder dem abwechselnden Beschicken verschiedener Kofststellen auszukommen. Steigt der Dampfverbrauch wieder, so muß er nach dem ersten Verfahren, d. h. regelmäßig die ganze Kofstfläche beschicken.

**Das Abschladen.** Die Verbrennungsrückstände der Kohle auf dem Kofste, die Schlacken, müssen zeitweilig entfernt werden, da sie den Luftzutritt durch die Kofstspalten verhindern. Die Stellen, wo die Schlacke lagert, kann der Heizer einmal durch Stochern mit dem Schüreisen ausfindig machen, er erkennt sie aber auch an den dunklen Stellen zwischen den Kofststäben im Aufesall, der sonst gleichmäßig hell beleuchtet erscheinen muß. Beim Abschladen wird dem Feuer eine beträchtliche Menge Wärme entzogen. Damit sich dieser Stillstand der Verdampfung nicht allzu fühlbar macht, muß der Heizer während der Betriebspausen oder zu einer anderen Zeit mit geringem Dampfverbrauche abschladen. Vorher läßt der Heizer das Feuer etwas weiter als sonst herunterbrennen und muß der Kessel möglichst hoch mit Wasser gefüllt sein, da der Speiseraum als Wärmespeicher wirkt. Dann schiebt er die auf der Schlacke liegende Kohlenglut nach dem hinteren Teile der Feuerung, zieht die Schlacke mit der Krücke heraus und breitet die zurückgeschobene Kohlenglut wieder auf dem Kofste aus. Sind mehrere Feuerungen in einer Dampfkesselanlage vorhanden und wird Klarkohle bei niedrig zu haltender Brennschicht verfeuert, so läßt der Heizer das Feuer vor dem Abschladen ganz niederbrennen, räumt die Feuerung völlig mit der Krücke aus und bestreut den leeren Kofst wieder mit einigen Schaufeln glühender Kohle aus einer anderen Feuerung. Hierbei ergibt sich von selbst, daß bei Dampfkesseln mit zwei Feuerungen die eine Feuerung erst abgeschladt werden darf, wenn sich die andere wieder in vollem Brande befindet. Nach dem Abschladen darf das Feuer zunächst nur dünn beschickt werden, bis sich auf dem Kofste wieder eine genügend hohe Grundglut gebildet hat. Das Abschladen soll nicht öfter als ein- bis zweimal täglich nötig sein. Eine Kohle, die ein öfteres Abschladen nötig macht, eignet sich nur für einen wenig angestregten Kesselbetrieb.

Die Arbeiten bei geöffneter Feuertüre, das Beschicken, Abschladen oder Aufbrechen des Feuers müssen möglichst schnell erledigt werden, damit die Feuerung und die Kesselzüge durch die einströmende kalte Luft nicht zu weit abkühlen. Bei Dampfkesseln mit Einzelfeuerungen soll der Heizer, bevor er die Feuertüre öffnet, den Essenschieber so weit schließen, daß die Heizgase gerade noch nach dem Schornstein abziehen. Eine Ausnahme hiervon muß er jedoch machen, wenn, wie bereits früher besprochen, beim Öffnen der Feuertüre das Heraus schlagen einer Stichelamme zu befürchten ist (also beim Ausgleichen des Feuers). Zutweilen verbindet man die Feuertüren durch eine Zugvorrichtung mit dem

Essenschieber, so daß er beim Schließen und Öffnen der Feuertüre selbständig mit auf- und zugemacht wird. Derartige Vorrichtungen sind jedoch nur zu empfehlen, wenn ihre Benützung keinen bemerkenswerten Kraftaufwand erfordert, da sie andernfalls erfahrungsgemäß vom Heizer bald wieder außer Gebrauch gesetzt werden. Im übrigen sind sie nur für Kessel mit Einzelfeuern anwendbar, während sie für Dampfkessel mit mehreren Feuertüren und für stark belastete Kesselanlagen überhaupt keinen Vorteil bieten.

**Gasexplosion und Decken des Feuers.** Das Feuer ist gegen Schluß der täglichen Arbeitszeit abzuschwächen und nachts über sowie während längerer Betriebspausen, wenn der Kessel ohne Aufsicht steht, vom Roste zu ziehen; der Essenschieber und die Feuerung sind dicht zu verschließen, damit der Kessel nicht durch einströmende Luft unnötigerweise abgekühlt wird. Zunächst gibt das Kesselmauerwerk jedoch eine Zeitlang noch Wärme ab, so daß der Dampfdruck auch bei herausgenommenem Feuer vorerst steigt und erst später allmählich sinkt. Das zur Vermeidung eines zu erheblichen Spannungsabfalles und zur Erleichterung des täglichen Anheizens mitunter übliche Decken des Feuers mit einer Kohlschicht über Nacht ist nur gestattet, wenn der Kessel unter sachkundiger Aufsicht bleibt und der Rauchschieber nicht ganz geschlossen wird. Es wird auch ohnehin in jedem ordentlich geleiteten Betriebe

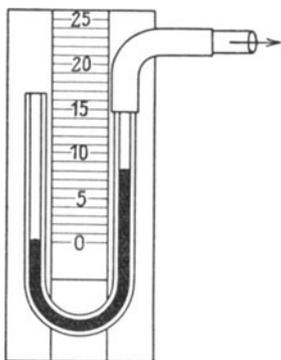


Abb. 17. Einfachster, aus einer Glasröhre bestehender, mit Wasser gefüllter Zugmesser. Die Skala ist in senkrechter Richtung verschiebbar und wird mit dem Nullpunkt auf den tieferen Wasserstand eingestellt.

nicht geduldet, da beim Anfachen des Feuers schwere Explosionen der in den Kesselzügen sich ansammelnden Heizgase entstehen können. In manchen Betrieben wird das Feuer während der Betriebspausen mit Schlacke abgedeckt, so daß es ganz allmählich verlöscht und der Kessel weniger auskühlt als beim abgeräumten Rost. Wenn hierbei auch die Gefahr einer Gasexplosion sehr herabgemindert ist, so bedarf es jedoch in solchen Fällen vor dem Anzünden eines neuen Feuers unbedingt einer gründlichen Durchlüftung der Kesselzüge wegen der Möglichkeit der Ansammlung und Entzündung von Kohlenoxydgas. Bei dem Beschicken des Feuers dürfen ferner nicht übermäßige Kohlenmengen aufgegeben werden, da auch hierdurch die Kesselzüge mit Rauchgasen gefüllt werden und Gasexplosionen entstehen können.

**Die Zugmesser.** Einige Anhaltspunkte über die Bedienung des Feuers, die Höhe und die gleichmäßige und lockere Beschaffenheit der Brennschicht, über deren Verschlackung sowie über die jeweilige Zugstärke geben die Zugmesser. Der einfachste Zugmesser besteht aus

einer U-förmigen, auf einem Brett befestigten, an beiden Enden offenen Glasröhre, die bis zum Nullpunkt einer Skala mit (gefärbtem) Wasser gefüllt ist (Abb. 17). Ein Rohrende mündet in die freie Luft, das andere durch ein dünnes Rohr in den Feuerraum. In diesem Rohr besteht dieselbe Zugstärke wie im Feuerraum, während auf dem offenen Rohrschenkel des Zugmessers der äußere Luftdruck ruht, so daß das Wasser in dem mit dem Feuerraum verbundenen Rohrschenkel steigt und im anderen fällt. Den Abstand zwischen den beiden Wasserspiegeln kann man auf der Skala ablesen. Da die Skala in Millimeter eingeteilt und der Zugmesser mit Wasser gefüllt ist, wird die Zugstärke in „Millimeter-Wassersäule“ (mm W.-S.) angezeigt und gemessen. Würde man eine andere Flüssigkeit, etwa Öl oder Quecksilber benützen, so ergäben sich natürlich andere Zugmesserangaben als bei Verwendung von Wasser. Bei Öl würden sie größer, bei Quecksilber

kleiner sein, weil ersteres leichter, letzteres aber schwerer als Wasser ist. Auch bei Zugmessern, die ohne Flüssigkeit, also etwa mit einer Membran arbeiten, wird die Zugstärke in Millimeter-Wassersäule angegeben.

Sobald das Feuer frisch beschickt worden ist, wird durch die erhöhte Brennschicht der Durchgang der Brennlust durch das Feuer erschwert, so daß die Zugkraft des Schornsteins über dem Kofst eine sehr große Saugwirkung erzeugt und das Wasser im Zugmesser viel aus seiner Gleichgewichtslage herausgesaugt wird. Während des Abbrandes wird die Brennschicht allmählich niedriger, es tritt infolgedessen auch mehr Luft in den Feuerraum, die in letzterem von der saugenden Wirkung des Schornsteins erzeugte Luftverdünnung wird geringer und das Wasser im Zugmesser geht zurück, d. h. es nähert sich seiner anfänglichen Gleichgewichtslage. Ist es auf ein bestimmtes, vom Heizer ausprobiertes Maß zurückgegangen, so ist dies ein Hinweis, daß das Feuer weit genug heruntergebrannt ist und frisch beschickt werden muß. Da die Schlacke ebenfalls den Durchgang der Luft durch das Feuer hemmt, macht sich die zunehmende Verschlackung des Kofstes und der hierbei im Feuer auftretende Luftmangel durch ein allmähliches Steigen des Zugmessers bemerkbar; dünne und freie Stellen in der Brennschicht ergeben ein Fallen des Zugmessers, wodurch ein zu großer Luftüberschuß im Feuer angezeigt wird.

Der senkrechte Abstand zwischen den beiden Wasserspiegeln in der Glasröhre zeigt somit die jeweilige Zugstärke im Feuerraum an, und man kann daraus ersehen, ob dem Feuer viel oder wenig Luft zuströmt. **Aufgabe des Heizers ist es nun, durch genaue Beobachtung des Zugmessers diejenigen Schieberstellungen ausfindig zu machen, bei welchen er zu den verschiedenen Tagesstunden den Dampf mit der kleinsten Zugstärke (also mit den geringsten Luft- und Kohlenmengen) zu halten vermag.** Dies gilt nicht etwa bloß für den besprochenen einfachen Zugmesser, sondern für alle Zugmesserkonstruktionen. Bemerkt der Heizer Abweichungen von den regelmäßigen Angaben des Zugmessers, so hat er zu untersuchen, ob die Brennschicht zu hoch beschickt, zu weit heruntergebrannt, zu stark verschlackt, ungleichmäßig bedeckt oder stellenweise durchgebrannt ist, ob die Feuerzüge durch Ruß oder Flugasche verengt sind oder ob das Mauerwerk undicht ist. Man ersieht hieraus, daß der Zugmesser ein recht brauchbares Kontrollinstrument ist und sich bei einem geübten Heizer bald bezahlt macht.

Der beschriebene einfache Zugmesser hat jedoch den Nachteil, daß er eine große Zugkraft (normalerweise etwa 13 Millimeter bei frisch beschicktem Feuer) anzeigt, wenn wenig, und eine kleine Zugkraft (etwa 7 Millimeter nach dem Abbrande), wenn viel Luft in die Feuerung einströmt. Übersichtlicher sind die **Differenzzugmesser**. Bei denselben werden beide Schenkel der Glasröhre mit den Feuerzügen in Verbindung gebracht, und zwar der eine wieder mit dem Feuerraum, der andere aber mit dem Essensfuchs, und zwar kurz vor dem Essenschieber, so daß man mit demselben den Unterschied zwischen der Zugkraft im Essensfuchs und im Feuerraum mißt. Im Essensfuchs bleibt die Zugkraft der aufsteigenden Schornsteingase unverändert gleich stark und ändert sich eigentlich nur mit der Temperatur der Heizgase. Im Feuerraum richtet sie sich nach der Luftdurchlässigkeit der Brennschicht und nimmt, wie wir sehen, während des Abbrandes ab. Beträgt sonach die Zugstärke im Essensfuchs 20, im Feuerraum nach dem Beschicken 12 und nach dem Abbrande 6 Millimeter, so steigt die Angabe des Differenzzugmessers allmählich von  $20 - 12 = 8$  auf  $20 - 6 = 14$  Millimeter. Zeigt also der Differenzzugmesser eine kleine Zugkraft an (was unmittelbar nach dem Beschicken des Feuers der Fall ist), so strömt wenig, zeigt er eine große Zugkraft an, so strömt viel Luft in den Feuerraum. Einen Überblick über die Wirkungsweise der Differenzzugmesser

gibt die nachstehende Tabelle, deren Zahlenangaben einem normalen Feuerungsbetrieb entsprechen, im übrigen aber nicht etwa für jede Dampfkesselfeuerung gelten und nur einen Anhalt für die allgemeine Bewertung der Zugmesserangaben geben sollen. In Feuerungen, die mechanisch beschickt werden, verändert sich die Zugstärke im Feuerraum nur bei der Verstellung des Essenschiebers und nimmt sie außerdem mit der zunehmenden Verschlackung des Kofes und bei Erhöhung der Brennschicht ab.

| Die Zugstärke beträgt   | am Differenzzugmesser | im Essenfuchs | im Feuerraum |
|---|-----------------------|---------------|--------------|
| bei frisch beschicktem Feuer . . .                                | 20 — 12 = 8 mm        | 20 mm         | 12 mm        |
| bei abgebranntem Feuer . . . .                                    | 20 — 6 = 14 mm        | 20 mm         | 6 mm         |
| bei stark verschlacktem Feuer . .                                 | 20 — 16 = 4 mm        | 20 mm         | 16 mm        |
| bei schlecht bedecktem Feuer, undichtem Kesselmauerwerk . . . . . | 20 — 3 = 17 mm        | 20 mm         | 3 mm         |

Um die Zugstärken im Essenfuchs und im Feuerraum feststellen zu können, werden in die Rohrleitungen der Differenzzugmesser Absperrhähne eingebaut;

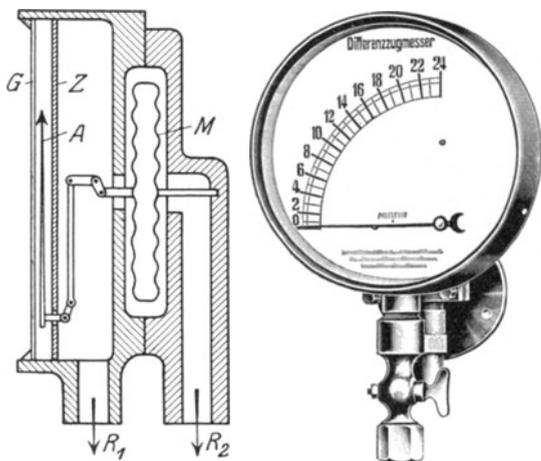


Abb. 18 und 19. Differenzzugmesser der Manometerfabrik Max Schubert, Chemnitz.  $R_1$  = Rohranschluß nach der Feuerung;  $R_2$  = Rohranschluß nach dem Esskanal. Die Membran  $M$  (eine hohle Messingkapfel) wird durch die Zugkräfte mehr oder weniger zusammengedrückt und bewegt hierbei den Zeiger  $A$  vor dem Zifferblatt  $Z$ . Die Glascheibe  $G$  muß luftdicht schließen, soll der Zugmesser nicht falsch anzeigen.

schließt man den Hahn in der Rohrleitung nach dem Feuerraum, so zeigt der Zugmesser die Zugstärke im Essenfuchs an, durch Schließen des Hahnes in der Rohrleitung nach dem Essenfuchs erfährt man die Zugstärke im Feuerraum. Zeigt der Zugmesser vom normalen Zustand erheblich abweichende Angaben an, wie dies bei verschlacktem und bei mangelhaft bedecktem Kofst vorkommt, so erhält der Heizer hierdurch einen deutlichen Hinweis, daß er für Abhilfe zu sorgen hat.

In der Praxis benützt man die U-förmige Glasröhre nur in Ausnahmefällen, etwa bei Untersuchungen der Dampfkesselanlagen, als einfachen oder als Differenzzugmesser, da sie leicht verschmutzt, das Wasser allmählich verdunstet und die Angaben nur beim genauen Hinsehen erkennbar sind. Die Differenzzugmesser

werden in verschiedenen Bauarten ausgeführt (Abb. 18 u. 19, Zugmesser mit Membran, ferner mit beweglichem Flügel in einem Gehäuse u. a.).

**Die Prämien für den Kesselheizer** bei Kohlenersparnis können für beide Teile (nämlich für den Kesselbesitzer und den Heizer) sehr vorteilhaft sein, doch liegt die Sache nicht so einfach, wie sie auf den ersten Blick aussieht. Voraussetzung ist insbesondere, daß der Heizwert der verfeuerten Kohle bekannt ist, um Vergleiche zu ermöglichen und Ersparnisse feststellen zu können. Der Heizer geht auch zu leicht zu sparsam mit der Dampfabgabe für Heizzwecke usw. um, so daß er fortwährend im Konflikt mit den Betriebsbeamten steht. Für die Einschränk-

fung des Kohlenverbrauches ist es sehr vorteilhaft, wenn der Heizer den Verbrauch an Kohle, die Dampfspannung, die verdampfte Wassermenge und die Kesselhaus-temperatur in einem Buche täglich zu notieren hat. Bei Handbeschickung muß der Heizer zählen, wieviel Schaufeln Kohle er bei jeder Beschickung aufwirft, und sich auch vergewissern, was die auf einer Schaufel befindliche Kohlenmenge wiegt.

## 6. Die Feuerungsanlagen der Dampfkessel.

Die Feuerungsanlagen der Dampfkessel bestehen erstens aus der Feuerung, in welcher die Kohle verbrannt wird und die Heizgase entstehen, zweitens aus den Heizkanälen oder Feuerzügen, in denen die Heizgase mit dem Kessel in Berührung treten und ihre Wärme abgeben, und drittens aus dem Schornstein, der die Bewegung der Heizgase veranlaßt und sie ins Freie ableitet.

**Der Feuerraum im allgemeinen.** Der Verbrennungs- oder Feuerraum soll so hoch und so groß sein, daß sich die Flammen frei darin entfalten können. Kleine Feuerräume haben den Nachteil, daß Flugkoks mitgerissen wird und Verluste durch unverbrannte Gase entstehen können. Im übrigen sind die Abmessungen und die Form des Feuerraums von der Kesselbauart und der Brennstoffsorte abhängig und ihnen anzupassen.

**Die Planrostfeuerung.** Die gebräuchlichste Dampfkessel- oder Planrostfeuerungsanlage, die unter allen Umständen und auch bei jedem Dampfkesselsystem anwendbar ist, ist die mit einem waagerechten ebenen Rost, die sog. Planrostfeuerungsanlage. Je nachdem sie in, unter oder vor dem Kessel eingebaut ist, unterscheidet man

- Planrost-Innenfeuerungen,
- Planrost-Unterfeuerungen und
- Planrost-Vorfeuerungen.

Ihr Feuerraum wird nach unten durch den **Rost** begrenzt. Auf dem Rost liegt das Feuer. Er wird gebildet durch eine größere Anzahl gußeiserner Roststäbe, die auf die hohe Kante gestellt sind und Spalten für den Luftzutritt zum Feuer freilassen. An den Enden der Roststäbe, die man Köpfe nennt, und mitunter auch in der Mitte werden an die Roststäbe seitliche Verstärkungen angegossen, deren Dicke gleich der Spaltweite des Rostes ist. Hierdurch ist die Spaltweite gesichert und bleibt dauernd gewahrt. Die Enden der Roststäbe ruhen auf Rostträgern oder Rostbalken. Die Verstärkungen an den Köpfen der Roststäbe sowie die Rostbalken müssen so konstruiert sein, daß sie das Durchfallen der Asche und den Durchtritt der Brennlust an keiner Stelle des Rostes verhindern, da sie andernfalls die Schlackenbildung begünstigen und den gleichmäßigen Abbrand beeinträchtigen. Der Rost soll folgende Eigenschaften haben:

1. Er soll die Verbrennungsluft mit Leichtigkeit und unter guter Verteilung auf die ganze Brennschicht zufließen lassen.
2. Durch die Rostspalten soll zwar die Asche, nicht aber die unverbrannte Kohle in den Ascherraum hindurchfallen.

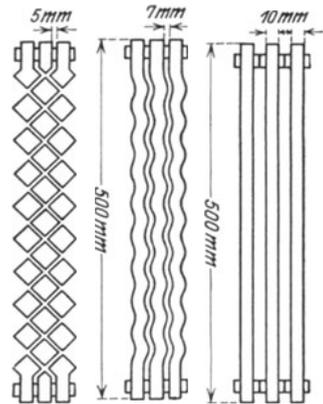


Abb. 20 bis 22. Die drei Grundarten der Roststäbe. Die Spaltfläche ist in allen drei Fällen gleich groß und beträgt:

beim geraden Roststab:

$$10 \times 500 \text{ mm} = 5000 \text{ qmm},$$

beim Wellenroststab:

$$7 \times 710 \text{ mm} \approx 5000 \text{ qmm},$$

beim Polygonroststab:

$$5 \times 1000 \text{ mm} = 5000 \text{ qmm}.$$

Der Wellen- und der Polygonroststab haben den Vorzug, daß durch ihre gewundene Form die Rostspalte länger wird und letztere infolgedessen enger gemacht werden kann, ohne daß die freie Rostfläche kleiner wird als beim geraden Roststab.

3. Durch passende Form und Weite der Rostspalten soll das Zusammenfließen der Schlacken möglichst verhindert werden.

4. Soll sich der Rost bequem und rasch im Betrieb abschlacken lassen.

5. Die Roststäbe sollen möglichst haltbar sein, im Feuer nicht verbrennen und nicht krumm werden.

Am gebräuchlichsten sind der einfache Flachstab und der Wellen- oder Schlangenroststab, die den nötigen Anforderungen in den meisten Fällen vollauf genügen. Außerdem gibt es eine sehr große Anzahl verschiedener Roststabkonstruktionen, die dem Feuer die Luft durch kreuz und quer laufende Spalten zuführen. Im allgemeinen erfüllen jedoch auch die einfachen Roststäbe diesen Zweck, wenn ihre Spalt- und Bahnbreite richtig gewählt sind. Die Verteilung der Luft im Feuer wird schließlich am besten durch die Kohlschicht selbst besorgt, deren gleichmäßige Beschaffenheit daher sorgfältig vom Heizer zu überwachen ist.

Die Weite der Rostspalten richtet sich nach der Stüchtigkeit und Schlacke des Brennstoffes. Sie beträgt für grobstüchtige Kohle mit fließender Schlacke 10 bis 15 Millimeter, für magere Steinkohle mit stüchtiger Schlacke und für Braunkohle 4 bis 8 Millimeter, für Kohlengrus, Lohe oder Sägespäne 3 bis 5 Millimeter. Man unterscheidet beim Roste die gesamte (totale) Rostfläche und die freie Rostfläche. Als freie Rostfläche bezeichnet man die gesamte Fläche der Spaltöffnungen im Roste. Je größer die freie Rostfläche ist, um so leichter und um so mehr kann



Abb. 23 bis 26. Planroststäbe typischer Bauart.

Luft zum Feuer hinzutreten. Beim Planrost beträgt die freie Rostfläche gewöhnlich die Hälfte bis ein Drittel der Gesamtrostfläche, das heißt, man wählt die Breite der einzelnen Rostspalte gleich der ganzen bis halben Breite der Rostbahn. In bezug auf die Form der Rostspalten kann man drei Grundarten unterscheiden; nämlich Roste mit geraden, gewellten oder gekreuzten Rostspalten. Bei gleicher Länge des Roststabes und gleich großer Fläche der Rostplatten ergeben die geraden Rostspalten eine große, die gewellten Roststäbe eine schmalere und die gekreuzten Rostspalten die kleinste Spaltbreite. Die Roststäbe mit gekreuzten Rostspalten nennt man auch Vieleck- oder Polygonroststäbe.

Der Rost muß oben glatt sein und eine harte Bahn besitzen, damit ihn die Schlacke nicht angreift. Die Härte der Rostbahn wird erreicht, indem man die Stäbe aus Hartguß macht und in Rostkannen (das sind eiserne Gießformen) gießt. Der Roststab muß auf seiner Länge zwischen den Auflagern gleichmäßig hoch sein, damit er zum Anwärmen der Brennluft und zu seiner Kühlung große seitliche Flächen hat. Es ist daher nicht richtig, die Höhe des Rostes nach den Enden zu abnehmen zu lassen. Die Höhe des Roststabes macht man gewöhnlich ein Fünftel bis ein Sechstel der Länge, etwa in den Grenzen von 70 bis 120 Millimeter (Abb. 27 u. 28<sup>1)</sup>). Die gebräuchlichste Länge des Roststabes ist 500 Millimeter; sehr dünne Roststäbe mit engen Spalten (für Kohlengrus, Lohe und Sägespäne) macht man kürzer, etwa 300 bis 400 Millimeter lang; während sehr starke Roststäbe mit weiten Rostspalten (für grobstüchtige Kohle) eine Länge bis zu einem Meter erhalten. Sehr schwache Roststäbe brennen im Feuer schnell ab, sind leicht zerbrechlich und ziehen

<sup>1)</sup> Abb. 27 und 28 sind aus „Gaier, Dampfkesselfeuerungen“, 2. Aufl., Berlin: Julius Springer, entnommen.

sich leicht krumm. Um sie haltbarer zu machen, nietet man 3 bis 5 solcher St abe zu einem B ndelrost zusammen. Damit die Asche nicht hängen bleiben kann, müssen die Kofst alten nach unten weiter werden; man macht deshalb die Kofst abe unten dünner als oben. Sie müssen genügenden Spielraum haben, damit sie sich beim Erhitzen im Feuer ausdehnen können und nicht krumm werden. Vielfach versteht man aus diesem Grunde die Kofst abe nur mit einem hakenförmigen Ende, während man das andere Ende abschr gt. Der Kofst soll bei Handbeschickung nicht über zwei Meter lang sein, weil längere Kofste hinten schwieriger zu beschicken sind, das Abschladen erschweren und die Übersichtlichkeit der Feuerung beeinträchtigen. Der Kofst muß ferner in einer bequemen Höhe, etwa 80 Zentimeter, über dem Fußboden des Heizstandes liegen. Zweckm sig ist es, ihn hinten etwas tiefer zu legen, weil er dadurch übersichtlicher und leichter bedienbar wird. Die Neigung des Kofstes nach hinten kann auch deshalb notwendig sein, damit der freie Raum über der Feuerbrücke nicht zu sehr eingeengt wird, wie dies namentlich bei den Lokomobilkesseln mit ausziehbarem Röhrensystem der Fall ist (s. S. 96).

**Schonung und Abbrand der Kofst abe.** Solange die Verbrennungsluft gut durch das Feuer hindurchströmen kann, ist die Hitze des Feuers nach dem Feuerraum zu gerichtet und werden die Kofst abe kühl gehalten. Ist jedoch das Feuer

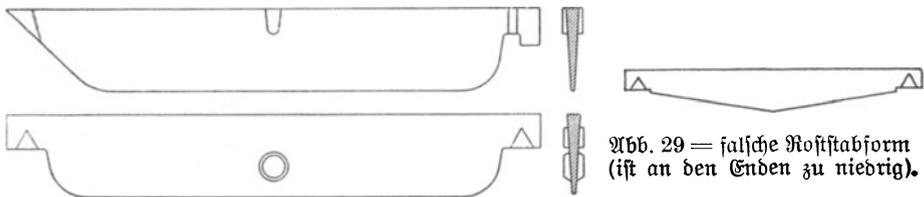


Abb. 27 und 28 = die richtige Form des Kofst abes.

Abb. 29 = falsche Kofst abform  
(ist an den Enden zu niedrig).

verschlackt oder wird bei vollem Feuer der Essenschieber heruntergelassen, so hört die Kühlung der Kofst abe auf, sie erhalten **Stauhitze**, werden in kurzer Zeit sehr heiß und glühend und verbrennen und verziehen sich. Die Folgen sind dann ungleichm sig weite Kofst alten, durch die viel unverbrannte Kohle hindurchfällt und das Abschladen erschwert wird. Auch bei den Feuerungen mit Luftzufuhr durch die Feuerbrücke (Abb. 40) und bei Schr grosten mit abstehendem Schlackenrost (Abb. 33) tritt ein schneller Verschleiß der Kofst abe durch Stauhitze ein, wenn die durch die Feuerbrücke hinzutretende Luftmenge zu groß oder durch eine zu niedrige Schlackenansammlung auf dem Schlackenrost nicht gehemmt wird. Da die Erneuerung der Kofste beträchtliche Kosten verursacht, ist es sehr wesentlich, daß der Heizler auf ihre Schonung bedacht ist. In manchen Betrieben halten die Kofste jahrelang aus, während sie in anderen F llen schon nach verh ltnism sig kurzer Zeit erneuert werden müssen.

Vor dem Kofste befindet sich die gußeiserne **Schürplatte** (siehe Abb. 30) von etwa 25 Zentimeter Breite und 20 Millimeter Dicke, die dem Heizler bei der Bedienung des Feuers als Auflage für Schaufel und Schüreisen dient. Sie darf nicht zu lang sein, damit der hintere Kofsteil noch in bequemer Reichweite für den Heizler bleibt, andererseits soll sie aber auch — und das ist nämlich ihr Hauptzweck — eine zu hohe Erhitzung der Feuertüre, des Feuergeschr nkes und der vom Kesselwasser nicht gekühlten Flammrohransahlungen verhindern.

An die Schürplatte schließt sich vorn das **Feuergeschr nke** oder der gußeiserne Rahmen mit der **Feuertür** an. Damit letztere besser schließt und in den Betriebspausen keine Luft nachsaugt, müssen ihre Anliegefl chen gut bearbeitet sein und

die Angeln oben eine Neigung nach hinten haben. Zum Schutze vor der strahlenden Wärme des Feuers erhält sie auf der Innenseite entweder einen Schutzschirm, oder man führt sie doppelwandig aus und versieht sie mit Öffnungen, so daß sich durch ihren Hohlraum ständig ein kühlender Luftstrom bewegt. Zur Beobachtung des Feuers wird sie mit Schaulöchern oder Rosetten versehen, damit der Heizer nicht immer zu diesem Zwecke die Feuertür öffnen muß.

Hinten wird der Feuerraum durch die **Feuerbrücke** begrenzt. Sie soll dem Feuerraum und dem Koste einen Abschluß sichern und verhindern, daß beim Beschicken oder Schüren des Feuers Kohle oder Schlacke vom Koste herunter in den ersten Feuerzug fallen. Ihre Aufgabe besteht ferner darin, die Verbrennungsgase in dem Raum über der Feuerbrücke zusammenzudrängen, so daß sie gut durcheinander gemischt und möglichst vollkommen verbrannt werden. Sie wird aus feuerfesten Schamottesteinen mit möglichst engen Fugen hergestellt und ruht auf einem eisernen Untergestell, das bei der Planrostinnenfeuerung zugleich den Aschefall hinten abschließt. Ihre obere Kante verläuft meist waagrecht; bei Unterfeuerungen wird sie der Kesselrundung entsprechend abgerundet (Abb. 76). Bei Unterwindfeuerungen wird die Feuerbrücke im allgemeinen höher gemacht als bei gewöhnlichen Feuerungen, da der Essenzug bei diesen Feuerungen nur die Heizgase aus dem Feuerraum abzusaugen hat.

Unterhalb des Feuerraumes liegt der **Ascheraum** oder **Aschefall**, der vorn mit einer Klappe versehen ist, mittels welcher der Luftzutritt zum Feuer geregelt werden kann. Doch ist es nicht ratsam, die Klappe ausschließlich anstelle des Essenschiebers zu benützen, da sich bei geschlossener Klappe und geöffnetem Essenschieber der volle Schornsteinzug in den Kesselzügen geltend macht, durch das Mauerwerk hindurch **sehr viel kalte Luft** angesaugt wird und die Heizgase abgekühlt werden. Die Aschefallklappen sind daher nur unter gewissen Umständen, z. B. beim Abschlacken, Schüren und Ausgleichen des Feuers, zu benutzen, damit die Flamme bei diesen Arbeiten nicht aus der Feuerung herausgeschlagen und den Heizer verletzen kann. Über ihre Handhabung bei stark gedrosseltem Essenzuge vergleiche die Regelung der Luftzufuhr bei selbsttätigen Feuerreglern Seite 151. Das Unterteil der Feuerbrücke, das den Aschefall hinten abschließt, ist entweder aus Gußeisen oder Mauerwerk hergestellt. **Es muß dicht schließen, damit keine falsche Luft in die Feuerzüge eintreten kann.** Hierauf ist großer Wert zu legen.

Bei den Lokomotiven, bei denen infolge des Fehlens des Mauerwerks das Nachsaugen von falscher Luft ausgeschlossen und kein Essenschieber vorhanden ist, dienen die Aschefallklappen allerdings ausschließlich zur Regelung des Luftzuges. Im übrigen ist darauf zu achten, daß sich die Asche nicht zu nahe den Roststäben ansammelt und den Luftzutritt zum Feuer erschwert oder gar versperrt. Bei Lokomotiven und Lokomobilen bildet der Ascheraum einen Wasserbehälter, in welchem die durch den Rost hindurchfallende glühende Kohle und Asche rasch gelöscht werden. Der dabei entstehende Wasserdampf zieht durch die Feuerung ab und dient zugleich zur Kühlung der Roststäbe. Bei den Planrostinnenfeuerungen erhält das Unterteil der Feuerbrücke mitunter im Ascheraum eine Öffnung zum Herausziehen der Flugasche aus dem Flammrohr, die während des Betriebes durch einen leicht herausziehbaren Deckel verschlossen wird.

**Die Planrostinnenfeuerung** (Abb. 30)<sup>1)</sup> ist entweder in das Flammrohr oder in die Feuerbüchse eingebaut. Die Decke und die Seitenwände des Feuerraumes sind vom Wasser bespülte Heizflächen. Die strahlende Wärme des Feuers wird

<sup>1)</sup> Abb. 30 bis 32 sind aus „Haier, Dampfkesselfeuerung“, 2. Aufl., Berlin: Julius Springer, entnommen.

daher sehr gut ausgenutzt, während die Verluste durch Wärmeausstrahlung nach außen (durch das Feuergeschränk) sehr gering sind. Die kühlen Kesselwände haben jedoch zur Folge, daß der Feuerraum beim Beschicken leicht unter die Entzündungstemperatur der Rauchgase abgekühlt wird und die ganze Feuerung stark raucht. Durch die bereits besprochenen Beschickungsarten kann man jedoch die Rauchentwicklung und infolgedessen auch die hiermit verbundenen Brennstoffverluste erheblich vermindern. Da die Planrostinnenfeuerung außerdem sehr einfach, übersichtlich und billig ist und wenig Reparaturen erfordert, ist sie die verbreitetste Feuerung überhaupt.

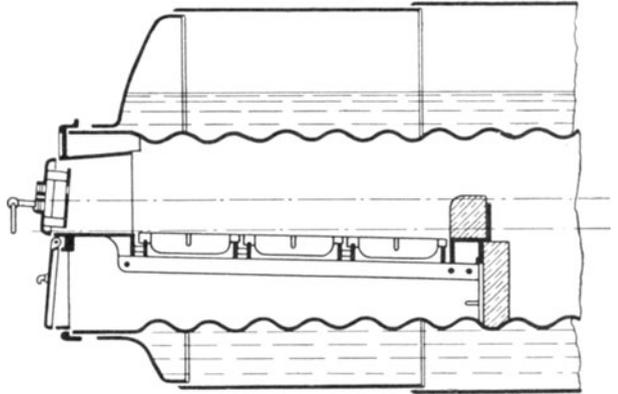


Abb. 30. Die Planrostinnenfeuerung.

### Die Planrostunterfeuerung

(Abb. 31) liegt unter dem Kessel. Sie ermöglicht sehr breite Rostflächen und wird für Kesselarten, den Walzenkessel, den Heizrohrkessel und den Wasserrohrkessel, angewendet, bei denen sich keine Innenfeuerungen anbringen lassen. Der Abstand des Rostes von der Kesselunterkante soll 50 bis 60 Zentimeter betragen, damit sich die Flammen frei entwickeln können, und die Bleche nicht durch die Feuerhitze beschädigt werden. Bei neueren Anlagen (Wanderrosten, Kohlenstaubfeuerungen) wird der Feuerraum jedoch beträchtlich höher gemacht. Bei Walzenkesseln wird der untere Teil der vorderen Rundnaht zum Schutze gegen die Flammen mit Mauerwerk verkleidet, da anderenfalls im Bleche leicht Rantenrisse auftreten oder das Blech an diesen Stellen ausbeult oder durchbrennt. Unterfeuerungen mit sehr breiten Rostflächen teilt man zur Erleichterung ihrer Bedienung durch eine auf dem Rost aufgesetzte Mauerung in zwei Hälften.

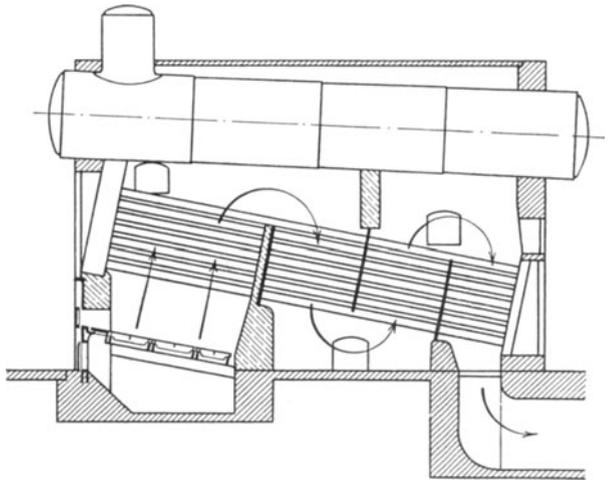


Abb. 31. Planrostunterfeuerung, senkrechte Gasführung.

### Die Planrostvorfeuerung

(Abb. 32) ist dem Kessel vorgebaut. Ihre Wände sind immer aus feuerfestem Schamottegemäuer hergestellt, das viel Wärme aufzunehmen vermag und im Betriebe rot- oder weißglühend wird. Im Verbrennungsraum herrscht daher eine höhere Temperatur als bei Innen- und Unterfeuerungen, so daß die beim Beschicken des Rostes unvermeidliche Abkühlung der Feuerung schnell wieder ausgeglichen und bei genügender Luftzufuhr eine sehr gute Verbrennung der Kohle erreicht wird. Trotzdem ist die Planrostvorfeuerung nicht wirtschaftlich und wenig

eingeführt. Ihre Nachteile bestehen darin, daß zum Anheizen viel Kohle verbraucht wird, daß das Mauerwerk viel Wärme nach außen strahlt, teuer ist und infolge des Abbrandes öfters kostspielige Reparaturen nötig macht. Ferner braucht die Vorfeuerung einen größeren Raum und beeinträchtigt den Übergang der strahlenden Wärme des Kesselfeuers in die ersten Kesselheizflächen. Sie eignet sich nur für Brennstoffe mit verhältnismäßig niedrigem Heizwert, wie Braunkohle, Torf, Holz usw. Verhältnismäßig häufig ist die Planrostvorfeuerung in Sägewerken anzutreffen, denen in den Sägespänen und Holzabfällen ein billiges Brennmaterial zur Verfügung steht. Letzteres wird in einem an der vorderen Seite der Feuerung angebrachten Fülltrichter angesammelt, aus dem es durch zeitweiliges Hochziehen einer beweglichen eisernen Verschlussklappe vor den Feuerraum fällt, von wo aus es vom Heizer auf den Rost geschoben wird. Doch wird auch für derartige Brennstoffe die reine Planrostvorfeuerung selten angewendet, sondern man gibt den Schüttfeuerungen mit muldenförmigem Roste oder der Treppenrostfeuerung (Abb. 33) den Vorzug. Vollständig verkehrt sind aber die früher häufig gewesenen Planrostvorfeuerungen für hochwertige Steinkohle, da die hohe Temperatur im Feuerraum einen beträchtlichen Abbrand des Mauerwerkes und hohe Wärmeverluste durch Ausstrahlung verursacht. Auch für gasreiche Kohle ist die Vorfeuerung nicht vorteilhaft, da die großen glühenden Mauerwerksflächen die Entgasung der frisch aufgeworfenen Kohle beschleunigen und während der Entgasungsperiode sehr leicht Luftmangel in der Feuerung entsteht.

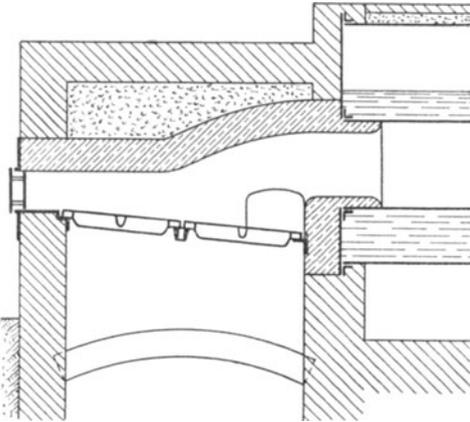


Abb. 32. Die Planrostvorfeuerung an einem Flammrohrkessel. Nur für minderwertige Brennstoffe (Sägespäne, Holzabfälle, Braunkohle) verwendbar.

Bei der Vorfeuerung ist darauf zu achten, daß während der Pausen der Ofenzug völlig abgesperrt ist, damit sich die Feuerung nicht zu weit abkühlt. Risse im Mauerwerk sind sorgfältig zu verschmieren. Beim Stillstand steigt zunächst die Dampfspannung, weil das glühende Mauerwerk der Feuerung noch Wärme an den Kessel abgibt. Der Dampfdruck ist daher gegen Schluß der Arbeitszeit herunterzuarbeiten.

**Die Treppenrostfeuerung (Abb. 33).** Bei der Planrosttinnenfeuerung ist die Rostgröße durch die Flammrohrabmessungen begrenzt und beschränkt. Sollen Brennstoffe von geringem Heizwert verfeuert werden, die eine große Rostfläche erfordern, so ist eine Treppen- oder Schrägrostvorfeuerung anzuwenden. Der Treppenrost besitzt die Form einer Treppe mit enggestellten Stufen, die waagrecht oder schräg liegen und einfache, etwa 12 Millimeter dicke und 400 bis 600 Millimeter lange, mit den flachen Seiten nach oben angeordnete Platten sind. Die lichte Weite zwischen ihnen, also die Spaltweite des Rostes, beträgt 20 bis 30 Millimeter. An den Enden ruhen die Roststäbe auf gußeisernen Treppenwangen, die wieder auf eingemauerten, quer gelegten Rostträgern aus Rundeisen von etwa 40 Millimeter Durchmesser lagern. Am oberen Ende des Rostes ist ein eiserner, trichterförmiger Kasten angebracht, in welchen das Brennmaterial geschüttet und aus dem es je nach Bedarf durch Öffnen eines Schiebers der Feuerung zugeführt wird.

Das untere Ende des Treppenrostes wird durch einen waagerechten oder auch

schrägen Planrost abgeschlossen, auf dem das etwa heruntergerutschte Brennmaterial noch vollständig durchbrennen und die Schlacke und Asche sich ansammeln soll. Damit sich letztere beseitigen lassen, muß der Schlackenrost vom unteren Ende des Treppenrostes abstehen und nach vorn geneigt liegen, oder er muß als Schieber ausgebildet sein. In letzterem Falle besteht er aus einzelnen, ausziehbaren gußeisernen Platten, die man namentlich für Brennmaterial mit geringem Asche- und Schlackengehalt, wie Sägespäne, Lohe usw. anwendet. Soll die Schlacke aus dem Feuerraum entfernt werden, so schiebt der Heizer die einzelnen Platten der Reihe nach heraus, wodurch die Schlacke in den Aschefall herunterfällt. Die Plat-

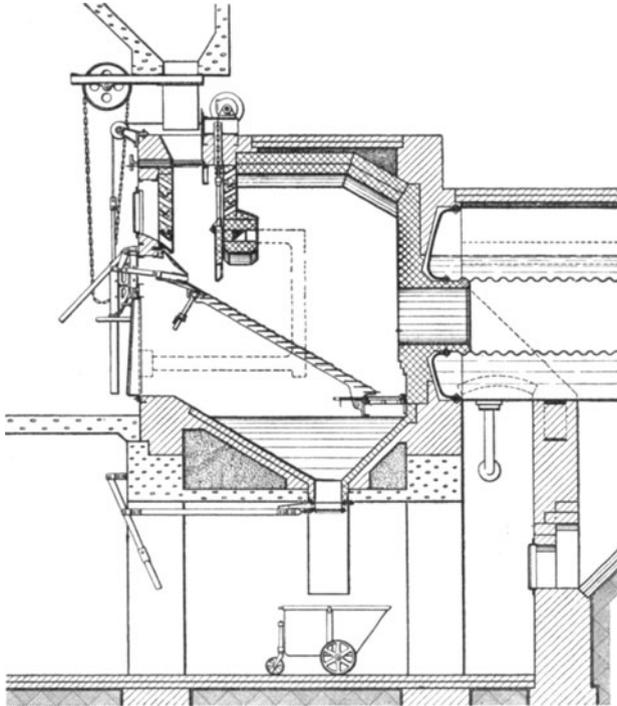


Abb. 33. Treppenrostfeuerung von Topf & Söhne, Erfurt.

tenschieber erhalten vorn eine Verlängerung mit einem Loche, in welchem sie vom Heizer mittels eines Hakens erfaßt werden können. Hinterläßt die Kohle viel Schlacke, so ist es am zweckmäßigsten, einen schrägen Schlackenrost anzulegen und die darauf sich anhäufende Schlacke zeitweise mit dem Schürhafen herunterzuziehen.

Als beschickende Kraft dient beim Treppenrost die Schwerkraft der Kohle, d. h. die Kohle muß auf dem Roste von selbst in dem Maße herunterrutschen, wie sie abbrennt. Es findet daher auf dem Roste ein fortwährendes Wandern der Kohle statt. Wird das selbsttätige Nachrutschen der Kohle gestört, so muß der Heizer nachhelfen, indem er vom Aschefall aus die Kohle durch die Rostspalten hindurch herunterstochert. Andernfalls entsteht ein ungleichmäßiges, stellenweise durchgebranntes Feuer. Beim Reinigen des Rostes von Asche und Schlacke hat der Heizer im Roste von unten nach oben, beim Nachhelfen der Kohle von oben nach unten zu stochern. Das Feuer ist insbesondere vom Aschefall aus zu beobachten, die innerhalb der Brennzone gelegenen Rostspalten müssen hell erscheinen. Dunkle Stellen zeigen an, daß der Rost mit Schlacke bedeckt ist.

Die günstigste Verbrennung erzielt man in der Treppenrostfeuerung, wenn die Verbrennungszone sich auf den unteren und mittleren Teil der Rostfläche erstreckt. Es soll also auf dem oberen Ende des Rostes eine Schicht unverbrannter Kohle liegen, die von der glühenden Decke des Feuerraumes entgast wird, bevor sie in die Brennzone heruntergelangt. Der Heizer muß daher beim Öffnen des Auslauffchiebers am Kohlentrichter vorsichtig verfahren; bedeckt er zeitweilig die ganze Rostfläche mit frischer Kohle, so ist eine starke Rauchentwicklung nach dem Beschicken auch bei den Treppenrostfeuerungen nicht zu vermeiden. Andererseits ist aber bei stark belasteten Kesselanlagen diese Beschickungsart kaum zu umgehen, da die Feuerung und der Kessel dadurch am leistungsfähigsten werden.

Der Feuerraum wird beim Treppenrost wesentlich niedriger als bei der Planrostfeuerung gemacht, damit das glühende Mauerwerk die Entgasung der Kohle beschleunigt. Im oberen Teil beträgt die Höhe des Feuerraumes etwa 25 bis 30 Zentimeter, der untere Teil wird aber beträchtlich höher und weiter angelegt, so daß sich die Rauchgase hier mit der Luft vermischen und entflammen können.

Die Neigung oder Schräge des Treppenrostes muß derart sein, daß der Brennstoff möglichst selbsttätig nachrutscht und ohne viel Nachhilfe seitens des Heizers sich gleichmäßig über den ganzen Rost verteilt. Bei nassen Brennstoffen, wie wasserhaltiger Braunkohle, Sägespänen usw., muß der Rost steiler sein als bei trockenen Brennstoffen. Treppenrostfeuerungen für zeitweilig wechselnde Brennstoffe erhalten daher Roste mit verstellbarer Schräge. Die Treppenwangen werden dann nicht eingemauert, sondern unten drehbar und oben auf einer waagerechten Stange gelagert, die an den Enden auf zwei Schrauben ruht (siehe Abb. 34). Durch Auf- und Niederdrehen der Schrauben kann man die Schräge des Rostes verändern. Die Rostschräge soll so eingestellt sein, daß die Kohlschicht unten dünner liegt als oben. Ist der Rost zu steil, so stürzt die Kohle nach dem unteren Teil des Rostes; ist er flach, so fällt die Kohle nicht von selbst nach, und der Heizer muß zuviel im Feuer nachhelfen. Doch kann sich der Heizer in diesem Falle dadurch helfen, daß er den Absperrschieber des Fülltrichters mehr öffnet, so daß auf dem oberen Teile des Rostes eine sehr dicke Kohlschicht lagert.

Der Treppenrost läßt bedeutend weitere Rostspalten zu als der Planrost, ohne daß hierdurch etwa größere Verluste an durchfallendem Brennstoff entstehen. Er eignet sich daher sehr gut für klares, leicht zerbröckelndes Brennmaterial, wie erdige Braunkohle, Torf, Sägespäne und Lohe, klare Steinkohle und Rohbraunkohle. Beim Treppenrost setzen sich aber die Schlacken leichter zwischen den Stufen fest als beim Planrost. Ferner nützen sich die Roststäbe beim Verfeuern von hochwertiger Kohle durch Verbrennen stark ab, weil sie der Glutschicht eine größere Berührungsfläche darbieten. Es sind daher immer einige Roststäbe vorrätig zu halten, und namentlich die unteren Roststufen müssen leicht auswechselbar sein. Im übrigen ist es völlig verkehrt, auf dem Treppenrost backende, schlackende oder hochwertige Kohle zu verfeuern.

Bei der Treppenrostfeuerung ist das Anheizen infolge der schrägen Lage des Rostes schwieriger als bei der Planrostfeuerung; auch dauert es längere Zeit, bis der Feuerraum auf die genügende Temperatur gebracht ist. Das Feuer ist ferner nicht übersichtlich, und es können auch die ersten, der größten Hitze ausgesetzten Kesselplatten während des Betriebes nicht beobachtet werden. Man wendet daher die Treppenrostfeuerung nur an, wenn die Planrosttinnenfeuerung oder die Planrostunterfeuerung sich für das verfügbare Brennmaterial nicht eignen, also namentlich für Rohbraunkohle. Bei Verwendung von Rohbraunkohle oder eines anderen leicht entzündlichen Brennstoffes kann das Anzünden des Feuers in der Weise erfolgen, daß im Ufchefall ein Holz- oder Papierfeuer angebrannt wird,

dessen Flamme durch den Gfenzug in die Brennstoffschicht auf den Kofst hineingefaugt wird und diese anzündet.

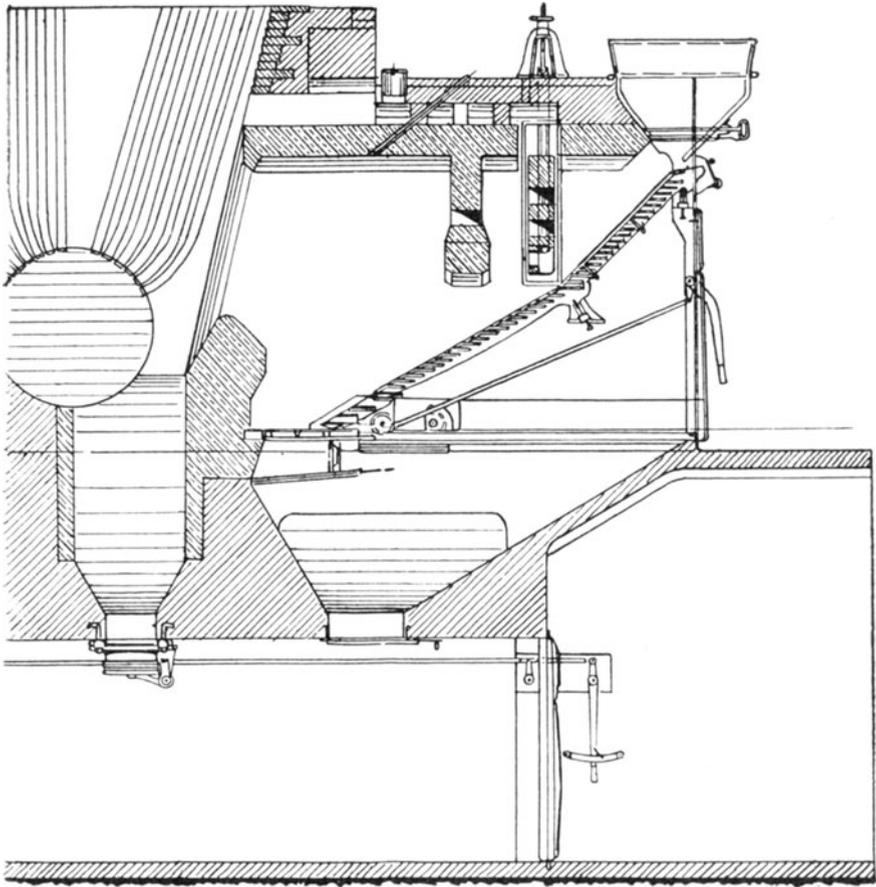


Abb. 34. Die Halbgasfeuerung von Keilmann & Bölker, Bernburg, ist durch ein senkrecht verstellbares Kohlenwehr und eine feststehende senkrechte Mauerzunge in drei Einzelräume zerlegt: den Schmeltraum unterhalb des Kohlentrichters, den kleinen Mischraum und den großen Verbrennungsraum. Im Schmeltraum trocknet und verichwelt die Kohle ohne Brand bei verhältnismäßig geringer Luftzufuhr. Der steile Neigungswinkel des Schmelkroftes entspricht dem Schüttwinkel der verfeuerten Kohlkohle. Die Schmelkase treten durch waagerechte Öffnungen des Kohlenwehres hindurch in den Mischraum, wo sie mit Luft gemischt werden, die an einem verstellbaren Schieber geregelt und in Kanälen in der hocharhitzten Feuerraumdecke erwärmt wird. Auf dem Kofst im Mischraum findet die Verkokung der entschwelten Kohle und weiter unten die Verbrennung derselben statt, wobei die heißen Verbrennungsgase die Entzündung des Schmelkluftgemisches aus dem Mischraum bewirken. Beim Entschladen werden der waagerechte Schlackentrost und der untere Teil des Verbrennungskroftes an Hebeln ein- und ausgezogen. Die Halbgasfeuerung wird auch in sehr großen Abmessungen ausgeführt, arbeitet bei richtiger Einstellung rauchschwach und mit geringem Luftüberschuß, also mit guter Brennstoffausnützung. Die Kohlenzufuhr wird durch Verstellen des Kohlenwehres geregelt.

Die Treppentrostfeuerung ist in den Braunkohlengebieten in sehr großen Abmessungen anzutreffen (Kofstflächen bis 30 Quadratmeter) und alsdann mit mechanisch bewegten Kofsten versehen, die den Brennstoff von oben nach unten beför-

dern, da derselbe auf langen Kosten nicht selbsttätig nachrückt. Der obere Teil des Kofes, auf dem sich die Trocknung und im wesentlichen auch die Entgasung der Kohle vollzieht, erhält hierbei eine steilere Lage als der untere Kofteil, auf den die Kohle in wasserfreiem Zustand gelangt und daher einen flacheren Schüttwinkel erfordert (Abb. 34).

**Die Sägespä- und Holzfeuerung mit Treppenrost.** Zum Anheizen sind trockene sperrige Abfälle zu verwenden, wie Hobelspäne, da Sägespäne zu dicht auf dem Rost liegen und allein schlecht anzünden. Der Rost ist hierbei gleichmäßig zu bedecken und das Feuer an mehreren Stellen zugleich anzubrennen. Hartholzspäne lassen sich besonders schwer allein verheizen und sind mit Holzabfällen zu vermischen. Die Brennschicht soll bei Gatterspänen aus Weichholz etwa 200, aus Hartholz etwa 100 und bei Hobelspänen und Holzabfällen etwa 300 bis 400 Millimeter hoch sein. Eine zu dicke Brennschicht versperrt der Luft den Durchzug, verhindert die Flamme und erstickt das Feuer. Zu große Rostflächen verkleinert man durch Verstopfen einiger Reihen der oberen Rostspalten mit Lehm, so daß auf diesem Rostteil keine Verbrennung stattfinden kann. Mattes Feuer ist ein Zeichen für die zu hohe Brennschicht, geringen Essenzug oder das Einstromen von falscher Luft und hat leicht ein Verbrennen der Roststäbe zur Folge. Die beste Ausnützung erreicht man in der Regel mit der kleinsten praktisch noch zulässigen Rostfläche. Feuchte Sägespäne verlangen einen steilen, trockene einen flachen Neigungswinkel des Kofes, sollen sie beim Öffnen des Schütt-Trichters in gleichmäßiger Höhe auf den Rost fallen. Durchschnittlich ist der Schüttwinkel für Gatterspäne 35 bis 40°. Der untere waagerechte Rost soll stets mit glühendem Brennmaterial bedeckt sein, damit sich die vom Treppenrost abziehenden Gase daran entzünden und verbrennen. Die Beschädigung hat zu erfolgen, sobald der obere Teil des Kofes sichtbar wird, und geschieht durch volles Öffnen des Auslauffchiebers am Schüttkasten, damit sich der Brennstoff mit Wucht auf der gesamten Rostfläche verteilt. Kahle Roststellen sind durch Nachstoßen mit einer Latte abzudecken. Beim Abstellen des Betriebes ist dafür zu sorgen, daß im Trichter und auf dem Rost alles Brennmaterial ausgebrannt ist. Türen und Öffnungen an der Feuerung und der Essenzchieber sind zur Vermeidung der Abkühlung der Feuerung und des Kessels zu schließen. Die Feuerung ist mit Schamottesteinen mit engen Fugen (nicht mehr als 3 Millimeter) auszumauern. Erhaustorrohre für die Zuführung der Holzabfälle dürfen nicht in den Schütt-Trichter an der Kesselfeuerung münden, da hierbei zuviel kalte Luft in die Feuerung geblasen wird.

**Torffeuerungen.** Die Treppenrostfeuerung wird auch für die Verfeuerung von Torf angewendet. Die sperrige Lage der Torffoden auf dem Rost, der hohe Wassergehalt, der geringe Bedarf an Zug gegenüber demjenigen für Stein- und Braunkohlen und der geringe Heizwert des Torfes bedingen jedoch eine besondere Ausführung der Torffeuerungen. Von ausschlaggebender Bedeutung sind hierbei auch die beträchtlichen Unterschiede der feuerungstechnischen Eigenschaften der Torfe. Der beste Torf, der Hochmoortorf mit seinem geringen Gehalt an Unverbrennlichem, seiner hohen Brenngeschwindigkeit und langflammigen Verbrennung, verlangt keine größeren Rostflächen als ein anderer Brennstoff, nur der Feuerraum muß wesentlich erweitert werden, um die großen Torfmengen aufnehmen zu können. Bei derartigen Kesselanlagen, die im nordwestdeutschen Hochmoorgebiet häufig anzutreffen sind, ergeben sich verhältnismäßig gute Kesselleistungen. Der Brennstoff wird bei diesen Spezialfeuerungen vorgebrochen und automatisch zugeführt; die Handbeschädigung scheidet hierbei aus, soll die Arbeit des Heizers nicht zu einem ständigen Torfschaufeln werden und den Anforderungen einer rationellen Feuerbedienung nur einigermaßen Genüge geleistet werden. Eine Verbreitung außer-

halb des Hochmoorgebietes haben die Torff Feuerungen an Dampfkesseln nicht gefunden, da der Aktionsradius des Torfes, trotzdem letzterer Sondertarif auf der Eisenbahn genießt und von der Kohlensteuer befreit ist, frachttechnisch und wirtschaftlich begrenzt ist und somit der Versand des Torfes über gewisse Entfernungen hinaus wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig ist.

Noch ungünstiger verhält sich der Niederungsmoortorf, der mit seinem hohen Gehalt an Unverbrenlichem, seiner verminderten Brenngeschwindigkeit und seinem

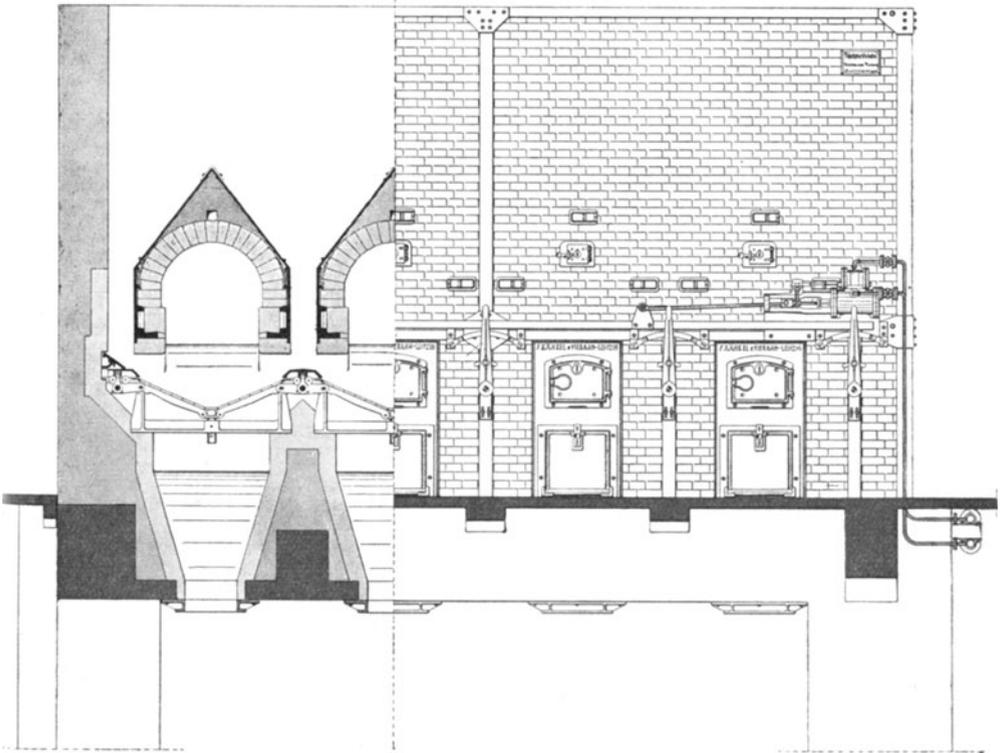


Abb. 35. Häufig angewandeter Muldenrost für Rohbraunkohle von Fränkel & Ziehbahn, Holzhausen-Leipzig. Unter den Kohlenzulaufschächten zwischen den Gaskammern über dem Muldenrost befinden sich die von Hand oder Öldruckmotor betätigten, auf Rollen gelagerten, waagrecht verschiebbaren Kohlennachschubvorrichtungen, mit denen der Brennstoff gleichzeitig auf der ganzen Rostlänge zur Muldenrostmitte in die eigentliche Brennzone vorgeschoben wird. Die Gaskammern werden in Bogenmauerung oder als Hängendecke ausgeführt, haben zur Erleichterung des Kohlennachrutsches spitz zulaufende eiserne Abdeckungen und sind mit Kühlkanälen für regelbare Zweitluft versehen. Die Entaschung erfolgt augenblicklich durch einen handhebelbetätigten Ripprost längs der tiefliegenden Rostmitte.

geringen Heizwert wesentlich andere Anforderungen an die Feuerungsanlage stellt und namentlich nicht bloß größere Rostflächen erfordert, sondern auch keine so günstigen Kesselleistungen wie der Hochmoortorf ergibt.

**Die Muldenrostfeuerung.** Bei dieser Feuerung bildet der Rost eine Mulde, auf welcher die Kohle infolge des Abbrandes zum Teil selbsttätig nachrutscht oder heruntergeschoben werden muß. Der stärkste Brand findet an der tiefsten Stelle des Rostes statt, während die von oben nachstürzende Kohle zuerst an die höher gelegenen Seiten der Rostmulde gelangt und hier zunächst entgast (Abb. 35).

**Die Unterwindfeuerung** wird bei ungenügendem Essenzug, bei der Verfeuerung von geringwertigen Brennstoffen, Kohlengruß, Koks und Rohbraunkohle verwendet und hat seit einigen Jahren zur Erzielung von Höchstleistungen bei Wander- und Stokerrosten große Bedeutung und Verbreitung erlangt, während sie früher nur als Behelf diente. Ihr Mischfall muß dicht abgeschlossen sein, so daß der mit einem Gebläse eingeblasenen Luft als alleiniger Ausweg die Kofspalten verbleiben. Dampfstrahlgebläse werden wegen des hohen Dampfverbrauches kaum noch benützt. Bei der einfachen Planrostfeuerung beträgt der Luftdruck im Mischfall etwa 50 bis 60 Millimeter Wassersäule (W. S.), der die Brennschicht gut durchdringt, so daß ein lebhaftes Feuer entsteht. Der Rost besteht hierbei häufig nur aus gußeisernen, etwa 30 Millimeter dicken

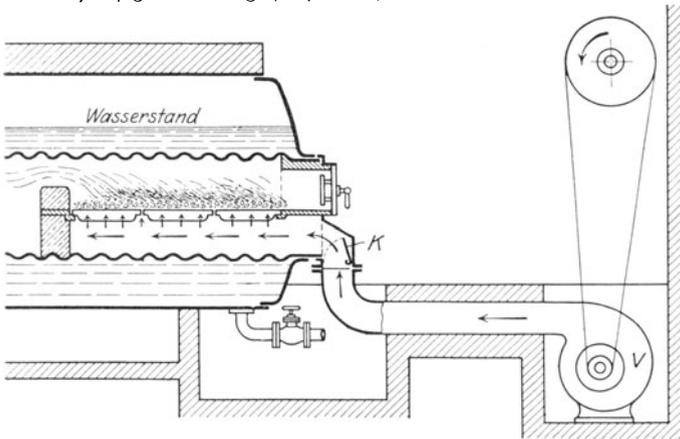


Abb. 36. Unterwindfeuerung der gebräuchlichsten Bauart mit Ventilatorbetrieb. K = Klappe, die beim Öffnen der Feuertüre selbsttätig schließt, hierdurch den Unterwind abstellt und das Heraus schlagen der Flammen aus der geöffneten Feuertüre verhindert.

Platten mit dünnartigen Löchern, die oben 3 bis 7, unten 20 bis 30 Millimeter weit sind. Doch sind auch Roste mit ungefähr 3 Millimeter Spaltweite im Gebrauche. Sie sind meist nur 700 bis 1000 Millimeter lang. Um den Heizer vor dem Verbrennen durch herausschlagende Stichtflammen zu bewahren, muß die Unterwindfeuerung eine Vorrichtung zum selbsttätigen Abstellen des Unterwindes beim Öffnen der Feuertüre haben.

Zur Vermeidung von Flugascheansammlungen in den Feuerzügen ist bei den Unterwindfeuerungen möglichst mit ausgeglichenem Feuerzuge zu arbeiten, d. h. die Zugstärke über dem Rost soll nicht größer sein, als zur Abfugung der Feuergase erforderlich ist.

Bei den **Gasfeuerungen** ist zur Verhütung von Gasexplosionen darauf zu achten, daß sich während der Betriebsstillstände in den Gaskanälen und Feuerzügen keine Gas-Luft-Gemische bilden können. Die Absperrschieber für die Gasleitungen sind daher sorgfältig dicht zu halten. Das Feuer wird

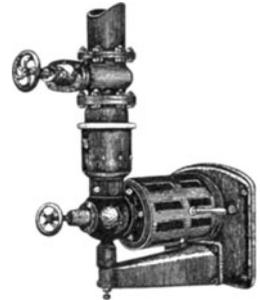


Abb. 37. Gasfeuerung der Maschinenbau- u. G. Balcke, Abt. Moll, Neubredum. Die Feuerung ist mit feuerfesten Steinen auszumauern. Der Rost fällt selbstverständlich fort. Die gebräuchlichsten Gasarten, die für die Befuerung von Dampfkesseln, Öfen und Apparaten in Betracht kommen, sind:

Hochofengas mit einem unteren Heizwert von etwa 850—1000 W. E.

Generatorgas mit einem unteren Heizwert von etwa 1200 W. E.

Koksogengas mit einem unteren Heizwert von etwa 3500—4500 W. E.

Erdgas mit einem unteren Heizwert von etwa 8000—9000 W. E. je Kubikmeter.

Zum Betrieb der Dampfkesselfeuerungen genügt der Schornsteinzug; je stärker er ist, um so größer kann auch die Menge des zugeführten Gases sein und um so mehr wird Dampf erzeugt. Auf 1000 W. E. des Heizgases muß annähernd 1 cbm Verbrennungsluft kommen; hat demnach 1 cbm Heizgas einen Heizwert von 4000 W. E., so sind pro cbm Gas 4 cbm Luft zuzuführen (nach Angaben der Firma Moll).

nach dem Aussehen der Flammen einreguliert. Stark ruhende Flammen beweisen, daß zu wenig Luft und zu viel Gas zugeführt werden. In solchen Fällen ist durch teilweises Schließen der Absperschieber die Gaszufuhr zu verringern, bis die Flamme keine Rußwolken mehr ausstößt. Beim Anheizen muß der Heizer zunächst den Essenschieber aufziehen, die Feuerzüge entlüften und erst hierauf das Gas anzünden. In Abb. 37 kann das Anzünden nur erfolgen, wenn der Apparat von der Feuerung abgescwenkt ist. Gas und Luft strömen in abwechselnder Reihenfolge durch eine große Anzahl von Öffnungen des Apparates in den Brennraum, vermischen sich hierbei gut miteinander und verbrennen bei geringem Luftüberschuß mit hoher Temperatur und langer, in die Feuerzüge hinein-

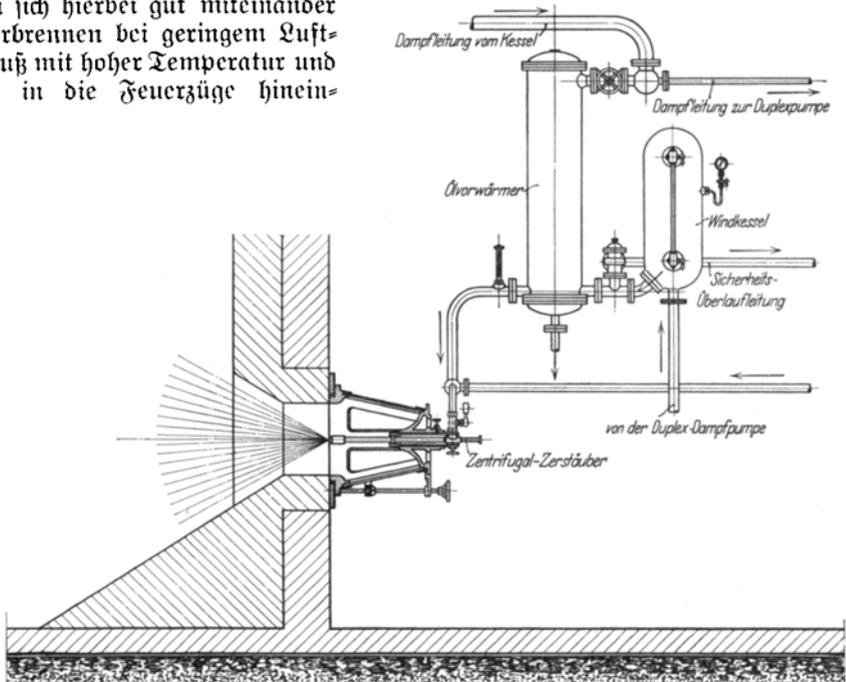


Abb. 38<sup>1)</sup>. Schema einer Ölfeuerungsanlage.

schlagender Flamme. Die zuerst betroffenen Kesselheizflächen werden zum Schutze gegen eine Überhitzung der Kesselbleche und zur Erhaltung der Verbrennungstemperatur mit Schamotte-mauertwerk verkleidet. Die Gasfeuerungen werden nur angewendet, wo das Gas in erster Linie für sonstige Feuerungen (Glasmelzöfen) erzeugt werden muß oder billige Gase (Hoch- und Koksogas, Erdgas) zur Verfügung stehen.

Trotzdem der Kohlen säuregehalt der Heizgase bei den Gasfeuerungen nahezu die theoretische Grenze erreicht und 18 bis 19 Prozent beträgt, darf hieraus nicht ohne weiteres der Schluß gezogen werden, daß sie billiger arbeiten als die Steinkohlenfeuerungen, bei denen, wie wir sahen, der bestenfalls erreichbare Kohlen säuregehalt 14 Prozent beträgt, da das in den Gasfeuerungen benutzte Gas vorwiegend aus Kohlenoxydgas besteht, zu dessen Erzeugung allein nahezu ein Drittel der in der Kohle enthaltenen Wärme aufgewendet werden muß.

**Die Ölfeuerung.** Verwendet werden Rohöle (Erdöl) und Steinkohlen- und Braunkohlenteeröle. Der Heizwert der Rohöle schwankt zwischen 9500 und 11500,

<sup>1)</sup> Abb. 38 ist aus „Eßich, Ölfeuerungs-technik“, Berlin: Julius Springer, entnommen.

der Teeröle zwischen 8100 bis 10000 W. G. je Kilogramm. Die Heizöle, besonders das Steinkohlenteeröl, enthalten das wertvolle Naphthalin, das beim Abkühlen auskristallisiert und die Rohrleitungen verstopft, aber beim Erwärmen auf etwa 60° und Umrühren wieder flüssig wird. Die Ölbehälter erhalten daher eine Heizrohrschlange; Ölleitungen werden durch eine parallel und in einer gemeinsamen Isolierung verlegte Dampfleitung heizbar gemacht. Durch die Erwärmung wird das Öl auch dünnflüssiger und seine Zerstäubung und Verbrennung erleichtert. Ihre obere Grenze (je nach der Ölart etwa bis zu 110°) soll unter dem Siedepunkt des Öles liegen, damit sich in den Rohrleitungen kein Öldampf bildet.

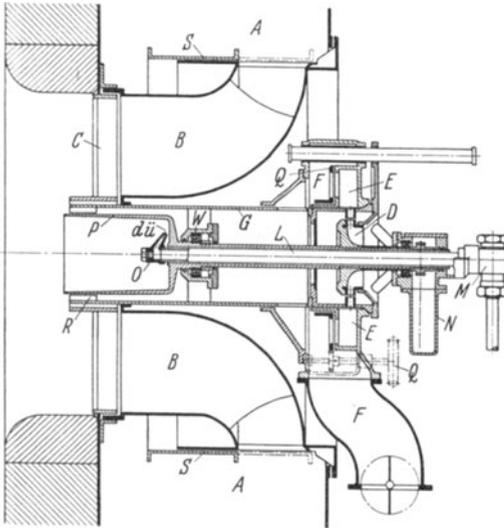


Abb. 39. Rotierender Ölbrenner von Saake, Berlin, auch bei sehr großen Schiffskesseln im Gebrauch. LM = Heizölführung; das Heizöl tritt aus der Düse dü aus und wird am äußeren Rande des schnell rotierenden Zerstäuberbechers P durch Zentrifugalkraft als feiner Schleier in die Feuerung geschleudert. D = kleine Turbine, welche P antreibt und von der mit Preßung eintretenden Hauptluft, die bei F eintritt, angetrieben wird. Die Hauptluft tritt auch durch die Drallbleche R auf der Innenseite des feststehenden Mantelrohres G hindurch wirbelförmig an den Ölschleier heran. Q = Ringchieber zum Regeln der Primärluft. E = Hauptluftvorlage. A = Zweilufteintritt mit Abperrschieber S und Kanälen B. W = Rugellager. C = Staurost. M hat auch den (nicht gezeichneten) regelbaren Abperrschieber für das Heizöl.

Bei den Dampfkesseln wird das Heizöl in fein zerstäubtem Zustand in die Feuerung geblasen. Benützt werden hierzu feststehende Brenner mit Druckzerstäubung und rotierende Ölbrenner mit Zentrifugalzerstäubung (Saake, Berlin). Bei der Druckzerstäubung wird das Öl mit einem Drucke von etwa 5 bis 20 Atmosphären durch eine 0,8 bis 2 Millimeter große Öffnung einer Metallscheibe gepreßt. Erforderlich sind hierbei: 2 Heizölbetriebspumpen (davon eine als Reserve) zur Erzeugung des Zerstäubungsdruckes, ein Windkessel gemeinsam für diese beiden Pumpen zur Erzielung eines gleichmäßigen Öldruckes, 2 Heizölvorwärmer (davon einer als Reserve) zur Erwärmung des Heizöles auf die zur Zerstäubung günstigste Temperatur, je ein umschaltbares Doppel-Sauge- und Druckfilter zur Reinigung des Heizöles und nötigenfalls für die Inbetriebnahme des Kessels mit Gasöl eine elektrisch oder von Hand bediente Anheizpumpe. Die Ölmenge wird entsprechend dem jeweiligen Dampfbedarf durch Einlegen von Zerstäuber-Vochscheiben mit verschiedener lichter Öffnung und durch Änderung des Öldruckes geregelt.

Bei kleinen Kesseln wird das Heizöl mittels Preßluft oder Dampf zerstäubt, da mit Öl-druckzerstäubern keine einwandfreie Zerstäubung der geringen Öl-mengen erzielt wird. Die Preßluft wird durch Gebläse erzeugt und hat einen Druck zwischen 80 Millimeter W. G. (Niederdruck) und 0,6 Atmosphären (Hochdruck). Niederdruckbrenner leisten weniger, doch genügen einfache, billig arbeitende Ventilatoren und es wird ein großer Teil oder auch die gesamte Verbrennungsluft zur Zerstäubung herangezogen. Hochdruckbrenner ergeben große Leistungen, haben eine größere Regelfähigkeit und nur ein kleiner Teil der Verbrennungsluft dient der Zerstäu-

hung. Die übrige Verbrennungsluft wird entweder durch natürlichen Zug angejagt oder, bei hoch beanspruchten Kesseln, durch besondere Gebläse dem Brenner mit etwa 200 bis 500 Millimeter W. S. zugeedrückt.

Zur Dampfzerstäubung ist nur Dampf mit möglichst hoher Überhitzung zu verwenden, weil hierdurch der Dampfverbrauch verringert und die Flamme heißer wird. Naßdampf ist zu vermeiden.

Das zerstäubte Heizöl muß verdampfen, damit es rasch und vollkommen mit der Verbrennungsluft gemischt wird, der Luftüberschuß also möglichst gering ist. (Kohlensäuregehalt im allgemeinen 12,5 bis 13,5 Prozent). Die Verdampfung erfolgt durch die Hitze der Flamme und die Wärmeausstrahlung des glühenden Mauerwerks. Bei schlechter Zerstäubung und Verdampfung gelangen Öltropfen an das glühende Mauerwerk und bilden Koksnester, da die meisten Heizöle auch festen Kohlenstoff enthalten, der in schwebendem Zustande verbrennen soll.

Die Feuergefährlichkeit des Heizöles macht größte Sauberkeit im Kesselhause und besondere Schutzvorrichtungen erforderlich (Tropffschalen an der Feuerung, dichte Flanschenverbindungen — keine Gummidichtungen, sondern in Leim getränkte Pappe oder Asbest — Entlüftungsröhre der Bunker mit Drahtgazeversicherung u. a.).

## 7. Die rauchverhütenden Dampfkesselfeuerungen.

Der Rauch muß aus Ersparnisrücksichten und aus Rücksichtnahme auf die Umgebung der Feuerungsanlage vermieden werden.

Die **Brennstoffersparnis bei der Rauchverbrennung** ergibt sich, wie wir bereits gesehen haben, daraus, daß der Rauch die Folge der unvollständigen Verbrennung der vergasteten teerartigen Bestandteile der Kohle (der Kohlenwasserstoffe) ist und somit aus brennbaren Bestandteilen der Kohle besteht. Am stärksten tritt er bei gasreicher Steinkohle auf; gasarme Steinkohlen, ferner Braunkohle und Holz lassen sich leichter rauchschwach verfeuern, weil der Rauch dabei in geringerer Menge auftritt und eine niedrigere Entzündungstemperatur hat. Nimmt man beispielsweise an, die verfeuerte Steinkohle bestünde aus 66 Prozent festem Kohlenstoff, 9 Prozent Wasser, 5 Prozent Schlacken und 20 Prozent Kohlenwasserstoff, so würde im ungünstigsten Falle, wenn die teerartigen Bestandteile sämtlich unverbrannt abziehen, der 20. Gewichtsteil der Kohle oder von den brennbaren Bestandteilen  $86 : 20 =$  der  $4\frac{3}{10}$ te Teil, d. i. rund 25 Prozent im Rauche preisgegeben werden. Ein Teil der Rauchgase wird aber in jeder Feuerung verbrannt werden, wie auch in keinem Falle eine vollständige Rauchverbrennung zu erzielen sein wird, so daß man die Ersparnisse bei der oben bezeichneten Kohlenforte in einer gut bedienten Feuerung auf etwa 6 bis 10 Prozent des Kohlenverbrauches abschätzen kann.

Die **Schädlichkeit der Rauchgase** für die Umgebung der Kesselanlage nimmt ab, je rauchschwächer das Feuer brennt. Sie wird durch die festen Bestandteile der Rauchgase, den Ruß und die Flugasche, aber auch durch die unsichtbaren Gase im Rauche, die schweflige Säure, die Salzsäure, die Fluorsäure usw. hervorgerufen. Erstere lassen sich durch eine gute rauchfreie Verbrennung und richtige Anlage der Kesselfeuerung und der Kesselzüge vermindern; die unsichtbaren schädlichen Bestandteile des Rauches treten aber auch bei einer vollkommenen Verbrennung auf, da sie von der chemischen Zusammensetzung der Kohle abhängig sind. Sie sind es hauptsächlich, die die Schädigungen der Pflanzenwelt in der Nähe der großen Städte und Industriezentren verursachen, wobei namentlich die empfindlichen Nadelhölzer in der Hauptwindrichtung betroffen werden.

Soll dem Rauchen einer Dampfkesselfeuerung abgeholfen werden, so ist vor allem die eigentliche Fehlerquelle ausfindig zu machen; entweder ist ein größerer Dampfkessel aufzustellen, die Feuerung abzuändern, der Kofst zu vergrößern, der Essenzug zu verstärken, Kofst statt Kohle zu verwenden oder das Feuer sorgfältiger zu bedienen.

**Die Verbrennung des Rauches durch Zusatzluft.** Sowohl bei den Planrostfeuerungen als auch bei den Treppenrostfeuerungen besteht das älteste Mittel zur Rauchverhütung darin, daß man dem Feuer außer dem Luftstrom durch die Kofstspalten noch einen zweiten (sekundären) Luftstrom, die sog. Zusatzluft, über dem Kofst zuführt. Der (primäre) Luftstrom durch die Kofstspalten soll die Verbrennung der festen, kohligen Bestandteile auf dem Kofste, der andere Luftstrom die Verbrennung der flüchtigen, rauchigen Bestandteile über dem Kofste und hinter dem Feuerraume bewirken. Man geht hierbei davon aus, daß der Luftbedarf im

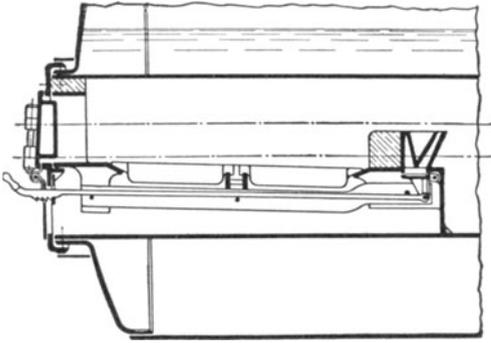


Abb. 40<sup>1)</sup>. Rauchverzehrende Feuerung mit Zusatzluft durch die hohle Feuerbrücke.

Verbrennungsraume gleich nach dem Beschicken des Feuers und während der darauf folgenden Entgasung der Kohle wesentlich größer ist als nach beendeter Entgasung. Während der Luftstrom zwischen den Kofstspalten von einer Beschickung zur anderen nahezu gleichstark bleiben kann, muß die Zusatzluft nach dem Beschicken am reichlichsten zufließen und dann allmählich in demselben Maße wie die Entgasung der Kohle abnehmen und abgestellt werden.

daß sie sich ferner mit den Rauchgasen innig mischt und letztere tatsächlich verbrannt werden. Anderenfalls verdünnt sie nur den Rauch und kühlte die Feuergase beträchtlich ab, so daß die rauchverzehrende Feuerung keine Kohlenersparnis, sondern eine Kohlenvergeudung zur Folge hat. Die gewöhnliche Feuerung mit einfacher Luftzufuhr ist dann der Feuerung mit doppelter Luftzufuhr vorzuziehen. Werden aber die Rauchgase durch die Zusatzluft wirklich verbrannt, so arbeitet die Feuerung nicht nur rauchschwach, sondern auch sparsam.

Wesentlich ist, daß die Zusatzluft nicht zu reichlich zugeführt wird,

Damit die Rauchverbrennung sicherer erzielt wird, erhitzt man die Zusatzluft, bevor sie mit den Rauchgasen zusammentrifft. Man leitet sie deshalb entweder durch Kanäle im Mauerwerk des Feuerraumes oder der Feuerbrücke hindurch, oder es werden auch hinter der Feuerbrücke Mauerbögen oder gitterartige Einsätze aus feuerfesten Steinen angebracht, die im Betriebe sehr heiß werden und hierdurch die Entzündung der mit Luft durchsetzten unverbrannten Gase fördern sollen. Die Zusatzluft kann auf sehr verschiedene Weise zugeführt werden: durch Öffnungen in der Feuertüre, durch Klappen in der Schürplatte oder durch Schlitze in der Feuerbrücke. Die oft gebräuchlichen Rosetten sowie Schieber und Klappen an der Feuertüre ermöglichen auch bis zu einem gewissen Grade eine Regelung der Luftzufuhr zum Feuer, in erster Linie dienen sie jedoch zur Beobachtung des Feuers und zur Kühllhaltung der Feuertüre.

<sup>1)</sup> Abb. 40 ist mit Genehmigung des Verlages aus „Haier, Dampfkesselfeuerungen“, 2. Auflage, Berlin: Julius Springer, entnommen.

Sehr verbreitet ist die Zuführung der Zusatzluft durch **die hohle Feuerbrücke**, die mit mehreren über ihre ganze Breite sich erstreckenden Schlitzen versehen ist, durch welche die Luft aus dem Aschefall nach dem Feuerraum hindurchströmen kann. Die untere, nach dem Aschefall zu gelegene Öffnung der Schlitze ist mit einer Klappe verschließbar, welche durch eine Zugstange vom Heizerstande aus mehr oder weniger geöffnet und geschlossen werden kann (Abb. 40).

**Feuerungen mit selbsttätiger und ununterbrochener Kohlenbeschickung.** Bei diesen Feuerungen wird die Kohle durch mechanische Kraft ununterbrochen, und zwar in einer dünnen Schicht, auf den Kofst aufgegeben. Infolge der gleichmäßigen Kohlenzufuhr ist (abgesehen von der Zeit beim Abschlacken) im Feuerraum eine sehr gleichmäßige Temperatur vorhanden. Es wird daher eine solche Feuerung leichter rauchfrei arbeiten als eine Feuerung mit Handbeschickung. Anders wird es in dieser Beziehung, wenn der Feuerungsapparat nicht gleichmäßig arbeitet. In diesen Fällen muß der Heizer häufig im Feuer nachhelfen, und es geht dann beim Ausgleichen der Kohlenschicht auch nicht ohne starke Rauchentwicklung ab.

Von diesen Feuerungsapparaten hat der **Leachapparat** (Abb. 41) weite Verbreitung gefunden. Jedes Flammrohr hat zwei Schleuderräder *e*, die 300 bis 400 Umdrehungen in der Minute machen und die Kohle in das Feuer schleudern, dabei fliegt die Kohle gegen die vor dem

Wurfrade befindliche, langsam auf- und niederschwingende Prellklappe *f*, so daß sie von der freien Flugbahn abgelenkt wird und gleichmäßig auf allen Stellen des Kofstes niederfällt. Dem Wurfradgehäuse wird die Kohle aus dem Kohlentrichter durch die sehr langsam laufende Speisewalze *c* mit fünf Zellen zugeführt. Letztere füllen sich beim Durchgang durch den Kohlentrichter mit Kohle und entleeren sich wieder über den Wurfrädern. Die Speisewalze wird durch einen auf- und niedergehenden Hebel *z* (Abb. 42), der mit einer Klinken in ein Klinkenrad auf der Speisewalze eingreift, in Umdrehung versetzt. Zwischen der Klinken und dem

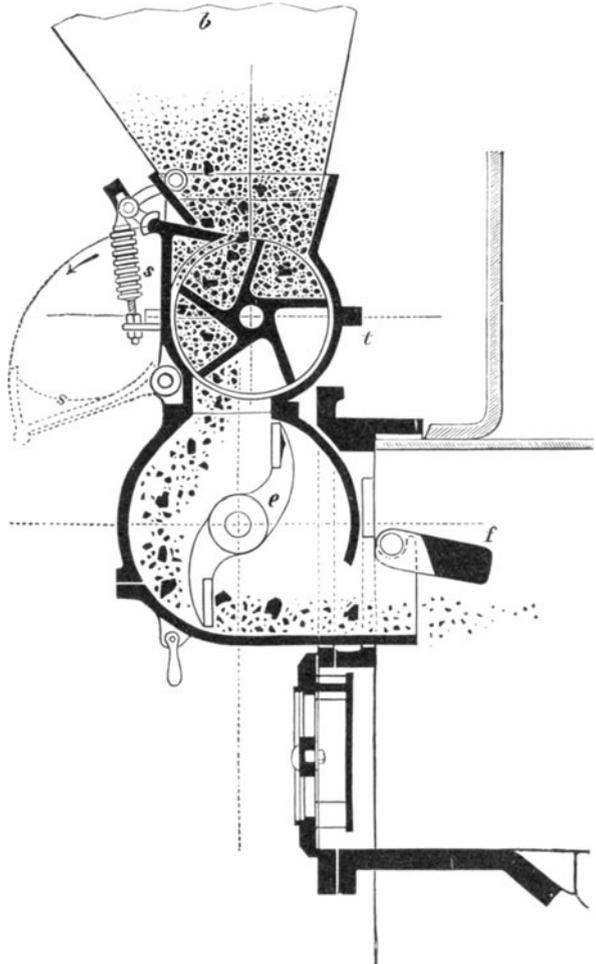


Abb. 41. Leachapparat der Maschinenfabrik Wilhelm Wenger, Chemnitz, wurde früher von der inzwischen aufgelösten Sächsischen Maschinenfabrik gebaut.

Klinkenrad ist ein Blech *b* angeordnet, mit welchem man mehr oder weniger Zähne des Klinkenrades abdecken und die Umdrehungszahl der Speisewalze verringern oder vergrößern kann, je nachdem viel oder weniger Kohlen verbrannt werden sollen. Um zu vermeiden, daß grobe oder harte Kohlenstücke die Flügel der Speisewalze beschädigen, wird die äußere Gehäuswand vor der Speisewalze mit einer Feder *s* festgehalten. Beim Einklemmen kleinerer Kohlenstücke gibt die Wand nach, bei größeren Kohlenstücken, Steinen usw., klappt die Wand auf, so daß dann das Hindernis und zugleich auch die Kohle herausfallen. Damit die Flügel der Speisewalze die Kohle leichter abstreichen, macht man sie schraubenförmig, so daß die Vorderkante der Zelle allmählich an der Kante der Wand vorbeigeht. Die untere

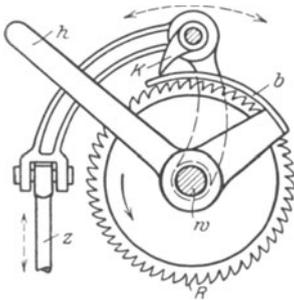


Abb. 42. Regelvorrichtung am Leachapparat. Das Klinkenrad *R* sitzt fest auf der Welle *w* der Speisewalze und wird durch die Klinken *K* rückweise in Umdrehung versetzt. Durch Verstellen des Handhebels *h* bewirkt der Heizer, daß die Klinken mehr oder weniger auf dem Blech *b* gleitet, die Speisewalze langsamer oder schneller eine Umdrehung vollendet und sich infolgedessen die Kohlenzufuhr zum Feuer ändert.

der Speisewalze *c* verringern. Das Feuer muß daher gut beobachtet werden. Das Anpassen des Feuerungsbetriebes an den Dampfverbrauch erfolgt dadurch, daß der Heizer die Zellenwalze oder den ganzen Apparat schneller oder langsamer laufen läßt und die Stellung des Essenschiebers hierbei entsprechend ändert.

**Die Wurff Feuerungen.** Diese Apparate (Abb. 43 bis 47) unterscheiden sich von dem besprochenen Leachapparat im wesentlichen dadurch, daß man zum Verschicken des Feuers statt der schnell rotierenden Wurfräder eine hin- und herschwingende Schaufel verwendet, die durch eine langsam rotierende Scheibe mit drei, bei langen Kasten bis zu acht Knaggen (Abb. 43) allmählich zurückgedreht wird und hierbei zwei mit ihr fest verbundene Federn anspannt. Sobald eine Knagge frei wird, schnellt die Schaufel infolge der Federkraft nach dem Feuer zu und wirft die vor ihr liegenden Kohlen auf den Kofst. Dadurch, daß die Knaggen in drei verschiedenen Höhen ausgeführt sind, erhalten die Federn an den Wurfschaufeln während einer Umdrehung der Knaggenscheibe drei verschiedenen starke Spannungen. Infolgedessen erfolgt die Verschickung des Kofstes derart, daß die vor den Wurfschaufeln aufgeschüttete Kohlenmenge abwechselnd einmal auf den hinteren, den mittleren und den vorderen

Wand des Wurfgehäuses ist zum Herausziehen eingerichtet, damit man etwaige Störungen im Wurfradgehäuse schnell beseitigen kann. Eine drehbare Plattefeder sichert die Wand gegen selbsttätige Lockerung. Leichte Klemmungen sind durch einfaches Mütteln zu beseitigen. Unten ist der Feuerungsapparat mit Feuer Türen versehen, welche gestatten, daß der Kessel angeheizt, das Feuer abgeschlaßt und nötigenfalls auch mit der Hand bedient werden kann.

Der Apparat ist in den letzten Jahren erheblich verbessert worden und eignet sich für die Verfeuerung von Rußkohle bis 30 Millimeter Korngröße, von Feinkohle, geschnittenen Briketts und Mischungen dieser Kohlenforten.

Werden die Kohlen nicht bis auf den hinteren Teil des Kofstes geschleudert, so muß der Heizer die Wurfräder schneller laufen lassen. Zu diesem Zwecke erhält der Apparat einen Stufenscheibenantrieb. Der Apparat muß namentlich beim Verfeuern größerer Kohlenstücke mit größerer Umdrehungszahl arbeiten, da grobe Kohlenstücke mehr Kraft, also eine größere Geschwindigkeit der Wurfschaufeln erfordern, um sie bis an das Kofstende zu schleudern. Die aufgeworfene Kohlenmenge kann der Heizer, falls sie infolge des schnellen Ganges des Apparates zu groß wird, durch langsamen Lauf

Teil des Kofes geworfen wird. Damit sich die Kohle auch gleichmäßig auf der Kofbreite verteilt, versieht man die Schaufeln auf der Wurfseite mit einem in der Mitte spiz zulaufenden Ansatz, dessen Form und Größe nach der Art der Kohle und der Länge und Breite des Kofes zu wählen ist.

Die Zuführung der Kohle aus dem Kohlentrichter nach dem Gehäuse der Wurf-schaukel wird durch den hin- und hergehenden Schieber k (Abb. 44) besorgt. Der Schieber ist so angeordnet, daß er die Kohle der Wurf-schaukel zuführt, wenn sie sich schlagbereit in zurückgezogener Stellung befindet.

Soll das Feuer verstärkt werden, so zieht man den Essenschieber auf und läßt

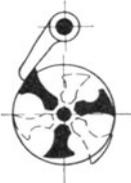


Abb. 43. Knaggen-scheibe zur Wurf-feuerung mit 3 Wurfweiten. Bei neueren Apparaten sind je nach der Koflänge und dem Feuerungs-material bis zu 8 Wurfweiten vorhanden.

mittels des vorhandenen Stufenscheibenantriebes den ganzen Apparat schneller arbeiten oder man vergrößert durch Drehen an der Spindel r den Hub des Verteilungsschiebers k, wodurch derselbe mehr Kohle vor die Wurf-schaukel fallen läßt. Die Bedienung des Feuers ist ähnlich wie beim Leachapparat. Bei Wurf-schaukelfeuerungen ist besonders darauf zu achten, daß die Federn an den Schaufeln gut imstande sind; werden sie im Laufe der Zeit schlaff, so wirft der Apparat die Kohle nur auf den vorderen Teil des Kofes, während die hintere Koffläche unbedeckt bleibt. Der Heizer muß dann das Feuer so oft ausgleichen, daß die eigentlichen Vorteile der mechanischen Feuerungen zum größten Teile zunichte werden. In solchen Fällen sind daher die Federn sofort zu erneuern.

**Feuerungen mit wandernder Brennstoffschicht.** Zu diesen Feuerungen gehören der Wander- oder Kettenrost und die Stoker- oder Vorschubfeuerungen. Bei ihnen wird die Kohle in der richtigen Schütthöhe auf den vorderen Teil des Kofes aufgegeben und im Feuer allmählich nach hinten befördert. Die Schlacke wird am Ende des Kofes selbsttätig abgehoben oder von den in der Längsrichtung langsam hin-

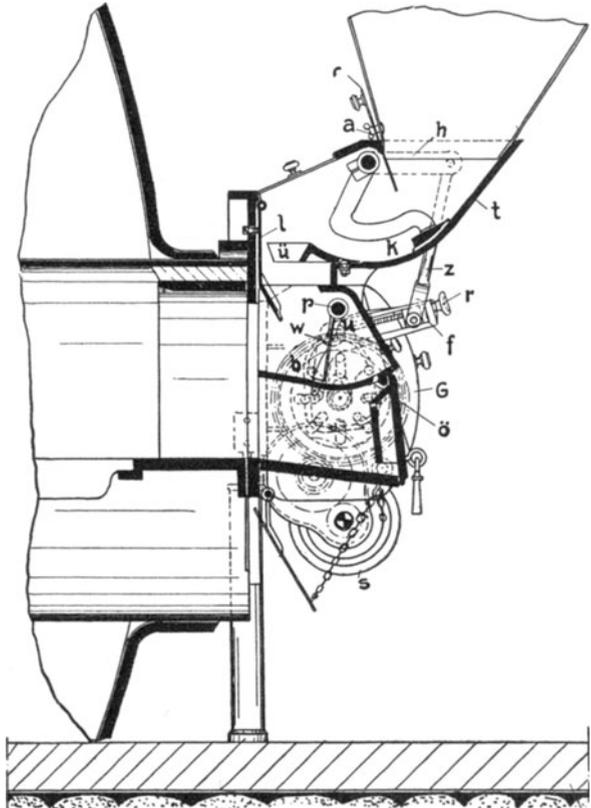


Abb. 44. Feuerungsapparat von C. S. Weck, Greiz-Dölan. w = Wurf-schaukel, k = Zubringeschieber, c = Schieber und l = Leitblech sind nach der Korngröße der Kohle einzustellen.

und herschwingenden Kasten heruntergestoßen. Das Feuer ist bei diesen Kastenlagen keinerlei Störungen durch Abschladen usw. ausgesetzt, so daß andauernd eine sehr hohe Temperatur im Feuerraume herrscht. Da außerdem die Kohle langsam entgast wird und die aufsteigenden brennbaren Rauchgase über der hellbrennenden Kohlenglut hinwegstreichen müssen, sind bei diesen Feuerungen die Vorbedingungen für rauchfreie Verbrennung ohne weiteres erfüllt.

Die **Wander- und Kettenroste** haben an Steilrohr- und sonstigen Wasserrohrkesseln mit großer Heizfläche rasch Verbreitung gefunden, da die großen Krostflächen dieser Kessel weder mit der Hand noch mit den besprochenen mechanischen Feuerungsapparaten beschrift werden können und ein selbsttätiges Abschladen erfordern.

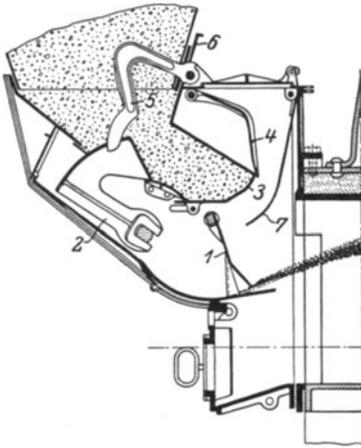


Abb. 45.

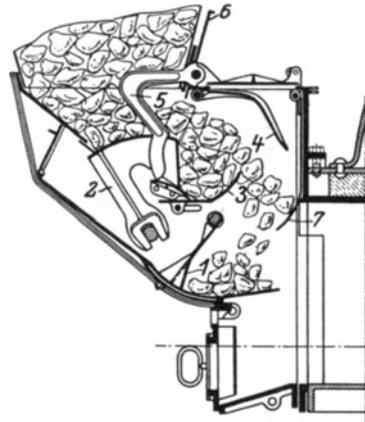


Abb. 46.

Wurfapparat für feinkörnige und für grobkörnige Brennstoffe, von Wilhelm Wenger, Chemnitz, früher von der inzwischen aufgelösten Sächsl. Maschinenfabrik angefertigt.

Abb. 45. Es wird feinkörniger Brennstoff verfeuert. Der Heizer hat hierbei das Leitblech 7 in eine möglichst gehobene Lage zu bringen, den Schieber 6 nur wenig zu öffnen und den Vorschubstift 3 weit vorzuschieben. Die Wurfklappe ist in Tätigkeit und beginnt sich langsam zurückzubewegen; die Vorschubwange 2 und der Voderungshebel 5 stehen am Beginn ihrer Bewegung nach rechts bzw. nach unten; die Absperrklappe 4 beginnt sich zu heben und den Weg für die vom Vorschubstift 3 herabfallende Kohle freizugeben.

Abb. 46. Es wird Brennstoff von Faustgröße (Briketts) verfeuert. Der Heizer hat hierbei das Leitblech 7 in möglichst senkrechte Lage zu bringen, den Schieber 6 weit zu öffnen und den Vorschubstift ganz zurückzuziehen.

Die Wurfklappe 1 ist schlagbereit; die Absperrklappe 4 ist geöffnet und gibt den Weg für die herabfallenden Kohlenstücke frei; Vorschubwange 2 und Voderungshebel 5 bewegen sich nach rechts bzw. nach unten und stoßen die Kohle durch die Öffnung zwischen 3 und 4 hindurch.

Der Kettenrost besteht aus einem endlosen Band mit kurzen, etwa 25 Zentimeter langen Kroststäben (Abb. 49 bis 51), die wie beim gewöhnlichen Planrost reihenweise nebeneinander liegen und an den Enden auf Querstangen gesteckt sind. Beim Wanderrost, der den Kettenrost wegen seiner konstruktiven Vorzüge nahezu völlig verdrängt hat, sind die Kroststäbe austauschbar auf Quertträger aufgereiht.

Die Roste laufen über zwei Kettenräder, von denen das vordere, außerhalb der Feuerung gelegene, mittels elektrischen Antriebes langsam gedreht wird, so daß der obere Teil des Rostes fortwährend in die Feuerung hinein- und der untere herauswandert. Über dem vorderen Teil ist der Fülltrichter angeordnet, aus dem die Kohle auf die ganze Krostbreite herunterrutscht. Hinter der Auslaufstelle des

Fülltrichters befindet sich der mit Schamottesteinen verkleidete Schichtregler, unter dem hinweg die Kohle auf dem Roste in den Feuerraum wandert. Durch Vorstellen desselben in senkrechter Richtung, wozu seitlich zwei Schraubenspindeln vorhanden sind, ist die Einstellung der jeweils erforderlichen Höhe der Kohlenschicht vorzunehmen. Ferner kann durch Hochschrauben des Schichtreglers und durch Öffnen der vorderen Klappe des Kohlentrichters der Feuerraum für das Anheizen zugänglich gemacht werden. Der vordere Teil des Feuerraumes ist mit

Schamottemauerwerk überdeckt, das im Betriebe erglüht und bei kleinen Feuerungen bis zu 4 Quadratmeter Rostfläche als Zündgewölbe ausgeführt wird. Das Zündgewölbe muß genügenden Abstand von den Siederohren haben, da letztere andernfalls durch die strahlende Wärme des Gewölbes Haarrisse bekommen, ausbeulen und aufreißen. Da es an seinen Widerlagern niedriger als im Stiche ist, würde die Kohlenschicht an den Seiten schneller herunterbrennen; um dies zu verhüten, macht man die untere Kante des Schichtreglers nach beiden Seiten schräg ansteigend, so daß die Kohlenschicht auf dem Roste nach den Seiten zu höher als in der Mitte ist.

Bei großen Rostbreiten wird das Zündgewölbe als waagerechte Hängedecke und sehr kurz ausgeführt, weil ein Gewölbe zu große

Stichweite erhalten müßte und die strahlende Wärme des Feuers sich ungehindert auf die Kesselheizfläche und die Brennschicht auswirken kann. Entsprechend dem waagerechten Verlauf der Hängedecke muß auch die Kohlenschicht auf dem Rost gleichmäßig hoch verlaufen.

Am Ende der Rostbahn befindet sich ein gußeiserner Schlackenabstreifer, der mit seiner Unterkante auf einer Schiene gelagert ist und mit seiner oberen messerartigen Kante vermöge seines Gewichts dicht über dem Rost liegt (Abb. 48). Die Schlacke und etwaige nicht ausgebrannte Herdrückstände stauen vor dem Abstreicher

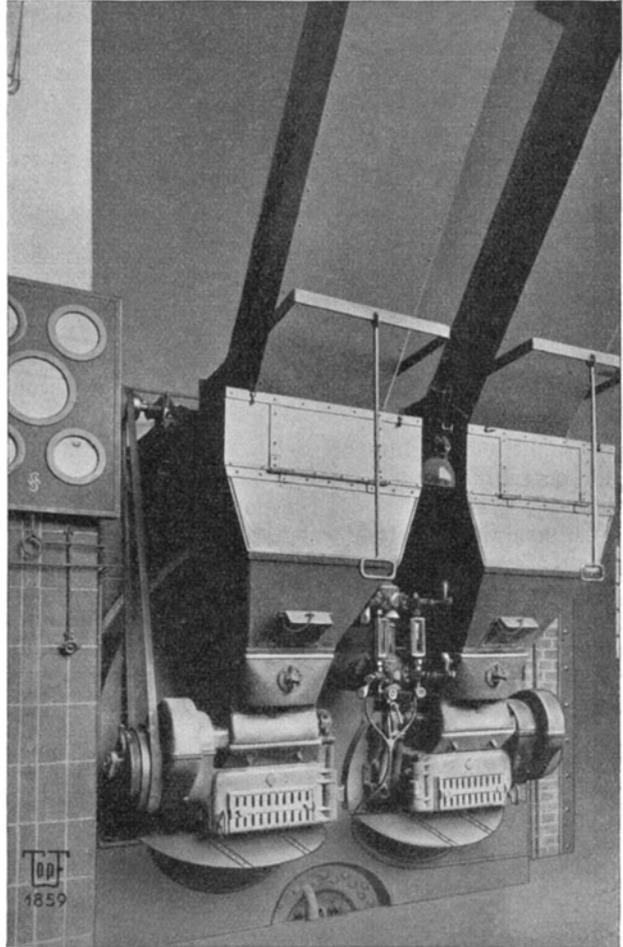


Abb. 47. Ansicht einer Wurfsteuerung von Topf & Söhne, Erfurt, für Braunkohlenbrikettfeuerung.

und werden über ihn hinweg in den Schlackenraum gestoßen, der unten durch eine von außen drehbare Klappe abgeschlossen wird, mittels welcher man die Herdrückstände in den Aschefall unter dem Kessel fallen lassen kann. Die Klappe muß immer dicht schließen, damit keine falsche Luft in die Feuerung einströmen kann. Auch bei verstärktem Betriebe ist darauf zu achten, daß der Brennstoff vor dem Schlackenstau gut durchgebrannt ist, da andernfalls letzterer sowie die hinteren Eisenteile der Feuerung trotz einer mitunter angebrachten Dampfkühlung durch-

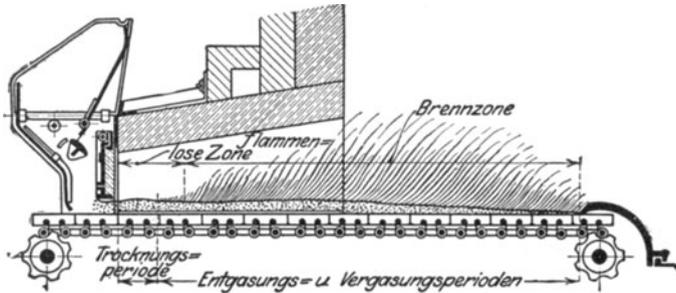


Abb. 48<sup>1)</sup> Verbrennungsverlauf von feuchter oberbayerischer Gruskohle mit hohem Gas- und geringem Kohlenstoffgehalt auf einem Kettenrost.

gebrannt werden können. Andererseits hat die niedergebrannte dünne Brenn- oder Schlackenschicht auf dem hinteren Rostende den großen Nachteil, daß viel überschüssige Luft einströmt. Auch mit Luftdrosselklappen an der unteren Seite der oberen Rostbahn an diesen Stellen, die vom Heizerstande zu betätigen sind, hat man keine genügende Abhilfe erreicht.

Der gußeiserne Schlackenstauer ist daher allgemein durch eine pendelnde Feuerbrücke (Abb. 53) ersetzt worden. Bei derselben kann der Rost voll ausgenützt oder, was bei seinen großen Abmessungen sehr wesentlich ist, kleiner gehalten werden. Außerdem kommt das Rostende außerhalb des Feuerraumes zu liegen und wird

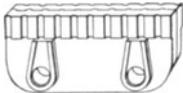


Abb. 49.

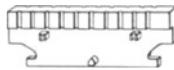


Abb. 50.



Abb. 51.

Roststabformen.

Abb. 49 für Kettenroste, Abb. 50 u. 51 für Wanderroste.

der Beobachtung zugänglich. Die Feuerbrücke besteht aus beweglich aufgehängten, bequem austauschbaren gußeisernen Staupendeln, die leicht auf dem Rost aufliegen und einzeln und unabhängig voneinander durch den Druck der angestauten Herdrückstände ausschwingen und hierbei der Schlacke den Weg nach dem Schlackenraum frei geben. Für kleine Wanderroste werden Staupendel aus feuerfesten Steinen verwendet. Die Feuerbrücke kann für gewisse Zwecke, z. B. wenn der Rost rückwärts gedreht werden soll, angehoben werden. Eisenteile, an denen sie befestigt ist, erhalten Luft- oder Wasserkühlung oder werden durch Verkleidung mit hochfeuerfesten Schamottesteinen geschützt. Die einzelnen Pendel werden hohl mit rostartigen Luftschlitzen für einen kühlenden Luftstrom nach dem Feuer, der zugleich

<sup>1)</sup> Abb. 48 ist mit Genehmigung des Verlags aus der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1928 entnommen.

dem Ausbrande der Stauansammlung dient (Steinmüller), oder zur Erhöhung ihrer Feuerbeständigkeit massiv ohne Luftkühlung ausgeführt (Weck-Greiz-Dölan). Bei der Steinmüller-Feuerbrücke ist jedes einzelne Pendel mit einem verstellbaren Gegengewicht versehen, um den Andruck an die Schlacke regeln zu können.

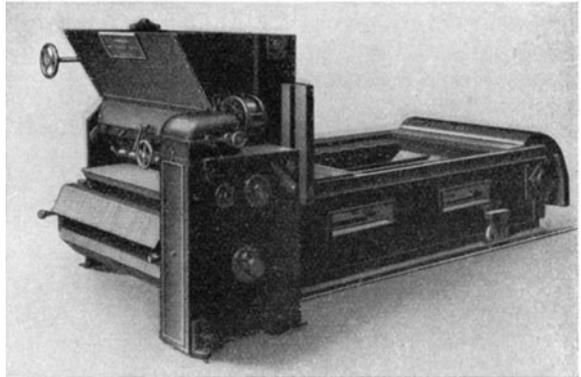


Abb. 52. Wanderrost von C. S. Weck, Greiz-Dölan, für kleinere und mittlere Kesselgrößen, mit 8stufigem Antrieb und angeflanschem Drehstrommotor. Der hintere Rostteil ist herausgenommen. Der Schlackenstauer hat Luftschlitze.

Wichtig ist, daß in einer freiliegenden Wand des Feuerraumes Schaulöcher zur Beobachtung des Feuers vorhanden sind, damit der Heizer die Rostgeschwindigkeit, die Höhe der Brennschicht und die Luftzufuhr richtig einstellen und bei ungünstiger Schlackenbildung auf dem Rost mit dem Schürhaken nachhelfen kann. Bei kleinen Wanderrosten wird auch die Schürstange vorn unter dem Kohlentrichter hinweg durchgeschoben.

Das Regeln des Feuers nach Maßgabe des Dampfverbrauches erfolgt durch Veränderung der Höhe der Brennschicht und des Rostvorschubes. Der Rost hat zumeist elektrischen Antrieb mit Schnecken- oder Stirnradgetriebe mit 5 bis 10 Geschwindigkeitsstufen (100 bis 200 Millimeter in der Minute.) Kleinere Roste erhalten mitunter auch Klinkenradgetriebe. Große Wanderroste werden im Gegense zu kleinen nicht ausfahrbar eingerichtet, da sie und ihr Antriebsmechanismus zu schwer sind. Für etwaige Reparaturen sind sie durch Mauerlöcher in den Seitenwänden zwischen dem oberen und dem unteren Rostbände zugänglich.

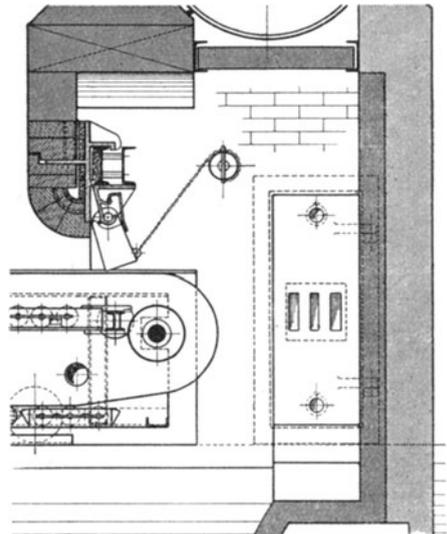


Abb. 53. Feuerbrücke mit Staupendeln von C. S. Weck, Greiz-Dölan.

Die Rostketten sind zum Spannen eingerichtet, und zwar befindet sich die Spannvorrichtung bei großen Rosten am hinteren, bei kleinen Rosten am vorderen Kettenrad. Sie darf nicht zu straff und nur in kaltem Zustande gespannt werden, da dies schweren Gang des Rostes und Beschädigung der Rostketten durch Zusammenziehen beim Erkalten zur Folge haben kann. Vor jeder Ingebrauchnahme ist der Rost an der Handkurbel zu drehen, falls letztere vorgesehen ist. Während der Betriebspausen ist der Kohlenauslaß am Schüttkasten zu schließen, der Rost ein kurzes Stück laufen zu lassen und mit Asche zu bedecken, um das Vorbrennen des Feuers zu verhüten. Beim Anheizen muß der Rost still stehen, bis der Feuerraum auf genügend hohe Temperatur gebracht ist, soll das Feuer beim Einrücken des

Kostantriebes nicht verlöschen. Der Verbrennungsverlauf auf den Wanderrosten entspricht gut den theoretischen und praktischen Anforderungen: Vorn, hinter dem Kohleneinlauf, befindet sich eine flammenlose Zone, in der der Brennstoff getrocknet wird und an die sich die Entgasungszone mit der Flamme und die Verglühzzone des verkofkten Brennstoffes anschließen. Die Zonen laufen selbstverständlich ohne scharfe Grenzen ineinander über und ergeben bei normalem Luftüberschuß ein rauchschwaches Feuer. Die Wanderroste nützen die Kohle sehr gut aus. Dadurch, daß das Feuer keine Unterbrechungen beim Beschicken und Abschlacken erleidet und die Brennluft zunächst durch den unteren Teil des Rostes hindurchströmt oder auf

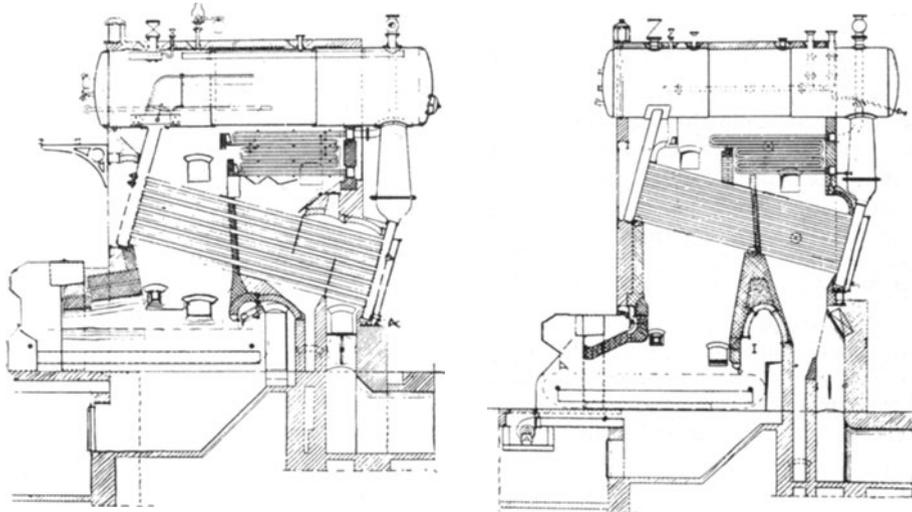


Abb. 54 u. 55. Sektionalkessel der Firma Steinmüller, links vor, rechts nach einem Umbau, wobei durch Erhöhung des Feuerraumes, Vereinfachung der Zugführung und Anwendung eines Zonenwanderrostes mit Unterwind die stündl. Kesselleistung von 25 auf 60 kg/m<sup>2</sup> gesteigert und die Verwendung geringwertiger, billiger Kohle ermöglicht wurde.

andere Weise vorgewärmt wird, entsteht eine hohe Feuertemperatur und eine große Kost- und Dampfleistung.

**Hochleistungswanderroste.** Bei großen Dampfesseln erfordert die übliche Kostbelastung von 100 bis 150 Kilogramm Steinkohle je Quadratmeter und Stunde sehr große Kostflächen<sup>1)</sup>. Den baulichen und betriebstechnischen Schwierigkeiten sowie den hohen Unkosten, die diesen großen Kostflächen und Feuerungen entgegenstehen, ist man durch den Bau von Hochleistungswanderrosten entgegengetreten. Wesentlich waren hierbei: die Schaffung der bereits erwähnten Feuerbrücke zur vollen Ausnützung auch des hinteren Kostteiles, der Wegfall bzw. die erhebliche Verkürzung des Zündgewölbes über dem vorderen Kostteil, wodurch die Wirkung der strahlenden Wärme des Feuers auf die Kesselheizfläche und auf die vorn liegende, noch nicht brennende Kohlschicht erhöht wurde, und schließlich die Anwendung von Unterwind. Die stündliche Belastung je Quadratmeter Kostfläche

<sup>1)</sup> Rechnet man auf 1 Meter Kesselbreite 200 Quadratmeter Heizfläche mit einer stündlichen Verdampfung von je 50 Kilogramm (was heute als normal gilt), so ergibt sich unter Annahme einer achtfachen Verdampfung und der durchschnittlichen, bisher üblichen stündlichen Kostbelastung von 125 Kilogramm Steinkohle je Quadratmeter Kostfläche eine Kostlänge von 10 (!) Meter. Im Falle einer Verdoppelung der Kostleistung, also von 125 auf 250 Kilogramm Kohle, würde statt des 10 Meter langen Rostes bereits ein 5 Meter langer genügen.

wurde hierdurch gesteigert: in Steinkohlenfeuerungen bei Hochlast auf 215, bei Höchstlast auf 275 Kilogramm, und in Versuchsanlagen mit Steinkohle auf 313 und mit Braunkohlenschwefkoks auf 380 Kilogramm. Die stündliche Dampfleistung je Quadratmeter Heizfläche stieg hierbei von 30 auf 87 und 105 Kilogramm. Die Leistungssteigerung der Höchstleistungswanderroste ist demnach ganz gewaltig und ermöglicht große Ersparnisse an Kesselheizfläche und Kesseln. Hierdurch sind auch die Wanderroste im Wettbewerb mit der Kohlenstaubfeuerung wesentlich günstiger geworden, zumal sie durch An- und Abstellen des Unterwindes den Schwankungen des Dampfbedarfs zwischen Höchstlast und Halblast ohne Verzug folgen können.

Der Unterwind bzw. der natürliche Zug wird diesen Koflen in mehreren Windkästen oder Zonen, in der Regel 4 oder 5, zugeführt, weshalb man diese Kofle auch **Zonenwanderroste** nennt. Diese Windkästen sind unterhalb der oberen Koflbahn eingebaut, gut abgedichtet, so daß die Luft nur durch die Koflspalten ins Feuer entweichen kann, und zum Entfernen des Kofldurchfalles mit Transportschnecken oder Handlöchern versehen. Die Zoneneinteilung bezweckt, die Luftzufuhr dem Verbrennungsstadium des zugehörigen Koflabschnittes anzupassen. Sie muß auf den vorderen Koflabschnitten, auf denen die Kohle getrocknet und entgast wird, größer sein als auf den nächsten und hinteren Abschnitten, wo der Brennstoff verglüht und die Brennschicht niedergebrannt ist und einen geringeren Luftbedarf hat. Durch die Zonenanordnung wird also der Übelstand des übermäßigen Luftüberschusses auf dem hinteren Koflteile vermieden. Die Luftmenge ist an den einzelnen Windkästen durch Schieber oder Klappen mit seitlich des Mauerwerks angebrachter Stellhebel regelbar und vom Heizer nach dem Aussehen des Feuers einzustellen. Die Stellvorrichtungen für die beiden hintersten Zonen sind meist miteinander verbunden, so daß die Zone dicht vor der Feuerbrücke, wo die Feuerschicht am weitesten niedergebrannt ist, zwangsläufig die geringste Luftmenge erhält. Die Höhe der Brennschicht schwankt bei Zonenrosten mit Unterwind zwischen 90 und 150 Millimeter, steigt aber in besonderen Fällen auf 200 bis 250 Millimeter an (Förderkohle).

Auf den Zonenwanderrosten mit Unterwind können alle festen Brennstoffe von etwa 3000 W. E. unterem Heizwert an verfeuert werden, also Kufkohlle, Klar- kohle, Braunkohlenbriketts, Koflgrus und Braunkohlenschwefkoks. Bei Verwendung feinkörniger Brennstoffe entsteht viel Flugkoks (bis zu 20 Prozent), der in den Feuerzügen aufgefangen und in einer Rückföhranlage, die etwa zweimal in jeder Schicht anzustellen ist, dem Feuer wieder zugeführt wird. Klare Kohle erfordert eine besondere Koflform mit nahezu waagerechter Lage des oberen Auslaufs der Koflspalten, die das Durchfallen von Feinkohle fast völlig verhindert. Einer Verstopfung der Koflspalten wird durch die Reinigung der Koflglieder abgeholfen, indem letztere im unteren Koflteile selbsttätig ausschwingen und gegen einen Anschlag schlagen oder mittels einer besonderen Vorrichtung am vorderen Koflende gerüttelt werden (Patent Steinmüller).

**Die Koflkapselung** besteht in dem luftdichten Abschluß des vorderen Koflteiles, hat Türen zum Befahren und Fenster zur Beobachtung des Kofles und wird angebracht bei Unterwindbetrieb zur Verhütung der Belästigung der Heizer und der Verschmutzung des Kesselhauses durch austretende verstaubte Luft und bei Koflen mit natürlichem Zug, wenn häufig mit Schwachlast gefahren wird. Sie erhält dann Luftklappen zur Regelung des Luftzutritts zum Kofl, weil auch der stark gedrosfelte Essenschieber nicht verhindern kann, daß infolge des natürlichen Auftriebes der Gase im Feuerraum ein weiterer Luftzutritt stattfindet, hierdurch der Wirkungsgrad der Feuerung verschlechtert wird und die Feuergase aus den Mauerwerksfugen herausqualmen.

**Die Stokerfeuerungen.** Der waagerechte Planrost-Kühlstoker von Graafen (Abb. 56) besteht aus gußeisernen Roststäben von der Länge des Rostes, die durch ein Ergzenter oder durch Sldruck in der Längsrichtung mit regelbarer Geschwindigkeit langsam vor- und rückwärts bewegt werden und hierbei durch ihre sägezahnartige obere Fläche die Brennschicht locker halten und nach dem Rostende befördern. Der Verbrennungsverlauf ist daher derselbe wie beim Wanderrost (Abb. 48) mit einer vorderen flammenlosen Trockenzzone, einer anschließenden Entgasungszone mit der Flamme und einer abschließenden Verglühzone des verkofkten Brennstoffes. Die Zonen sind selbstverständlich ohne scharfe Grenzen und ergeben bei normalem Luftüberschuß ein rauchschwaches Feuer. Nach dem Rostende zu wird die Brennschicht infolge des Abbrandes niedriger und endet als Schlackenschicht, die selbsttätig über das Rostende hinweg in einen Schlackenraum gestoßen wird, aus dem

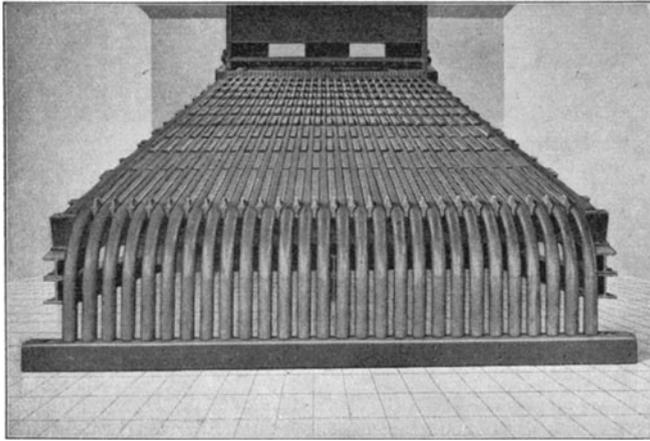


Abb. 56. Stokerfeuerungsrost von Graafen vom Rostende aus gesehen. Die Kühlrohre zwischen den Roststäben münden am Rostende in ein Sammelrohr für den Wasserumlauf.

sie nach Öffnen einer Klappe herausfällt oder (beim Flammrohrkessel) mittels Transport-schnecke oder von Hand herauszuziehen ist.

Zwischen je zwei Roststäben befindet sich in der ganzen Rostlänge ein feststehendes Kühlrohr zur Kühlung der Roststäbe und zur Verhütung des Zusammenschmelzens und des Anbackens der Schlacke. Diese Rohre sind miteinander verbunden und zur Ruhbarmachung ihrer Wärme entweder in den Wasserumlauf

des Kessels oder in die Speiseleitung eingeschaltet oder an einen Erhitzer für die Verbrennungsluft angeschlossen. Der Stoker ist an Steilrohr- und Wasserkammerkesseln in großen Abmessungen (z. B. bis 28 Quadratmeter Rostfläche) ausgeführt worden und für Höchstleistungen unter Anwendung von Untervind als Zonenrost (Abb. 105) ausgebildet. Bei Innenfeuerungen an Flammrohrkesseln erhält er 3,5 bis 4 Meter Länge gegenüber der Maximallänge von 2 bis 2,25 Meter der gewöhnlichen Planroste mit Hand- oder Apparatebeschickung. Er ermöglicht daher eine wesentliche Leistungssteigerung des Kessels oder, falls es dieser nicht bedarf, die Verfeuerung geringwertiger Kohlenarten, auch der billigen ungewaschenen Kohlen und von Braunkohlen. Bei Belastungsschwankungen sind die Höhe der Brennschicht mittels eines von Hand verstellbaren Schichtreglers am Kohleneinlauf oder die Umlaufgeschwindigkeit des Feuerungsapparates und der Rostvorschub zu ändern. Bei Steilrohr- und Wasserkammerkesseln kann das Feuer durch Schaulöcher in den Seitenwänden, bei Flammrohrkesseln durch Schaulöcher in den Feuertüren hindurch beobachtet werden.

**Die Kohlenstaubfeuerung** war nach der letzten amtlichen Statistik an rund 230 Dampfkesseln mit rund 80000 Quadratmeter Heizfläche, und zwar an Steil- und Schrägrohrkesseln vorhanden. Ihr wesentlichster Vorzug liegt in der bedeutenden Leistungssteigerung der Feuerung und des Kessels sowie in der schnellen An-

passung an Belastungsschwankungen. Dem stehen jedoch die hohen Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten für die Kohlenmüllerei und die aus bestem Material herzustellende Feuerkammer (Segeffel 32/33 — 1710 °) gegenüber. Die Entwicklung ist daher noch nicht abgeschlossen und in den letzten Jahren haben die Kohlenstaubfeuerungen in den Höchstleistungsrosten mit Unterwind einen scharfen Wettbewerber erhalten.

Verfeuert werden Steinkohle, Braunkohle und Schmelzkoks in gemahlenem Zustande. Der Brennstoff wird getrocknet (zur Verbilligung möglichst mit Abdampf), gemahlen und gebunkert (Zentralmahlanlagen) oder auch unmittelbar aus der Kohlenmühle in die Feuerung geblasen (Einzelmühlen) (Abb. 57). Der Kohlenstaub soll so fein sein, daß er in kürzester Zeit im schwebenden Zustande verbrennt, damit der Kesselzug nicht durch Ansinterungen an den Siederöhren beeinträchtigt wird. Die Mahlfineinheit muß bei gasarmen, aschereichen Brennstoffen sehr hoch sein, richtet sich also nach den feuerungstechnischen Eigenschaften des Brennstoffes und nach der Größe des Feuerraumes und der Temperatur der vorgewärmten Verbrennungsluft. Sie wird zur Verminderung der hohen Mahlungskosten nicht zu weit getrieben und auf genormten Sieben nach der Menge des Rückstandes ermittelt. Letzterer soll auf Siebnorm 70 — 4900 Maschen je Quadratcentimeter — bei Braunkohlenstaub nicht mehr als 30 bis 40, bei gasreichem und bei gasarmem Steinkohlenstaub nicht mehr als 15 bis 18 bzw. 10 bis 12 Prozent betragen. Die Verbrennung findet in einer großen, dem Kessel vorgelagerten großen Kammer statt. Bei einem Kessel von 2200 Quadratmeter Heizfläche ist sie 8 Meter hoch, 10,5 Meter breit und 7,5 Meter tief, also 630 Kubikmeter groß. Auf 10 Quadratmeter Heizfläche sind etwa 1,8 bis 2,9 Kubikmeter Feuerraum zu rechnen. Drei Seiten der Feuerung sind mit Wasserrohren verkleidet, die die strahlende Wärme des Feuers aufnehmen und die Temperatur des Feuers unter dem Schmelzpunkt der Schamotteausmauerung (1300 bis 1600 °) halten. Die Kühlrohre steigern die Dampferzeugung ganz erheblich und bringen die teuren gemauerten Hohlwände in Wegfall. Sie sind durch freiliegende Fallrohre an der Außenseite des Kesselgemäuers mit der unteren Kesseltrommel und zur Dampfableitung durch Steigrohre mit den Oberkesseln verbunden und mitunter mittels Pumpen zwangläufig

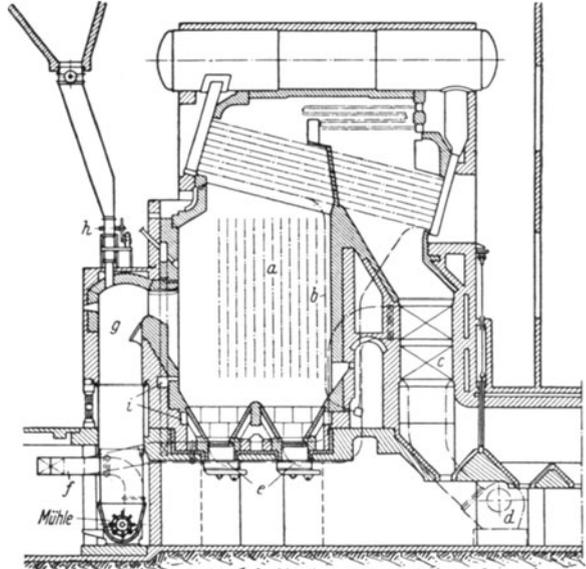


Abb. 57. Die in letzter Zeit mehrfach angewendete Krümmelmühlenfeuerung der Firma Steinmüller, Gummersbach, an einem Schrägrohrwaßerkammerkessel derselben Firma. a und b = seitliche und hintere, mit Wasserrohren gekühlte Feuerraumwände. d = Gebläse, welches die Verbrennungsluft durch den Luftheizer c und die Rohrleitung f zur Schlagsmühle bläst. h = Zuführung des Brennstoffes (feinkörnige Steinkohle, Braunkohlenschmelzkoks u. a.), der in der Mühle zu Staub zerlegt und im Raum g getrocknet und gesiebt wird. e = Nachverbrennungsröste, i = regelbare Kanäle für die Verbrennungsluft (Zweitluft).

in den Kreislauf des Wassers im Kessel eingeschaltet. Reservepumpen müssen in letzterem Falle bereit stehen und beim Versagen der anderen Pumpen in wenigen (3) Minuten in Gang gebracht werden. Die vordere Wand der Feuerbrücke wird, sofern sie ohne Kühlrohre ist, als Hohlwand ausgeführt und mit Luft von etwa  $200^{\circ}$  aus dem Luftherizer, die als Zweitluft in die Kammer hineinströmt, gekühlt.

Der Kohlenstaub wird dem Feuerraum mittels Brenner (Abb. 58) zugeführt, die an Zuteilern, das sind Gehäuse mit Transportschnecken, am Bunkerauslauf angebracht sind. In den Zuteilern wird der Kohlenstaub mit Erstluft gemischt. Die

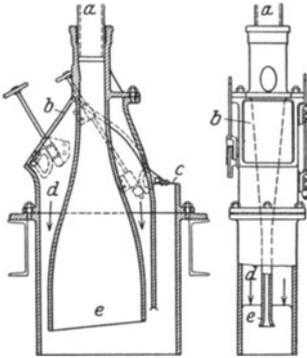


Abb. 58. Lopulkobrenner<sup>1)</sup>. a = Zuführungrohr für das Staub- und Luftgemisch. b = Regellappe für die Zweitluft nach dem Gehäuse d mit der Zündöffnung e des Brenners (der Mündung von a).

Erstluft ist zum Teil Heißluft aus dem Luftherizer, zum Teil Kaltluft, da die Zuteilschnecken Temperaturen über  $65$  bis  $70^{\circ}$  nicht vertragen. Die Zuteiler haben eine gemeinsame Antriebswelle mit Elektromotor, dessen Drehzahl zur Regelung der Kohlenstaubzufuhr zu den Brennern nach Maßgabe der Kesselbelastung in weiten Grenzen geändert werden kann. Jeder Zuteiler kann mit seinem zugehörigen Brenner mittels eines Schiebers nach Bedarf vom Bunker völlig abgeschaltet werden. In dem Großkraftwerk Klingenberg hat jede Feuerung 10 Brenner, die in der Decke der Feuerkammer angebracht sind und die Staubkohle senkrecht nach unten in dieselbe hineinblasen. Doch werden sie auch an den Wänden mit schräger oder waagerechter Blasrichtung angeordnet. Die Brennerdüse ist von einem Mantel mit ein oder zwei Luftklappen umgeben, durch die hindurch noch

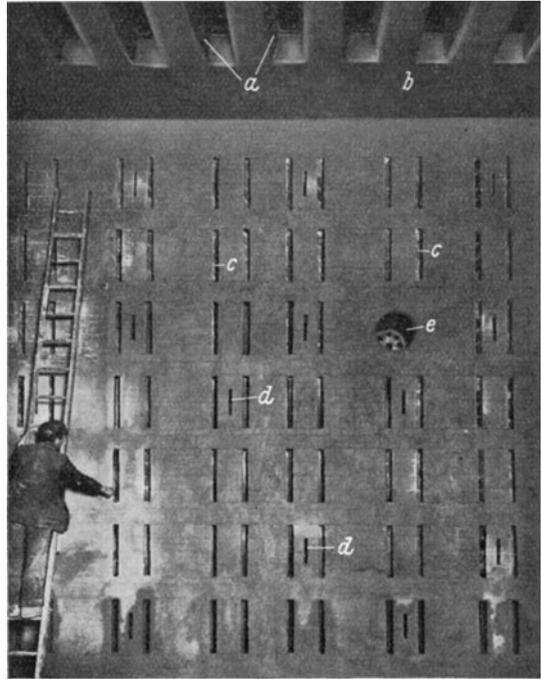


Abb. 59<sup>2)</sup>. Vorderwand der AGB=Staubfeuerung. a = Staubbrenner, b = Feuerraumdecke, c = Schlitze für Zweitluft, d = Beobachtungsschlitze, e = Gaszündbrenner. Die Größe des Feuerraumes ist durch das Bild des Mannes auf der Leiter gut veranschaulicht.

<sup>1)</sup> Abb. 58 ist aus „Dubbel, Taschenb. f. d. Maschinenbau“, Berlin: Julius Springer, entnommen.

<sup>2)</sup> Diese Abbildung hat Herr Dr. Münzinger aus seinem Werke „Kesselanlagen für Großkraftwerke“ gütigst zur Verfügung gestellt.

Frischluft angesaugt und die Staubflamme zur Regelung der Verbrennung beobachtet werden kann.

Der Luftüberschuß kann bei den Kohlenstaubfeuerungen sehr klein sein. Selbst bei kleinen Leistungen der Kessel, wenn mit wenigen Brennern gefeuert wird, werden 12 bis 14 Prozent Kohlenäuregehalt erreicht; bei voller Belastung kann er auf 16 bis 17 Prozent gesteigert werden, ohne wesentliche Verluste durch unverbrannte Gase befürchten zu müssen. Dementsprechend ist auch die Temperatur des Feuers sehr hoch, etwa 1350 bis 1500°. Die Temperatur und der Ausbrand des Kohlenstaubes müssen geregelt werden, da das Mauerwerk bei hohen Temperaturen zu sehr angegriffen wird und die erweichten Mchenteile aus dem Kohlenstaub sich an den Siederohren ansetzen. Die Brenner werden auch als Wirbelbrenner ausgeführt (Lopulko-Brenner), um eine gute Mischung des Staubes mit der Brennluft zu erzielen. Eine günstige Verbrennung wird noch dadurch erreicht, daß die Zweitluft aus vielen flachen Schlitzen des Hohlraumes der vorderen Wand der Feuerkammer in waagerechter Richtung in den Verbrennungsraum eintritt, die senkrecht nach unten gerichteten Flammen aus den Brennern umbiegen und sich mit ihnen vermischt.

Bei Belastungsänderungen werden einzelne Zuteiler und Brenner zu- oder abgeschaltet und die Luftmenge entsprechend geregelt. Die Temperatur des Feuer-raumes nimmt hierbei mit der Verminderung der Kohlenstaubzufuhr rasch ab und bei schwachem Betriebe, etwa bei einem Viertel der Nollast, reißt die Flamme des Feuers ab. Die Kohlenstaubfeuerungen haben daher im Gegensatz zu vielen Kofstfeuerungen eine ziemlich hohe untere Belastungsgrenze.

Zum Anheizen der Kohlenstaubfeuerungen bedient man sich besonderer Gas-zündbrenner in der Feuerkammer (Abb. 59), doch genügt mitunter auch das Anbrennen öliger Pflappen oder ein kleines Feuer in derselben. Zu beachten sind die leichte Selbstentzündlichkeit des Kohlenstaubes beim Bunkern und die Explosions-gefahr stauberfüllter Luft. Die maschinellen Einrichtungen (Transportschnecken, Rohrleitungen usw.) müssen daher staubdicht sein. Im Mahtraum dürfen keine offe-nen Flammen sein, elektrische Anlagen müssen den besonderen Sicherheitsvor-schriften entsprechen.

Die Kohlenstaubfeuerungen werden mit Meßapparaten für den Kohlenäure-gehalt, für unverbrannte Gase in den Rauchgasen, für die Temperaturen des Dampfes, der Verbrennungsluft, der Rauchgase und der Flammen, für die Zug-stärke in der Verbrennungskammer und am Kessellende, für die Menge des ver-feuerten Kohlenstaubes und des verdampften Wassers und mit selbsttätigem Feue-rungsregler ausgerüstet. Die Feuerführung erfordert daher eine gut eingerichtete Bedienungsmannschaft.

Kohlenstaubzufuhrfeuerungen werden auch an den mit Treppen- und Wanderrost versehenen Schräg- und Steilrohrkesseln zur Deckung von Spitzenleistungen ein-gebaut.

## 8. Die Feuerzüge und der Schornstein.

Bei der Einmauerung des Kessels und der Führung der Heizgase ist Bedacht zu nehmen auf

1. die Wärmeentziehung bis an die technisch vertretbare Grenze,
2. die Förderung des Wasserumlaufes im Kessel,
3. die Vermeidung des Zugverlusten,
4. die Zugänglichkeit der Feuerzüge,
5. die Haltbarkeit des Mauerwerkes.

1. Die Feuergase werden nach ihrer Entstehung im Feuer in Kanälen (den Flammrohren, Rauchrohren, gemauerten Feuerzügen) durch den Kessel hindurch oder um ihn herum geleitet, wobei sie den größten Teil ihrer Wärme abgeben. Die innen vom Wasser, außen von den Heizgasen bespülten Kesselwandungen nennt man die **Heizfläche** des Kessels. Nicht zur Heizfläche werden die im Dampfraum gelegenen Kesselwandungen gerechnet, auch wenn sie von den Heizgasen bestrichen werden, sowie die Heizflächen der Dampfüberhitzer und Wasservorwärme, obgleich sie die Leistung der Kesselanlage beträchtlich steigern. **Strahlungsheizfläche** nennt man die hochwertige in und dicht hinter dem Feuerraum gelegene, von der strahlenden Wärme des Feuers betroffene Heizfläche. Auf einem Quadratmeter derselben verdampft bei einem Zweiflammrohrkessel ungefähr dreimal soviel Wasser wie auf einem Quadratmeter der übrigen, der sog. **Berührungsheizfläche**. Die Heizgase geben ihre Wärme um so schneller ab, je höher ihre Temperatur über der des Wassers im Kessel liegt. Sind sie bis in die Nähe der Wassertemperatur, auf etwa 250° Celsius abgekühlt, so wird ihre weitere Wärmeabgabe sehr gering.

Eine gute Wärmeausnutzung der Heizgase sucht man dadurch zu erreichen, daß man die Feuerzüge nicht unnötig breit macht. Einbauten in die Feuerzüge, z. B. halbkreisförmige Flammrohrerofsätze hinter der Feuerbrücke, an denen sich die Heizgase stoßen, haben den Nachteil, daß sie die Zuggeschwindigkeit vermindern und die Reinigung der Züge von Flugasche und Ruß erschweren, und sind infolgedessen nicht sehr verbreitet.

2. Ein selbsttätiger, kräftiger **Wasserumlauf** entsteht in jedem Kessel schon dadurch, daß auf der Heizfläche über dem Kofst das meiste Wasser verdampft und infolgedessen aus den übrigen Teilen des Kessels eine Strömung nach dieser Stelle hin auftritt. Durch diese Strömungsrichtung ist der natürliche Kreislauf des Wassers im Kessel bestimmt, und es ist bei der Anlegung der Heizgasanfäle nach Möglichkeit darauf zu achten, daß sie unterstützt und nicht gestört wird. Die Feuerzüge können jedoch nicht ausschließlich nach diesen einseitigen Gesichtspunkten angelegt werden, sondern es ist auch die Bauart des Kessels zu berücksichtigen, so daß die Anforderungen zur folgerichtigen Herbeiführung des Wasserumlaufs nicht immer streng durchgeführt sind.

Der Wasserumlauf ist bei den engrohrigen Siederohrkesseln, und zwar sowohl bei den Wasserkammer- wie bei den Steilrohrkesseln (Abb. 54, 91, 93), zur Verhütung von Dampfstaunngen in den verhältnismäßig engen Siederohren über dem Feuer sehr wichtig. Strömt der in der untersten Rohrreihe dieser Kessel in sehr reichlichen Mengen erzeugte Dampf nicht sehr schnell ab, wie dies bei ungenügendem Wasserumlauf der Fall ist, so füllen sich die Rohre mit Dampf und werden, da letzterer ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, leicht durch das Feuer überhitzt und bekommen Beulen. Kesselsteinansatz vermag der Wasserumlauf nicht gänzlich zu verhüten, obgleich dies vielfach behauptet wird. Durch einen kräftigen Wasserlauf wird ferner die Verdampfung erhöht, da er die kleinen Dampfblasen, die bei ruhendem Wasser die Kesselwand in einer dichten, die Wärme schlecht leitenden Schicht überziehen, fortspült.

Schließlich bewirkt der Wasserumlauf einen Ausgleich der ungleichmäßig erwärmten Wasserschichten. Das Wasser, das bekanntlich bei 4° Celsius am dichtesten und schwersten ist, dehnt sich bei der Erwärmung aus, wird also leichter und steigt in die Höhe. Heiße Wasserschichten sammeln sich daher unter dem Wasserspiegel, weniger warme auf dem Boden des Kessels an, wodurch Dehnungsstörungen auftreten, die zu undichten Nietverbindungen oder Rantenrissen in den Blechen führen können. Diese ungleichmäßige Erwärmung des Wassers im Kessel ist

namentlich beim Anheizen der Zweiflammrohrkessel durch Befühlen der vorderen Stirnwand in augenfälliger Weise wahrnehmbar.

Der Wasserumlauf kann auch durch besondere Einbauten im Kessel gefördert werden. Eine allgemeine Verbreitung haben dieselben jedoch nicht gefunden, weil sie zumeist bei der Reinigung und Befahrung des Kessels hinderlich sind.

3. Unter **Zugverlusten** versteht man die Verminderung der Lufttriebskraft der Schornsteingase. Sie treten hauptsächlich auf, wenn die Züge stellenweise sehr verengt und die Heizgase scharfen und häufigen Richtungsveränderungen ausgesetzt sind und heruntergezogen werden (weil sie das natürliche Bestreben haben, in die Höhe zu steigen). Umkehrkanten in den Zügen sind daher gut abzurunden; Züge müssen in schlankem Bogen ineinander überlaufen. Alles Mauerwerk ist gut dicht zu halten, namentlich bei künstlichem Saugzug. Im **Essensfuchs** rechnet man je Meter Länge eine Temperaturabnahme von 3 bis 5°, so daß bei langen Kanälen die Zugverluste ziemlich erheblich werden. Feuchtigkeit darf in den Zügen und im Essensfuchs nicht vorhanden sein.

4. Die **Zugänglichkeit** der Feuerzüge ist zu ihrer bequemen Reinigung und zur Befahrung erforderlich, kann jedoch nicht immer gewahrt werden, da die Züge sonst zu weit werden. (Gilt insbesondere für die Seitenzüge der Flammrohrkessel.)

5. Das **Mauerwerk** wird aus gewöhnlichen Ziegelsteinen mit normaldicken Fugen in Kalkmörtel hergestellt. Zu empfehlen sind Glasursteine als Verblender, da sie luftdicht sind, die Wärmeausstrahlung vermindern und den Heizer zur Reinlichkeit anhalten. Wo das Mauerwerk am Kessel anliegt, ist es in Lehmörtel zu verlegen, da Kalkmörtel beim Abbinden Wasser abscheidet und Anrostungen verursacht. Aus dem Mauerwerk herausragende Kesselteile sind mit Asbestschnur abzudichten, damit das Mauerwerk beim Ausdehnen des Kessels nicht beschädigt wird. Auch darf es sich nicht in Wölbungen auf den Kessel stützen, sondern ist vorzustragen. Nach gesetzlicher Vorschrift müssen Trennwände zwischen nebeneinander liegenden Kesseln mindestens 34 Zentimeter dick sein. Das Kesselgemäuer muß mindestens 8 Zentimeter von den Kesselhauswänden, Säulen usw. abstehen und darf nicht zur Unterstützung von Gebäudeteilen (auch nicht des Daches) benützt werden. Über der Plattform eingemauerter Kessel ist, sofern ihr Betreten bei der Kesselbedienung erforderlich ist, eine verkehrsfreie Höhe von mindestens 1,8 Meter einzuhalten.

Bei Gastemperaturen von etwa 450° an sind  $\frac{1}{2}$  bis 1 Stein dicke Schamottefutter mit dünnen Fugen aus Schamottemörtel zu verwenden. Für die Auskleidung von Feuerräumen, für Hängedecken, Feuerbrücken und sonstiges der strahlenden Glut ausgesetztes Mauerwerk sind Steine von besonders hoher Feuerbeständigkeit erforderlich (Segetkegel 32 und 33 = Schmelzpunkt etwa 1720°). Ihre Auswahl erfolgt nach der Erweichungs- und Schmelztemperatur der Schlacke, die nach ihrer Zusammensetzung verschieden ist und im Laboratorium ermittelt wird. Gegen die Einwirkung flüssiger Schlacke gibt es jedoch noch kein unempfindliches feuerfestes Mauerwerk; letzteres muß daher zur Verhütung des Steinangriffes durch geschmolzene Schlacke mittels Wasserrohre gekühlt werden. Die feuerfesten Steine müssen auch genügende Festigkeit gegen Druck und Formbeständigkeit bei dem wiederholten Erhitzen und Abkühlen besitzen. Gewölbe sind mit großem Stich herzustellen und gegen Beanspruchung auf Druck zu entlasten.

Das Mauerwerk soll nach der ersten Austrocknung, die sehr allmählich vorzunehmen ist, keine feuchten Stellen aufweisen, andernfalls sind die Ursachen derselben, die auch in undichten Nietverbindungen bestehen können, zu ergründen und zu beseitigen. Insbesondere ist auch mit größter Gewissenhaftigkeit darauf zu achten, daß aus dem Kesselmauerwerk während der Betriebspausen bei geschlossenem Essenschieber kein Dampf aufsteigt, der nur von Undichtheiten herrühren kann.

Der **Essenschieber** befindet sich in dem Essensuchs, d. i. der Verbindungs kanal zwischen den Kesselzügen und dem Schornstein (Abb. 85, 86). Er besteht aus einer Eisenplatte in einem eingemauerten eisernen Rahmen. Durch das Heben und Senken des Schiebers wird die Durchgangsöffnung für die abziehenden Heizgase im Fuchs erweitert oder verengt und hierdurch die Zugkraft des Schornsteins und die Luftzufuhr zum Kofst nach Belieben beeinflusst. Bei stark gedrosseltem Essenzug überwiegt jedoch der Auftrieb im Feuerraum die Zugkraft des Schornsteins und qualmt daher das Feuer aus den Schlitzen der Feuertüre und aus sonstigen Undichtheiten der Feuerung<sup>1)</sup>. Der Schieber wird an einer Kette oder einem Drahtseil aufgehängt, die über Rollen laufen und nach dem Heizerstande geführt sind, von wo aus der Heizer die jeweils erforderliche Schieberhöhe einzustellen hat. Röhrenkessel haben Drehschieber, bei denen nur die Achse durch das Mauerwerk hindurchgeht. Außerordentlich wichtig ist, daß sich der Schieber leicht bewegen läßt: Häufig ist der schwere Gang des Schiebers die Ursache dafür, daß sich der Heizer um seine richtige Einstellung nicht bemüht und **vielfach bei schlechtbedecktem Kofst mit einem zu großen Luftüberschuß im Feuer arbeitet**. Zu empfehlen ist auch, wie dies in allen gut in Ordnung gehaltenen Kesselhäusern der Fall ist, den Essenschieber möglichst luftdicht nach außen abzuschließen und oberhalb des Rahmens einen Blechkasten anzubringen, durch welchen nur das Zugseil für den Schieber hindurchführt. Schlecht verwahrte Schieber lassen viel kalte Luft einströmen, wodurch namentlich die Temperatur des Wassers in den Rauchgasvorbärmern (Economisern) nicht auf die genügende Höhe gebracht werden kann und auch die Zugstärke im Feuer vermindert wird.

Der **Schornstein** muß die Heizgase selbsttätig ableiten. Seine Wirkung beruht darauf, daß die in ihm befindliche Rauchgasssäule infolge der Ausdehnung durch die Wärme wesentlich dünner und leichter ist als eine in gleicher Höhenlage befindliche freie Luftschicht von gleichen Abmessungen. Der Gewichtsunterschied zwischen diesen beiden Luftssäulen macht die natürliche Zugkraft des Schornsteins aus. Ein Schornstein wird demnach um so besser ziehen, 1. je größer sein Hohlraum ist, 2. je heißer die Schornsteingase sind, 3. je kälter die Außenluft ist.

Da die äußere Luft mit zunehmender Kälte schwerer wird, erklärt sich auch, daß die Schornsteine bei kaltem Wetter besser ziehen als bei heißem. Tritt einmal der Fall ein, daß — etwa nach einem längeren Betriebsstillstande — der Schornstein und die Kesselzüge zu weit abgekühlt sind und der Schornstein beim Anheizen nicht zieht, so hilft man sich durch ein Looffeuer im Schornstein.

Wir sehen also, daß beim natürlichen Essenzuge die völlige Ausnutzung der Wärme der Heizgase nicht möglich ist. Der Auftrieb der Heizgase im Schornstein muß vorhanden sein und setzt voraus, daß die Heizgase mit einer Temperatur von mindestens 200 bis 250° Celsius aus den Kesselzügen abziehen. Wird ein Dampfkessel beispielsweise mit 12 Atmosphären Überdruck betrieben, so beträgt die Dampf- und Wassertemperatur im Kessel 191° Celsius (siehe Tabelle Seite 75). Die Temperatur der Heizgase muß notwendigerweise am Kessellende höher, und zwar mindestens etwa 230° Celsius sein; obgleich bei einem Temperaturunterschied von 230 — 191 = 39° Celsius die Wärmeabgabe der Heizgase an den Kesselinhalt ziemlich gering ist. Je nach den Betriebsverhältnissen und der Größe der Dampfkesselanlage ist es vorteilhafter, wenn die abziehenden Heizgase zum Vorwärmen des Speisewassers in einem Economiser im Essensuchs weiter ausgenützt werden, wobei ihre Temperatur noch wesentlich niedriger (etwa 170—200° Celsius) wird. Allerdings bedarf es in solchen Fällen eines hohen Schornsteins oder

<sup>1)</sup> Vergleiche hierzu die Ausführungen über den Regelbereich der Essenschieber bei den selbsttätigen Feuerungsreglern Seite 151.

einer künstlichen Zuganlage, um eine genügende Zugstärke in der Feuerung zu erhalten. Das Speisewasser kann hierbei in dem Economiser sehr hoch, und zwar nahezu bis auf seine Siedetemperatur im Kessel erhitzt werden.

Bei ganz gut gebauten Kesselanlagen beträgt die Wärme der Essengase etwa 10 bis 15 Prozent, bei gewöhnlichen Kesselanlagen etwa 20 bis 25 Prozent des Heizwertes der Kohle. Man nennt diesen Wärmeverlust kurz den **Schornsteinverlust**.

**Hieraus ist ersichtlich, daß der Wirkungsgrad der Dampfkesselheizung nicht nur von dem Kohlen säuregehalt oder der Zusammensetzung der Heizgase im Feuerraum, sondern auch von deren Temperatur, gemessen am Kesselende, abhängig ist.** Im Feuerraum soll die Temperatur möglichst hoch, am Kesselende hingegen, und zwar **als Folge der Wärmeabgabe der Heizgase an den Dampfkessel, möglichst niedrig sein.** Der Heizer hat, solange er keinen Fehler begeht, indem er etwaige Undichtheiten am Kesselgemäuer nicht beseitigt, keinen Einfluß auf die Temperatur der Abgase im Essenfuchs; denn letztere richtet sich nach der jeweiligen Kesselbeanspruchung; sie ist hoch bei einem überlasteten Kessel, wobei im Feuerraum und in den Kesselzügen eine hohe Temperatur erforderlich ist. Beträgt bei einer solchen Kesselanlage die Abgastemperatur etwa 400° Celsius (was sehr hoch ist und einen sehr großen Schornsteinverlust bedeutet), so ist es Aufgabe der Betriebsleitung, etwa durch Aufstellung eines Rauchgasvorbärmers, die in den Abgasen enthaltene Wärme noch auszunützen und hierdurch den Schornsteinverlust herabzumindern.

In gut geleiteten Betrieben wird daher auch die Temperatur der Abgase im Essenfuchs gemessen und registriert, wozu man sich geeigneter Thermometer bedient. Aus diesen Temperaturmessungen kann dann nach der Siegertschen Formel<sup>1)</sup> der jeweilige Schornsteinverlust genügend genau berechnet werden, was aber Aufgabe der Ingenieure ist. Die Thermometer sind entweder Quecksilberthermometer (siehe Seite 76) oder elektrische Pyrometer. Erstere sind nur für vorübergehende Messungen zu gebrauchen, während letztere auch zu dauernden Temperaturmessungen verwendet und mit einer Registriervorrichtung ausgerüstet werden.

Im allgemeinen kann man annehmen, daß durchschnittlich etwa drei Viertel, bei ganz vollkommenen Kesselanlagen etwa vier Fünftel des Heizwertes der Kohle zur Erzeugung von Dampf nutzbar gemacht werden.

### Der künstliche Zug.

Der **unmittelbare Saugzug** ist die verbreitetste Art des künstlichen Zuges. Die Heizgase werden bei demselben durch einen Ventilator aus dem Fuchs oder hinter dem Vorbärmer abgesaugt und in den Schornstein gedrückt und die Zugstärke durch Verstellen der Drehzahl des zumeist elektrisch angetriebenen Ventilators geändert. Der Essenschieber dient in diesen Fällen dem völligen Absperrren der Kessel und zur Regelung, wenn mehrere Kessel an eine gemeinsame Zuganlage angeschlossen sind. Der künstliche Zug wird dort angewendet, wo man einen star-

1)  $V = 0,65 \frac{T-t}{K}$  für Steinkohle, an Stelle von 0,65 ist zu setzen bei Braunkohlenbriketts 0,72, bei Rohbraunkohle 0,95; wobei: T = mittlere Temperatur der Abgase; t = Lufttemperatur im Kesselhause; K = der festgestellte mittlere Kohlen säuregehalt; V = Schornsteinverlust in Prozenten. In manchen Kesselhäusern sind auch besondere unter Zugrundelegung dieser Formel aufgezeichnete Rauchgasrechenchieber in Gebrauch, mit denen sich der Schornsteinverlust aus den Temperatur- und Kohlen säuremessungen schnell errechnen läßt und laufend aufgeschrieven wird.

ken Essenzug braucht, keinen hohen Schornstein errichten will oder der vorhandene Schornstein nicht genügend zieht. Sein hauptsächlichster Vorteil beruht darin, daß man die Zugstärke und die Kofst- und Kesselleistung innerhalb sehr weiter Grenzen bequem regeln und beträchtlich erhöhen kann. Er eignet sich daher auch für Kesselanlagen mit stark schwankendem Dampfverbrauch (Elektrizitätswerke u. a.) und ermöglicht ferner eine weitgehende Abkühlung der Rauchgase an Vorwärmern im Essenzugs, deren Temperatur auf 130 bis 150° Celsius ermäßigt werden kann, während sie beim gewöhnlichen Schornsteinzug, wie wir sahen, 200 bis 250° Celsius im Mittel beträgt. Es läßt sich daher eine Kohlenersparnis mit ihm erzielen, die allerdings durch den Kraftverbrauch für den Ventilator z. T. wieder ausgeglichen wird. Ferner gestattet der wesentlich schärfere Essenzug die Verfeuerung von geringwertigen Brennstoffen. Die Schornsteine für den Saugzug werden aus Eisen hergestellt, haben nur einen Teil des Gewichtes der gemauerten Schornsteine und sind deshalb in manchen Kesselhäusern auf dem Gemäuer des Ökonomisers oder unmittelbar auf dem Kessel, also ohne besonderes Fundament, aufgestellt. Das geringe Schornsteingewicht macht ihre Anwendung namentlich dort möglich, wo es an dem nötigen Platz für einen gemauerten Schornstein fehlt oder wo der Baugrund nicht durch schwere Bauten belastet werden darf (Bergwerke).

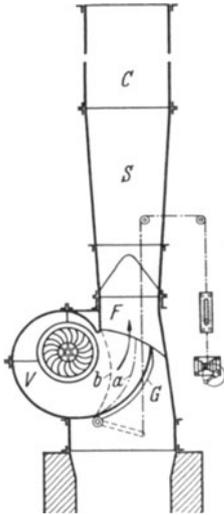


Abb. 60. Unmittelbare Saugzuganlage mit Gehäuseverregulierung, Bauart Fensterbusch, der Gesellschaft für Ventilatorzug, Berlin-Charlottenburg. Mittels der Winde kann die Klappe G verstellbar und der Saugzug geregelt werden. In der Stellung b ist sie geschlossen und arbeitet der Kessel mit natürlichem Zug.

Der **mittelbare Saugzug**, bei dem Frischluft oder ein Teil der Abgase mittels eines Ventilators durch eine Düse im Schornstein geblasen und hierdurch die Heizgase (wie bei einem Injektor das Wasser) angefaugt werden, ist vornehmlich wegen seinem größeren Kraftverbrauch von dem unmittelbaren Saugzug verdrängt worden und wenig im Gebrauch.

**Dampfgebläse** zur Erzeugung von Saugzug sind an fahrbaren Lokomotiven und an Lokomotiven üblich, bestehen aus einer Düse im unteren Ende des Schornsteins und werden bei Stillstand der Maschine mit Frischdampf, sonst mit dem Abdampf der Dampfmaschine betrieben.

Der **Unterwind** als Druckzug hat durch die Verfeuerung billiger, feinkörniger, gasarmer und stark schlackender Kohle und durch die Verwendung von Hochleistungsrosten große Bedeutung und Verbreitung gefunden. (Siehe Unterwind-Verfeuerung und Hochleistungsroste S. 42.) **Druckzug** wird

(außer Saugzug) bei Schiffskesseln verwendet, indem durch Ventilatoren die tief im Schiffskörper liegenden, mit Doppeltüren luftdicht abgeschlossenen Heizräume unter einen Überdruck von 60 bis etwa 120 Millimeter W. S. gesetzt werden. Die Kofst- und Dampfleistung wird hierdurch erheblich gesteigert und zugleich der Heizraum wirksam entlüftet.

## 9. Die Aufbereitung des Kesselspeisewassers.

Bei dem Übergang der Wärme aus den Heizgasen in das Kesselwasser sind die **guten und schlechten Wärmeleiter** von wesentlicher Bedeutung. Gute Wärmeleiter sind die Metalle, wie Eisen, Kupfer, Messing, schlechte Wärmeleiter Gase und pflanzliche und erdige (mineralische) Stoffe, wie Luft, Holz, Ruß, Kork, Kieselgur, insbesondere aber der Verdampfungsrückstand des Wassers, der **Kesselstein**.

Das Kesselblech leitet als guter Wärmeleiter die Wärme der Heizgase schnell in das Kesselwasser über. Blechdicken bis etwa 25 Millimeter sind hierbei von keinem nachteiligen Einfluß, erst oberhalb dieser Grenze kann eine Verzögerung des Wärmedurchganges eintreten.

Der Kesselstein als schlechter Wärmeleiter isoliert das Kesselwasser von der Wärme der Heizgase etwa in derselben Weise wie eine Mauer einen kühlen von einem warmen Raum.

Auch der **Ruß** ist ein schlechter Wärmeleiter, wenn auch nicht in dem Maße wie der Kesselstein. Er setzt sich gleich beim ersten Anheizen auf den Heizflächen fest und bleibt, da er schwer brennbar ist, nur auf den Stellen über dem Feuer nicht haften, wo er verbrennt. Er wird deshalb auch an Siederohr- und Rauchrohrkesseln, an Dampfüberhizern und Economisern mittels Rußbläser oder Rußkräger beseitigt.

Der Kesselstein leitet die Wärme etwa 20 mal so schlecht wie das Eisen. Wenn diese Zahl auch nur allgemein gilt und nach der Art des Kesselsteins verschieden ist, so zeigt sie doch ohne weiteres, daß eine Kesselsteinkruste einen großen Wärmeverlust verursacht und an den Heizflächen über dem Feuer zu Blechschäden durch Überhizung führen kann.

Derartige Schäden treten auch bei unreinem Speisewasser durch Schlammablagerungen auf den Heizflächen auf.

Zerstörend auf die Kesselbleche wirkt auch der Gehalt des Speisewassers an Luft, Säuren und sonstigen chemischen Bestandteilen.

**Die Aufbereitung des Speisewassers**, das als Brunnen- oder Flußwasser in seiner natürlichen Beschaffenheit oder als Kondensat zur Verfügung steht und mehr oder weniger nachteilige Eigenschaften hat, ist daher eine der wichtigsten Aufgaben eines geordneten Kesselbetriebes, und zwar nicht nur bei den neuzeitlichen Hochdruck- und Höchstleistungskesseln mit hohen Dampfdrücken und Temperaturen, sondern auch bei den herkömmlichen Großwasserraumkesseln (Flammrohrkessel, Rauchrohrkessel). Sie muß sich erstrecken:

1. auf die Beseitigung mechanischer Verunreinigung,
2. auf die Verhütung des Kesselsteins,
3. auf die Entgasung,
4. auf die Einhaltung eines gewissen Salzgehaltes (Alkalität).

Nach der jeweiligen Beschaffenheit des Rohwassers kann von dem einen oder anderen dieser 4 Punkte abgesehen werden.

1. **Die mechanischen Verunreinigungen** des Rohwassers sind bei Flußwasser mitunter sehr beträchtlich und lassen sich bei dessen Verwendung als Speisewasser in einem Sand- oder Kiesfilter mit Rückspülung leicht auffangen. Falls sie nur in geringem Grade vorhanden sind und keine Überlastung der Enthärtungsanlage zu befürchten ist, können sie in letzterer zugleich mit den ausgefallten Härtebildnern abgefiltert werden. Für das Auffangen von Öl aus dem Rohwasser werden Holzwollefilter bevorzugt.

2. **Die Enthärtung des Speisewassers.** Das Wasser nimmt bei seinem Kreislauf in der Natur, wenn es als Regen niederfällt, aus der Luft und der mit Pflanzenresten durchsetzten oberen Erdschicht Kohlensäure auf und erhält hierdurch die Fähigkeit, gewisse an sich im Wasser unlösliche Steinarten, hauptsächlich den kohlen sauren Kalk (Kalkstein) und kohlen saure Magnesia (Magnesit) in sich aufzulösen. Es enthält dann doppeltkohlen sauren Kalk (einfach kohlen saurer Kalk + Kohlen säure = doppeltkohlen saurer Kalk) und doppeltkohlen saure Magnesia. Erhitzt man solches Wasser (wie dies in den Dampf kesseln der Fall ist), so scheidet die anfänglich aus der Luft aufgenommene Kohlensäure aus diesen Salzen wieder in Gasform aus, die Fähigkeit des Wassers, den Kalk und Magnesit in Lösung zu behalten, geht verloren und

diese beiden Stoffe setzen sich an den Kesselwänden als Kesselstein ab. Da Kalkstein und Magnesit sehr stark verbreitet sind, gibt es kaum ein Wasser, in dem sie nicht vorhanden sind. Das Wasser enthält aber auch noch andere Stoffe, von denen als Kesselsteinbildnern der Gips (schwefelsaurer Kalk) und die Verbindungen der Kieselsäure (Silikate), die einen besonders harten und wärmeundurchlässigen Kesselstein verursachen können, wesentlich sind.

**Die Härte des Wassers.** Dieselbe Wirkung wie das Kesselfeuer übt auch, allerdings in viel langsamerem Maße, die Sonnenwärme auf das Wasser in den Flüssen und Bächen aus. Daher kommt es, daß das Flußwasser weich ist und in den meisten Fällen weniger Kesselstein ansetzt als Grundwasser aus Brunnen usw. Wasser mit viel gelösten Bestandteilen nennt man hartes, mit wenigen derartigen Bestandteilen weiches Wasser. Enthalten 100 Liter Wasser 1 Gramm Kalk, so sagt man, das Wasser hat einen deutschen Härtegrad ( $^{\circ}$ d). Da 1 Gramm Kalk zum Auscheiden dieselbe Menge Seife braucht wie 0,7 Gramm Magnesia, so würde ein anderes Wasser, welches in 100 Liter Wasser 0,7 Gramm Magnesia enthält, gleichfalls einen Härtegrad haben. Während Wasser, in dem Kalk oder kohlensaure Magnesia enthalten sind, durch Kochen weich wird, ist dies bei gipshaltigem Wasser nicht der Fall. Gips bleibt auch in kochendem Wasser in Lösung, und es scheidet nur der Gipsgehalt aus, der über 2,7 Gramm in 100 Litern hinausgeht. Man nennt deshalb die durch Gips hervorgerufene Härte des Wassers auch bleibende oder permanente Härte.

**Verschiedene Verfahren zur Kesselsteinverhütung.** Die Härtebildner werden hierbei als unlöslicher Schlamm ausgefällt, der bei der Kesselreinigung aus dem Kessel herausgespült oder vor dem Einspeisen des Wassers in den Kessel in Filtern (Sand, Kies, Holzwolle) aufgefangen wird.

1. Gerbstoffhaltige Mittel bewirken in heißem Wasser, daß sich die Kalksteinbildner nicht in Kristallform, also nicht als steinharte Kruste, sondern als Schlamm absetzen. In Betracht kommen Fichten-, Eichen- und Kastanienrinde, deren Sud mit Chemikalien (Ammoniaklösung oder kohlensaurem Ammoniak) vermischt und in ausprobierten Mengen dem Kesselwasser beigegeben wird. Die gleiche Wirkung hat eine Petroleumemulsion. Bereits vorhandener Kesselstein wird hierdurch mürbe gemacht und läßt sich daher leicht abklopfen. Bei diesen Verfahren werden Kesselwasser und Dampf verunreinigt, so daß sie nicht zu empfehlen sind.

2. **Bei der Erhitzung des Rohwassers**, der sog. **thermischen Enthärtung**, wobei unter Verwendung von Abdampf Wassertemperaturen bis etwa  $90^{\circ}$  erreicht werden können, wird das Wasser entgast und scheiden die hauptsächlichsten Härtebildner, der Kalkstein und der Magnesitstein, als Kesselstein im Vorwärmer zum überwiegenden Teile aus, doch wird das Speisewasser nicht völlig enthärtet und muß auch der im Vorwärmer und an den Heizschlangen angelegte Kesselstein zeitweilig entfernt werden. Die thermische Enthärtung wird für sich allein, zumeist aber in Verbindung mit der chemischen Enthärtung, ausgenommen das Permutitverfahren, angewendet, da sie deren Wirkung beschleunigt.

3. **Die chemischen Enthärtungsverfahren.** In Anwendung sind als Enthärtungsmittel:

1. Alkalien: Kalk, Soda und Äkznatron,
2. Trinatriumphosphat,
3. Permutit.

Nach der Beschaffenheit des Wassers, den Anlage- und laufenden Betriebskosten ist im jeweiligen Falle das geeignetste Verfahren zu wählen. Für alle gilt, daß sie sich gut bezahlt machen, da der Kesselsteinansatz entweder völlig vermieden oder ganz erheblich verringert wird und der Kessel seltener gereinigt und nur aus-

geschlämmt zu werden braucht. Bei einem Zweiflammrohrkessel von 100 Quadratmeter Heizfläche betragen die Aufwendungen, falls durchschnittlich 2 Kilogramm Soda täglich verbraucht werden, etwa 200 Mk. jährlich, das ist wesentlich weniger als die Kosten einer einmaligen Kesselreinigung durch Ausklopfen. Selbstverständlich ist hierbei je nach der Härte und der Menge des Speisewassers mit Abweichungen zu rechnen.

**1. Das Kalk-Soda-Verfahren.** Unter Kalk ist hier Aßkalk (Kalkhydrat) zu verstehen, der durch Brennen des Kalksteins (des kohlenfauren Kalkes) entsteht und auch zur Mörtelbereitung benützt wird. Er ist das billigste Fällungsmittel für den doppeltkohlenfauren Kalk und die doppeltkohlenfaure Magnesia, die er unter Entziehung eines Teils ihrer Kohlenäure als unlöslichen, einfachkohlenfauren Kalk und Magnesiastein als Schlamm ausscheidet.

Soda entfernt die kohlenfauren Härtebildner zwar auch, am besten jedoch die sog. bleibende Härte (Gips = schwefelsaurer Kalk und schwefelsaure Magnesia). In kleinen und mittleren Kesselanlagen, bei denen ein geringer Mehrverbrauch an Soda nicht sehr ins Gewicht fällt und die genannten Härtebildner überwiegen, wird daher nur mit Soda enthärtet, bei großen Anlagen aber Kalk zugesetzt, weil hierdurch die Kosten für die Enthärtung verringert werden.

Ähnatron wirkt ähnlich wie Soda, wird aber, da dieses Verfahren teurer ist, nur in gewissen Fällen beim Enthärten von Wasser mit hohem Magnesiagehalt verwendet.

Schlammablagerungen im Kessel sind nicht nur auf ungenügende Enthärtung des Rohwassers, sondern darauf zurückzuführen, daß die verschiedenen Härtebildner nicht sämtlich durch die Chemikalien ausgefällt werden, sondern mit letzteren auch lösliche Verbindungen eingehen, die sich mit der bei der Verdampfung eintretenden Verdickung des Kesselwassers als Schlamm absetzen.

Abb. 61 stellt einen Wasserreinigungsapparat der Firma Reisert, Köln-Braunsfeld, dar. Das Kesselspeisewasser tritt durch das Rohr H in den Behälter R ein und fließt von diesem nach dem Behälter D, wo es mit Kalk- und Sodawasser vermischt und der Kesselstein als Schlamm ausgechieden wird. Hierauf strömt das Wasser durch das Gefäß M mit dem Riesfilter F, der den vom Wasser mitgeführten Schlamm zurückbehält. Durch das Rohr T strömt dann das Wasser nach der Speisevorrichtung. Das Filter ist je nach der Menge des abgesetzten Schlammes täglich ein- bis zweimal zu reinigen, indem man den Schlammhahn O öffnet und die Hähne so umstellt, daß das Wasser nicht in den Behälter R, sondern unter das Filter fließt. Hierauf setzt man durch Öffnen des Dampfventiles d die Luftdüse Y in Tätigkeit, so daß das Filtermaterial gründlich aufgewühlt und der Schlamm durch den geöffneten Hahn O fortgeschwemmt wird. Nach 2 bis 3 Minuten stellt man die Luftdüse Y wieder ab und läßt das Wasser so lange nachströmen, bis es aus dem Hahn O in reinem Zustande abfließt. Alsdann kann der Apparat wieder regelrecht in Gebrauch genommen werden.

Die Soda wird in dem Behälter C aufgelöst und zunächst in einen Blechkorb im Behälter C gebracht. Das Sodawasser fließt aus dem Behälter C durch ein Röhrchen in den Behälter C<sub>1</sub>. Wird der ganze Apparat abgestellt und steigt das Sodawasser in dem Behälter C<sub>1</sub> bis zu einer gewissen Höhe, so wird durch ein Schwimmerventil der weitere Zufluß des Sodawassers unterbrochen. Aus dem Behälter C<sub>1</sub> fließt das Sodawasser durch ein gebogenes Röhrchen (ein Sphphon- oder Heberrohr) in das Mischrohr E. Dieses Sphphonröhrchen, das nur etwa 8 Millimeter lichte Weite hat, hängt an einem Kettchen, das an einem Schwimmer im Abteil R befestigt ist. Fließt wenig Wasser durch den Apparat, so fällt dieser Schwimmer und zieht das Sphphonröhrchen höher, so daß auch weniger Sodawasser aus dem Be-



schädigt, sondern es handelt sich um alte undichte Stellen, die mit Kesselstein verstopft waren, der durch die Soda nachträglich weich gemacht und losgelöst worden ist, so daß das Wasser durchdringen konnte. Solche Stellen, die auf keinen Fall undicht belassen werden dürfen, sind so bald wie möglich sorgfältig zu verstemmen.

Die erforderlichen Kalk- und Sodamengen richten sich nach der Härte des Wassers und werden in einem chemischen Laboratorium festgesetzt. Der Kesselwärter erhält eine Anleitung mit Chemikalien und Probiergläsern und hat hiernach die Wasserreinigung täglich zu untersuchen und nötigenfalls die Kalk- und Sodazusätze bei Änderungen der Härte des Wassers neu zu bemessen.

2. Bei dem **Trinatriumphosphatverfahren** der Chemischen Fabrik Budenheim, A.-G. in Mainz, wird der Kesselstein gleichfalls als Schlamm ausgefällt und letzterer in Filtern aufgefangan. Die Apparatur ist dieselbe wie beim Kalk-Soda-Verfahren und insofern einfacher, als nur mit einem Enthärtungsmittel gearbeitet wird. Das Trinatriumphosphat ist zwar teurer als Soda und Kalk, hat aber den Vorzug, daß die Enthärtung restlos erfolgt. Es ist auch vielfach als Zusatzverfahren angewendet, indem man das Wasser mit Soda und Kalk auf etwa 3 bis 4° enthärtet und die Resthärte mit Trinatriumphosphat beseitigt. Wasser nicht allzu hoher Härte kann aber ausschließlich mit ihm enthärtet werden (Abb. 62).

3. Bei der Enthärtung nach dem **Permutitverfahren** der Permutit-A.-G., Berlin, darf die Temperatur des Wassers nicht über 40° liegen. Das Permutit wird durch Zusammenschmelzen bestimmter Mengen von Feldspat, Kaolin, Ton und Soda hergestellt, hierauf mit heißem Wasser ausgelaugt und durch Waschen und Schleudern noch weiter von alkalischen Endlaugen befreit. In feuchtem Zustande ist es ein körniges oder blättriges Material von perlmutterartigem Aussehen. Die Enthärtung erfolgt durch einfache Filtration des Speisewassers über das Natriumpermutit. Letzteres wird zu diesem Zwecke in einen geschlossenen Behälter gefüllt, der in die Speiseleitung eingeschaltet wird, so daß das Speisewasser beim Anstellen der Pumpe durch das Permutitfilter hindurchfließt. Das Permutit ist in Wasser vollständig unlöslich und vereinigt sich nur mit den darin befindlichen Kesselsteinbildnern. Hat es eine gewisse Menge davon aufgenommen, so wird es unwirksam und muß regeneriert, d. h. wieder wirkungsfähig gemacht werden. Dies geschieht, indem man das Permutitfilter mit einer dünnen Kochsalzlösung ausspült, wodurch die aufgefundenen Kesselsteinbildner wieder gelöst sowie fortgeschwemmt werden und das Permutit wieder seine alte Kraft erhält. Der Name Permutit heißt eigentlich Tauschmittel und stammt von permutieren, d. h. umtauschen, austauschen (die Kesselsteinbildner werden vom Speisewasser, dem Natriumpermutit und der Kochsalzlösung umgetauscht).

Das seit mehreren Jahren in Anwendung befindliche Neopermutit wirkt beim Enthärten und Regenerieren sehr schnell, so daß es der beim alten Permutit er-

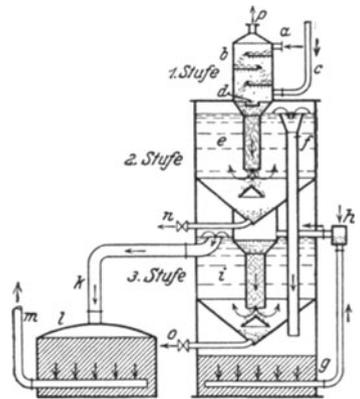


Abb. 62<sup>1)</sup>. Wasserreinigungsapparat Valtec. 1. u. 2. Stufe: Eintritt des Rohwassers bei a, des Heißdampfes bei c, der Alktronenlauge im Mischer bei d. Das Wasser wird in b und e hochangewärmt, entgast und vorenthärtet. 3. Stufe: Das Wasser fließt durch f und den Vorfilter g hindurch nach h, wird hier mit Trinatriumphosphat gemischt, in i von der Resthärte befreit und in l gefiltert. p = Entlüftung, n und o = Schlammablässe, m = Saugleitung der Kesselpumpe.

<sup>1)</sup> Abb. 62 ist aus Dubbel, Taschenbuch f. den Maschinenbau, Berlin: Julius Springer, entnommen.

forderlichen Reservefilter nicht mehr bedarf. Der Permutit ist unbegrenzt haltbar, nur beim Ausspülen (Regenerieren) geht ein geringer Teil, etwa 5 Prozent jährlich, verloren.

Jedes Permutitfilter hat eine bestimmte Leistungsfähigkeit (Kapazität). Ist beispielsweise eine Permutitanlage für die Enthärtung von 75 Kubikmeter Wasser von 20° Härte gebaut, so wird die Leistungsfähigkeit ausgedrückt durch die Zahl  $75 \times 20 = 1500$ . Nimmt die Härte des Wassers auf 15° ab, so können bis zur nächsten Regenerierung (Ausspülung)  $1500 : 15 = 100$  Kubikmeter Wasser enthärtet werden. Steigt die Härte auf 25°, so ist die zulässige Wassermenge auf  $1500 : 25 = 60$  Kubikmeter zu verringern. Steht die Laufzeit zwischen zwei Regenerierungen fest, können letztere etwa nur während einer bestimmten Betriebspause vorgenommen werden, so muß die Menge des Regeneriersalzes der steigenden oder fallenden Rohrwasserhärte angepaßt werden. Beträgt sie beispielsweise für 50 Kubikmeter Wasser und 14° Rohrwasserhärte 48 Kilogramm, so kann sie bei 10° Härte auf  $10 \cdot 48 : 14 = 34,3$  Kilogramm verringert werden. Der Heizer muß demnach etwa stündlich Menge und Härte des im Permutitfilter enthärteten Rohwassers aufschreiben, die beiden Zahlen miteinander multiplizieren, die Produkte zusammenzählen und das Permutitfilter nach Erreichung seiner Leistungszahl regenerieren oder die Menge des Regeneriersalzes in der angegebenen Weise bemessen.

Stark schlammhaltiges Wasser ist vor der Enthärtung im Permutitfilter in einem Sand- oder Kiesfilter vorzureinigen.

**Die Schlammrückführung aus dem Kessel in den Reiniger.** Bei dem Kalk-Soda- und dem Trinatriumphosphat-Verfahren entsteht im Kessel ein Überschuß dieser Enthärtungsmittel, der durch Rückführung in den Enthärtungsapparat nutzbar gemacht wird und hierdurch den Chemikalienverbrauch vermindert. Die Einrichtung besteht in einer Rohrleitung von ungefähr 25 Millimeter Durchmesser, die von der tiefsten Stelle des Kessels, d. i. vom Ablassstutzen, abzweigt, zur Regelung der zurückfließenden Kesselwassermenge ein Drosselventil erhält und im Enthärtungsapparat endet. Bei Betriebsstillstand muß das Drosselventil selbstverständlich geschlossen werden.

**Defilliertes Wasser** wird in Großkraftanlagen und auf Seeschiffen zur Kesselspeisung verwendet. Hierdurch werden die Salzablagerungen in der Turbinenbeschauelung, die bei chemisch aufbereitetem Speisewasser mitunter entstehen und ausgewaschen werden müssen, vermieden.

(Abb. 63). Pumpe P pumpt das Seewasser durch den Entgaser B hindurch in den Erstverdampfer T. Der hier erzeugte Dampf wird im Filter F filtriert und in den Zweitverdampfer M geleitet, wo er die Verdampfungsrohre K auf ihrer Außenseite umspült und hierdurch das in denselben befindliche Destillat verdampft. Der Dampf aus diesem Destillat scheidet im Wasserabscheider H seinen Wassergehalt ab und strömt durch das Filter G hindurch zum Brüdenkondensator. Das Kondenswasser, welches sich aus dem Dampf des Erstverdampfers T auf der Außenseite der Verdampfungsrohre K des Zweitverdampfers niederschlägt und sich in letzterem ansammelt, wird durch das Drosselventil N hindurch in die untere Vorlage des Zweitverdampfers M abgeleitet, in die auch das Wasser aus dem Wasserabscheider H gelangt. Mittels Pumpe O wird die Hälfte des in den Erstverdampfer T gespeisten Seewassers laufend als Lauge über Bord gepumpt. R = Heizdampfleitung. Q = schwimmerbetätigtes Regelventil.

Durch die zweistufige Verdampfung wird auch bei zeitweiligem Aufwallen des Wassers im Erstverdampfer, wie dies bei wechselnden Belastungen vorkommt, ein sehr reines Destillat erzielt. Letzteres erhält nach Erfordernis noch einen geringfügigen Zusatz von Trinatriumphosphat, um die Härte im Kessel unter 0,2° zu halten.

**Die Entgasung des Speisewassers.** Wasser, insbesondere destilliertes, saugt gierig Luft auf, die sich bei der Verdampfung an den Kesselblechen mit geringer Wassergeschwindigkeit in feinen Blasen festsetzt und zu Anrostungen führt. Inwiefern die Kohlensäure, die bei der chemischen Enthärtung des Speisewassers frei wird, auch derartige Blechschäden verursacht, ist umstritten. Beim Fehlen eines besonderen Entgasungsapparates ist das Speisewasser zur Beschleunigung seiner Entgasung ungefähr in Höhe des normalen Wasserstandes einzuführen (Hochspeisung) und in einen offenen, waagerechten Trog ausmünden zu lassen, über dessen Seitenwände hinweg es in den Wasserraum tritt und schnell auf Siedetemperatur gebracht wird. Die Gase des Speisewassers entweichen dann sofort mit

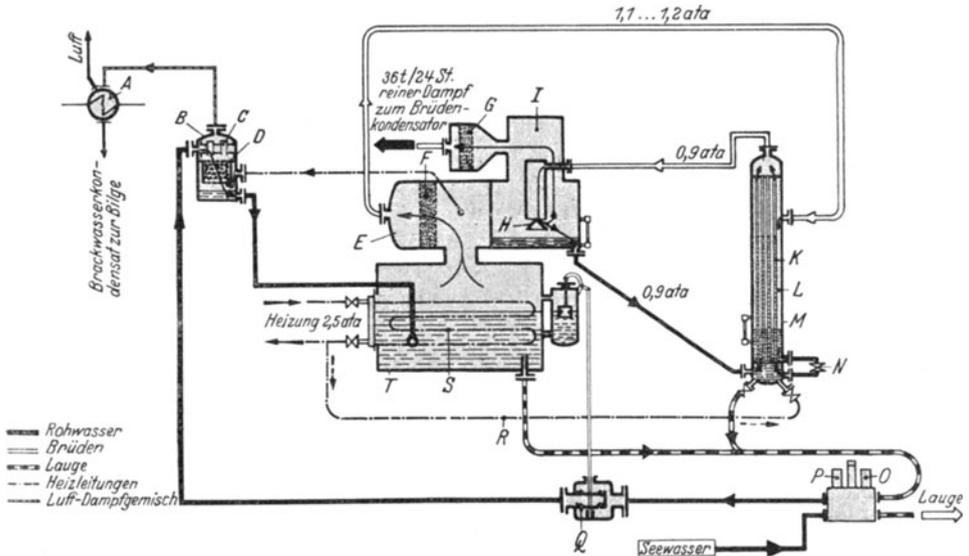


Abb. 63. Schema des zweistufigen Atlas-Verdampfers<sup>1)</sup>. (In Gebrauch auf den Schnelldampfern „Scharnhorst“ und „Gneisenau“ des Norddeutschen Lloyd.)

dem Dampf aus dem Kessel. Zur Verhütung des Aufsaugens von Luft in destilliertem oder in Kondenswasser sind dessen Sammelbehälter möglichst luftdicht abzuschließen und muß auf dem Wasser eine Dampfschicht liegen und die Wasseroberfläche auf Siedetemperatur gehalten werden.

**Die Mindest-Alkalität des Speisewassers.** Zur Verhütung der Blechanfressungen durch gashaltiges Kesselwasser dient als einfaches, billiges und sicheres Schutzmittel eine gewisse Alkalität, das ist ein Gehalt des Speisewassers an Natron ( $\text{NaOH}$ ) und Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), die nach den Richtlinien der Vereinigung der Großkesselbesitzer durch die **Natronzahl** gemessen wird. Sie soll nicht weniger als 400 und nicht mehr als 2000 betragen. Doch dürften höhere Werte bei Kesseln niederen Druckes und geringer Dampfleistung (z. B. Flammrohrkessel) unbedenklich sein. Die Natronzahl 400 entspricht einem Natrongehalt von 400 g/cbm oder einem Sodagehalt von 1800 g/cbm und errechnet sich demnach, da immer beide Salze im Kessel vorhanden sind:

$$\text{Natronzahl} = \text{Natron} + \frac{\text{Soda}}{4,5} \text{ in g/cbm oder mg/l.}$$

<sup>1)</sup> Mit Genehmigung des Verlages entnommen aus der Zeitschrift „Werft, Reederei, Hafen“ 1936, Heft 6.

Sie wird durch Prüfung des Kesselwassers mittels bestimmter Chemikalien (Phenolphthalein, Methylorange und n/10 (zehnfach verdünnte Normal-)Salzsäure nach der Anleitung, die jeder Enthärtungsanlage beigegeben ist, ermittelt. Ist sie zu hoch, so ist ein Teil des Kesselwassers durch Frischwasser zu ersetzen, im anderen Fall ist Natronlauge zuzugeben. Bei der Neufüllung eines Kessels empfiehlt sich ein Zusatz von Natronlauge, um von vornherein den notwendigen Kesselschutz zu haben. Im übrigen ist nach den Angaben des Chemikers zu verfahren.

**Die laufende Untersuchung des Wassers** im Kesselhause muß sich erstrecken auf:

1. das Rohwasser,
2. das enthärtete Rohwasser, das Speisewasser,
3. das Kesselwasser,
4. das zurückgespeifte Kondensat.

Der Gehalt des Rohwassers an gelösten Bestandteilen (Härtebildnern und Gasen) ändert sich nach lang andauernder Trockenheit und Nässe. Der Heizer muß daher namentlich die Härte des Rohwassers und des Speisewassers hinter der Enthärtungsanlage feststellen und die Menge der zuzusetzenden Enthärtungsmittel entsprechend ändern.

**Zur Bestimmung der Härtegrade** eines Wassers füllt man in das mitgelieferte Schüttelglas 40 Kubikzentimeter Rohwasser oder Speisewasser oder Kesselwasser und fügt aus einem graduierten Meßglase so lange Seifenlösung nach Boutron und Boudet tropfenweise zu, bis sich bei kräftigem Schütteln ein weißer, feinblasiger, etwa 3 Minuten haltbarer Schaum auf dem Wasser bildet. Die Zahl der verbrauchten Seifengrade gibt dann die Härte des Wassers in deutschen Graden an. Enthält das Wasser mehr als 10 bis 12° d. H., so muß die Härtebestimmung wiederholt werden, indem man nur 20 Kubikzentimeter Rohwasser nimmt und dieses mit 20 Kubikzentimeter destilliertem (also härtefreiem) Wasser mischt. Die Härtegrade werden dann wie oben ermittelt, müssen aber mit 2 multipliziert werden. Bei größerer Härte wendet man eine entsprechende Verdünnung an.

**Die Dichte des Kesselwassers** wird mit der Bauméspindel bestimmt, indem man einen Glaszylinder ziemlich bis zum Rande mit erkaltetem Kesselwasser von 15° Celsius füllt und die Spindel hineinhängt, deren Tauchtiefe die Dichte des Wassers an einer Skala angibt. Je größer der Salzgehalt, desto geringer die Tauchtiefe und desto größer die Dichte.

Auch ist eine sorgfältige Prüfung der Art des Salzgehaltes des Kesselwassers zu empfehlen, da die chemischen Vorgänge bei der Enthärtung keineswegs so einfach, wie vorstehend geschildert, verlaufen und namentlich bei hohen Drücken und Temperaturen Nachreaktionen im Kessel stattfinden und zu der sog. **Laugenprödigkeit** des Kesselbleches führen können, bei welcher im Wasserraum Rietlochrisse und eine mitunter bedenkliche Zerstörung und Abnahme der Festigkeit der Bleche eintreten und von der man annimmt, daß sie dem Gehalt des Kesselwassers an freiem Äthnatron zuzuschreiben ist.

Das zurückgespeifte Kondensat, das in seiner Beschaffenheit dem destillierten Wasser gleicht, ist namentlich auf seinen Luftgehalt zu untersuchen. Völlig dichte Saugleitungen und Stopfbüchsen an den Speisepumpen sind hierbei selbstverständliche Voraussetzungen für die Verhütung von Rostschäden. Im übrigen ist zu empfehlen, die Wasserreinigungsanlage jährlich ein- oder zweimal durch einen Spezialchemiker überprüfen zu lassen. Die hierfür aufgewendeten Kosten sind im Verhältnis zu den Ersparnissen an Chemikalien und den sonstigen Vorzügen einer geordneten Wasseraufbereitung gering.

Die **Kesselsteinausscheidapparate** sind im Dampftraume des Kessels untergebracht und bestehen aus langen, über die ganze Kessellänge sich erstreckenden

Rinnen oder aus mehreren übereinander liegenden flachen Becken, über welche das Speisewasser kastadenartig von oben nach unten fällt. Ihre Wirkung beruht darauf, daß der Kesselstein durch die schnelle Erwärmung des Wassers als Schlamm ausgeschieden wird und sich größtenteils in den Apparaten festsetzt. Sie müssen öfter gereinigt werden. Ferner ist möglichst andauernd zu speisen, da sich bei zeitweilig aussetzender Speisung die Speiseleitung sehr leicht mit Dampf füllt und beim Anstellen der Speisepumpe alsdann sehr heftige Schläge entstehen. Sehr häufig sind sie übrigens nicht.

**Die Gefährlichkeit des ölhaltigen Speisewassers.** Häufig wird wegen seiner hohen Temperatur auch das Kondensationswasser aus der Dampfmaschine zum Kesselspeisen verwendet. Hiermit wird zweifellos eine Kohlenersparnis erzielt; doch muß das Wasser vorher sorgfältig vom Ölgehalt befreit werden. Öl verdicken zu einer schwärzlichen, wasserundurchlässigen Kruste, unter der die Bleche erglühen und ausbeulen. Auch Ölfarbenanstriche auf der Wasserseite der Kesselbleche sind gefährlich. An Flammrohren sind wiederholt Anfrösungen an den Stellen beobachtet worden, wo sie mit einem aus Ölfarbe bestehenden Ringe versehen waren, der von den Walzwerken zur besseren Auffindung des Prüfungsstempels angebracht worden war. Es empfiehlt sich daher, diese Ringe wenigstens an den hochbeanspruchten Kesselstellen wieder zu entfernen.

Die Abwässer aus den Ausblasehähnen der Dampfmaschinenzylinder, die besonders viel Schmieröl enthalten, dürfen überhaupt nicht als Kesselspeisewasser benutzt werden.

**Die Kesselreinigung** ist unter Beachtung der gesetzlichen Vorschriften Seite 146 auszuführen.

Damit sich der Kesselstein beim Ausklopfen leicht ablöst, streicht man den Kessel vor der Inbetriebnahme innen mit einem Anstrich aus, der aus 1 Kilogramm Graphit, 2 Kilogramm Milch und 20 Gramm Karbolsäure besteht. Der Graphitanstrich verhindert das Festbrennen des Kesselsteins, so daß letzterer beim Klopfen mit dem Hammer leicht abblättert. Nach dem Anstreichen ist mit dem Füllen des Kessels mit Wasser zu warten, bis der Anstrich eingetrocknet ist.

Die Schneide der Klopfhämmer darf nicht zu schlank, sondern muß eher kolbig sein, damit die Bleche nicht durch scharfe Hammerschläge beschädigt werden. Wenn die Kesselsteinkruste dünn ist, darf mit den Klopfhämmern nicht heftig zugeschlagen werden. Pfiefurchen dürfen beim Kesselschlagen keinesfalls in den Blechen entstehen, da die Kesselbleche an derartigen beschädigten Stellen schon wiederholt aufgerissen sind. Der Kesselstein ist möglichst überall und auch an den Nietköpfen abzuklopfen. An den schwierig zugänglichen Stellen ist er mit passend geformten Meißeln loszuschlagen. Zum Reinigen von Siederohren benutzt man lange Schaber und die Turbinenreiniger, die aus mehreren Rollenfräsern bestehen, die durch einen

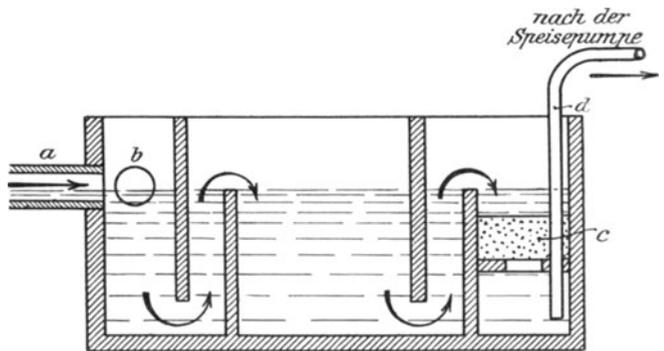


Abb. 64<sup>1)</sup>. Behälter mit Filter zum Entölen des Speisewassers. b = Überlaufrohr, c = Filter, d = Saugleitung.

<sup>1)</sup> Nach Angaben des Sächsischen Dampfkessel-Revisions-Vereines, Chemnitz.

Wasserstrahl von 8 bis 12 Atmosphären Druck in Umlauf gesetzt werden, wobei der an der Rohrwand haftende Kesselstein entfernt und fortgespült wird (Abb. 65). Der Wasseranschluß geschieht in der Regel an die Speisepumpen- oder Injektorleitung.

**Entlüftung des Kessels bei der Reinigung.** Während der Reinigung ist der Kessel zu entlüften, andernfalls der Kesselstein von den Arbeitern erfahrungsgemäß ungenügend entfernt wird. Man kann hierzu einen kleinen, elektrisch betriebenen

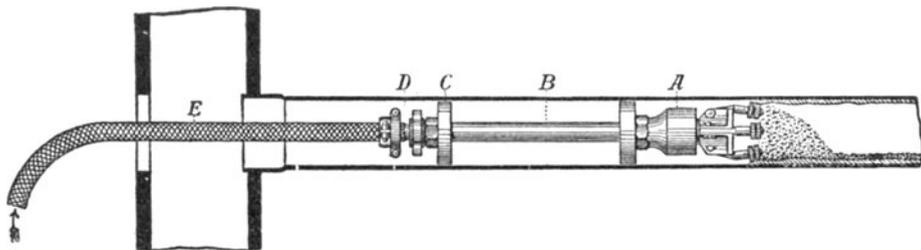


Abb. 65. Sieberohrreiner von Gust. Schlick, Dresden-N., im Gebrauch.

Exhaustor benutzen, der bei Flammrohrkesseln vor das untere Mannloch gestellt wird und die schlechte Luft aus dem Kessel herausaugt. Vielfach wird aber auch ein Rohr von 150 Millimeter lichter Weite verwendet, das im oberen Mannloch in den Kessel hineinragt und mit dem anderen Ende in den Essenfuchs mündet, so daß die Entlüftung durch den Schornstein bewerkstelligt wird. In Betrieben, wo Preßluft zur Verfügung steht, z. B. in Brauereien, Kesselschmieden usw., genügt es auch, die Luft im Kessel durch Einblasen von Druckluft zu verbessern.

## 10. Die Verdampfung des Wassers.

Das Wasser kommt in drei verschiedenen Formen oder **Aggregatzuständen** vor, als Eis, Wasser und Dampf. In diese drei Aggregatzustände, also in die feste, flüssige und gasige Form, können alle Stoffe entweder durch Abkühlung oder durch Erwärmung oder zum Teil unter Anwendung von Druck übergeführt werden. Quecksilber z. B. ist gleich dem Wasser bei gewöhnlicher Temperatur flüssig; während aber Wasser schon bei 0° zu Eis erstarbt, also von dem flüssigen in den festen Aggregatzustand übergeht, wird Quecksilber erst bei 40° Kälte fest; auch verwandelt es sich, normalen Luftdruck vorausgesetzt, erst bei 360° Wärme in Quecksilberdampf, während das Wasser unter gleichem Luftdruck schon bei 100° Celsius siedet.

**Die Schmelzwärme des Eises.** Erwärmt man Eis oder Schnee in einem offenen Gefäße, so beginnt das Eis- und Schneegemisch zu schmelzen. Ein im Schmelzwasser befindliches Thermometer bleibt so lange auf dem Nullpunkt stehen und beginnt erst dann zu steigen, wenn sämtliches Eis und sämtlicher Schnee zu Wasser geworden sind. Die zugeführte Wärme ist in diesem Falle nicht zu einer Temperaturerhöhung des Gefäßinhaltes, sondern zur Umwandlung des Eises und Schnees aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand aufgebraucht worden. Man nennt nun die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 Kilogramm Eis von 0° in Wasser von 0° umzuwandeln, die Schmelzwärme des Eises. Sie beträgt 80 Wärme-einheiten (Kalorien siehe Seite 16).

**Die Flüssigkeitswärme des Wassers.** Erwärmt man das Wasser, nachdem sämtliches Eis geschmolzen ist, weiter, so steigt die Temperatur. Die Steigerung der Temperatur hört aber auf, sobald das Thermometer auf 100° Celsius zeigt. Bei dieser Temperatur bleibt das Thermometer stehen, unbekümmert um das Feuer, das unter dem Gefäße fortbrennt. Alle Wärme dient von diesem Augen-

blicke dazu, das siedende Wasser in Dampf zu verwandeln. Bei normalem Luftdruck liegt die Siedetemperatur des Wassers bei 100° Celsius. Steht das siedende Wasser unter einem höheren Drucke, wie dies im Dampfkessel der Fall ist, so liegt der Siedepunkt über 100° Celsius. Wenn man z. B. einen Dampfkessel bedient, der mit 6 Atmosphären Druck arbeitet, so geht das Wasser in diesem Kessel nicht etwa bei 100° Celsius, sondern erst bei 164,2° in Dampfform über (siehe Spalte 3 der Tabelle auf Seite 75). Umgekehrt liegt der Siedepunkt des Wassers unter 100° Celsius, wenn der darauf lastende Druck weniger als eine Atmosphäre beträgt. Auf hohen Bergen ist z. B. der Luftdruck bedeutend niedriger als im Tale, und es siedet daher das Wasser auf dem Berge nicht erst bei 100°, sondern schon bei etwa 97° Celsius, je nach der Höhe des Berges. Noch tiefer liegt der Siedepunkt des Wassers, wenn man es unter einem Vakuum (Luftleere) verdampft. Z. B. erreicht man in den Milchfondensieranstalten dadurch, daß man den Wasserdampf über der einzukochenden Milch mit einer Luftpumpe absaugt, in dem Kochgefäß also eine Luftleere oder eine beträchtliche Luftverdünnung erzeugt, daß das Wasser in der Milch bereits bei 60° Celsius siedet und in Form von Dampf aus der Milch ausscheidet.

Die Wärmemenge, die man braucht, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf den Siedepunkt zu erhitzen, ist demnach sehr verschieden groß und hängt von dem Drucke ab, unter dem das Wasser bei der Verdampfung steht. Man nennt sie die Flüssigkeitswärme des Wassers (Spalte 4 der folgenden Tabelle).

Tabelle über die Eigenschaften des gesättigten Wasserdampfes.

| Aberdruck in Atmosphären (steht am Manometer) | Absoluter Druck in Atmosphären | Temperatur in Grad Celsius | Flüssigkeitswärme in Wärmeinheiten für 1 kg Wasser | Verdampfungswärme in Wärmeinheiten für 1 kg Dampf | Gesamtwärme in Wärmeinheiten für 1 kg Dampf | Gewicht von 1 cbm Dampf in kg | Zahl der Wärmeinheiten in 1 cbm Dampf |         |
|---|--------------------------------|----------------------------|--|---|---|-------------------------------|---------------------------------------|---------|
| 1   | 2                              | 3                          | 4  | 5   | 6   | 7                             | 8                                     |         |
| Kann nur mit dem Vakuummeter gemessen werden  | 0,10                           | 45,3                       | 45,3   | 571,4   | 616,7                                       | 0,0663                        | 11,31                                 |         |
|   | 0,20                           | 59,7                       | 59,6   | 563,1   | 622,7                                       | 0,1282                        | 80,95                                 |         |
|   | 0,50                           | 80,9                       | 80,8   | 550,4   | 631,2                                       | 0,2517                        | 129,39                                |         |
|   | 1,00                           | 99,1                       | 99,1   | 539,1   | 638,2                                       | 0,5811                        | 370,15                                |         |
|   | 0,2                            | 1,20                       | 104,25   | 104,3   | 536,5                                       | 640,8                         | 0,6892                                | 442,15  |
|   | 1                              | 2                          | 119,6  | 119,9   | 525,7                                       | 645,6                         | 1,1086                                | 716,61  |
|   | 2                              | 3                          | 132,9  | 133,4   | 516,1                                       | 649,5                         | 1,6155                                | 1048,94 |
|   | 3                              | 4                          | 142,9  | 143,8   | 508,7                                       | 652,5                         | 2,1231                                | 1383,30 |
|   | 4                              | 5                          | 151,1  | 152,0   | 503,2                                       | 655,2                         | 2,6158                                | 1716,62 |
|   | 5                              | 6                          | 158,1  | 159,3   | 498,0                                       | 657,3                         | 3,1075                                | 2044,20 |
| 6   | 7                              | 164,2                      | 165,5  | 493,8   | 659,3                                       | 3,5997                        | 2373,48                               |         |
| 7   | 8                              | 169,6                      | 171,2  | 489,7   | 660,9                                       | 4,0816                        | 2709,69                               |         |
| 8   | 9                              | 174,6                      | 176,4  | 486,1   | 662,5                                       | 4,5574                        | 3021,00                               |         |
| 9   | 10                             | 179,1                      | 181,2  | 482,6   | 663,8                                       | 5,0505                        | 3342,19                               |         |
| 10  | 11                             | 183,2                      | 185,4  | 479,8   | 665,2                                       | 5,5096                        | 3665,15                               |         |
| 11  | 12                             | 187,1                      | 189,5  | 476,9   | 666,4                                       | 5,9952                        | 3991,73                               |         |
| 12  | 13                             | 190,8                      | 193,4  | 474,1   | 667,5                                       | 6,4767                        | 4318,72                               |         |
| 13  | 14                             | 194,2                      | 197,0  | 471,4   | 668,4                                       | 6,9348                        | 4632,01                               |         |
| 14  | 15                             | 197,4                      | 200,4  | 468,9   | 669,3                                       | 7,4075                        | 4959,51                               |         |
| 15  | 16                             | 200,5                      | 203,7  | 466,6   | 670,3                                       | 7,8616                        | 5268,56                               |         |
| 20  | 21                             | 213,9                      | 218,0  | 455,3   | 673,3                                       | 10,152                        | 6833,99                               |         |
| 29  | 30                             | 232,9                      | 238,6  | 439   | 678   | 14,368                        | 9742,86                               |         |
| 39  | 40                             | 249,3                      | 257,0  | 422,5   | 680   | 19,084                        | 12976,52                              |         |
| 49  | 50                             | 262,8                      | 271,8  | 407,5   | 679   | 24,04                         | 16323,16                              |         |
| 99  | 100                            | 309,7                      | 326,4  | 328   | 654   | 52,91                         | 34603,15                              |         |
| 149   | 150                            | 340,7                      | 373,8  | 244   | 618   | 94,34                         | 58302,12                              |         |
| 199   | 200                            | 364,4                      | 425,8  | 146   | 572   | 169,5                         | 96954,0                               |         |
| 223,2   | 224,2                          | 374,0                      | 499,3  | 000   | 499   | 344,8                         | 172055                                |         |

**Die Thermometer und Pyrometer.** Dieser Satz gilt auch für andere Flüssigkeiten als Wasser. Für den Dampfkesselbetrieb bemerkenswert ist seine Anwendung auf Quecksilber. Quecksilber siedet unter normalem Luftdruck bei  $360^{\circ}$  Celsius, im luftleeren Raum schon eher. Höhere Temperaturen, etwa Heizgase von  $450^{\circ}$  Celsius, kann man daher mit einem gewöhnlichen Quecksilberthermometer nicht mehr messen. Auch werden in der Nähe des Siedepunktes die Angaben unsicher. Man hat daher für Temperaturen bis  $500^{\circ}$  Celsius Thermometer aus sehr schwer schmelzbarem Glase hergestellt, deren Röhre über dem Quecksilberfaden mit Stickstoff oder mit Kohlenensäure von etwa 20 Atmosphären Druck gefüllt ist. Infolge dieses Druckes steigt die Siedetemperatur des Quecksilbers so hoch, daß auch noch Temperaturen über  $360^{\circ}$  Celsius sicher gemessen werden können. Man darf jedoch derartige Thermometer, die man auch Pyrometer (Feuermesser) nennt, nicht zu lange diesen hohen Temperaturen aussetzen, da bei letzteren selbst schwer schmelzbares Quarzglas doch etwas aufweicht und infolge des Stickstoff- oder Kohlenäuredruckes ausgedehnt wird, so daß die Instrumente bei einer nicht sorgsamten Behandlung mit der Zeit immer unrichtigere Angaben liefern.

Für gewöhnliche Temperaturmessungen benutzt man das Celsius-, seltener das veraltete Reaumurthermometer, bei ersterem ist die Skala zwischen dem Gefrier-Nullpunkt und dem Siedepunkt des Wassers in 100, bei letzterem in 80 Grade eingeteilt.

**Verdampfungswärme des Wassers** nennt man die Wärmemenge, die man braucht, um siedendes Wasser in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln. Will man z. B. 1 Liter (= 1 Kilogramm) Wasser von  $100^{\circ}$  Celsius in Dampf von  $100^{\circ}$  verwandeln, so muß man diese Wassermenge 539,1 Wärmeeinheiten zuführen (Spalte 5 der Tabelle). Will man Dampf von 6 Atmosphären Dampf erzeugen, so siedet das Wasser erst bei  $164,2^{\circ}$  Celsius (obige Tabelle Spalte 3), und es sind zur Verdampfung des  $164^{\circ}$  warmen Wassers 493,8 Wärmeeinheiten nötig, d. h. die Verdampfungswärme des Wassers beträgt bei 6 Atmosphären Druck 493,8 Wärmeeinheiten.

**Die Gesamtwärme des Dampfes** setzt sich demnach aus der Flüssigkeitswärme und der Verdampfungswärme zusammen. Sie beträgt nach vorstehender Tabelle für 1 Kilogramm Dampf

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| von 0 Atm. Überdruck, d. h. wenn sein Druck gleich dem Luftdruck ist . . . . .               | 99,1 + 539,1 = 638,2 W. E.  |
| von 0,2 Atm. Überdruck, d. i. ungefähr der Druck des Auspuffdampfes bei Dampfmaschinen . . . | 104,3 + 536,5 = 640,8 W. E. |
| von 12 Atm. Überdruck . . . . .  | 193,4 + 474,1 = 667,5 W. E. |

Die Flüssigkeitswärme und Verdampfungswärme des Wassers hat man für die verschiedenen Dampfdrucke genau festgestellt. Man benutzt diese Werte, um bei Verdampfungsversuchen auszurechnen, wieviel Wärme aus der Kohle nutzbar gemacht worden ist, ferner wie groß der Nutzen von Speisewasservorwärmern und von Dampfüberhitzern ist usw. Tabelle Seite 75 zeigt diese Werte an.

Beispiel: Ein Dampfkessel hat bei einem Betriebsdruck von 12 Atmosphären Überdruck in einer Stunde 2500 Kilogramm Wasser von  $15^{\circ}$  Celsius verdampft, wobei 400 Kilogramm Steinkohle von je 6600 Wärmeeinheiten verbraucht worden sind.

Zur Umwandlung von 1 Kilogramm Wasser von  $15^{\circ}$  Celsius in Dampf von 12 Atmosphären sind erforderlich:

$$193,4 - 15 + 474,1 = 652,5 \text{ W. E.}$$

Zur Umwandlung von 2500 Kilogramm Wasser von  $15^{\circ}$  Celsius in Dampf von 12 Atmosphären sind erforderlich:

$$652,5 \cdot 2500 = 1\,631\,250 \text{ W. E.}$$

Wenn 1 Kilogramm Kohle 6600 W. E. enthält, so enthalten 400 Kilogramm Kohle

$$6600 \cdot 400 = 2640000 \text{ W. E.}$$

Es wurden demnach aus der Kohle nutzbar gemacht:

$$1631250 : 2640000 = 0,62 = 62 \text{ Prozent (abgerundet).}$$

Je höher der Dampfdruck ist, um so größer wird der Wärmehalt des Kessels bei gleichbleibenden Wasser- und Dampfmenge, wie aus Spalte 4 und 8 der Tabelle Seite 75 ersichtlich ist. Bei 5 Atmosphären sind im Kubikmeter Dampf 2044,20, bei 10 Atmosphären 3665,15, bei 20 Atmosphären 6833,99 Wärmeeinheiten vorhanden. Auch der Wärmegehalt des Wassers wächst mit zunehmendem Druck (Spalte 4). Der Dampf wird hierbei immer dichter und schwerer (Spalte 7). Bei 224 Atmosphären (223,2 abs.) ist in einem Kilogramm Wasser ebensoviel Wärme wie in 1 Kilogramm Dampf enthalten (499 W. E. Spalte 4 und 6), d. h. Wasser und Dampf befindet sich in derselben Zustandsform, man nennt daher diesen Druck auch den **kritischen Druck** des Wassers.

**Das Entstehen des Dampfdruckes.** Der Wasserdampf verhält sich wie ein Gas, d. h. er breitet sich in den Raum hinein aus und nimmt bei seiner Erzeugung im Dampfkessel dessen Form an. Wird er im Kessel eingeschlossen, also am Ausströmen verhindert, so wird er dichter und es äußert sich dies als Druck gegen die Kesselwände. Schon eine verhältnismäßig geringe Wärmezufuhr durch das Kesselfeuer über die normale Verdampfungstemperatur hinaus bewirkt ein starkes Anwachsen dieses Druckes, den man als Betriebsdruck oder Dampfspannung des Kessels bezeichnet. Zum Betriebe von Dampfmaschinen kann der Dampf nur verwendet werden, wenn er den äußeren Luftdruck überwiegt. Wird ein Dampfkessel nur so weit beheizt, daß Dampf- und Luftdruck einander gleich sind, so strömt der Dampf auch beim Öffnen der Ventile oder des oberen Mannlochdeckels nicht aus. Es ist daher der Dampfdruck im Kessel nur in dem Umfang wirksam, als er höher als der äußere Luftdruck ist. Man bewertet und mißt deshalb den Dampfdruck nach seinem sog. **Überdruck**, im Gegensatz zu seinem **absoluten Drucke**, das ist der Druck, den der Dampf ausüben würde, wenn man den äußeren Luftdruck etwa mit Hilfe einer Luftpumpe einmal hinwegnähme.

Den von der **Luft** ausgeübten **Druck** nennt man den Druck einer **Atmosphäre**. Atmosphäre heißt auf deutsch die Lufthülle der Erde. Ihr Druck beruht darauf, daß die Luft wie jeder andere feste, flüssige oder gasförmige Stoff ein gewisses Gewicht oder eine gewisse Schwere hat. Wie groß der Druck der Atmosphäre ist, erfährt man am besten aus folgendem Beispiel. Ein U-förmig gebogenes, an beiden Enden offenes Glasrohr (Abb. 66) sei etwa zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt. Da die Luft in beiden aufwärts stehenden Rohrschenkeln mit gleicher Schwere auf dem Quecksilber lastet, muß letzteres auch in beiden Rohrschenkeln gleich hoch stehen. Zieht man über das eine Glasrohrende den Gummischlauch einer Luftpumpe, und saugt man die über dem Quecksilber befindliche Luft mit der Luftpumpe ab, so wird das Quecksilber in dem anderen, offenen Rohrschenkel einseitig vom Gewicht der Luft belastet und in dem Rohrschenkel, der an die Luftpumpe angeschlossen ist, in die Höhe gedrückt. Im günstigsten Falle, das ist bei völliger Luftleere im

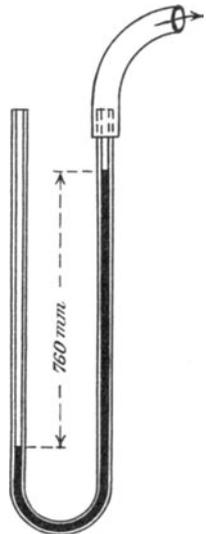


Abb. 66. Vorrichtung zum Messen des Luftdruckes mittels Quecksilbersäule.

Kohrschenkel b, beträgt der Höhenunterschied zwischen den Oberflächen des Quecksilbers in beiden Kohrschenkeln 760 Millimeter. Diesen Höhenunterschied nennt man den **normalen Luftdruck**. Füllt man das Glasrohr nicht mit Quecksilber, sondern mit Wasser, so wird das Wasser vom Luftdruck  $13\frac{1}{2}$  mal so hoch wie das Quecksilber gehoben, da letzteres  $13\frac{1}{2}$  mal so schwer wie das Wasser ist. Die Wasserfäule, die dem normalen Luftdruck das Gleichgewicht hält, würde dann  $13\frac{1}{2} \times 760 \text{ mm} = 10,3$  Meter betragen. Höher kann aber der Luftdruck das Wasser nicht heben und es bildet sich, wenn der an die Luftpumpe angeschlossene Kohrschenkel länger als 10,3 Meter ist, über der Wasserfäule ein luftleerer Raum oder (lateinisch:) ein Vakuum.

**Die Saughöhen** der Pumpen, der Injektoren usw. können daher theoretisch die Höhe von 10 Metern nicht übersteigen; praktisch dürfen sie jedoch, da der Luftdruck das Wasser bis in das Pumpengehäuse heben muß und eine vollständige Luftleere darin nicht erreichbar ist, höchstens 8 Meter betragen. Bedingung ist hierbei, daß die Temperatur des Wassers  $0^\circ$  beträgt. Ist das Wasser wärmer, so sammelt sich über dem Wasserspiegel im Saugrohr Wasserdunst an, der mit zunehmender Wassertemperatur immer dichter und schwerer wird und die erreichbare Saughöhe der Pumpe entsprechend verringert. Beträgt beispielsweise die Temperatur des Speisewassers, welches eine Pumpe aus einem Sammelbehälter in den Kessel speisen soll,  $59,7^\circ$ , so würde das Wasser, wie wir aus Tabelle Seite 75 Spalte 2 und 3 ersehen, siedeln, also in Dampfform übergehen, wenn die Luftverdünnung, die beim Hochziehen des Pumpentolbens im Saugrohr gebildet wird und das Nachziehen des Speisewassers bewirkt,  $\frac{8}{10}$  der völligen Luftleere (einem absoluten Druck von 0,2 Atmosphären entsprechend) beträgt. Theoretisch könnte in diesem Falle die Saughöhe der Pumpe 8 Meter betragen, da jedoch die praktisch erreichbare Saughöhe immer um etwa ein Drittel hinter der theoretischen zurückbleibt, wird sie höchstens  $5\frac{1}{3}$  Meter sein; aber auch diese wird noch zu einem öfteren Versagen der Pumpe führen. Heißes Wasser läßt man daher am besten der Pumpe zufließen, indem man letztere tief oder den Heißwasserbehälter hoch stellt, andernfalls entsteht beim Ingangsetzen der Pumpe in dem Saugrohr Dampf von niedriger Spannung (entsprechend der jeweiligen Wassertemperatur) und die Pumpe versagt.

**Die Atmosphäre als Maßeinheit im Dampfkesselbetriebe.** Der Luftdruck ist örtlich verschieden. Er ist um so größer, je höher die Luftkugel über der Erdoberfläche ist. Auf einer Bergspitze ist der Luftdruck niedriger als am Bergfuße, da die Luftkugel um die Bergeshöhe größer ist als dort. Die zum Messen des Luftdruckes benutzte Vorrichtung heißt Barometer. (Mäheres darüber siehe in den Erläuterungen im Buche „Die Maschinistenschule“.) Bei Dampfmaschinen und Dampfturbinen mißt man die Luftleere in den Kondensationsanlagen mit einer dem Röhrenbarometer (Abb. 66) ähnlichen Vorrichtung, bei welcher das obere Ende eines der Kohrschenkel mit dem Kondensationsraume für den Abdampf verbunden ist.

Angenommen, der lichte Querschnitt eines eben besprochenen U-förmigen Glasrohres sei gerade 1 Quadratcentimeter groß, so würde eine darin stehende Wasserfäule von 10,3 Meter Höhe, die nach dem vorher Gesagten dem atmosphärischen Luftdruck das Gleichgewicht hält, einen Rauminhalt haben = 1 Quadratcentimeter  $\times$  1030 Zentimeter = 1030 Kubikcentimeter = 1,03 Liter. Da nun 1 Liter Wasser 1 Kilogramm schwer ist, so würde der normale Luftdruck gleich dem Drucke von 1,03 Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter Fläche sein. Dieses genaue Maß des atmosphärischen Luftdruckes hat man der Bequemlichkeit halber für praktische Rechnungen abgerundet und man versteht allgemein unter einer Atmosphäre den Druck

von 1 Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter. Der Dampfkesselatmosphärendruck ist demnach eine Kleinigkeit niedriger als der mittlere atmosphärische Luftdruck, und zwar ist er gleich dem Drucke einer 735 Millimeter hohen Quecksilbersäule oder einer 10 Meter hohen Wassersäule. Wenn man also sagt, der Betriebsdruck eines Dampfkessels beträgt 7 Atmosphären Überdruck, so heißt das, auf jedem Quadratcentimeter der inneren Kesselfläche lastet ein Druck von  $7 + 1 = 8$  Kilogramm.

Der Heizer soll den Dampfdruck immer auf der zulässigen Höchstgrenze halten, weil mit gesteigertem Dampfdruck der Dampfverbrauch einer Dampfmaschine und der Kohlenverbrauch der Kesselanlage abnehmen.

**Gesättigter und überhitzter Dampf.** Solange Wasser und Dampf miteinander am Wasserspiegel in Berührung stehen, haben beide dieselbe Temperatur. Man nennt diesen Dampf gesättigten Wasserdampf oder Sattdampf. Derselbe findet sich in jedem Dampfkessel vor und hat die Eigenschaft, daß er keinen weiteren Wasserdampf aufnehmen kann und bei jeder Abkühlung, z. B. in den Rohrleitungen vom Dampfkessel nach der Dampfmaschine, sofort Wasser ausscheidet. Um diesen Dampfverlust, der sich namentlich bei langen Rohrleitungen bemerkbar macht, zu vermeiden, verwendet man überhitzten Dampf. Überhitzter Dampf entsteht aber erst, wenn man gesättigten Dampf dem Kessel entnimmt und für sich noch weiter überhitzt, was in den sog. Dampfüberhitzern geschieht. Der erhitzte Dampf besitzt also eine höhere Temperatur als gesättigter Dampf von gleicher Spannung. Er ist sehr rein, wasserfrei und je nach der Höhe der Überhitzung wesentlich leichter und dünner als gesättigter Dampf (Tabelle 75). Er hat den Vorteil, daß er in den Rohrleitungen nach der Dampfmaschine usw. keinen Wasser- und Druckverlust erleidet, auch wenn er sich etwas abkühlen sollte. Nur darf die Abkühlung nicht unter die Temperatur des gesättigten Dampfes gehen; denn dann hat er sich wieder in Sattdampf verwandelt und verhält sich wie dieser.

1 Kilogramm Dampf von 10 Atmosphären enthält bei Überhitzung auf

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 250°  | 300°  | 350°  | 400°  | 450°  |
| 702,7 | 733,7 | 754,2 | 779,6 | 805,1 |

und nimmt

|        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,2373 | 0,2630 | 0,2880 | 0,3126 | 0,3369 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

Raum ein.

desgl. 15 Atmosphären

|        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 250°   | 300°   | 350°   | 400°   | 450°   |
| 698,3  | 725,4  | 751,7  | 777,7  | 803,6  |
| 0,1552 | 0,1731 | 0,1903 | 0,2071 | 0,2235 |

desgl. 40 Atmosphären

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 250°    | 300°    | 350°    | 400°    | 450°    |
| 669,7   | 707,6   | 739,0   | 768,0   | 796,0   |
| 0,05107 | 0,06037 | 0,06809 | 0,07514 | 0,08184 |

desgl. 100 Atmosphären

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 350°  | 400°  | 450°  | 500°  | 550°  |
| 701,3 | 743,6 | 778,7 | 811,6 | 843,0 |
| 0,023 | 0,027 | 0,031 | 0,033 | 0,036 |

**Die Dampfüberhitzer** werden etwa in die Mitte der Essenzüge eingebaut, wo sie sehr heißen Heizgasen mit einer Temperatur von etwa 500 bis 700° Celsius ausgesetzt sind, also bei Flammrohrkesseln dicht hinter die Flammrohre. Auf diese Weise erreicht man eine sichere Überhitzung des Dampfes.

Die Überhitzer bestehen aus einer Anzahl nebeneinander liegender, schmiedeeiserner, nahtlos gewalzter Rohre von 30 bis 45 Millimeter äußerem Durchmesser und 3 bis 4 Millimeter Wandstärke (Abb. 67). Die Rohre sind schlangenförmig gebogen und an den freien Enden mit querliegenden Dampfammern oder Sammelrohren durch Verschraubung oder Schweißung verbunden. Die beiden Dampfammern oder Sammelrohre liegen außerhalb der Kesselzüge und bilden die Rohranschlüsse für die Rohrleitungen nach dem Kessel und nach der Dampfmaschine. Durch die vielen engen Rohrschlangen wird der Kesseldampf in viele schwache Strahlen zerteilt und infolgedessen schnell erhitzt. Waagerecht liegende Überhitzer (siehe Abb. 91) lassen sich leichter als senkrecht stehende entwässern, doch werden auch letztere angewendet. **Dampfüberhitzer mit direkter Feuerung** werden selten aufgestellt. Man bringt sie bei langen Dampfrohrleitungen in einem kleinen Anbau nahe dem Dampfmaschinenhause an. Ihre Bedienung erfordert viel Auf-

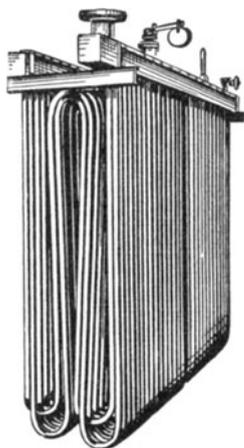


Abb. 67. Überhitzer von Sering & Co., Nürnberg, mit senkrechten Rohrschlangen.

merksamkeit, wenn die Temperatur des überhitzten Dampfes nicht allzu sehr schwanken soll und öftere Reparaturen infolge Ausglühens der Überhitzerrohre vermieden werden sollen. Sie brauchen nur ein geringes Feuer und können, trotzdem sie den Brennstoff schlecht ausnutzen, zu Ersparnissen beim Kohlenverbrauch im Dampfkesselfeuer und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Kesselanlage viel beitragen.

Zur Beobachtung des erhitzten Dampfes werden am Überhitzer und an der Dampfmaschine Thermometer angebracht. Außerdem rüstet man die Überhitzer mit Manometer, Sicherheitsventil und Ablaßventil aus. Das Sicherheitsventil wird häufig für einen Druck eingestellt, der eine oder mehrere Atmosphären höher als der höchste Kesseldruck ist.

Die Thermometer erhalten mitunter einen elektrischen Kontakt für ein Läutewerk, welches durch ein Glockenzeichen anzeigt, daß die Überhitzung das höchste zulässige Maß erreicht hat. Zum Schutze gegen äußere Beschädigungen werden die Thermometer mit metallenen Schutzhüllen versehen. Ihr Tauchrohr ist von einer eisernen Hülse umgeben, welche im Dampfstrom liegt und gut abgedichtet

in die Wand des Dampfrohres eingeschraubt ist. Der Zwischenraum zwischen Thermometertauchrohr und Eisenhülse wird der besseren Wärmeübertragung halber mit Quecksilber ausgefüllt. Die Eisenhülse bleibt ständig in der Rohrleitung für den überhitzten Dampf. Man kann daher jederzeit das Thermometer herausnehmen. Will man das Thermometer auf richtigen Gang prüfen, was von Zeit zu Zeit nötig ist, so schaltet man für kurze Zeit den Überhitzer aus und setzt das Thermometer einem Sattdampfstrom aus. Es muß dann die dem jeweiligen Dampfdruck entsprechende aus Tabelle Seite 75 ersichtliche Temperatur anzeigen.

**Die Bedienung des Überhitzers** hat sich auf folgende Gesichtspunkte zu erstrecken:

1. Die Überhitzerschlangen dürfen beim Anheizen und während des Betriebes nicht glühend werden, da sie sonst verbrennen oder ausbeulen und aufplatzen.
2. Der Überhitzer ist vor dem Anlassen der Dampfmaschine gut zu entwässern, damit die Dampfmaschine nicht durch Wasserschläge beschädigt wird.
3. Der Überhitzer ist öfter von Ruß und Flugasche zu reinigen.
4. Die Temperatur der erhitzten Dampfes muß möglichst gleichmäßig bleiben.

1. Die Dampfüberhitzer sind (bei etwa 75 Prozent aller Kessel) so eingebaut, daß sie völlig oder teilweise von den Heizgasen abgesperrt werden können. Zur Absperrung bringt man vor der Überhitzerkammer Schieber oder Drehklappen an, meistens aus Schamotte, seltener aus Gußeisen, die der Heizer von außen mehr oder weniger öffnen oder auch völlig schließen kann.

Die Rauchkammer mit dem Überhitzer ist während des Anheizens des Kessels durch Verstellen der Schamotteschieber von den Heizgasen abzuschließen und darf erst geöffnet werden, wenn dem Kessel Dampf entnommen wird.

Dauert das Anheizen nur kurze Zeit, wie dies bei den Dampfkesseln zutrifft, die nur nachts nicht befeuert werden, so sperren die Heizer den Überhitzer häufig von den Heizgasen nicht ab. In diesem Falle genügt der darin stehende Dampf, um die Überhitzerschlangen kühl zu halten und vor einer Beschädigung durch die Heizgase zu bewahren. Dasselbe gilt auch für kurze Betriebsunterbrechungen, die Vor- und Nachmittags- und die Mittagspause. Es ist in diesen Fällen Sache des Heizers, darauf zu achten, ob er hierbei nicht etwa die Überhitzerrohre überhitzt und beschädigt. Einzelne Kesselfirmen verlangen jedoch auch unter solchen Verhältnissen, namentlich früh vor dem täglichen Anheizen des Kessels, die Abstellung der Heizgase von den Rauchkammern des Überhitzers mittels der vorhandenen Absperrschieber oder Drehklappen.

Bei manchen Kesselsystemen (Wasserrohrkessel, Steitrohrkessel) liegt der Überhitzer in einem sehr heißen Gasstrom, so daß etwaige Absperrschieber einer sehr starken Abnutzung unterworfen sein würden. Da sie sich aber schwierig ausbessern lassen, weil sie an einer wenig zugänglichen Stelle liegen, läßt man sie ganz weg. In diesem Falle muß der Überhitzer bei längere Zeit andauerndem Anheizen vorher mit Wasser gefüllt werden. Man verbindet ihn zu diesem Zwecke durch eine Rohrleitung von etwa 25 bis 30 Millimeter lichtigem Durchmesser mit dem Wasserraum des Kessels. Durch einfaches Öffnen eines Ventils in dieser Rohrleitung läßt der Heizer den Überhitzer voll Wasser laufen. Diese Einrichtung ist namentlich an den Wasserrohrkesseln (Abb. 55) gebräuchlich. Sie vergrößert auch die Heizfläche des Kessels um etwa ein Drittel, so daß sich der Kessel schneller anheizen läßt. Das Verbindungsrohr des Überhitzers mit dem Dampftraum des Kessels muß während des Anheizens offen bleiben, damit der im Überhitzer entstehende Dampf nach dem Kessel übertreten kann. Soll der Betrieb beginnen, so schließt der Heizer zunächst die Verbindung des Überhitzers mit dem Wasserraum des Kessels wieder ab und bläst hierauf den Überhitzer durch den daran befindlichen Abblashahn sorgfältig aus. Erst dann darf das Absperrventil am Überhitzer geöffnet und der Dampf nach der Dampfmaschine fortgeleitet werden. Das Füllen des Überhitzers mit Wasser während des Anheizens hat den Nachteil, daß sich an seinen Innenwänden Kesselstein ansetzt, der nicht entfernbar ist und die Wirkung des Überhitzers beeinträchtigt; Vorauszehung ist demnach für derartige Überhitzeranlagen, daß das Kesselwasser gut enthärtet ist oder daß der Überhitzer nicht zu oft mit Wasser gefüllt wird. Das Anfüllen wird meist nur nötig sein, wenn der Kessel kalt geworden ist; nach den gewöhnlichen Betriebspausen über Nacht füllt man den Überhitzer nicht auf.

2. Auf die **Entwässerung des Überhitzers** hat der Heizer den größten Wert zu legen, will er die Dampfmaschine nicht durch Wasserschläge gefährden und zerschüttern lassen, wie dies schon oft vorgekommen ist. Bevor er das Dampfventil zwischen Überhitzer und Dampfmaschine öffnet, also bevor letztere Dampf erhält, muß er unbedingt und stets das Entwässerungsventil am Überhitzer öffnen und das darin etwa angesammelte Wasser ausströmen lassen. Erst hierauf darf er das Dampfventil nach der Dampfmaschine langsam öffnen

3. Die Überhitzer sind wöchentlich zwei- oder dreimal von dem anhaftenden Ruß mittels eines Dampfrohres **auszublasen**, da, wie bereits früher erwähnt, die Rußschicht den Durchgang der Wärme und die Dampfüberhitzung aufhält. Das Überhitzergemäuer erhält zu diesem Zwecke eine Anzahl Öffnungen, die mit drehbaren Klappen zugedeckt sind. Das Rohr zum Ausblasen, mit dem man durch die Öffnungen nach den Überhitzerrohren hindurchfährt, muß handlich sein und hat einen lichten Durchmesser von etwa 10 Millimeter.

Wie oft der Heizer den Überhitzer von Ruß reinigen muß, hängt viel von der Kohle ab. Sind die Rußablagerungen groß, so bemerkt der Heizer am Fallen der Überhitzung und an der Verschlechterung des Essenzuges, daß ein öfteres Reinigen des Überhitzers nötig ist.

**Die Temperaturregelung des überhitzten Dampfes.** Neuzeitliche Dampfanlagen arbeiten am wirtschaftlichsten mit der Dampftemperatur, für die sie mit Rücksicht auf Baustoff und Wärmespannungen gebaut sind. Die Dampftemperatur soll daher immer gleich bleiben und nicht bei geringer Belastung absinken und bei Spitzenlast einen zu hohen Grad erreichen. Die Überhitzer werden deshalb so bemessen, daß bereits bei Schwachlast die günstigste Temperatur erreicht wird und bei stärkerer Belastung die Dampftemperatur auf das festgesetzte Maß herunterzuregulieren ist. Durch zu hohe Temperatur wird auch das Schmieröl im Dampfmaschinenzylinder zerlegt und eine Beschädigung der Lauffläche des Zylinders und der Kolben verursacht. Eine gute Temperaturregelung ist daher sehr wichtig und erfordert die Beobachtung der Thermometer am Überhitzer und an der Dampfmaschine bzw. an der Dampfturbine. Sie erfolgt entweder

a) durch Verstellen der Drehklappen oder der Absperrschieber der Überhitzerkammer,

b) durch Mischen des Heißdampfes mit Sattdampf aus dem Kessel,

c) durch Abkühlung des überhitzten Dampfes in geschlossenen Rohrleitungen im Wasser- oder Dampfraum des Kessels oder in einem Speisewasserbehälter,

d) durch Einspritzen von heißem, fein zerstäubtem Wasser in den Heißdampf (Heißdampfkühler).

a) **Die Regelung der Überhitzung mittels der Drehklappen oder der Absperrschieber der Überhitzerkammer.** Läßt man sämtliche Heizgase durch die Überhitzerkammer strömen, so wird die Überhitzung am größten, sie wird geringer, wenn nur ein Teil der Heizgase mit dem Überhitzer in Berührung kommt. Durch Verstellen der Drehklappen und Absperrschieber an der Überhitzerkammer ist daher eine Regelung der Dampfüberhitzung möglich. Außen am Kesselmauerwerk angebrachte Hebel mit Arretiervorrichtung zeigen dem Heizer die jeweilige Stellung der Drehklappen und Absperrschieber an. Die Ausschaltklappen sind in der Handhabung vielleicht etwas schwerfällig, haben aber den Vorteil, daß durch ihren Gebrauch der Überhitzer sehr geschont werden kann. Da sie dem Abbrand unterworfen sind, werden sie bei Überhitzern, die an sehr heißen Stellen eingebaut sind, nicht angewendet.

b) **Die Regelung der Überhitzungstemperatur durch Mischen des überhitzten Dampfes mit Sattdampf** ist bei allen Überhitzern möglich und erfolgt dadurch, daß man dem aus dem Überhitzer austretenden, zu hoch erhitzten Dampf Sattdampf unmittelbar aus dem Kessel zusetzt. Man erhält dann gemischten Dampf, dessen Temperatur zwischen den Temperaturen der beiden Dampfstrahlen vor der Mischung liegt, und der im Grunde genommen auch weiter nichts ist, als einfach überhitzter Dampf. Das Mischen selbst geschieht auf einfachste Weise durch Aufdrehen der Dampfabsperrentile. Je nachdem man mehr oder weniger gesättigten Dampf zu dem überhitzten Dampf hinzutreten läßt, kann man die

Temperatur des Mischdampfes regulieren. Diese Regulierung ist demnach verhältnismäßig sehr einfach. Das Mischen des Dampfes hat aber den großen Nachteil, daß gerade dann, wenn der Überhitzer überanstrengt ist, durch die Verringerung der Dampfentnahme aus demselben noch höhere Wandtemperaturen entstehen. Wenn daher auch sonst gegen das Mischen keine Bedenken entstehen, so darf es bei überanstrengten Überhitzern zur Vermeidung von Beschädigungen des Überhitzers doch nur als Aus Hilfsmittel Anwendung finden (Abb. 72 Seite 89).

c) **Die Regelung der Überhitzung durch Abkühlung des überhitzten Dampfes.**

Der patentierte Heißdampfregler der Deutschen Babco & Wilcox-Werke (Abb. 68) besteht aus einem in den Wasser- und Dampfraum eingebauten Kühler, der aus schmiedeeisernen Rippenrohren zusammengesetzt und an den Dampfüberhitzer und das Dampfrohr nach der Dampfmaschine angeschlossen ist. An seiner Anschlußstelle an den Dampfüberhitzer ist ein Regelventil eingebaut, in welchem der überhitzte Dampf aus dem Überhitzer in zwei Teilströme zerlegt wird, von denen der eine durch den Kühler

strömt. Der in dem Kühler abgekühlte Dampf, der aber immer noch bis zu einem gewissen Grade überhitzt ist, trifft nach seinem Austritt aus dem Kessel wieder mit dem anderen Teilströme des überhitzten Dampfes zusammen und kühlt diesen bei der Vereinigung entsprechend seiner Temperatur ab. Je nachdem der Heizer mittels des Regelventils mehr oder weniger Dampf durch den Kühler hindurchströmen läßt, erzielt er eine niedrigere oder höhere Temperatur des Arbeitsdampfes. Die Einstellung des Regelventils ist außerordentlich einfach, unmittelbar neben demselben befindet sich das Kontrollthermometer. Bei der Kesselreinigung muß der Heizer darauf achten, daß auch der Kühler von etwa anhaftendem Kesselstein und Schlamm gereinigt wird und daß er insbesondere nicht angegriffen ist; schreiten etwaige Anrostungen des Kühlers fort und wird er durchlässig, so besteht die Gefahr, daß in den Kühler Kesselwasser eindringt, was zur Vermeidung von Wasserschlägen in der Rohrleitung nach der Dampfmaschine sehr unerwünscht ist.

Der **Heißdampfkühler** Bayer der Firma L. & C. Steinmüller enthält ein herausnehmbares, aus vielen Stahlkugeln bestehendes Filter, die durch das aus einer oder mehreren Düsen eingespritzte Wasser ständig befeuchtet werden und infolge ihrer großen Oberfläche die völlige Verdampfung und Vermischung desselben mit dem Heißdampfstrom erzielen. Als Einspritzwasser wird Kondensat oder enthärtetes und gefiltertes Wasser von etwa 2 Atmosphären Druck verwendet. Seine Menge wird nach der Dampftemperatur hinter dem Kühler entweder von Hand an einem Nadelventil oder mit einer selbsttätigen Regelvorrichtung geregelt (Abb. 69).

Die Heißdampfkühler sind zur Erzeugung von Satttdampf oder von Dampf mit bestimmter Temperatur für Koch- und Heizzwecke sowie für Fabrikationsvorgänge, die nur bei einer bestimmten Temperatur ausführbar sind (chemische Fabriken), viel in Benutzung, und zwar in manchen Betrieben in mehreren Stücken.

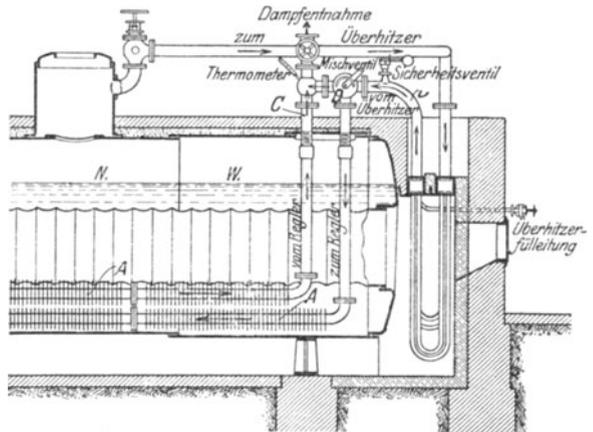


Abb. 68. Heißdampfregler der Deutschen Babco & Wilcox-Werke A. Ges. in Oberhausen, Rhld.

**Die Anwendbarkeit der Dampfüberhitzung.** Durch den überhitzten Dampf wird fast jede unerwünschte Kondensation in der Dampfleitung und im Dampfmaschinenzylinder vermieden, so daß der Dampfverbrauch wesentlich heruntergedrückt wird. Es ist daher auch bei älteren, nicht als Heißdampfmaschinen gebauten Dampfmaschinen und zumal bei langen Rohrleitungen immer empfehlenswert, den Dampf mäßig, bis auf etwa 230° Celsius, zu erhitzen, da auch hierdurch die gefürchteten, bei Naßdampf leicht auftretenden Wasserschläge vermieden werden. Bei hohen Überhitzungstemperaturen müssen die Dampfmaschinen besonders konstruiert sein. Anfänglich stieß die Einführung des überhitzten Dampfes vielfach auf Widerstand. Man befürchtete eine rasche Abnutzung der Dampfmaschinen, weil der trockene und hoch überhitzte Dampf die Schmiermittel zersetzen würde. Diese

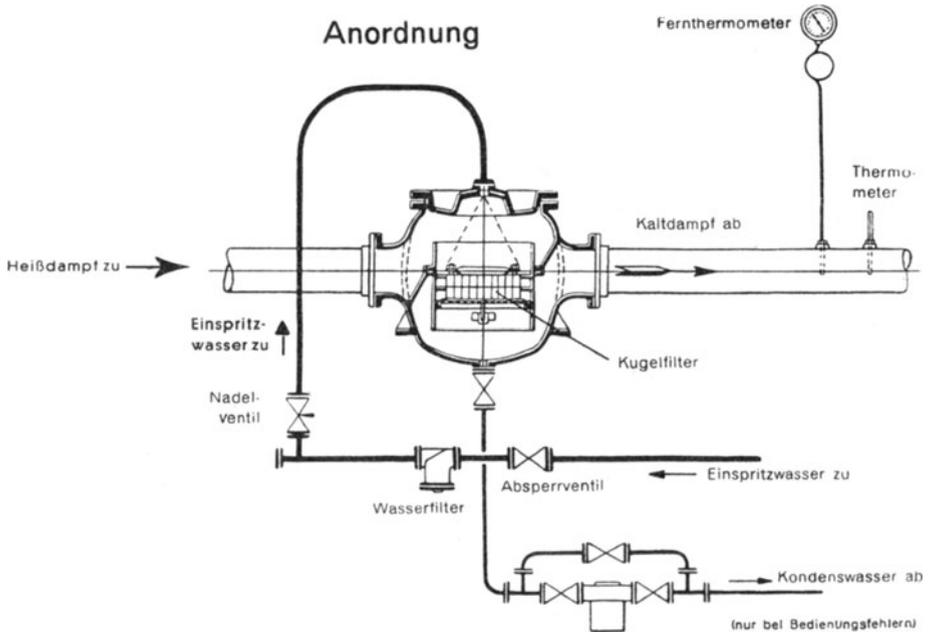


Abb. 69. Schema des Heißdampf Kühlers Bayer von der Firma Steinmüller, Gummersbach.

Befürchtungen waren zwar nicht ganz unzutreffend, man hat jedoch geeignete Schmiermittel für hohe Temperaturen ausfindig gemacht und auch das Eisen für die Dampfzylinder und Kolben entsprechend verbessert. Gegenwärtig wird die Dampfüberhitzung für fast alle Dampfmaschinen über etwa 40 bis 50 PS angewendet sowie bei allen Dampfturbinen. Für Heiz- und Kochzwecke ist die Dampfüberhitzung wenig gebräuchlich.

**Verstopfungen der Überhitzerrohre bei unreinem Dampf.** Gelangt der Dampf sehr naß in den Überhitzer, so bilden sich, falls nicht reines Speisewasser verwendet wird, in den Überhitzerrohren im Laufe der Zeit Ablagerungen, die die Überhitzung wesentlich beeinträchtigen und mitunter die Überhitzerrohre fest verstopfen, so daß sie aufplatzen. In solchen Fällen empfiehlt es sich, den Dampfraum des Kessels durch einen Aufbau (Dampfdom, Dampfsammler) zu vergrößern, in welchem der Dampf vor dem Eintritt in den Überhitzer das mitgerissene Wasser ausscheidet. Mitunter werden die Dampf unreinigkeiten auch vom überhitzten Dampf in Form von feinem Staub mit fortgerissen und haben dann einen

erheblichen Ölverbrauch und eine schnelle Abnutzung der Dampfmaschine oder Staub- und Schlammablagerungen auf den Schaufeln und hohen Dampfverbrauch der Dampfturbinen zur Folge.

**Die Wärmespeicher** beruhen darauf, daß in Betrieben mit stark schwankendem Dampfverbrauch, z. B. in Elektrizitätswerken, chemischen Fabriken, Färbereien usw.) der überschüssige Dampf, der zuzeiten geringen Dampfverbrauches zur Verfügung steht, in einen großen Wasserbehälter, der unter demselben Druck wie der Kessel steht, geleitet wird, um bei starkem Dampfverbrauche wieder Betriebszwecken zugeführt zu werden. Man könnte diese Speicherung, bei welcher die überschüssige Wärme außerhalb des Kessels angesammelt wird, als indirekte Speicherung bezeichnen, im Gegensatz zur direkten, die an sich längst bekannt ist und bei Flammrohrkesseln und sonstigen Großwasserraumkesseln allgemein angewendet wird, indem man vor den Betriebspausen den Wasserstand im Kessel sinken läßt und während der Pausen wieder aufspeist und bei schwankendem Dampfverbrauch genau so verfährt. Die Wärmespeicher bewirken demnach eine Entlastung der Kesselanlage bei zeitweiligen Überlastungen, der Dampfdruck bleibt gleichmäßig und es erübrigt sich das Anfeuern von Dampfkesseln zur Leistung von Spitzenbelastungen.

Sie sind in Deutschland in den Jahren 1926 bis 1930 verhältnismäßig häufig eingeführt worden, doch haben sich die Verhältnisse seitdem zu ihren Ungunsten geändert. Für Dampfdrücke über 15 bis 20 Atmosphären kommen sie wegen der großen erforderlichen Blechdicken für sehr hohe Drücke wohl kaum in Frage; außerdem vermögen die modernen Hochleistungskessel mit den Zonenwanderrosten Belastungsschwankungen innerhalb sehr weiter Grenzen fast augenblicklich zu folgen, so daß es in derartigen Anlagen keiner Wärmespeicher bedarf. Ihre Anwendbarkeit ist von Fall zu Fall zu entscheiden.

**Der Ruths-Speicher** ist ein Dampfspeicher; Abmessungen eines solchen sind beispielsweise: Durchmesser 4,5 Meter, Länge 20 Meter. Bei Eintritt einer geringen Belastung der Kesselanlage muß er etwa zu 85 Prozent mit Wasser gefüllt sein und dringt der überschüssige Kesseldampf durch ein über die ganze Länge des Speichers sich erstreckendes Dampfrohr mit einer großen Anzahl Düsen in das Wasser ein, kondensiert hierbei und erwärmt dasselbe auf die Siedetemperatur im Kessel, bei 15 Atmosphären Betriebsdruck also auf 200,5° Celsius. Die Überleitung des Dampfes aus dem Kessel nach dem Speicher erfolgt durch ein automatisch arbeitendes Dampfventil, das durch den Überdruck, der bei geringer Belastung der Kessel entsteht, geöffnet wird. Bei starker Belastung der Kessel sinkt im letzteren der Dampfdruck, das Überleitungsventil wird infolgedessen automatisch geschlossen und der Wärmespeicher durch ein anderes Dampfventil geöffnet, so daß die in seinem Wasser enthaltene Wärme in Form von Dampf nach einer Verbrauchsstelle abgeführt wird. Dieser Dampf kann zu Heizzwecken oder auch als Betriebsdampf in den Niederdruckteilen einer Dampfturbine ausgenutzt werden. Bei der Dampfenahme sinkt der Dampfdruck im Wärmespeicher beträchtlich, beispielsweise von 15 auf 0,5 Atmosphären, auch nimmt der Wasserinhalt stetig ab, so daß der Wärmespeicher vor Beginn einer neuen Ladung zunächst wieder mit Wasser aufgefüllt werden muß. Der Wärmespeicher ist daher u. a. mit einem Wasserstandsgläse und einer Wasserspeisepumpe ausgerüstet. Die Dampf Düsen müssen so eingerichtet sein, daß der Wärmespeicher gleichmäßig durchwärmt wird und keine durch Temperaturunterschiede des Wassers bedingten Spannungen in den Nietnähten auftreten. Wegen des Druckabfalles nennt man diese Speicher auch Gefällespeicher.

**Der Kieselbacher Wärmespeicher** ist ein Speiseraumspeicher. Die Kesselspeisepumpe speist das Wasser in den Kessel, aus dem es durch eine Überlaufleitung

von einer Umlaufpumpe in den Wasserspeicher gedrückt wird und von diesem ständig in den Kessel zurückströmt. Das Wasser des Wärmespeichers hat demnach dieselbe Temperatur wie das Kesselwasser. Steigt die Belastung des Kessels, so wird die Speisepumpe abgestellt oder auf eine geringe Leistung eingestellt; die Speisung des Kessels erfolgt dann durch die Umlaufpumpe aus dem Wärmespeicher, wobei dessen Wasserinhalt abnimmt und daher von der Feuerung keine Wärme zur Erhitzung des Speisewassers auf die Siedetemperatur verbraucht wird. Der Wärmespeicher bildet demnach in diesem Falle einen vergrößerten Speiseraum des Kessels oder einen Vorratsbehälter für hocherhitztes Speisewasser. Nimmt die Belastung des Dampfkessels ab, so wird die Speisepumpe wieder voll angestellt und hierbei infolge der Zunahme der Speisewassermenge im Kessel auch der Wärmespeicher mittels der Umlaufpumpe wieder aufgefüllt. Wärmespeicher und Kessel sind durch ein Dampfrohr miteinander verbunden, es ist somit im Wärmespeicher immer der Kesseldruck vorhanden, weshalb man diese Speicher auch Gleichdruckspeicher nennt.

Unter gewissen Verhältnissen werden beide Speichersysteme verwendet, wobei der Gefällespeicher die kurz andauernde Spitzenlast, der Gleichdruckspeicher die hier nach einsetzende, längere Zeit bestehende Höchstlast zu decken hat.

## 11. Die gebräuchlichsten Kesselbauarten.

Die Größe der Dampfkessel wird nach der Größe ihrer Heizfläche in Quadratmetern, ihre Leistung nach der stündlich je Quadratmeter Heizfläche verdampften Wassermenge, bezogen auf die Anfangstemperatur von 0° und den Druck von 1 Atmosphäre absolut (638,2 Wärmeeinheiten je Kilogramm, Spalte 6 der Tabelle Seite 75), angegeben. (Heizfläche siehe Seite 16.)

Die **allgemeinen Anforderungen** richten sich nach den jeweiligen Platz- und Betriebsverhältnissen.

1. Der Dampfkessel soll eine große Dampfleistung bei möglichst kleiner Bodenfläche entwickeln.

2. Die Dampfspannung soll sich auch bei Belastungsschwankungen leicht auf gleichmäßiger Höhe halten lassen. Dies ist erreichbar durch Großwasserraumkessel oder durch Wasserrohrkessel mit elastischer Feuerung. Der große Wasserinhalt der Großwasserraumkessel wirkt bei plötzlich erhöhtem Dampfverbrauch als Regler für die Dampferzeugung und verhindert schnelles Fallen des Dampfdruckes. Hat ein Dampfkessel 20 Kubikmeter Wasser- und 6 Kubikmeter Dampfinhalt, so sind nach der Tabelle Seite 75 bei einem Betriebsdruck von 10 Atmosphären im Wasserraum  $20000 \times 185,4 = 3708000$ , im Dampfraum aber nur  $6 \times 3665,15 = 21990$  Wärmeeinheiten vorhanden und es könnte bei plötzlich gesteigerter Dampfentnahme der Wasserinhalt viel Wärme abgeben, bevor eine größere Druckabnahme stattfindet. Bei diesen Kesseln läßt sich der Dampfdruck, wenn er einmal heruntergearbeitet ist, schwieriger wieder hochbringen; auch erfordert das Anheizen längere Zeit. Derartige Betriebsbedingungen erfüllen Kessel mit kleinem Wasserinhalt besser. Für große Kesselanlagen mit hohen Drücken kommen nur Wasserrohrkessel in Betracht, die bei Anwendung von Hochleistungsrosten allen Belastungsschwankungen gut folgen können.

3. Der Kessel soll trocknen Dampf liefern, zu diesem Zwecke dürfen Dampfraum und Wasserpiegel nicht zu klein sein. Der Dampfraum dient nicht zur Ansammlung eines Dampfes, sondern zur Auscheidung des vom Dampf mitgerissenen Wassers. Er wird daher durch den Dampfdom oder Dampfsammler vergrößert, an denen auch die Absperr- und Sicherheitsventile angebracht werden.

Häufig wird zur Entwässerung des Dampfes im obersten Teile des Kessels ein geschligtes oder gelöchertes waagerechtes Dampfentnahmerohr eingebaut.

4. Der Speiseraum des Kessels, das ist der abwechselnd mit Dampf und mit Wasser gefüllte Raum zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand im Kessel, soll einen genügenden Spielraum bieten, so daß während des verstärkten Dampfverbrauches die Speisung ruhen und bis zu den Betriebspausen damit gewartet werden kann. Ist er zu klein, muß also der Kessel auch bei verstärkter Dampfentnahme gespeist werden, so ist es für den Heizer schwer, die Dampfspannung auf einer genügenden Höhe zu erhalten, da das Speisen des Kessels schon an sich ein Fallen der Dampfspannung bewirkt.

5. Ferner verlangt man von einem Kessel leichte Zugänglichkeit seiner inneren Wandungen, damit der Kesselstein leicht entfernt werden kann. Gewisse Kesselarten, Heizrohrkessel, engrohrige Siederrohrkessel, bei denen diese Zugänglichkeit nicht vorhanden ist, dürfen daher nur mit gereinigtem Wasser gespeist werden. Andernfalls sind zeitraubende und kostspielige Kesselreparaturen, wie Herausnehmen der Heiz-

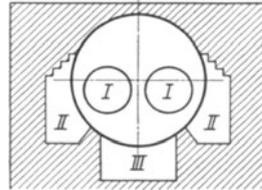
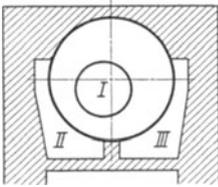


Abb. 70. Seitrohrflammrohrkessel. Abb. 71. Schnitt durch den Zweiflammrohrkessel.

und Siederohre, oder ein beträchtlicher Kohlenmehrverbrauch infolge der anhaftenden Kesselsteinkruste unvermeidlich.

6. Die Temperatur des überhitzten Dampfes soll innerhalb eines großen Belastungsbereiches möglichst gleich bleiben. Der Überhitzer ist hiernach entsprechend anzuordnen oder mit Regelinrichtungen auszurüsten.

**Großwasserraumkessel** sind: die Walzen-, Flammrohr- und Heizrohrkessel und die aus Flammrohr- und Heizrohrkessel zusammengesetzten Kessel. Die einfachen Walzenkessel sowie die aus mehreren zylindrischen Kesseln von etwa 700 Millimeter Durchmesser gebauten Batterieessel (auch mehrfache Walzenkessel genannt) werden nicht mehr bzw. nur noch selten angewendet, da sie von anderen Kesselbauarten, insbesondere dem Flammrohr- und dem Rauchrohrkessel, überholt worden sind.

**Der Flammrohrkessel** ist der gebräuchlichste aller Dampfkessel. Er besteht aus einem äußeren Walzenkessel mit zwei Kesselböden, durch welche zwei weite Rohre — die Flammrohre — hindurchgehen. Die Flammrohre dienen zur Aufnahme der Feuerung und werden von den Heizgasen durchströmt. Je nach der Zahl dieser Flammrohre unterscheidet man Ein-, Zwei- und Dreiflammrohrkessel. Bei dem Einflammrohrkessel (Abb. 70) wird das Flammrohr in der Regel seitwärts eingebaut; man nennt daher einen derartigen Kessel auch Seitrohrkessel. Die seitliche Lage des Flammrohres erleichtert das Befahren des Kessels und hat weiter den Vorteil, daß das Wasser an der engen Stelle schneller als an der weiten Stelle erwärmt und ein guter Wasserumlauf im Kessel erreicht wird. Im Innern des Kessels sollte auf dem Kesselmantel niemals eine Lauffchiene aus Winkleisen entlang der weiten Seite fehlen, da sie die Befahrung des Kessels wesentlich erleichtert. Auch bei den Zwei- und Dreiflammrohrkesseln müssen die Flammrohre so eingebaut werden, daß der Kessel leicht befahren und gereinigt werden kann. Beträgt der lichte Abstand der Flammrohre weniger als 250 Millimeter (in den

meisten Fällen ist er erheblich kleiner), so muß die vordere Stirnwand unterhalb der Flammrohre noch ein Mannloch erhalten, oder man macht die letzten Flammrohrschüsse konisch und enger als die übrigen, so daß wenigstens an dieser Stelle der zum Befahren des unteren Kesselteiles nötige Abstand vorhanden ist.

Der Flammrohrkessel wird meist waagrecht verlegt, doch geben ihm auch einige Kesselfabrikanten eine Neigung nach der vorn angebrachten Ablassvorrichtung, damit er sich beim Ablassen vollständig entleert. Der Kessel wird auf gußeiserne Böcke im untersten Zuge gelagert. Die Tragböcke sind möglichst dicht neben den Rundnähten und unter den weiten Flammrohrschüssen aufzustellen. Wird letzteres nicht beachtet, so hat der Kessel durch sein Eigengewicht das Bestreben, die Nietverbindungen neben dem Lagerbock auseinander zu drücken, und letztere können infolgedessen undicht werden.

Flammrohrkessel sollte man nur mit Planrostinnenfeuerung, nötigenfalls auch mit einer Vorfeuerung, nicht aber mit einer Unterfeuerung versehen, so daß die Flammrohre stets den ersten Zug bilden. Bei der gebräuchlichsten Anordnung werden dann die hinten aus den Flammrohren strömenden Heizgase in zwei Seitenzügen nach vorn und durch den Zug unter dem Kessel — dem Unterzuge — nach dem Essenfuchs geführt. Bei einer anderen Einmauerungsart strömen die Heizgase aus den Flammrohren zunächst in den Unterzug und von diesem erst in die Seitenzüge. Diese Zuanordnung wird vielfach als die zweckmäßigere empfohlen, da sie durch die erhöhte Erwärmung der im Unterzuge gelegenen Kesselwände ungleichmäßige Spannungen in den Kesselblechen verhüte und den Wasserrumlauf im Kessel fördere; sie hat sich aber nicht wesentlich eingeführt, weil die erstbesprochene Einmauerung zur Erzielung einer günstigen Verdampfung und eines guten Wasserrumlaufes vollauf genügt.

Bei den Seitrohrkesseln ordnet man nur zwei Seitenzüge an und läßt den Unterzug fort, da letzterer infolge des kleinen Kesseldurchmessers sehr schmal ausfallen müßte.

Die Einmauerung mit einem Oberzuge, das ist ein Zug oben, über dem Dampf- raume des Kessels hinweg, hat keine große Verbreitung gefunden, da das Mauerwerk hierdurch erheblich verteuert und der Nutzen des Oberzuges durch die unvermeidliche Ablagerung von Flugasche auf dem Kesselbleche sehr beeinträchtigt wird. Der Oberzug soll in erster Linie zur Trocknung des Dampfes dienen, ohne jedoch diesen Zweck in genügender Weise zu erreichen. Für Dampfmaschinen, bei deren Betriebe man die Nachteile des nassen und gesättigten Dampfes vermeiden will, benutzt man daher ausschließlich Dampfüberhitzer, die die Oberzugkessel fast völlig verdrängt haben. In den Oberzug eingebaute Speisewasservorwärmer von etwa 600 bis 700 Lichtem Durchmesser und annähernder Kessellänge sind mit Vorsicht anzuwenden, da sie an denselben Nachteilen wie die Unterkessel der Walzenkessel leiden und bei lufthaltigem Speisewasser innen schnell verrosten. Es sei noch darauf hingewiesen, daß in einigen deutschen Bundesstaaten die Oberzugkessel längstens in dreijährigen Fristen einer amtlichen inneren Untersuchung und spätestens nach je 6 Jahren einer amtlichen Wasserdruckprobe zu unterziehen sind. Möglicherweise haben auch diese strengen Vorschriften die Anwendung des Oberzugkessels eingeschränkt.

Die Zweiflammrohrkessel führt man unter Verwendung von Blechen von besonders hoher Festigkeit bis zu 18 Atmosphären Druck, 2,90 Meter Durchmesser und 180 Quadratmeter Heizfläche aus. Darüber hinaus werden andere Kesselarten, Rauchrohrkessel und Wasserrohrkessel, seltener Dreiflammrohrkessel verwendet. Bei letzteren wird eines der Flammrohre tief gelegt, das jedoch bei der Kesselreinigung und der Bedienung seines Rostes schwer zugänglich ist.

Man unterscheidet glatte Flammrohre, Stufenrohre, Flammrohre mit Gallowaystutzen und Wellrohrflammrohre. Die vorderen Flammrohrschüffe sind bei größeren Flammrohrkesseln in der Regel etwas weiter als die hinteren, damit ein breiter Koft eingebaut werden kann. Bei allen Flammrohrarten vermeidet man im Feuerraume

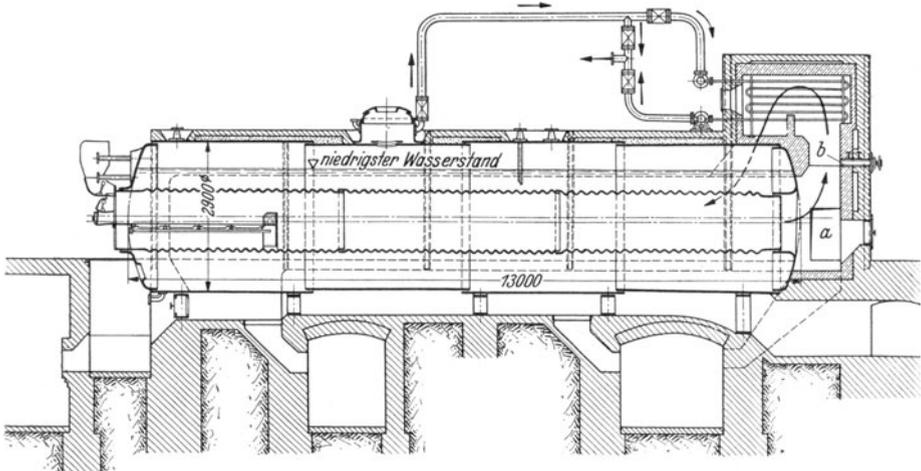
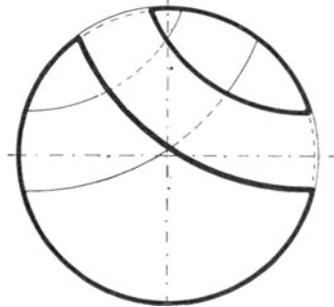


Abb. 72. Eine Höchstleistung des Kesselbaues: Zweiflammrohrkessel von 180 Quadratmeter Heizfläche und 18 Atm. Betriebsdruck von der Maschinenfabrik Germania, Chemnitz. a und b = Schamotteschieber zur Überhitzerregelung.

Nietverbindungen, und man läßt daher den ersten Flammrohrschuß bis hinter die Feuerbrücke reichen. Die glatten Flammrohre sind in der Längsnahnt entweder geschweißt oder genietet. Die Längsnähte werden zum Schutze gegen das direkte Feuer nach unten gelegt, wo sie im Betriebe mit Flugasche bedeckt werden. Bei den Stufenrohrkesseln schließen sich an den ersten Flammrohrschuß eine große Anzahl sehr kurzer Flammrohrschüffe von abwechselnd engem und weitem Durchmesser an. Ihre Länge ist etwa gleich ihrem Durchmesser. Sie sind so miteinander verbunden, daß die unteren Mantellinien der Schüffe entlang dem ganzen Flammrohre eine gerade Linie bilden. Hierdurch wird die Ablagerung der Flugasche in den weiten Schüssen verhindert und deren Beseitigung beim Herausziehen mit einer Krücke erleichtert. Sie werden, da sie großen Arbeitsaufwand erfordern, bei neuen Kesseln wohl kaum noch eingebaut.



Die Gallowayrohre (Abb. 73) sind in die Flammrohre quer eingesetzte Rohre, sog. Quersieder. Damit ausgerüstete Kessel nennt man Gallowaykessel (siehe Unterkessel in Abb. 86). Sie fördern den Wasserumlauf im Kessel und versteifen die Flammrohre sehr wirksam. Bei neuen Dampfkesseln werden sie in die Wellrohrflammrohre eingeschweißt und gekrümmt ausgeführt, im übrigen aber selten verwendet, da die Wellrohre keiner Versteifung bedürfen.

Abb. 73. Flammrohr mit gekrümmten Gallowayrohren.

Die gewellten Flammrohre sind wegen ihrer Vorzüge außerordentlich weit verbreitet. Ihr kleinster Durchmesser beträgt 750 Millimeter. Ihre Vortheile sind:

1. Sie besitzen eine sehr große Festigkeit gegen das Zusammendrücken durch den Dampfdruck und gestatten daher die Anwendung sehr weiter Rohre bei geringer Blechdicke.

2. Infolge des größeren Flammrohrdurchmessers läßt sich ein breiter Kof in die Feuerung einbauen.

3. Sie vergrößern die Heizfläche um  $\frac{1}{7}$  gegenüber der Heizfläche der glatten Flammrohre.

4. Es setzt sich wenig Kesselstein auf ihnen ab. Durch die beim Kesselbetrieb abwechselnd eintretende Abkühlung und Erhitzung werden die Wellen des Rohres abwechselnd zusammengedrückt und gestreckt, so daß etwaiger darauf haftender Kesselstein abblättert.

5. Die Wellen machen die Rohre elastisch, so daß der Kessel bei Längenausdehnungen durch die Wärme geschont wird.

Je nach der Form der Wellen unterscheidet man verschiedene Wellrohrarten, die gebräuchlichsten sind die Wellrohre nach Fox und Morison.

Glatte Flammrohre werden durch die Adams'sche Verbindung (Abb. 75) wirksam versteift. Bei älterem Dampfkessel ist auch der Fairbairn'sche Winkelisenring

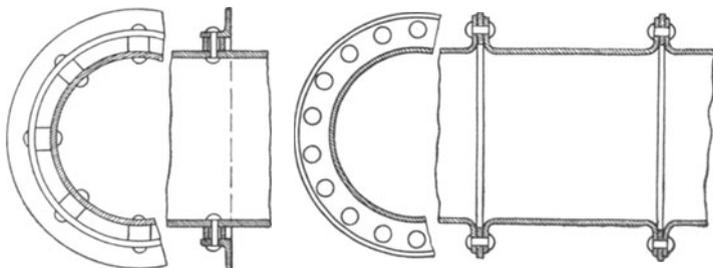


Abb. 74.

Abb. 75.

Fairbairn'scher Versteifungsring. Adams'sche Flammrohrverbindung.

anzutreffen (Abb. 74). Die Kesselmäntel bedürfen keiner Versteifung, da der Innendruck das Bestreben hat, unrunde Stellen rund zu drücken; bei Flammrohren besteht hingegen die Gefahr, daß der von außen wirkende Dampfdruck die Rohre an den unrunderen Stellen zusammendrückt. Bei gewöhnlichen Flammrohren, die nicht auf Adams'sche Art, sondern durch Überlappungsnietung zusammengefügt sind, macht sich der Mangel an Elastizität mitunter insofern bemerkbar, als die Rohre bei ihrer Längenausdehnung durch die Wärme Risse in den Krempen der Stirnböden verursachen. Man darf sich nicht mit einer Ausbesserung des betreffenden Stirnbodens begnügen, sondern man muß statt des starren glatten Flammrohres ein Wellrohr-Flammrohr oder ein Flammrohr mit der Adams'schen Nietverbindung einsetzen oder es muß wenigstens der erste Flammrohrschuß aus Wellrohr sein.

Auf 1 Quadratmeter Heizfläche eines Zweiflammrohrkessels können im Durchschnitt 25 Kilogramm Wasser verdampft werden; jedoch läßt sich bei großen Kesseln mit reichlichen Kofflächen und bei Stokerfeuerungen diese Wassermenge auf 40 Kilogramm steigern. Eine sehr wirksame Heizfläche sind die Flammrohre, die bei Innenfeuerung die gesamte strahlende Wärme des Feuers aufnehmen. Vorfeuerungen sind daher nur im äußersten Falle anzuwenden. Die Flammrohrkessel eignen sich für Betriebe mit schwankendem Dampfverbrauche, liefern infolge des großen Dampf-raumes und des großen Wasserspiegels ziemlich trockenen Dampf, ermöglichen infolge ihrer Einfachheit einen sicheren und ungestörten Betrieb und verursachen wenig Reparaturen.

Der Heizrohrkessel (Abb. 76 und 77). ist ein Walzenkessel mit einer größeren Anzahl enger, in die Stirnböden eingewalzter Rohre, die auf der äußeren Seite

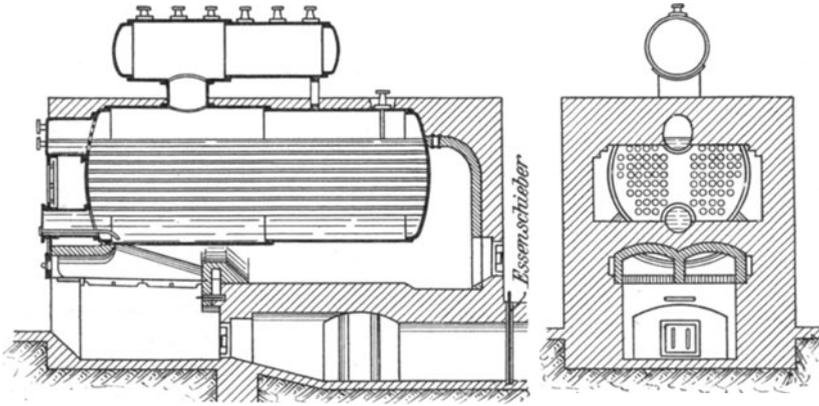


Abb. 76 und 77. Heiz- (Rauch-) Rohrkeßel mit Unterfeuerung.

vom Kesselwasser bespült werden, und durch welche die Heizgase hindurchziehen. Die Heizrohre sind gewöhnlich in zwei Gruppen angeordnet, deren lichter Abstand zur bequemen Reinigung der seitlichen Rohre und zum Befahren des

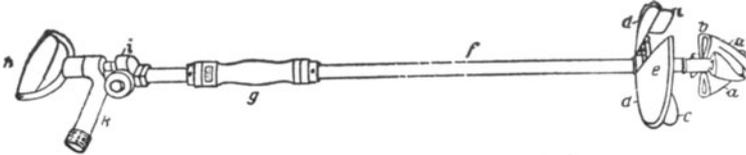


Abb. 78. Rußblaseapparat zum Reinigen der Rauchrohre von Alfred Fraissinet, Chemnitz.

unteren Kesselraumes ausreichen muß. Sie erhalten einen Durchmesser zwischen 70 und 100 Millimeter, ihre Länge nimmt man 50- bis 60mal so groß wie den lichten Rohrdurchmesser oder das  $2\frac{1}{2}$  fache des Kesseldurchmessers. Bei sehr großen Kesseln wendet man auch längere Heizrohre an. Sehr lange Heizrohre haben keinen großen Zweck, da die Heizgase bei den üblichen Längen genügend abgekühlt werden. Die Rohrenden stehen 3 Millimeter über den Kesselböden hervor. Einzelne Rohre werden zur Versteifung der Stirnböden als Anferrohre ausgebildet. Die Anferrohre erhalten eine größere Wanddicke und werden entweder mit feinem Gewinde in die Rohrböden eingeschraubt oder eingewalzt und an den Enden außen umgebördelt. Manche Kesselfabriken bödeln zur Verminderung des Widerstandes für die Rauchgase auch die Heizrohre um. Des leichteren Einsetzens und Herausnehmens halber werden sämtliche Rohre an einem Ende 3 Millimeter im Durchmesser aufgeweitet. Man kann sie infolgedessen bei Reparaturen nur nach einer Seite hin herauschlagen.

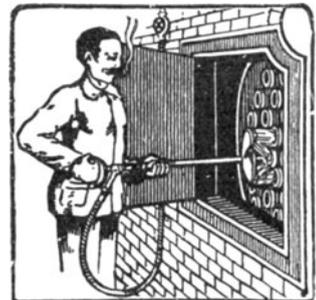


Abb. 79. Rußbläsen an einem Rauchrohrkeßel im Gebrauch.

Je nach der Art des verfeuerten Brennmaterials setzen sich die Heizrohre mehr oder weniger schnell voll Flugasche und Ruß. Da hierdurch die Wirkung der Heiz-

fläche und auch der Essenzug vermindert werden, müssen die Rohre öfters ausgefegt werden. Man benützt hierzu Dampfstrahlapparate (Abb. 78, 79) oder Drahtbürsten. Auch bei nicht allzu großen Rußansammlungen in den Heizrohren empfiehlt es sich, die Heizrohre in der Woche mindestens zweimal mit Dampf auszublasen und außerdem einmal mit der Drahtbürste zu reinigen. Die Reinigung wird am besten während der Mittagspause oder nach Feierabend bei vermindertem Essenzuge vorgenommen. Die Heizrohre müssen für die öftere Reinigung leicht zugänglich sein, und es wird deshalb der vor ihnen liegende Essenzug nicht durch Mauerwerk, sondern durch zwei gußeiserne Türen abgeschlossen.

Die Stirnböden des Heizrohrkessels können flach oder gewölbt sein. Neuerdings gibt es auch gewölbte Stirnböden mit ebenen Flächen zur Aufnahme der Heizrohre.

Der Heizrohrkessel erhält eine Planrostunterfeuerung. Die Heizgase durch-

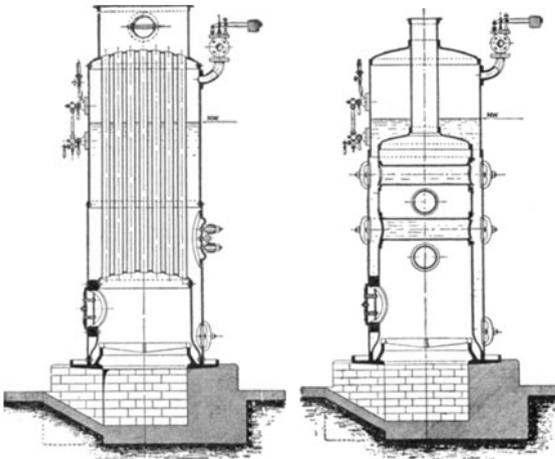


Abb. 80.

Stehende Feuerbüchsenkessel  
mit Rauchrohren

Abb. 81.

Stehende Feuerbüchsenkessel  
mit Siederohren.

strömen erst den Unterzug, dann die Heizrohre von hinten nach vorn und hierauf die Seitenzüge. Die hauptsächlichsten Vorteile des Heizrohrkessels bestehen darin, daß er bei ziemlich großer Heizfläche wenig Platz einnimmt und sich schnell anheizen läßt. Andererseits verlangt er ein gutes Kesselspeisewasser, da beim Befahren nur einige Stellen des Kessels zugänglich sind, und bei starker Kesselsteinbildung die Heizrohre öfters ganz herausgenommen werden müssen. Die Heizrohre sind mit Vorsicht herauszuschlagen, da leicht Stegriffe im Stirnboden entstehen; die Rohre werden deshalb, wenn sie gänzlich erneuert und nicht wieder ver-

wendet werden sollen, vor dem Heraus schlagen zunächst mit einem Kreuzmeißel in der Einwalzstelle aufgetrennt.

Der Heizrohrkessel liefert nasseren Dampf als der Flammrohrkessel; auf einem Quadratmeter Heizfläche können bis zu 18 Kilogramm Wasser verdampft werden. Eine höhere Beanspruchung ist nicht ratsam, da sie Undichtheiten an den Einwalzstellen der Heizrohre zur Folge haben kann. Das Speiseventil wird entweder an einem Stutzen am vorderen Rohrboden unterhalb der Heizrohre oder an einem Stutzen oben auf dem Kesselmantel angebracht. Im ersteren Falle läßt man das Speiserohr bis in den hinteren Kesselteil reichen, um zu vermeiden, daß die hoch erhitzte Feuerplatte durch das Speisewasser getroffen wird. Bei der Speisung von oben läßt man das Einhängerohr dicht unter dem niedrigsten Wasserstand münden. Das Speisewasser soll auch aus dem Grunde wenig Schlamm und Kesselstein absetzen, weil derartige Ablagerungen häufig die Ursache von Ausbeulungen in der Feuerplatte über dem Roste sind.

Wird ein einzelnes Rohr undicht, etwa infolge von Anstossungen auf der Wasser- oder Feuerseite, und ist nicht sofort ein Ersatzrohr zur Hand, so kann man eine größere Betriebsunterbrechung vermeiden, indem man jedes Rohrende mit einem gedrehten, konischen Eisenspäßel verschließt und die beiden Stöpsel mittels einer

durch das ganze Rohr hindurchreichenden Schraube fest in die Einwalzstellen des Rohres hineinpreßt (siehe Abb. 82). Bei der Anfertigung der Stöpsel ist zu be-

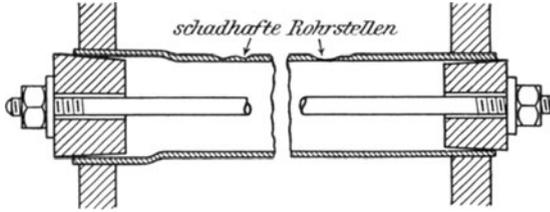


Abb. 82. Verstopfung eines schadhafsten Rauch- oder Siederohres.

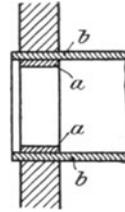


Abb. 83. Abdichten eines Rauchrohres durch den Ring a.

achten, daß die Heiz- und Siederohre, wie bereits früher erwähnt, an einem Ende zwei bis drei Millimeter aufgeweitet sind. Der für diese Stelle bestimmte Verschlußstöpsel muß daher einen entsprechend größeren Durchmesser erhalten.

Sind einzelne Rohre eines Heizrohrkessels in der Einwalzstelle durch Abbrand beschädigt oder infolge zu häufigen Nachwalzens nicht mehr dicht zu bekommen, so kann man statt der Auswechslung der Rohre durch Einwalzen von sog. Brandringen Abhilfe schaffen. Diese Ringe (siehe Abb. 83) werden aus 3 bis 4 Millimeter dickem Flacheisen hergestellt. Ihre Breite macht man gleich der Dicke des Rohrbodens.

**Der kombinierte oder zusammengesetzte Dampfkessel** besteht aus zwei übereinanderliegenden Dampfkesseln. Der Unterkessel ist stets ein Zweiflammrohrkessel, der Oberkessel zumeist ein Heizrohrkessel oder gleichfalls ein Zweiflammrohrkessel. Ober- und Unterkessel werden durch einen oder zwei Stützen miteinander verbunden. Die ersten kombinierten Kessel hatten nur einen Dampfraum, und zwar im Oberkessel. Der Unterkessel war völlig mit Wasser gefüllt. Bei dieser Bauart, die man nach dem Erfinder Fischbeinkessel nannte, wurde aber die Verdampfung durch den langen Weg des Dampfes aus dem Unterkessel nach dem Dampfraume stark beeinträchtigt, und man erhielt sehr nassen Dampf. Da bei diesem Kessel die ganze Oberfläche des Unterkessels als Heizfläche ausgenutzt werden kann, haben einige Kesselfabriken auch neuerdings wieder derartige Kessel mit nur einem Dampfraum angefertigt. Um den nassen Dampf zu verhüten, muß ein Dampfüberhitzer eingebaut werden, und es erhält der Oberkessel einen sehr großen Durchmesser, so daß auch sein Dampfraum groß ausfällt. Dampfitaunungen im Unterkessel vermeidet man dadurch, daß man den Unterkessel nach hinten zu beträchtlich konisch macht. Da der Ober- und Unterkessel durch einen vorn auf die Kesselmäntel aufgenieteten Stützen verbunden sind, können die Dampfblasen bei einem solchen Kessel ungehindert aus dem Unterkessel in den Oberkessel emporsteigen, und es ist

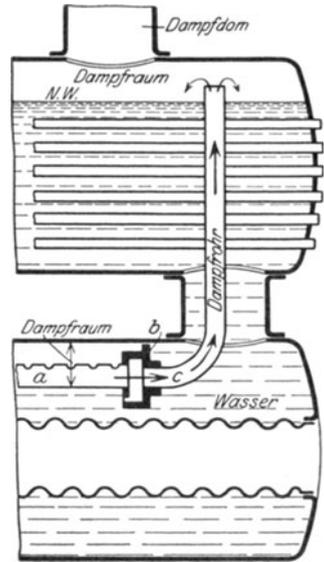


Abb. 84. Kombiniertes Dampfkessel mit zwei Dampfräumen. b ist eine Wand im Unterkessel und enthält das Rohr c für die Ableitung des Dampfes nach dem Oberkessel. Der Unterkessel hat keine Wasserstandsanzeiger. Der Dampf kann den Wasserstand nicht tiefer drücken als bis zur Untertante des Rohres a.

auch möglich, den ganzen Kessel durch den Ablaßstutzen am Unterkessel völlig zu entleeren. Die konische Form des Unterkessels hat ferner eine Verengung der Seitenzüge von hinten nach vorn zur Folge, wovon sich die Kesselfabrikanten eine bessere Ausnutzung der von hinten nach vorn ziehenden Heizgase versprechen. (Maße eines derartigen Kessels sind beispielsweise: Oberkessel 2400 Millimeter Durchmesser, Unterkessel vorn 2900, hinten 2600 Millimeter Durchmesser.) Trotzdem diese von einigen sehr erfahrenen Kesselfabrikanten vertretenen Ansichten vieles für sich haben, werden auch kombinierte Kesselsysteme gebaut, bei denen sowohl im Unter- wie im Oberkessel je ein Dampfraum vorhanden ist. Die Dampf Räume

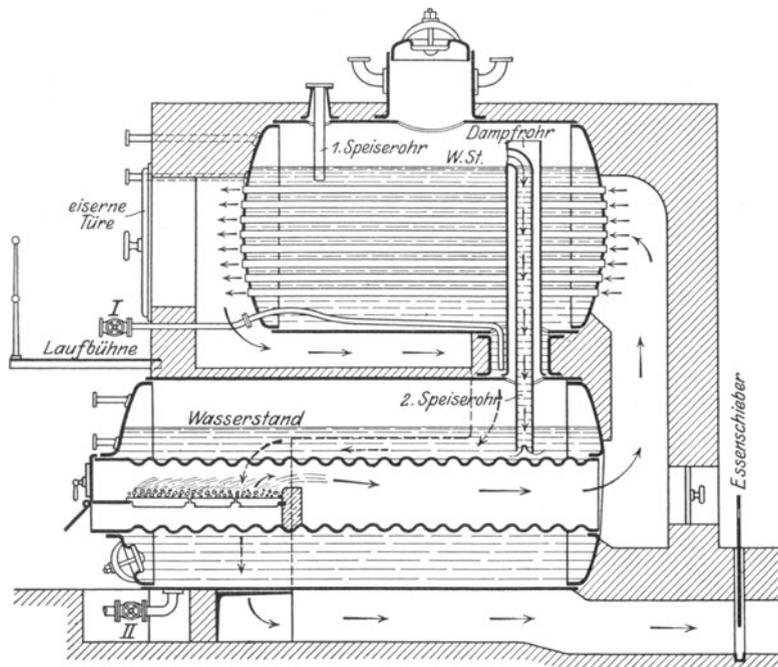


Abb. 85. Kombiniertes Kessel. Oben: Heizrohrkessel, unten: Zweiflammrohrkessel, beide mit je einem Dampfraum. I u. II sind die Ablaßventile. Gewöhnlich wird in den Oberkessel gespeist. Ist dieser genügend mit Wasser gefüllt, so läuft das weiter hinzugespeiste Wasser durch das 2. Speiserohr (Überlaufrohr) in den Unterkessel. Letzterer hat außerdem für den Notfall eine besondere (nicht gezeichnete) Speiseleitung.

werden durch ein unverschließbares Rohr verbunden, so daß in beiden Kesseln immer dieselbe Dampfspannung vorhanden ist. Bei diesem Kesselsystem erhält zwar jeder Kessel eine völlig getrennte Speiseleitung; man speist jedoch für gewöhnlich nur in den Oberkessel und bringt in diesem ein Überlaufrohr an, durch welches hindurch das Wasser in den Unterkessel fließt. Da der Unterkessel stets mit der Feuerung versehen ist, und insolgedessen auch das meiste Wasser darin verdampft wird, hat diese Einrichtung den Vorteil, daß der Heizer nur für einen ausreichenden Wasserstand im Unterkessel zu sorgen hat; der Oberkessel wird dann stets genügend Wasser enthalten. Nur im Notfalle, wenn die Wasserspiegel in beiden Kesseln zu weit gesunken sind, und die Speisung des Unterkessels durch den Oberkessel hindurch zu lange dauern würde, muß der Heizer den Unterkessel auf direktem Wege zuerst voll speisen.

Den Dampfraum des Unterkessels läßt man in der Regel nicht von den Heizgasen bestreichen, sondern man deckt ihn außen mit einer Ziegelschicht ab, damit der Kessel nicht als Oberzugkessel gilt und von den hierfür vorgeschriebenen häufigen amtlichen Untersuchungen befreit bleibt.

Die kombinierten Kessel (oben Heizrohr-, unten Zwei- oder Dreiflammrohrkessel, Abb. 85, 86) werden in sehr großen Abmessungen von 100 bis 700 Quadratmeter Heizfläche hergestellt. Bei einem großen Kessel entfallen auf den Mantel des Unterkessels 42,81, auf die drei Wellrohrflamrohrre 71,4, auf den hinteren unteren Stirnboden 2, auf den Oberkesselmantel 37,5, auf die 270 Heizrohre 442 und auf die beiden oberen Stirnböden 8,4 Quadratmeter Heizfläche. Auf einem

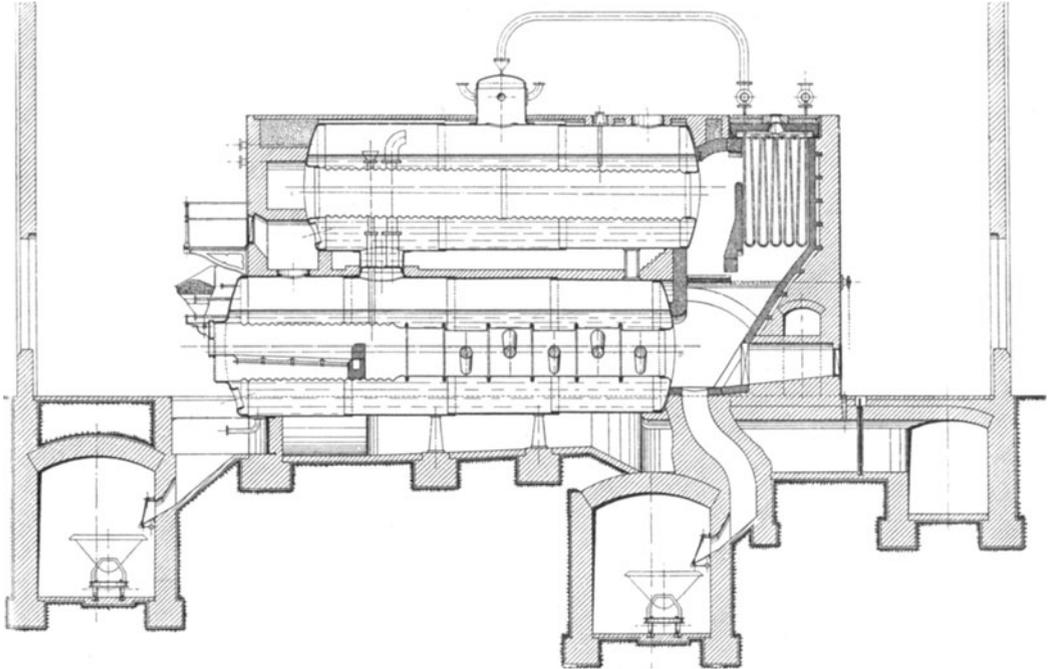


Abb. 86. Kombiniertes Kessel der Firma J. L. Dschaf, Kom.-Ges., Dampfkesselfabrik Meerane i. Sa., Flammrohr im Unterkessel mit Gallowayrohren, der Überhitzer ist senkrecht angeordnet und durch Verschieben einer waagerechten Schamotteplatte von den Rauchgasen absperrbar.

Quadratmeter Heizfläche werden bei kleineren Kesseln annähernd 20, bei großen Kesseln nicht mehr als 15 bis 16 Kilogramm in der Stunde verdampft. Die verhältnismäßig kleine Leistungsfähigkeit der ganz großen Kessel erklärt sich daraus, daß es schwer ist, eine entsprechend große Kostfläche unterzubringen.

Die Feuerung ist bei allen kombinierten Dampfkesseln eine Planrostfeuerung, die bei neueren und größeren Kesseln einen selbsttätigen Beschickungsapparat mittels Wurfrad oder Wurfschaufel erhält. Bei großen Kesselanlagen macht sich dann der Mangel dieser Feuerungen, daß sie von Hand abgeschläckt werden müssen, durch Verminderung der Kesselleistung sehr bemerkbar. Sie werden daher auch mit Stoker- und anderen vollmechanischen Feuerungsapparaten für größere Kostflächen ausgerüstet.

**Der ausziehbare Röhrenkessel** (Abb. 87) besteht aus einem äußeren Kessel mit ebenen Stirnböden und einem ausziehbaren Rohrsystem. Letzteres besteht aus den

Heizrohren und der Feuerbüchse, die bei größeren Kesseln aus Wellrohren und bei kleineren Kesseln aus glatten Rohren gebildet wird. Die Heizrohre sind vorn in die Feuerbüchse und hinten in eine Rohrwand eingewalzt. Etwaige Anferrohre sind eingeschraubt. Das fertige Rohrsystem wird in den Außenkessel eingeschoben und an der vorderen und hinteren Stirnwand desselben mit Schrauben festgeschraubt. Zur Abdichtung werden Dichtungsringe aus Weichgummi, Klingerit usw., verwendet.

Das Auseinandernehmen, Reinigen und Wiederzusammenschrauben kann, wenn der Kessel nicht zu stark verschmutzt war, meist an einem oder zwei Tagen vorge-

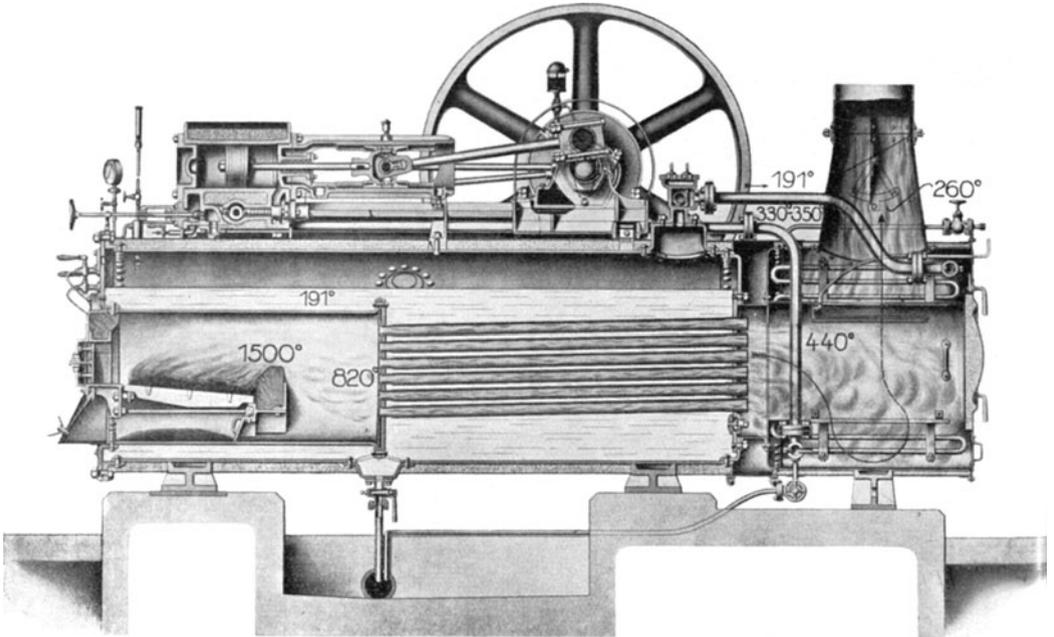


Abb. 87. Lokomobile von Heinrich Lanz, Mannheim, mit ausziehbarem Rohrsystem und Dampfüberhitzer in der Rauchkammer. Die Zahlen geben den Temperaturverlauf der Heizgase und des Dampfes an. Die Heizgase haben im Feuerraum eine Temperatur von  $1500^{\circ}\text{C}$ ., treten mit  $820^{\circ}$  in die Heizrohre ein, aus letzteren mit  $440^{\circ}$  aus und ziehen mit  $260^{\circ}$  nach dem Schornstein ab. Der Frischdampf tritt mit  $191^{\circ}\text{C}$ . (entsprechend einem Betriebsdruck von 12 Atm. Überdruck — zu vgl. Spalte 3 der Tabelle S. 75) in den Überhitzer ein und mit  $330$  bis  $350^{\circ}$  aus letzterem heraus in den Dampfzylinder. Die Dampfmaschine hat die Ventilsteuerung von Lenz.

nommen werden; zwei abgechrägte, innen auf den Langkessel angenietete Blechecken erleichtern das Hereinschieben des Rohrsystems. Damit die Befestigungsschrauben an den Stirnrändern nicht festbrennen und sich leicht lösen lassen, müssen sie nach jeder Kesselreinigung mit Talg und Graphit eingeschmiert werden. Beim Ausziehen des Rohrsystems verfährt man in folgender Weise: Sobald der Kessel abgelassen, also noch warm, aber ohne Druck ist, löst man die mit Petroleum angefeuchteten Muttern und drückt das Rohrsystem mittels einer Winde von der Rauchkammer aus los. Die Feuerbüchse muß unterbaut werden, damit sie nicht heruntertippt. Das Gewinde der Schrauben darf nicht beschädigt werden; schlechte Schrauben müssen ausgewechselt, die anderen zweckmäßigerweise mit einer Nachschneidemutter nachgeschnitten werden. Die Schrauben sind während des An-

heizens allmählich und gleichmäßig und zwar zunächst immer die einander gegenüberliegenden anzuziehen.

Am hinteren Ende des Langkessels ist die Rauchkammer angeschraubt, in welche die Heizrohre münden, und aus welcher die Heizgase nach dem Schornstein abziehen. Je nachdem ein gemauerter oder eiserner Schornstein vorhanden ist, wird eine Drehklappe oder ein eiserner Essenschieber zur Regelung des Essenzuges angebracht. Bei den sog. Heißdampfkesseln wird in der Rauchgaskammer der Dampfüberhitzer eingebaut, der aus starken, nahtlosen schmiedeeisernen Röhren hergestellt wird. Die Heizrohre und der Überhitzer müssen öfter von Ruß und Flugasche gereinigt werden, wozu die Kessel mit einer Dampfausblaseeinrichtung ausgerüstet werden. Der Abstand von den einzelnen Heizrohren ist so bemessen, daß selbst bei großen Dampfkesseln das ganze Rohrbündel bequem mit Reinigungsmeißeln durchstoßen werden kann. Doch empfiehlt es sich bei hartem Kesselspeisewasser, das selbe vor dem Einpeisen in den Kessel zu enthärten. Beim Verfeuern von Steinkohle, Steinkohlenbriketts, Gas- und Hüttenkoks und besserer Braunkohle erhalten die Lokomobilkessel eine Innenfeuerung mit Planrost; sollen lange Holzscheite, Stroh oder Braunkohlenbriketts verfeuert werden, so bringt man der erforderlichen größeren Rostfläche halber eine Planrostvorfeuerung an. Für erdige Braunkohlen von geringem Heizwert, für Sägespäne und für kürzere Holzabfälle wendet man auch bei Lokomobilkesseln die Treppenrostfeuerung an. Die Roste werden in beiden letzteren Fällen in einem fahrbaren, eisernen Gehäuse untergebracht, das mit Schamottesteinen ausgemauert ist.

Der Vorzug dieser Kessel besteht darin, daß sie bei großer Heizfläche wenig Raum beanspruchen und verhältnismäßig geringes Gewicht haben. Sie nutzen ferner die Kohle gut aus und liefern beim Anheizen schnell Dampf, so daß sie sich namentlich für zeitweiligen Betrieb gut eignen. Trotz der Heizrohre lassen sich die Kessel ziemlich gut reinigen, weil man das Rohrbündel mit der Feuerbüchse herausziehen kann. Zum Reinigen der Rohre vom Kesselstein kann man Rohrreiniger verwenden, die auf einem Riemen oder einem schmiegsamen Stahlband gehärtete Stahlspitzen haben, mit denen der auf der äußeren Rohrseite haftende Kesselstein abgekratz wird. Zur Verhütung von Wärmeverlusten werden die Kessel schon in der Fabrik mit einer Isoliermasse eingepackt und darüber mit einem Blechschutzmantel versehen.

**Der Wasserrohr- oder engrohrige Siederohrkessel.** Bei dem Wasserrohrkessel wird die Heizfläche entweder völlig oder zum weitaus größten Teile von einer großen Zahl enger Rohre mit einem lichten Durchmesser zwischen 70 und 120 Millimeter gebildet. Er wird deshalb auch als engrohriger Siederohrkessel bezeichnet. (Abb. siehe Seite 54, 57, 100 und 101.)

Die Wasserrohrkessel werden als **Schrägrohr-** und als **Steitrohrkessel** ausgeführt. Bei den Schrägrohrkesseln unterscheidet man solche mit und solche ohne Wasserammern. Kessel ohne Wasserammern, die lediglich aus Rohren bis zu 100 Millimetern lichte Weite bestehen, werden auch Sicherheitsdampfkessel genannt und dürfen unter bewohnten und übersehten Räumen aufgestellt werden, was bei Dampfkesseln im allgemeinen nicht zulässig ist. (Näheres siehe die gesetzlichen Vorschriften über Dampfkessel.) Die hauptsächlichsten Bauarten der Schrägrohrkessel haben entweder Großwasserkammern oder Teilkammern. Wasserkammern nennt man die kastenförmigen Kesselteile, in denen die Siederohre mit ihren Enden eingewalzt sind. Bei den Großkammerkesseln sind nur zwei solche Kammern vorhanden, während bei den Teilkammerkesseln, die man auch **Sektionalkessel** nennt, die Großkammern in einzelne nebeneinander liegende schmale Glieder, die Sektionen, die Sektionen, mit je einer senkrechten Rohrreihe aufgelöst sind. Die Großkammern erstrecken sich vorn und hinten über die

ganze Kesselbreite und haben demnach bei großen Kesseln sehr große Abmessungen. Die Wände jeder Kammer sind gegen den Innendruck durch Stehbolzen (Abb. 105, Seite 109) miteinander verbunden und versteift. Oberhalb der Siederohre liegen ein oder zwei Zylinderkessel, mit deren Wasserraum sie verbunden sind (Abb. 57, Seite 57). Infolge der schrägen Lage der Siederohre liegt die hintere Wasserkammer beträchtlich tiefer als die vordere und erhält sie deshalb auch an ihrer untersten Stelle ein, bei breiten Kesseln zwei Abbläventile. Unterhalb der Siederohre liegt der Koft. Die nach vorn aufsteigende Lage der Siederohre bewirkt eine rasche Aufwärtsbewegung des Dampf- und Wassergemisches in der vorderen Wasserkammer nach dem Oberkessel, wo die Dampfblasen ausscheiden, und über der Mündung der Wasserkammer eine Blechhaube angebracht ist, die das heftig in die Höhe strömende Wasser nach hinten leitet, ein Aufspritzen desselben im Dampfraum verhütet und den Wasserstand in den Wasserstandsgläsern ruhig hält. Das nach dem hinteren Teil des Kessels abgelenkte Wasser sinkt in der hinteren Wasserkammer nieder und tritt wieder in die Siederohre ein. Es entsteht demnach ein ziemlich kräftiger selbsttätiger Wasserumlauf. Damit die unteren Siederohre in denselben mög-

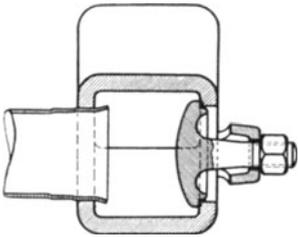


Abb. 88. Schnitt durch eine Sektionskammer mit Handverschluß.

lichst ergiebig einbezogen werden, sind bei manchen Bauarten einige mittlere waagerechte Rohrreihen weggelassen. Die Siederohre sind in der vorderen Einwalzstelle etwa 3 Millimeter aufgeweitet und können infolgedessen bei Reparaturen leicht herausgenommen und eingesetzt werden. Damit sie für die Reinigung zugänglich sind und überhaupt eingewalzt werden können, muß vor jedem Rohrende in der äußeren Wand jeder Wasserkammer eine Öffnung mit einem Verschlußdeckel vorhanden sein. Auf diese Verschlüsse (Abb. 88) ist besondere Sorgfalt zu legen. Bei jeder Kesselreinigung sind sie mit den zugehörigen Verschraubungen gründlich auf etwaige schadhafte Stellen hin zu untersuchen und ihre Dichtungsflächen zu reinigen. Mängel verursachen Undichtigkeiten, die mitunter nur nach Außerbetriebsetzung und Entleerung des Kessels behoben werden können. Als Dichtung für die Verschlußdeckel werden Ringe aus Gummi, Klingerit, Asbest oder Kupfer verwendet. Einige Kesselfabriken schleifen die Deckel dampfdicht in die Bohrungen der Wasserkammern ein, so daß es einer weiteren Abdichtung nicht bedarf. Damit man die (runden) Verschlüsse einsetzen und herausnehmen kann, sind in dem gesamten Rohrsystem in bestimmten Abständen Bohrungen für ovale Deckel vorhanden, durch welche die runden Deckel hindurchgesteckt werden können.

Zur Speisung der Wasserrohrkessel darf nur gut gereinigtes und enthärtetes Wasser verwendet werden. Denn trotz dem lebhaften Wasserumlauf setzt sich bei hartem Wasser Kesselstein in den Siederohren ab (Abb. 90), der sich nur schwierig mit Schabern oder Rohr- und Turbinenreinigern entfernen läßt. Der Schlamm muß durch öfteres Ausblasen mittels eines an der hinteren Wasserkammer angebrachten Abblähhahnes oder Abbläventils beseitigt werden. Zuweilen wird auch im Oberkessel, dicht vor der Mündung der hinteren Wasserkammer, eine kleine Quermwand eingesetzt, durch die verhindert werden soll, daß der Schlamm aus dem Oberkessel in die hintere Wasserkammer und in die Siederohre geschleppt wird.

Bei Kesseln mit niedrigem Feuerraum ist es öfter vorgekommen, daß die untersten Siederohre krumm wurden und erneuert werden mußten, da die Gefahr bestand, daß sie sich aus der Einwalzstelle herausziehen. Auch werden diese Rohre infolge des fortwährenden Anpralles der Flugasche oft so dünn, daß sie aufreißen (Abb. 90). Gut zu beobachten sind ferner die über dem Feuergewölbe gelegenen Schweißstellen

der Wasserkammern, da sie wiederholt den Ausgangspunkt für Kesselexplosionen gegeben haben, namentlich wenn die nächsten Stehbolzen (s. Abb. 105, Seite 109) geplatzt waren. Die Wasserkammern werden daher nicht mehr in den Ecken stumpf geschweißt, sondern umgebogen und nur die äußere Wand angeschweißt (Abb. 89).

Die Feuerung ist nur noch bei kleinen Wasserrohrkesseln eine starre Planrostfeuerungsung mit Handbeschickung. Neuere und größere Kessel erhalten Wanderroste, Stokerfeuerungen oder Wurfapparate, bei Braunkohlenfeuerungen Treppenroste mit mechanischem Vorschub. Der Rost wird sehr tief gelegt, damit ein hoher Feuerraum entsteht, in welchem sich die Feuergase frei entfalten können und ihre Verbrennung nicht durch vorzeitige Berührung mit den Siederohren unterbrochen wird. Undernfalls ist eine erhebliche Rußabscheidung und Rauchentwicklung, unter Umständen auch eine Beschädigung der Siederohre leicht möglich. Die Heizgase bestreichen die Siederohre in schlangenförmigen Zügen in senkrechter Richtung. In neueren Kesseln ist die Zugführung sehr vereinfacht worden und es gibt auch sog. Ein-Zug-Kessel, bei denen die gesamte Heizfläche in einem aufsteigenden Zuge und

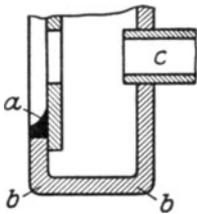


Abb. 89. Unterer Teil einer neueren Ausführung der Wasserkammer. Die älteren Wasserkammern haben bei b Schweißstellen, die schwierig auszuführen waren und durch Aufreißen zu Kesselexplosionen Anlaß gaben. Die Schweißstelle a der neueren Wasserkammern ist sicherer herzustellen, c = die unterste Reihe der Siederohre.

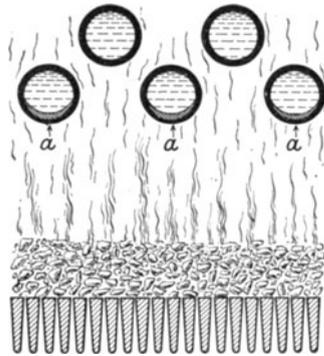


Abb. 90. Die untersten Siederohre sind an den Stellen a außen durch die anprallende Flugasche geschwächt und innen mit Kesselstein behaftet.

Ökonomischer und Lufterhitzer im abfallenden Zuge nach dem Schornstein liegen. Die Zugführung wird durch gußeiserne Platten, die zwischen die Siederohre eingebaut werden, oder durch feuerfestes Mauerwerk aus Schamottesteinen bewirkt. Bei den meisten Einmauerungsarten wird der Oberkessel von den Heizgasen nicht berührt, da er mehr zur Abscheidung des Dampfes vom Wasser als zur Dampferzeugung dient und übrigens seine Heizfläche verhältnismäßig klein sein würde.

Bei den Teilkammerkesseln sind die Spalten zwischen den Rohrsektionen zur Verhütung des Ansaugens falscher Luft in den Feuerraum mit Abstrechnur ausgefüllt. Einer Versteifung durch Stehbolzen, wie dies bei den Großkammern notwendig ist, bedürfen sie nicht, da bereits ihre Bauart genügende Steifheit gegen den Dampfdruck im Innern hat. Die Rohrsektionen haben ferner den Vorteil, daß sie in der Kesselschmiede hergestellt werden können und hierdurch die Kesselmontage am Betriebsort wesentlich abgekürzt wird.

Der Teilkammerkessel (Abb. 91) hat viel Verbreitung gefunden und den Großkammerkessel zurückgedrängt; hierzu hat viel beigetragen, daß er sich für ganz hohe Drücke eignet, während der Großkammerkessel nur bis etwa 25 Atmosphären verwendet wird. Teilkammerkessel sind zur Zeit ausgeführt worden bis zu 2200 Quadratmeter Heizfläche und 150 Atmosphären Druck. Er wird als **Höchstleistungskessel** mit

Zonentwandrofost und Unterwind in vielen Sonderarten gebaut. Die wesentlichste Abweichung von der üblichen Bauart besteht hierbei darin, daß man die Längs- trommeln mit ihrem großen Dampf- und Wasserraum durch eine kleine, billige Quertrommel ersetzt hat und der Kessel in Verbindung mit der elastischen Feuerung eine sehr große Anpassungsfähigkeit an weitgehende Belastungsschwankungen erhält. Der kleine Wasserinhalt der Höchstleistungskessel hat jedoch den Nachteil, daß

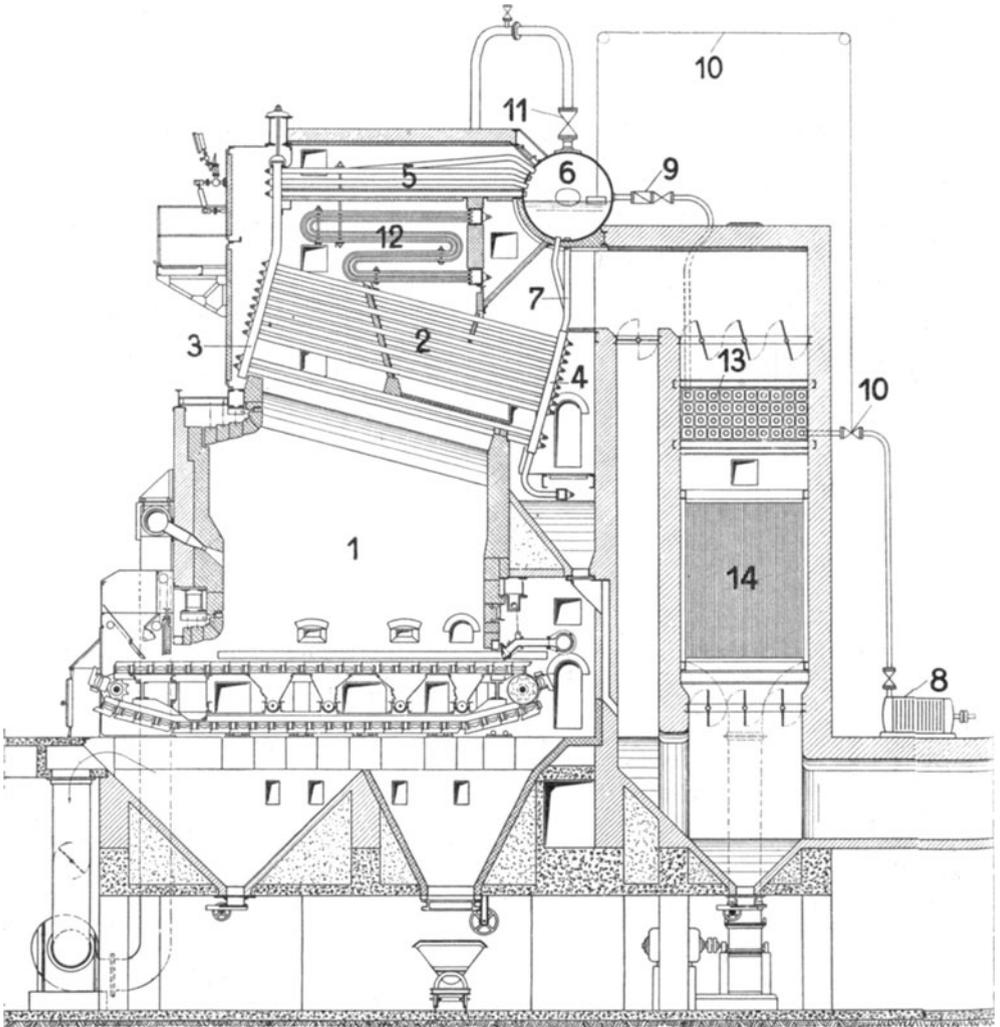


Abb. 91. Babcock-Hochleistungs-Sektional-(Teilkammer-) Kessel mit Unterwind-Zonen-Wandrofost. 1 = Feuerung; 2 = Schrägrohre; 3 u. 4 = Sektions- oder Teilkammern; 5 = Überströmrohre aus den vorderen Sektionskammern in die Kesseltrommel 6; 7 = Fallrohre aus der Kesseltrommel in die hinteren Sektionskammern 4; 8 = Speisepumpe; 9 = Speise-(Rückschlag-)Ventil; 10 = selbsttätiger Speiseregler hält den Wasserstand in Trommel 6 auf gleicher Höhe; 11 = Dampfventil nach dem Überhitzer 12, der für das Anheizen mit Hilfe eines Füllventils zu füllen und vor Beginn der Dampfabgabe zu entwässern ist; 13 = Speisewasservorwärmer (Economiser) ist in die Speiseleitung der Speisepumpe 8 eingebaut; 14 = Luftvorwärmer zum Vorwärmen der Verbrennungsluft (des Unterwindes).

beim Verjagen der Kesselspeijung schon nach wenigen Minuten Gefahr für die Betriebssicherheit besteht. Um den Betrieb in solchen Fällen nicht unterbrechen zu müssen, wird über dem Kessel eine von den Heizgasen nicht bestrichene Vorratsstrommel (Abb. 93) angeordnet, die mit dem Wasser- und Dampfraum verbunden sowie bis



Abb. 92. Zwei nebeneinander liegende Glieder des Sektionalkessels. Die Deckelverschlüsse sind links mit einem Pfeil, rechts mit einem Pfeil markiert.

zu einem Überlauf mit Wasser von Siedetemperatur gefüllt ist und die Speijung des Kessels selbsttätig übernimmt, sobald dessen Wasserstand auf ein bestimmtes Maß gefallen ist. Sie ist so bemessen, daß ihr Wasserinhalt für etwa 25 bis 30 Minuten zur vollen Dampfleistung des Kessels ausreicht. Es wäre zwar technisch möglich, denselben Erfolg durch Vergrößerung der Kesseltrommel zu erreichen, doch würde letztere wegen der Schwächung ihres Mantels durch die vielen Rohrschlüsse eine sehr große Blechdicke erfordern und bei nahtlos gewalzter Bauart sehr teuer werden.

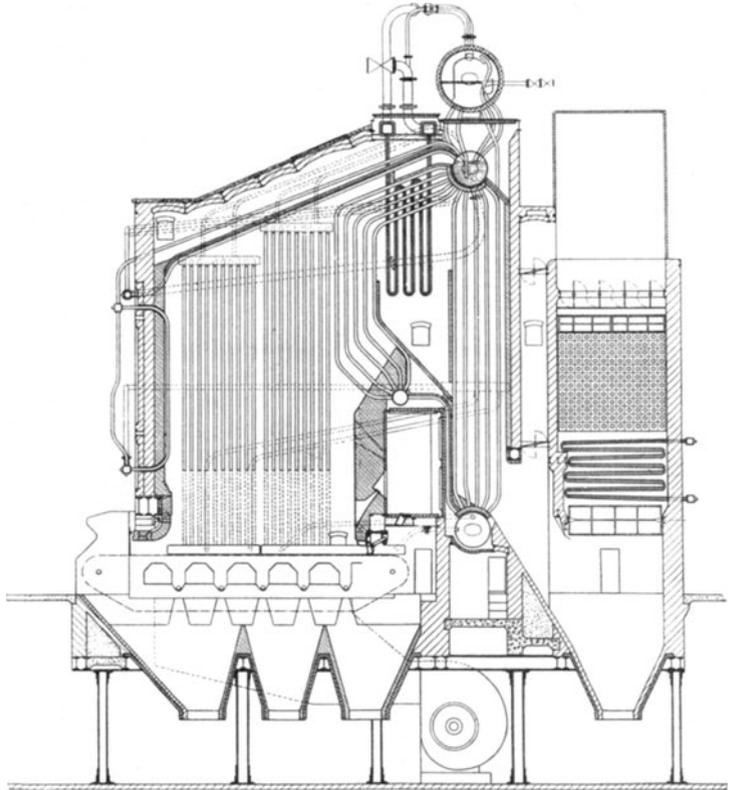


Abb. 93. Hochleistungs-Steilrohrkessel der Firma Steinmüller, Gummersbach, 555 m<sup>2</sup> Kesselheizfläche, Zonenwandroost mit Unterwind, dem Rippenrohrkonominer ist ein Schlangenrohrkonominer als Verdampfungsvorwärmer nachgeschaltet. Die oberste, mit Isolierstoff verpackte Trommel außerhalb der Kesselzüge ist kein Dampfhammer, sondern eine Speichertrommel (D.R.P.), deren Wasserpiegel ohne Gefährdung der Betriebssicherheit bei vorübergehenden Störungen der Kesselspeijung völlig abgesenkt werden kann. Der Feuerraum ist an den Wänden und der Decke mit Kühlrohren im Wasserumlauf verkleidet. Von außen zugänglicher Bedienungsgang über dem Kofstende. Vor den Konominern großer Flugaschen-Abscheidungsraum. Stündl. Kesselleistung bis zu 105 kg/m<sup>2</sup> Normaldampf.

Die Wände der Feuerräume der Höchstleistungskessel werden mit Kühlrohren verkleidet, die in den Wasserumlauf des Kessels einbezogen sind und die Feuerraumtemperatur in Grenzen halten, die für die Ausmauerung und die bestrahlten Siederohre unschädlich sind.

Die Dampferzeugung der Wasserrohrkessel ist durch deren Ausbau zu Hochleistungskesseln ganz beträchtlich gesteigert worden und gilt zur Zeit mit 50 bis 60 Kilogramm Dampf je Quadratmeter Heizfläche und Stunde als normal gegenüber 16 bis 20 Kilogramm bei den älteren Bauarten (siehe Seite 54).

Zur Entfernung des Rußes und der Flugasche von der Rohrheizfläche dienen bei neueren und größeren Wasserrohrkesseln in die Wände des Kesselgemäuers fest eingebaute, an den Dampfraum angeschlossene Rußbläser. Ihre Blasrohre erstrecken sich über die ganze innere Kesselbreite, werden mittels Kette und Kettenrad um ihre

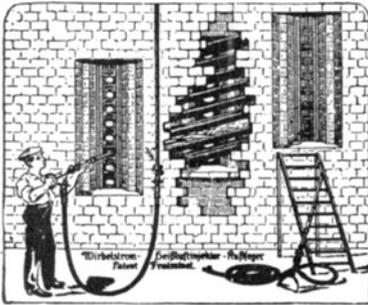


Abb. 94. Abblasen des Rußes und der Flugasche an einem (kleinen) Wasserrohrkessel von der Längsseite des Kesselgemäuers aus. In letzterem ist eine große, in Wirklichkeit jedoch nicht vorhandene Öffnung gezeichnet, damit die Siederohre sichtbar sind. Auf dem Bild steht der Arbeiter in der Nähe der hinteren, die Leiter in der Nähe der vorderen Wassertammer.

Achse gedreht und in der Längsrichtung verschoben, so daß die aus vielen Düsen austretenden Dampfstrahlen die Siederohre gut bestreichen. Zur Beseitigung starker Schlackenverkrustungen an den untersten Rohrreihen des ersten Kesselzuges verwendet man einen Eindüsenbläser, der zum Schutze vor der Einwirkung der Feuergase seine Ruhestellung in einer Ausparung im Mauerwerk erhält.

**Der Steitrohrkessel** besteht bei den zur Zeit geläufigen Bauarten aus zwei oder drei nahezu senkrechten Rohrbündeln, die unten in eine gemeinsame Untertrommel, oben in je eine Obertrommel eingewalzt sind. Die Zahl der Trommeln ist wegen ihres hohen Preises und aus konstruktiven Gründen, wie Beschleunigung der Dampferzeugung bei kleinem Wassergehalt des Kessels, Verbesserung des Wasserumlaufes und Vereinfachung und Verbilligung der Kesselanlage, immer mehr verringert worden und ist jetzt der Zweitrommelkessel mit Speichertrommel (Abb. 93) der

üblichste Kessel. Die Steitrohre haben 70 bis 100 Millimeter lichten Durchmesser und sind zum Teil stark gekrümmt und infolgedessen sehr elastisch, was bei ihrer beträchtlichen Länge zur Aufnahme der Wärmedehnungen und zur Verhütung der großen, meist unberechenbaren Wärmebeanspruchungen in den Walzstellen sehr wesentlich ist. Letztere werden außerdem durch Verkleidung mit feuerfesten Steinen oder durch Aufspritzen von Schamottepaste (Torkretierung) der Einwirkung der Feuergase entzogen. Auf die Sicherheit der Walzstellen wird von den Kesselabriken viel Sorgfalt verwendet (siehe Seite 109). Die untere Trommel hängt bei manchen Ausführungen (Steinmüller) an geraden Ankerrohren und die zu beiden Seiten derselben angeordneten Rohrreihen erhalten eine solche Krümmung, daß sie den in der Längsrichtung auftretenden Wärmebeanspruchungen leicht zu folgen vermögen. Aus gleichem Grunde werden die Kessel auch in eisernen Gerüsten aufgehängt. Das Mauerwerk wird nach beendetem Zusammenbau des Kessels ausgeführt und dient nur dem Abschluß der Feuerzüge, hat also keinen Druck durch das Kesselgewicht auszuhalten.

Zweitrommelkessel werden wie die Wassertammerkessel zumeist mit Wasserspeichertrommel (Abb. 93) ausgerüstet, um den Betrieb beim Versagen der Speisung

wenigstens für 20 bis 30 Minuten sicherzustellen. Heizflächenbelastungen von 50 bis 60 Kilogramm je Quadratmeter und Stunde gelten für Höchstleistungskessel mit Unterwind-Zonenwanderöfen auch bei Verfeuerung geringwertiger Brennstoffe als normal. Gebaut werden diese Kessel für alle Drücke und Heizflächengrößen (zur Zeit bis 2400 Quadratmeter).

Die Frage, ob im jeweiligen Falle dem Teilkammer- oder dem Steilrohrkessel der Vorzug zu geben ist, ist weniger eine technische als eine finanzielle und nach der Rentabilitätsberechnung und der Betriebsführung zu entscheiden.

**Der Schiffskessel.** Ein gebräuchlicher Schiffskessel, der auf Seeschiffen und auf Flußdampfern vielfach verwendet wird, ist der nebenstehend abgebildete zylindrische, sog. Schottische Kessel (Abb. 95). Derselbe wird mit einem oder bis zu vier Flammrohren ausgerüstet, die aber nicht bis in den hinteren Stirnboden des Kessels durchgeführt sind, sondern mit dem hinteren Ende in eine Rauchkammer oder Feuerkammer münden, die völlig im Kessel untergebracht und daher allseitig vom Wasser bespült wird. Die Feuerkammern sind mit dem hinteren Stirnboden durch Stehbolzen versteift. Oberhalb der Flammrohre enthält der Kessel eine große Anzahl von Heizrohren, die mit dem hinteren Ende in die Feuerkammer, mit dem vorderen Ende in die vordere Stirnwand des Kessels eingewalzt sind und in eine aus Eisenblech zusammengeietete Rauchkammer münden, die an der vorderen Stirnwand oberhalb der Flammrohre angebracht ist und die Rauchgase in den Schornstein abführt. Dieser Kessel wird in sehr großen Abmessungen bis zu mehreren hundert Quadratmetern Heizfläche hergestellt. Ganz große derartige Kessel erhalten eine größere Länge und von beiden Stirnböden ausgehende Flammrohre, die in der Mitte des Kessels eine gemeinsame Rauchkammer haben. Die Kessel werden dann auf beiden Seiten befeuert und erhalten an jedem Stirnboden einen Schornstein. Man nennt solche Kessel Doppelerkessel im Gegensatz zu dem abgebildeten Einenderkessel (Abb. 95). Wegen ihrer Einfachheit und Betriebssicherheit sind sie zumeist in der Handelsmarine eingeführt, während die Kriegsmarine den Wasserrohrkesseln den Vorzug gibt, da sich diese schneller anheizen und bei Reparaturen oder Auswechselungen leichter durch die Schiffsluken befördern lassen und für höhere Betriebsdrücke gebaut werden können als die Zylinderkessel. Vereinzelt wird der schottische Schiffskessel auch bei feststehenden Kesselanlagen angewendet, da er weniger Platz wegnimmt, die Kohle gut ausnützt und schnell aufgestellt ist. Die Schiffskessel erhalten kein Mauerwerk und werden zum Schutze gegen Wärmeausstrahlung mit Isoliermasse

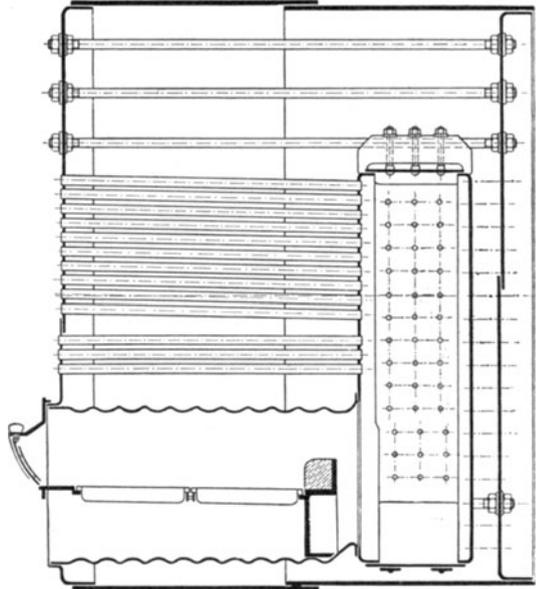


Abb. 95. Schiffskessel (Rauchrohr-)kessel, an die Heizrohre schließt sich vorn, an der Stirnseite des Kessels, die Rauchkammer an, von welcher aus die Heizgase nach dem Schornstein strömen. Die kleinen Kreise in der Feuerkammer deuten Stehbolzen an.

eingepackt. Die Heizrohre müssen, wie dies auch bei dem stationären Heizrohrkessel (Abb. 76, 85) der Fall ist, regelmäßig von Ruß und Flugasche gereinigt werden, weshalb die Rauchkammer, die vorn an die Heizrohre angeschlossen ist und nach dem Blechschornstein führt, mit Türen versehen ist, wodurch die Rauchrohre beim Reinigen mittels Dampfstrahl oder Drahtbürste zugänglich sind.

Diese Kessel werden auch mit mechanischen Beschädigungsapparaten (Abb. 44) oder mit Ölfeuerung (Abb. 38, 39) ausgerüstet.

**Wasserrohrschiffskessel** (Abb. 96)<sup>1)</sup> bestehen aus mehreren Rohrbündeln und 3, mitunter auch nur 2 Trommeln, in welcher die Rohre eingewalzt sind. In Abb. 96

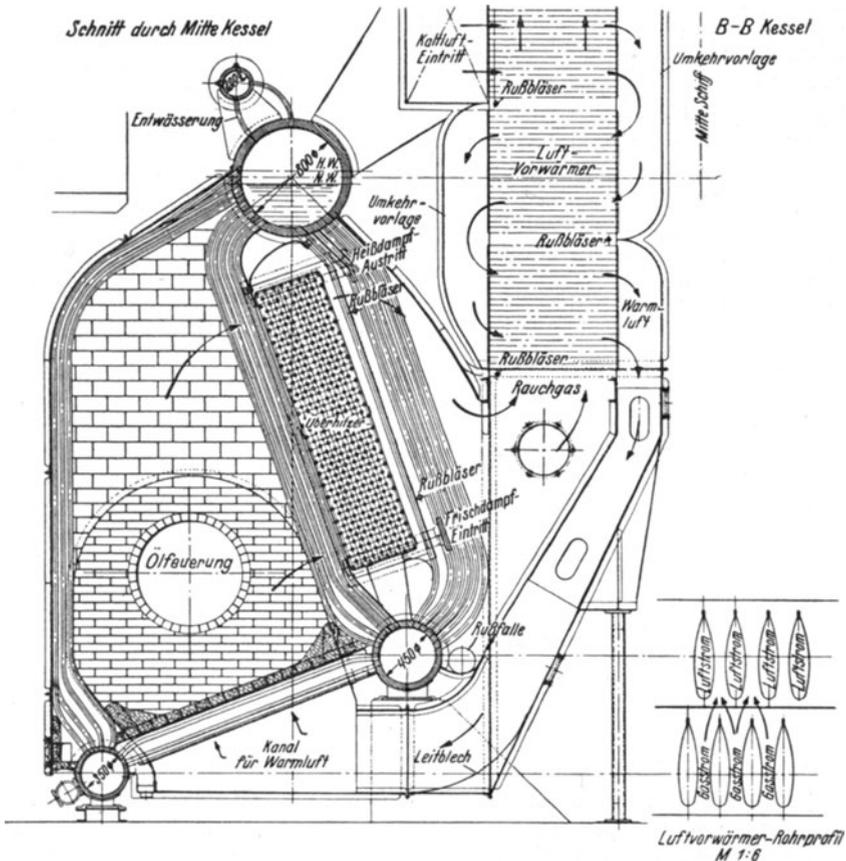


Abb. 96. Höchstleistungskessel des Ostpreussischen Fahr Schiffes „Zannenberg“ des Reichsverkehrsministeriums. Rechts unten: Rohrprofil des Luftvorwärmers.

sind die Rohrbündel im Feuerraum die Steigrohre, die Rohrbündel hinter dem Überhitzer und unter der Feuerung die Fallrohre. Sämtliche Rohre werden aus einem Spezialstahl (Kupfer-Molybdän-Stahl) gezogen, haben bei 3 Millimeter Wanddicke in den Steigrohrbündeln etwa 30, in den Fallrohrbündeln etwa 40 Millimeter lichten Durchmesser und werden zum Schutze gegen Verbiegen mittels waagrechtlicher Bänder aus einem feuerbeständigen Gußeisen in ihrer Lage gehalten. Sie

<sup>1)</sup> Abb. 96 ist der Zeitschrift „Werft, Reederei und Hafen“ 1936 Heft 6, Berlin: Julius Springer, entnommen.

sind demnach beträchtlich dünner als bei Landdampfesseln, bei denen zur Zeit 83 Millimeter äußerer Rohrdurchmesser die Regel bildet. Das Aufreißen eines einzelnen Rohres ist daher verhältnismäßig ungefährlich, namentlich bei geschlossenem unter Druck gehaltenem Heizraum. Auf der oberen Trommel befindet sich der Dampffammler mit Anschlußrohr nach dem Überhitzer, von dem die Dampfleitung nach der Schiffsturbine führt. Verwendet wird Druckzug von etwa 130 bis 200 Millimeter W. G., der den Heizraum unter Druck setzt und von elektrisch angetriebenen Gebläsen erzeugt wird. Im Rauchkanal ist der aus Röhren zusammengesetzte Lusterhitzer eingebaut. Form seiner Rohre, die außen von den Rauchgasen bestrichen werden, siehe Abb. 96. Die Kanäle für die warme Luft sind zur Vermeidung einer Überhitzung des Heizraumes dicht zu halten.

Der Höchstleistungskessel Abb. 96 hat Ölfeuerung mit je einem Brenner in der vorderen und hinteren Kesselwand, 300 Quadratmeter Heizfläche, 70 Atmosphären Betriebsdruck, 460° Überhitzertemperatur, 19 Kubikmeter Feuerraum, erzeugt je Quadratmeter Heizfläche und Stunde 83,5 Kilogramm Dampf bei einem Heizöl-

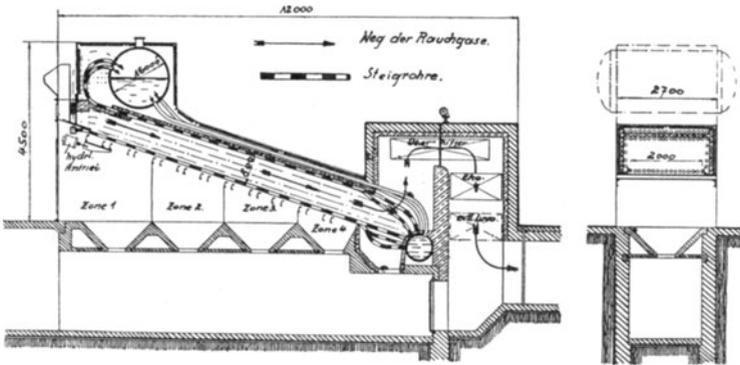


Abb. 97. Graafse-Strahlungskessel mit Zonenkühlstoker DMB.,  $2 \times 8 = 16 \text{ m}^2$  Koflfläche. Leistung 10 t Dampf stündl., 22 atü, 400° C, Brennstoff: Steinkohle.

verbrauch von 17000 Kilogramm bezogen auf 10000 W. G./kg und eine Verdampfungsziffer von 14,7. Die Maschinenleistung beträgt 12000 PS, wofür 2 Kessel gleicher Größe vorhanden sind.

**Der Strahlungskessel** Graafse (Abb. 97) beruht darauf, daß die Strahlungsheizfläche um das Vielfache wirksamer ist als die Berührungsheizfläche und daß man bei reichlicher Strahlungsheizfläche mit weniger Gesamtheizfläche auskommt, d. h. der Kessel wird bei gleicher Dampfleistung wesentlich kleiner und die Gesamtanlage billiger. In dieser Richtung bewegen sich auch verschiedene andere ähnliche neuere Kesselbauarten (La Mont u. a.). Diesem Grundgedanken wird Rechnung getragen durch Verwendung eines großen Stokerhochleistungskrofes (Abb. 56, Seite 56), der auch für die Verfeuerung billiger und ungewaschener Kohle geeignet ist, und durch einen Feuerraum, dessen Decke und Wände von Siederohren gebildet werden. Die Kessel werden mit Dampfüberhitzer und Economiser sowie nach betriebstechnischem Erfordernis auch mit Lusterhitzer ausgerüstet, beanspruchen, wie alle Wasserrohrkessel, ein einwandfrei enthärtetes Speisewasser, und brauchen sehr wenig Platz. An einem solchen Kessel von 92 Quadratmeter Heizfläche wurden bei Vollast rund 80, bei Halbast 37,5 Kilogramm Wasser je Quadratmeter Heizfläche und Stunde verdampft.

Die Entwicklung des Großkesselbaues geht, soweit sich das übersehen läßt, dahin, die Wasserrohrkessel durch **Einrohrkessel** zu ersetzen. In Betracht dürften hierbei

nur die Großkraftwerke und Schiffsanlagen mit großen Turbineneinheiten kommen. Der Raumbedarf und der Kostenaufwand für diese Kessel sind gegenüber anderer Kesselbauarten sehr gering. Einer dieser Kessel, der Benjonkessel (Abb. 98) soll in einem Falle mit 120 Tonnen stündlicher Dauerleistung ausgeführt sein, das würde etwa der Leistung von 48 Zweiflammrohrkesseln von je 100 Quadratmeter Heizfläche entsprechen. Derartige Kessel bestehen nur aus einem System

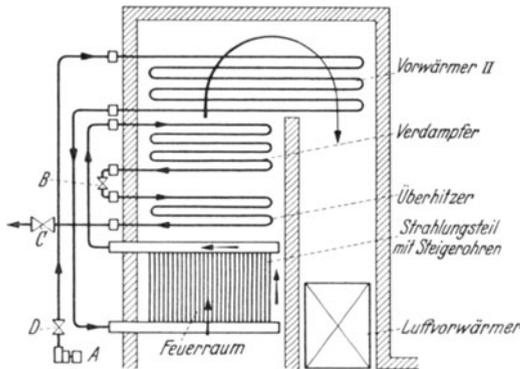


Abb. 98. Schema des Benjonkessels. A = Hochdruck-Kolbenpumpe u. Wassermesser. B = Regelventil. C = Absperrventil für Dampf nach der Turbine. D = Absperrventil für Wasser.

enger Rohre, haben also, da auch Wasserkammern und Trommeln weggelassen, einen ganz geringen Wasserinhalt. Das Speisewasser wird im gleichen Verhältnis, wie der Dampf entnommen wird, ununterbrochen durch Pumpen zugeführt und in destilliertem Zustande verwendet. Wasserstandsrichtungen fehlen. Verfeuert werden Staubkohle und Öl. Wenn diese Kessel, mit deren Herstellung sich führende Firmen (wie Borsig) befassen, zur Zeit nur vereinzelt vorhanden sind, so ist vielleicht doch mit ihrer weiteren Verbreitung zu rechnen.

## 12. Bau und Reparatur der Dampfkessel.

**Flußeisen, Stahl.** Das Dampfkesselgesetz enthält eingehende Vorschriften über die erforderliche Zerreißfestigkeit und Dehnbarkeit und Dicke der Kesselbleche, der Schweißverbindungen und der Nietnähte, worüber Prüfungszeugnisse aus den Walzwerken und rechnerische Nachweise der Kesselfabriken beizubringen sind. Mit der Steigerung der Dampfdrücke, der Feuerraumtemperatur und der Dampfüberhitzung sind auch die Kesselbaustoffe wesentlich qualifizierter geworden. Verwendet werden S.M.-Flußeisen in vier verschiedenen Blechsorten; für die Trommeln der Hoch- und Höchstdruckkessel außerdem besondere Flußeisensorten, für Siede- und Überhitzerrohre Sonderstahl (wie Kupfer-Molybdän-Stahl) und für Heißdampfzylinder Chrom-Molybdän-Stahl, die auch bei hohen Temperaturen (550 bis 650°) noch gute Dauerstandfestigkeit und Zunderfestigkeit besitzen und alterungsbeständig sind.

**Gußeisen oder Temperguß** dürfen nach den gesetzlichen Vorschriften wegen ihrer Sprödigkeit und der Möglichkeit von unsichtbaren Gußfehlern nicht zur Herstellung solcher Kesselwandungen benützt werden, die von den Heizgasen berührt werden; bei anderen nur, sofern ihr Querschnitt kreisförmig und ihr lichter Durchmesser nicht größer als 250 Millimeter ist. Bei Dampfspannungen über 10 Atmosphären Überdruck sind Kesselteile (Stützen, Flanschen, Mannlochdeckel, Rohranschlüsse usw.) aus Gußeisen oder Temperguß gänzlich verboten. Als Kesselwandungen gelten hierbei die Wandungen und Anschlußteile zwischen den Absperrventilen für Dampf und Wasser und der Ablassvorrichtung. Die Rauchgasvorwärmer (Economiser) können demnach bis zu hohen Drücken aus besonderen Gußeisensorten (Perlit- oder Elektroguß) hergestellt werden.

**Kupfer** verliert bei hohen Temperaturen bedeutend an Festigkeit und wird leicht brüchig. Seine Verwendung ist daher erheblich beschränkt, u. a. gegenüber überhitztem Dampf von mehr als 250° unterzagt.

**Beschädigungen der Kesselbleche.** Das im ersten Feuerzuge gelegene Blech beult infolge Überhitzung, die entweder durch Stichflammen oder durch Kesselstein oder durch eine Dickschicht auf dem Bleche und selbstverständlich auch durch Wassermangel verursacht sein kann, mitunter aus. Wenn diese Schäden noch nicht zu weit fortgeschritten sind, bedingen sie noch nicht ohne weiteres eine Ausbesserung. Man sorge in solchen Fällen dafür, daß die Ursache der **Ausbeulung** beseitigt werde, mache sich für die Wasser- und Feuerseite gut passende Schablonen aus Holz oder Blech und untersuche bei jeder Kesselreinigung, ob sich die Beule verschlimmert hat. Bei Flammrohren oder anderen Kesselteilen, bei denen der Dampfdruck von außen wirkt, müssen entweder die Beulen in rotwarmem Zustande zurückgedrückt oder der beschädigte Teil ausgewechselt werden.

**Äußere Anrostungen** der Kesselbleche werden durch Rässe in den Zügen und im Mauerwerk hervorgerufen und treten namentlich bei Kesseln auf, die nur einen Teil des Jahres im Betriebe sind, so daß sich die Feuchtigkeit der Luft auf den Kesselblechen absetzen kann. Es empfiehlt sich daher bei stillgesetzten Kesseln eine sofortige gründliche Reinigung der Kesselbleche von Ruß und der Essenzüge von Flugasche, sowie eine öftere Durchlüftung der Züge, nötigenfalls mittels eines Strohfeuers im Essenzugs. Äußere Anrostungen können auch von Undichtheiten des Kessels, der Ventile oder Rohrleitungen herrühren.

**Anrostungen auf der Wasserseite** entstehen durch Luftblasen oder bei ungeeigneter chemischer Beschaffenheit des Speisewassers. Im ersteren Falle treten sie an den Stellen mit geringer Verdampfung und langsamer Strömungsgeschwindigkeit des Wassers auf. Abhilfe ist durch Entgasung des Speisewassers (siehe Seite 71), mitunter bereits durch Verlegung der Ausmündungsstelle des Speiserohres an eine heiße Kesselstelle in Höhe des mittleren Wasserstandes möglich. Im übrigen sind die Ursachen der Anzehrungen nicht immer leicht feststellbar und in Fachkreisen noch viel umstritten. Sie lassen sich bei saurem Wasser durch Zusätze von Soda oder Ägnatron beheben, andererseits wird die sogenannte Laugenprödigkeit der Kesselbleche, bei welcher dieselben rissig und mürbe wurden, auf zu hohen Gehalt des Kesselwassers an diesen Stoffen zurückgeführt (siehe Seite 72). Vereinzelt sind in Höchstdruckanlagen (über 50 Atmosphären) Blechanzehrungen aufgetreten, deren Ursache man in der Abspaltung von Kohlensäure aus dem Sodagehalt des Kesselwassers und einer Verbindung derselben mit dem Bleche vermutet. Zuweilen finden sich Anzehrungen an den Flammrohrschüssen über dem Feuer so stark vor, daß sich eine mit viel Kosten verbundene Auswechslung derselben erforderlich macht. Sie können dadurch verursacht sein, daß das Blech über dem Feuer eine höhere Temperatur als an den übrigen Stellen annimmt und hierdurch im Wasser befindliche Chlorverbindungen zerlegt werden, die das Blech rasch zerstören. Auch durch das Abdecken des Feuers während der Betriebspausen wird die Entstehung dieser Anzehrungen in Rosthöhe insofern begünstigt, als an den betreffenden Stellen eine fortwährende langsame Verdampfung stattfindet, wobei die Chlorausscheidungen infolge des Fehlens des Wasserumlaufes voll zur Wirkung kommen können.

**Rietverbindungen** haben durch die neueren Herstellungsverfahren (Schweißen und Walzen) an Bedeutung verloren und werden bei manchen Bauarten (Wasserohrkessel) überhaupt nicht mehr benützt, obwohl auch mechanische Rieteinrichtungen entwickelt worden sind, die in bezug auf Sicherheit nicht zu beanstanden sind. Für hohe Drücke ist die Rietung bei den erforderlichen großen Blechstärken nicht mehr ausführbar. Für niedere Drücke ist sie aber noch viel im Gebrauche. Rietlöcher werden sauber und genau aufeinanderpassend gebohrt und nötigenfalls mit der Reibahle nachgerieben.

Die Nieten werden warm eingezogen. Beim Erkalten ziehen sie sich zusammen und pressen die Bleche fest aufeinander. Die Nietköpfe — Sekköpfe und Schließköpfe — müssen infolgedessen genügenden Widerstand gegen Aufbiegen haben und hoch sein. Eine Nietverbindung mit flachen Nietköpfen kann nicht genügend festhalten. Sind die Nieten im Laufe der Jahre abgerostet, was namentlich bei den Nieten in der Rauchkammer von Lokomobilen vorkommt, so müssen sie durch neue ersetzt werden. Völlig dicht werden die Nieten und die Nähte erst durch **Verstemmen**. Gewöhnlich werden die Kessel nur von außen verstemmt, was auch

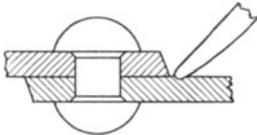
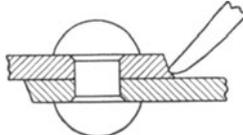


Abb. 99. falsche

Abb. 100. richtige  
Stemmkante.

völlig genügt. Einzelne Kesselfabriken verstemmen jedoch die Nähte auch auf der Innenseite. Schiffskessel werden innen und außen verstemmt. Das Dichtverstemmen erfolgt dadurch, daß die Kante des übergreifenden Bleches mit dem Stemmer auf-

getrieben und auf das darunter liegende Blech gehämmert wird (Abb. 100). Falsch ist es, das untere Blech mit einem scharfen Meißel gegen die freiliegende Kante aufzustachen, da die entstehende Furche die Blechstärke verringert und den Ausgangspunkt für die sehr gefährlichen Blechriffe in der Stemmkante bildet (Abb. 103). Die Kessel werden allgemein mit hydraulischem (Wasser-)Druck oder mit pneumatischem Druck (mittels Preßluftmaschinen) zusammengenietet. Handnietung ist nur an unzugänglichen Stellen üblich. Die maschinellen Nietvorrichtungen drücken, nachdem der rotwarmer Niet durch das Nietloch gestoßen ist, zunächst die Bleche mit großer Kraft aufeinander; hierauf wird der Schließkopf der Niete angestaucht und durch einen Wasserstrahl rasch abgekühlt, so daß sich der Niet nach dem Zurückgehen des Preßtempels nicht aufbiegen kann. Infolgedessen halten die maschinell genieteten Verbindungen sehr gut dicht. Bei der maschinellen Nietung füllt der Nietchaft

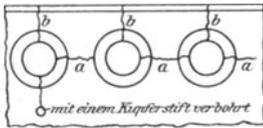


Abb. 101.

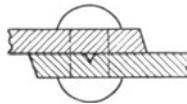


Abb. 102.

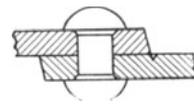


Abb. 103.

Verschiedene Blechriffe.

das Nietloch vollständig aus, während er bei Handnietung am Rande des Nietloches nicht ganz anliegt. Hierdurch wird zwar auch das Dichthalten der maschinellen Nietungen erhöht, doch lassen sich die maschinell eingezogenen Nieten im Falle etwaiger Kesselreparaturen schwer heraus schlagen und müssen nötigenfalls ausgebohrt werden, um ein Aufreißen der Bleche zu verhüten.

Die **Blechriffe** sind mitunter schwer aufzufinden und oft nur an Undichtheiten oder an Roststreifen zu erkennen. Die Bleche und Nietverbindungen sind daher bei jeder Kesselreinigung vom Heizer genau zu besichtigen. Sehr undichte Risse machen sich durch Dampf, der aus dem Kesselgemäuer aufsteigt, oder durch ein Zischen im Feuerzuge bemerkbar. Bei derartigen Anzeichen, mögen sie auch unbedeutend erscheinen, ist daher sofort die Ursache zu erforschen.

Die Nietlochriffe treten als Stegriffe a oder als Kantenriffe b auf (Abb. 101, 104). Sehr schwierig zu finden und deshalb besonders gefährlich sind die Stegriffe unter der Überlappung (siehe Abb. 102), die bei der Besichtigung des Bleches nicht auffindbar sind und sich nur durch Undichtheit bemerkbar machen. Darum dürfen

äußerlich fehlerfreie Nietnähte, wenn sie wiederholt an derselben Stelle undicht sind, nicht ohne weiteres verstemmt werden, sondern sind nach Herausnahme der Nieten sorgfältig, nötigenfalls mit der Lupe zu untersuchen.

Die Rantenrisse sind weniger gefährlich. Wenn sie sich ins volle Blech fortsetzen, müssen sie verschweißt oder durch Einbohren eines Stiftes am Fortschreiten verhindert werden. Sie sind sehr häufig an den Nietnähten in der Nähe des Feuers anzutreffen, z. B. in der vorderen Rundnaht der Walzenkessel, in den Feuerbuchsen von Lokomotivkesseln und in den Rauchkammern der Schiffskessel. Bei älteren Kesseln rühren sie vielfach schon von der Kesselschmiede her. Gewöhnliche Rantenrisse, wie die drei äußeren Risse b in Abb. 101, müssen lediglich sorgfältig beobachtet werden. Solange sie dichthalten und nicht fortschreiten, sind sie unbedenklich. Die Stegrisse a erfordern eine sofortige Reparatur.

Kesselwände mit kleinem gegenseitigen Abstände versteift man durch **Stehbolzen** (Abb. 105). Es sind dies mit Schraubengewinde versehene schmiedeeiserne oder kupferne Bolzen, die mit jedem Ende in eine der beiden zu versteifenden Kesselwände eingeschraubt und eingemietet oder angestaucht sind. Sie werden zur Versteifung der breiten Wände der Wasserkammern von Wasserrohrkesseln sowie zwischen den Feuerbuchsenwänden und dem äußeren Kesselmantel bei Lokomotiven und Lokomobilen angewendet.

In den Stehbolzen treten häufig Risse auf. Damit ein derartiger Bruch bemerkbar ist, bohrt man die Stehbolzen schon vor dem Einziehen entweder von außen her 3 bis 5 Millimeter weit und

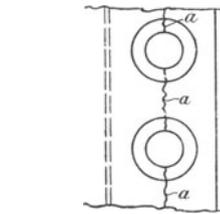


Abb. 104. Durch (sehr gefährliche) Stegrisse a beschädigte Nietverbindung.

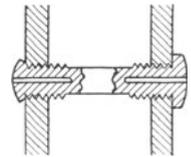


Abb. 105. Stehbolzen.

30 bis 40 Millimeter tief an, oder man macht sie hohl. Ist ein solcher Stehbolzen schadhast geworden, so wird dies durch das aus der Ausbohrung herausströmende Wasser angezeigt. Stehbolzen ohne eine derartige Anbohrung sind durch Abklopfen zu untersuchen. Man hält einen Hammer gegen den einen Kopf und schlägt mit einem zweiten Hammer auf den Gegenkopf des Stehbolzens. Ist der Stehbolzen unverfehrt, so wird der vorgehaltene Hammer abspringen, während bei gebrochenem Bolzen der Hammerschlag sich entweder gar nicht oder nur wenig fortpflanzt. Zur Vornahme einer solchen Prüfung gehören zwei Mann. Einzelne durchbrochene Stehbolzen bedeuten an sich noch keine Gefahr, sie können jedoch den Bruch benachbarter Stehbolzen beschleunigen, und es können durch ihre rechtzeitige Erneuerung unter Umständen umfangreiche Kesselreparaturen vermieden werden.

**Das Einwalzen und Abdichten der Rohre** wird bei den Siede- und den Rohrrohrkesseln angewendet. Benützt werden elektrisch betriebene Einwalzapparate, mit denen man eine bessere und gleichmäßigere Haftaufweitung erzielt als mit den früher üblichen Handapparaten. Eingehende Versuche haben ergeben, daß die Haftkraft gefeilter Rohre in den Einwalzstellen wesentlich größer ist als die von polierten und rauh gedrehten. Die Rohrenden werden deshalb vor dem Einwalzen gefeilt und sorgfältig ausgeglüht. Walzfehler dürfen sie nicht haben.

**Die Wasserdruckprobe des Kessels.** Um zu sehen, ob die Nietverbindungen dicht halten, wird der Kessel völlig mit Wasser gefüllt und hierauf mit einer Handdruckpumpe Wasser bis zu einem bestimmten Druck nachgedrückt. Undichte Stellen müssen verstemmt werden, aber nicht bei hohem Wasserdruck im Kessel, da hierbei die Niet-

köpfe abspringen oder Nietnähte aufreißen können. Der bei den amtlichen Wasserdruckproben anzuwendende Druck richtet sich nach dem Betriebsdruck des Kessels und ist im Dampfkesselgesetz geregelt. Will sich ein Heizer überzeugen, ob sein Kessel dicht hält, so genügt die Wasserdruckprobe mit dem höchsten zulässigen Betriebsdruck.

### 13. Die Ausrüstung des Dampfkessels.

Zu jedem Dampfkessel gehören gewisse Armaturen oder Ausrüstungsgegenstände, mittels welcher der geordnete Kesselbetrieb aufrechterhalten und für die nötige Sicherheit beim Kesselbetrieb gesorgt wird. Sie sind bis in alle Einzelheiten durch das Dampfkesselgesetz vorgeschrieben und dürfen ohne behördliche Genehmigung nicht verändert oder durch andere ersetzt werden. Sie bestehen aus den Vorrichtungen:

1. zur Erkennung des Wasserstandes (Wasserstandsgläser, Probierhähne);
2. zur Messung des Dampfdruckes (Manometer);
3. zur Verhütung einer zu hohen Dampfspannung (Sicherheitsventile);
4. zur Erhaltung des Wasserstandes im Kessel (Speisevorrichtungen, Pumpen, Injektoren);
5. aus den Abfluß- und Absperrventilen.

**Die Wasserstandszeiger.** Der Heizer muß jederzeit sehen können, wie hoch das Wasser im Kessel steht. Der Dampfkessel darf nicht zu hoch voll Wasser gespeist werden, er darf aber auch nicht zu wenig Wasser enthalten. Steigt das Wasser im Kessel infolge übermäßigen Speisens **zu hoch** an, so werden der Dampfraum und bei den meisten Kesselarten auch der Wasserpiegel zu sehr verkleinert, und es entsteht sehr nasser Dampf, der, wie wir bereits früher sahen, Wärmeverluste herbeiführt und zu Wasserchlägen und Betriebsstörungen der Dampfmaschine usw. Anlaß geben kann.

Noch gefährlicher als der zu hohe ist der **zu niedrige** Wasserstand im Kessel. Sinkt der Wasserpiegel so weit, daß einzelne von den Heizgasen berührte Teile des Kessels vom Wasser entblößt sind, so werden sie namentlich über dem Feuer schnell glühend und von dem gespannten Dampf mit Leichtigkeit ausgebeult. Reißt hierbei das Blech auf, so strömen der Dampf und das Wasser mit großer Gewalt aus dem Kessel heraus, das hocherhitzte Kesselwasser verwandelt sich augenblicklich in Dampf und zertrümmert, da weder der Kessel noch das Mauerwerk der plötzlich freierdenden Dampf Gewalt widerstehen können, die Kesselanlage, d. h. der Kessel explodiert.

Es ist daher sehr wichtig, daß die Stelle, unter welche der Wasserpiegel im Kessel nicht herunterfallen darf, jederzeit deutlich erkennbar am Kessel bezeichnet ist. Man nennt diese Stelle den **zulässig niedrigsten Wasserstand** im Kessel. Er wird durch eine Strichmarke mit den Buchstaben N—W an der Stirnwand des Kessels und durch je einen Stift hinter den Wasserstandsgläsern dauernd und deutlich bezeichnet. Bis zu diesem Merkzeichen muß das Wasser im Kessel unter allen Umständen heranreichen. Kommt es vor, daß die Speisevorrichtungen versagen, und der Wasserpiegel im Kessel zu tief sinkt, so **muß der Heizer das Feuer aus dem Kessel herausziehen** und die Ventile für die Dampfrohrleitungen schließen. Sobald das Feuer aus dem Kessel herausgezogen ist, besteht keine Gefahr für den Kessel mehr, vorausgesetzt, daß die vom Wasser entblößten Kesselbleche nicht etwa der strahlenden Wärme von glühendem Mauerwerk ausgesetzt sind. Bei derartigen Kesselanlagen muß der Heizer doppelt wachsam sein und einen zu niedrigen Wasserstand im Kessel erst recht vermeiden. Im Notfalle ist der Essenschieber aufzuziehen und das glühende Mauerwerk durch die einströmende Zugluft abzukühlen.

Das Dampfkesselgesetz schreibt vor, daß die Marken für den zulässig niedrigsten Wasserstand mindestens 100 Millimeter über der höchsten, von den Heizgasen berührten Kesselstelle liegen. Bei Dampfkesseln, deren Wasseroberfläche kleiner als das 1,3fache der gesamten Kofffläche ist, muß dieser Abstand mindestens 150 Millimeter betragen. (Näheres enthält § 3 der reichsgesetzlichen Bekanntmachung über die Anlegung von Dampfkesseln.) Der als normal anzusehende Wasserstand, der nur ausnahmsweise überschritten werden darf, liegt je nach der Kesselart 100 bis 200 Millimeter höher als der zulässige niedrigste Wasserstand.

Nach den reichsgesetzlichen Vorschriften (§ 7 des Dampfkesselgesetzes) muß jeder Dampfkessel mindestens mit zwei Vorrichtungen zur Erkennung des Wasserstandes versehen sein, von denen wenigstens die eine ein Wasserstandsglas sein muß. Schwimmer, Schmelzproppen und Spindelventile, die nicht durchstoßbar sind oder sich ganz herausdrehen lassen, sind überhaupt nicht zulässig. Es muß also jeder Dampfkessel von Rechts wegen entweder mit zwei Wasserstandsgläsern oder mit einem Wasserstandsglase und zwei Probierhähnen ausgerüstet sein.

Schiffskessel müssen laut Gesetz mindestens drei Wasserstandsvorrichtungen haben, zwei davon müssen Wasserstandsgläser sein und möglichst weit nach rechts und links von der Kesselmitte abstehen.

**Die Probierhähne.** Die einfachste und billigste Wasserstandsvorrichtung ist der Probierhahn. Man bringt gewöhnlich zwei, seltener drei in verschiedener Höhe an der vorderen Stirnwand des Kessels an. Der unterste Probierhahn muß in gleicher Höhe mit der Marke für den zulässig niedrigsten Wasserstand liegen und daher beim Probieren stets Wasser aus dem Kessel entweichen lassen. Den obersten Probierhahn setzt man 100 bis 200 Millimeter höher als den untersten Probierhahn. Kommt beim Probieren Wasser aus ihm heraus, so muß der Heizer die Speisevorrichtung abstellen. Mitunter wird zwischen diesen beiden Hähnen noch ein dritter Probierhahn angebracht.

Bei den Probierhähnen kann man nicht ohne weiteres ersehen, wo sich der Wasserstand im Kessel befindet. Auch gehört einige Übung dazu, um unterscheiden zu können, ob aus dem geöffneten Hahne Dampf oder Wasser austritt, denn das Wasser, welches durch den geöffneten Hahn aus dem Dampfkessel herausströmt, verwandelt sich an der äußeren Mündung des Hahnes sofort in Dampf. Einen solchen Dampfstrahl (Abb. 106) erkennt man daran, daß er breiter ist und ein stärkeres Geräusch erzeugt als der Dampfstrahl aus dem Dampfraum (Abb. 107). Um sich vor einem Irrtum zu schützen, probiere man niemals nur einen Hahn, sondern stets beide Hähne nacheinander.

Gewöhnliche Probierhähne haben, namentlich bei unreinem Kesselwasser, den Nachteil, daß sie leicht undicht werden. Sollen sie dicht halten, so müssen sie fest angezogen werden; dann lassen sie sich aber schwer drehen, die Hahnkegel reiben stark im Hahngehäuse, bekommen Riefen, und die Hähne tropfen erst recht. Die Probierhähne müssen daher bei jeder Kesselreinigung gründlich nachgeschliffen und geschmiert werden. Um sie auch während des Kesselbetriebes schmieren zu können, macht man den Hahnkegel hohl und versieht ihn mit einer Schmierschraube und mit Schmiernuten. Als Hahnsmiere kann man Talg mit Graphit benutzen. Der Graphit verhütet das Festbrennen der Hahnkegel. Die Hahnkegel haben am

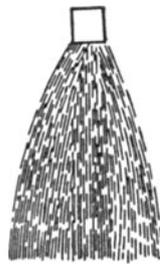


Abb. 106.  
Dampfstrahl  
aus dem  
Wasserraum.



Abb. 107.  
Dampfstrahl aus  
dem Dampfraum  
des Kessels.

unteren Ende eine Schraubenmutter, mittels welcher sie im Hahnkufen festgehalten werden. Zwischen Mutter und Hahngehäuse muß eine Unterlegscheibe mit vier-eckigem Loch angebracht werden, damit sich die Mutter beim Gebrauche des Hahnes nicht losdrehen kann.

Um das Tropfen und die starke Abnutzung der Hähne zu verhüten, benutzt man auch sog. Stopfbüchsenhähne. Das Hahngehäuse derselben ist unten geschlossen und oben mit einer Stopfbüchse für den zylindrischen Teil des Hahnkegels versehen. Da beim Nachschleifen der Hähne der Hahnkegel schwächer und das Hahngehäuse weiter wird, muß darauf geachtet werden, daß die Hähne nach der Instandsetzung noch eine genügend weite Durchgangsöffnung haben. Die Bohrung des Hahnkegels muß daher schließförmig sein und erforderlichenfalls nachgefeilt werden. Zum Nachschleifen der Hähne benutzt man feinen Schmirgel oder Glasstaub und Öl. Will man nachsehen, ob der Hahnkegel im Hahngehäuse gleichmäßig anliegt, so bestreicht man ihn recht dünn mit Schlämmeerde, dreht ihn einige Male im Hahngehäuse um und überzeugt sich dann, ob die Schlämmeerde an der Dichtungsfläche gleichmäßig abgerieben ist.

Für Drücke über 10 bis 12 Atmosphären verwendet man an Stelle der Probierhähne Probierventile. Ihre Regel erhalten einen auswechselbaren Dichtungsring aus Hartgummi oder ähnlichem Material oder es werden Regel und Sitz aus einem nichtrostenden Sonderstahl von großer Härte hergestellt, wodurch eine sehr zuverlässige Abdichtung erreicht wird.

Alle Hähne und Ventile der Wasserstandsvorrichtungen müssen in gerader Richtung durchstoßbar sein, mindestens 8 Millimeter lichten Durchmesser haben und sich bei etwaigen Verstopfungen während des vollen Betriebes wieder frei machen lassen. Nach gesetzlicher Vorschrift ist bei allen Hähnen am Dampfkessel, und zwar nicht nur bei den Probierhähnen, sondern auch bei Abblähähnen, Absperrhähnen an Wasserstandsgläsern, Manometern usw., die Richtung der Durchbohrung des Hahnes außen auf dem Hahnkegel durch Feilstriche deutlich erkennbar zu machen, so daß der Heizer auch bei den in geschlossener Rohrleitung befindlichen Hähnen ohne weiteres deutlich erkennen kann, ob sie geöffnet oder geschlossen sind.

**Die Wasserstandsgläser.** Dieselben sind die beste und verlässlichste Vorrichtung zur Erkennung des Wasserstandes. Man unterscheidet röhrenförmige und flache Wasserstandsgläser. Die Einrichtung der röhrenförmigen Wasserstandsgläser ist aus Abb. 108 zu ersehen. Das Wasserstandsglas sitzt oben und unten in den Wasserstandsköpfen a und b und kann durch leicht gangbare Hähne oder Ventile vom Kessel abgesperrt werden. Der untere Wasserstandskopf erhält einen Abblähahn oder ein Abblähventil, womit das Ausblasen des Schlammes aus der Wasserstandsvorrichtung ermöglicht wird. Das Glasrohr wird, nachdem die Verschlussmutter c entfernt worden ist, von oben hereingeschoben. Ihren wasser- und dampfdichten Abschluß besorgen die in einer kleinen Stopfbüchse liegenden Gummiringe d, welche durch die Überwurfmuttern f und die Preßringe g an das Glasrohr angepreßt werden. Damit auch die Verbindungen nach dem Kessel gereinigt und etwaige Verstopfungen rasch beseitigt werden können, sind die Wasserstandsköpfe vorn mit den Reinigungsmuttern oder Reinigungsschrauben r versehen, nach deren Entfernung der Heizer mit einem Draht etwaigen Schlamm und Kesselstein aus der Armatur entfernen kann. Der Zeiger k bezeichnet den festgesetzten zulässig niedrigsten Wasserstand im Kessel.

Eine beträchtliche Anzahl von Kesselexplosionen ist darauf zurückzuführen, daß sich der Heizer durch einen falschen Wasserstand im Wasserstandsglase hat täuschen lassen. Ist die obere oder untere Verbindung des Wasserstandsglases mit dem Kessel verstopft, so bildet sich im Wasserstandsglase ein höherer Wasserstand als

im Kessel, und es kann dann sehr leicht vorkommen, daß der Wasserspiegel im Kessel zu tief sinkt und die Kesselbleche bis zum Glühen erhitzt werden. Man erkennt derartige Unregelmäßigkeiten daran, daß das Wasser im Glase sehr ruhig steht und beim Anstellen des Glases langsam in die Höhe steigt, während es bei einem in Ordnung befindlichen Wasserstandsapparate in demselben Maße wie das kochende Wasser im Kessel auf und niederwallt und beim Öffnen der Hähne schnell hochsteigt. Die Verstopfung der Wasserstandsarmatur kann zunächst von Schlamm- und Kesselsteinablagerungen herrühren. Werden die

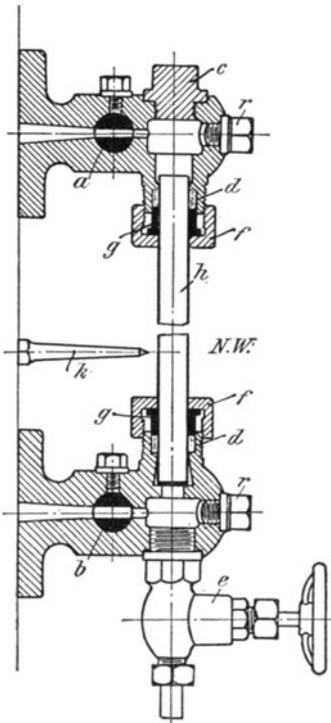


Abb. 108. Wasserstandsglas  
(Schnitt).

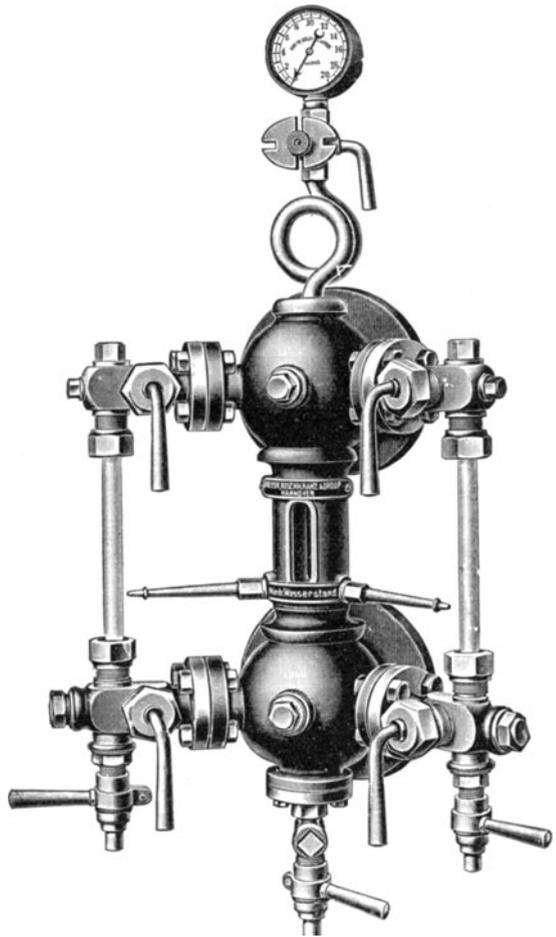


Abb. 109. Vollständiger Wasserstand von von Dreher,  
Rosenkranz & Droop N. G., Hannover.

Hähne täglich einige Male ausgeblasen, so kommen derartige Unregelmäßigkeiten kaum vor. Die Verstopfung rührt aber auch häufig davon her, daß sich der untere Gummiring um das Wasserstandsglas herumgezogen hat. In diesem Falle kann man das Glas frei machen, indem man durch den unteren Ablasshahn einen glühenden Draht einführt und den Gummi wegbrennt, oder indem man das Glas herausnimmt, sorgfältig reinigt und mit einem neuen Gummiring sorgfältig wieder einsetzt. Zur Vermeidung derartiger Verstopfungen, die für den Betrieb **im höchsten Maße gefährlich** sind, darf man nur Wasserstandsgläser verwenden, die möglichst dicht in die Bohrungen der Wasserstandsköpfe hineinpasse. In sorgfältig ge-

arbeiteten Wasserstandsköpfen müssen die Wasserstandsgläser oben und unten über den Gummiringen hervorstehen. Namentlich im unteren Wasserstandskopfe muß das Glas über den Gummiring hinaus in eine ringförmige Pfanne von ungefähr 8 Millimeter Tiefe hineinpassen. Fehlt dieselbe, so kann sich der Heizer dadurch helfen, daß er eine 5 Millimeter dicke ringförmige Messing- oder Bleischeibe vor dem Gummiring über das Wasserglas schiebt. Auch im oberen Wasserstandskopfe muß das Glas eine hinreichend lange Führung haben und einige Millimeter in den Hohlraum des Metallgehäuses hineinragen. Beim Einsetzen eines neuen Wasserstandsglases muß zuerst die untere und dann die obere Stopfbüchsenmutter angezogen und hierbei das Glas mit der Hand fest nach unten gedrückt werden, damit es mit dem unteren Ende dicht aufsitzt. Sind zwei Wasserstandsgläser vorhanden, so sind **stets beide** anzustellen, damit sie zur gegenseitigen Kontrolle über den Wasserstand im Kessel benutzt werden können. Völlig verkehrt ist es, wenn der Heizer nur ein Wasserstandsglas anstellt und das andere in der Absicht abschließt, es beim Bruche des ersten Glases in Reserve haben zu wollen.

Eine Erneuerung der Wasserstandsgläser soll erst dann nötig werden, wenn dieselben infolge der Abnutzung durch den Dampf so dünn geworden sind, daß sie zerbrechen. Am oberen Ende ist die Abnutzung des Glases am größten, weil sich hier stets Dampf kondensiert, das Kondenswasser unaufhörlich am Glase niederrieselt und letzteres hierbei allmählich aufgelöst und dünner wird. Die Wasserstandsgläser dürfen nicht an den metallenen Führungen, sondern nur an den Gummiringen anliegen. Klemmt ein Glas schon beim Einsetzen, so stehen die Wasserstandsköpfe schief zueinander und müssen gerade gerichtet werden. Andernfalls treten beim Anziehen der Stopfbüchsenmuttern Spannungen in den Glasröhren auf, und letztere brechen häufig. Dasselbe ist der Fall, wenn sie schroffem Temperaturwechsel beim Anstellen oder durch Luftzug ausgesetzt sind. Verwendet werden Glasrohre aus Jenaer Verbundglas, die aus zwei übereinander verschmolzenen Glasschichten von verschiedener Ausdehnung bestehen und gegen schroffen Temperaturwechsel unempfindlich sind.

Beim Anstellen eines Wasserstandsglases öffne man den unteren Abflußhahn und lasse zunächst eine Weile Dampf durch das Glas ausströmen. Hierauf öffne man den unteren Wasserhahn am Glase, so daß Wasser aus dem Kessel strömt, und schließe nunmehr den Abschlußhahn. Bei der Auswahl der Gläser achte man darauf, daß sie gut in die Armatur passen, d. h. daß sie die richtige Länge und den richtigen Durchmesser haben. Ferner müssen die Gläser frei von Schlieren und Sandkörnern sowie an beiden Enden verschmolzen sein. Die gebräuchlichsten Wasserstandsgläser sind 280, 320 und 340 Millimeter lang und haben einen äußeren Durchmesser von 13, 16 oder 20 Millimeter.

Die runden Wasserstandsgläser werden noch mit Schutzhüllen versehen, die die Gläser vor kalter Zugluft und den Heizer bei Glasbruch vor Glassplintern schützen sollen. Die Schutzhüllen werden entweder durch schwache Federn festgehalten oder am oberen Ende pendelartig aufgehängt, damit sie beim Bruche des Glases dem Drucke des ausströmenden Wassers nachgeben können.

An Stelle der runden Wasserstandsgläser werden fast ausschließlich 10 bis 15 Millimeter dicke Flachgläser verwendet, die auf der Wasserseite Kissen haben, wodurch der Wasserraum schwarz, der Dampfraum silberglänzend weiß erscheint und beide schnell und deutlich erkennbar sind. Wegen dieser Lichtwirkung, die auf der verschiedenen Brechung der Lichtstrahlen in Wasser und Dampf beruht, werden sie **Reflexions-Wasserstandsanzeiger** genannt. Sie werden in einen metallenen Glashalter eingebaut und eignen sich für hohe Betriebsdrücke, sind gegen schroffen Temperaturwechsel unempfindlich und bedürfen keiner Schutzhüllen gegen Bruch.

Der „Cardo“-Glashalter<sup>1)</sup> (Abb. 111 a), Patent Schäffer & Budenberg, zeichnet sich durch schonende Lagerung und leichte Auswechselbarkeit des Glases aus. Zwei über die ganze Glaslänge reichende umklappbare Glashalter pressen das Glas auf seinem ganzen Umfang gleichmäßig an die Klingeritdichtung und an das Gehäuse an und verhüten hierdurch das Absplittern der Glaskanten durch ungleichmäßiges Anpressen. Auf der Außenseite des Glases, unter den Druckleisten der beweglichen Glashalter, befindet sich aus gleichem Grunde eine schmale Polsterplatte.

Bei dem Glimo-Hochdruckwasserstandsanzeiger, Patent Schäffer & Budenberg, ist die Reflexionsglasplatte durch eine vordere und eine hintere Glimmerscheibe ersetzt, da auch die Glasplatten bei hohem Druck und hoher Temperatur unter dem chemischen Einflusse des Kesselwassers schadhast werden, die Durchsicht verschlechtert wird und die Glimmerscheiben sich auch bei hohen Drücken (bis 120 Atmosphären) um ein Vielfaches haltbarer erwiesen haben. Hinter dem Wasserstandsapparat befindet sich eine Glühlampe, deren



Abb. 110. Wasserstands-  
anzeiger mit flachem  
Glase.



Abb. 111a. „Cardo“-Wasser-  
standsanzeiger (Auswechslung  
des Schauglases).

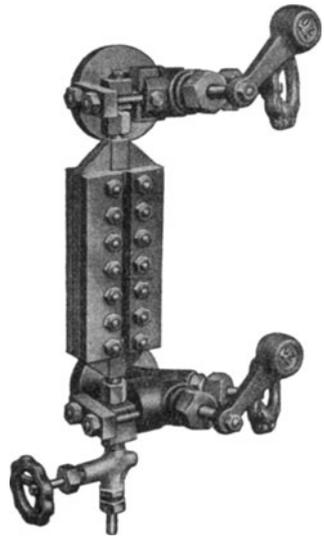


Abb. 111b. Hochdruckwasser-  
standsanzeiger „Glimo“,  
bis 100 Atm.

Licht schräg nach oben gegen den Wasserpiegel geworfen und nach dem Heizersstand reflektiert wird, wodurch der Wasserstand als leuchtende Flamme erscheint und weithin sichtbar ist.

Wasserstandsgläser mit selbsttätigem Verschluss verhindern bei Glasbruch das Ausströmen des Dampfes und des Wassers aus dem Kessel und dienen auch dem Schutze des Heizers gegen Verbrühungen. Die Abschlußvorrichtung besteht entweder in einer Messingkugel oder einer Drehklappe im oberen und unteren Wasserstandskopf, die bei Glasbruch vom Druck des ausströmenden Dampfes gegen dessen Austrittsöffnung geschleudert werden. (Abb. 114).

<sup>1)</sup> Cardo (lateinisch) = Türangel; der Name kennzeichnet die typische drehbare Anbringung der Glashalter.

Die Schwimmerwasserstandsanzeiger und Alarmparate gelten zwar nicht als gefeßliche Wasserstandsvorrichtungen, sind aber sehr zweckmäßig. Der viel angewendete Hannemann-Alarmparat (Abb. 112) hat zwei Dampfpeifen, von denen die eine, mit dumpfem Ton, den niedrigsten, die andere, mit hohem Ton, den höchsten Wasserstand meldet. Der Apparat kann auch außerhalb des Kessels in einem Tauchtopf, der selbstverständlich mit dem Dampf- und Wasserraum des Kessels verbunden sein muß, untergebracht werden und wird bis zu 60 Atmosphären Druck verwendet. Die Meldegrenzen können auch während des Betriebs geändert werden.

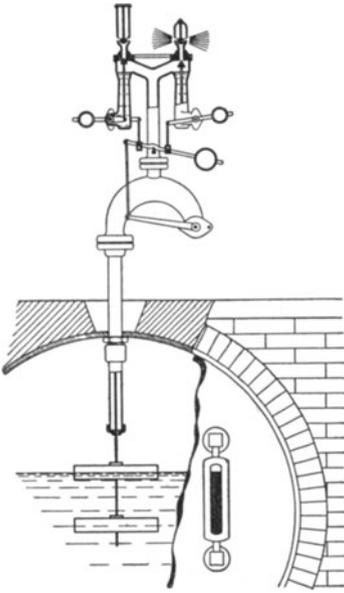


Abb. 112. Hannemann-Alarmparat. Der hochangestiegene Wasserstand (siehe Wasserstandsglas) hat beide Tauchkörper gehoben und der Gewichtshebel das rechte Ventil geöffnet, so daß die Peife mit hohem Ton ertönt. Ventil links und zugehörige Peife sind geschlossen.

wasserunlöslichen Anzeigeflüssigkeit von etwa dem doppelten spezifischen Gewicht des Wassers gefüllt ist, die in demselben

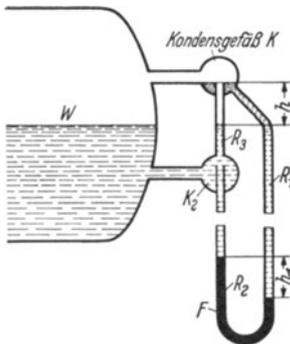


Abb. 113. Schema des Fernwasserstandsanzeigers „Subo“.

wasserunlöslichen Anzeigeflüssigkeit von etwa dem doppelten spezifischen Gewicht des Wassers gefüllt ist, die in demselben

**Fernwasserstandsvorrichtungen**

an Kesseln mit hoch über dem Heizerstande gelegenen Wasserstandsgläsern sind in einigen guten Bauarten als gefeßliche Wasserstandsvorrichtungen zugelassen. Bauart „Subo“,

Schäffer & Budenberg, (Abb. 113) besteht aus einem U-Rohr, bei dem ein Schenkel im Dampf-, der andere im Wasserraum mündet und das unten mit einer roten, das wie der Wasserstand im Kessel auf- und niedergeht, aus dem Gleichgewicht gehoben wird und den Wasserstand weithin sichtbar macht. Der Verschlammung des Apparates ist dadurch vorgebeugt, daß sich die Rohre mit Kondenswasser aus dem Dampfraum füllen und am Anschlußstutzen ein Schlammfänger K<sub>2</sub> mit Abfließventil angebracht ist.

**Wasserstands-Fernanzeiger Hannemann, Berlin-Frohnau**

(Abb. 115). Der gewichtsentlastete Tauchkörper mit patentierter Wellenlagerung (Abb. 143) überträgt die Bewegungen des Wasserspiegels im Kessel mittels eines Schwimmers und eines dünnen über Rollen laufenden Stahlseiles auf einen lichtundurchlässigen Spiegelförper im Mattglas-

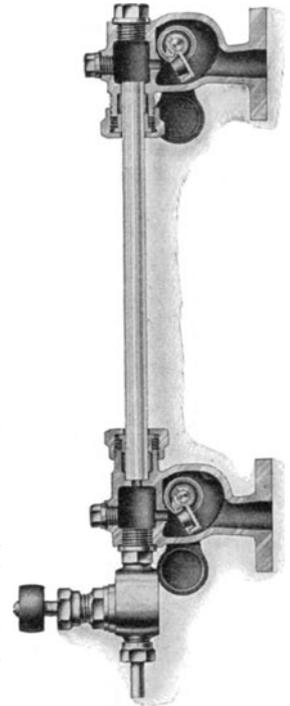


Abb. 114. Wasserstandsanzeiger der Firma Schumann & Co., Leipzig-Blagwitz. Bei einem Bruch des Wasserstandsglases werden die Klappen durch den Druck des ausströmenden Wassers und Dampfes geschlossen.

Zylinder eines Anzeigegefäßes, das oben und unten je eine Glühlampe hat, die ihr Licht gegen den Spiegelförper werfen, so daß der Wasserraum rot, der Dampfraum weiß und der Wasserstand weithin sichtbar erscheinen. Der Apparat ist als einer der beiden gesetzlichen Wasserstandsanzeiger zugelassen.

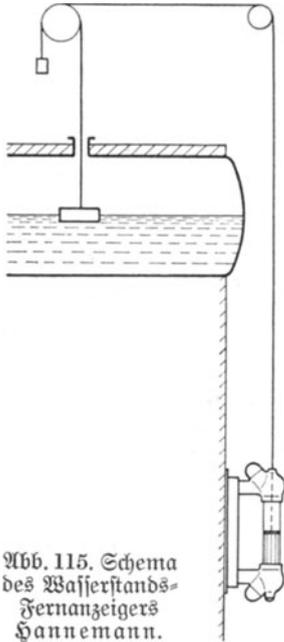


Abb. 115. Schema des Wasserstandsfernanzeigers Hannemann.

Der heruntergezogene Wasserstand der **Hannomag**, Hannover-Linden (Abb. 116) gilt nicht als gesetzliche Wasserstands-vorrichtung, ist aber auch vielfach angewendet. Schwimmer S ist bis 25 Atmosphären hohl, darüber hinaus massiv und durch ein Gegengewicht ausgeglichen. Rohr R verläuft senkrecht von der Kesseltrommel T bis in Augenhöhe des Heizers, füllt sich im Betriebe mit Wasser und hat unten das Gehäuse mit dem Wasserstandsglase, der Marke NW und dem Durchblasehahn H.

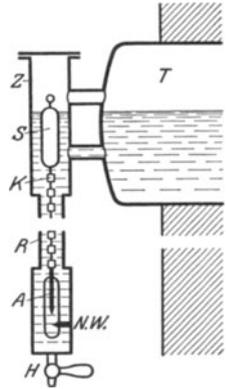


Abb. 116. Heruntergezogener Wasserstand der Hannomag, Hannover-Linden, für Betriebsdrücke bis zu 25 Atmosphären.

Die Wasserstandsgläser sind bei Betriebschluß ab- und bei Betriebsbeginn als erste Handlung des Heizers anzustellen. Beim Anheizen und während des Betriebes steigt der Wasserspiegel an, da sich das

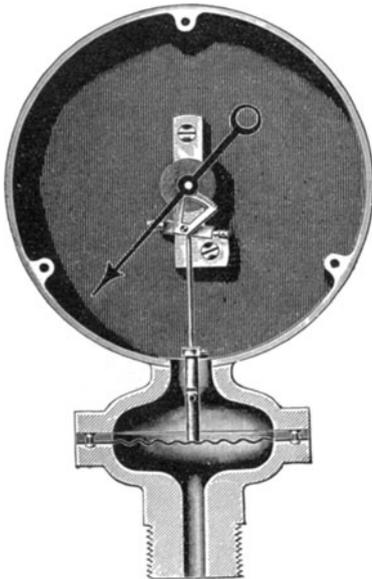


Abb. 117.



Abb. 118.

Blattenfedermanometer.

Wasser mit Dampfblasen durchsetzt und beim Erwärmen ausdehnt. (1000 Liter Wasser von 4° nehmen bei 25° 1002, bei 100° 1042 und bei 200° 1159 Liter Raum

ein). Umgekehrt fällt der Wasserstand bei Unterbrechung der Verdampfung und beim Abkühlen des Wassers nach mehrstündiger Betriebspause.

**Die Manometer.** Bei dem Plattenfedermanometer (Abb. 117) wirkt der Dampfdruck auf eine aus dünnem Stahlblech hergestellte Plattenfeder, die am ganzen Umfang zwischen zwei Flanschen eingespannt und zur Erhöhung der Elastizität mit ringförmigen Wellen versehen ist. Der Dampfdruck wirkt nur auf die untere Seite dieser Membranfeder und biegt sie nach oben durch. Diese Durchbiegung benutzt man zur Bewegung des Manometerzeigers, indem man auf die Mitte der oberen Seite der Plattenfeder eine Säule lötet, die durch eine Lenkerstange und einen Zahnradbogen die Zeigerachse dreht.

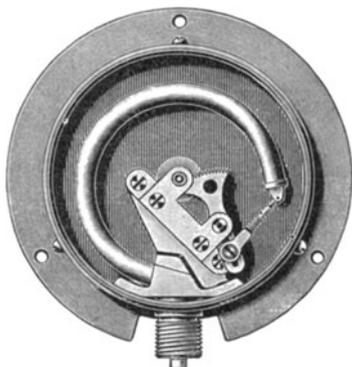


Abb. 119. Röhrenfedermanometer mit abgenommenem Zifferblatt. Dreher, Rosenkranz & Droop, Hannover.

Der kleinste Druckbereich des Plattenfedermanometers beträgt 0 bis 200 Millimeter Wassersäule, der größte 25 Atmosphären. Da die Plattenfeder bei großem Durchmesser und dünner Blechstärke auch so ausgeführt werden kann, daß sie nach unten federt, können die Manometer auch als Vakuummeter ausgebildet werden.

Das Röhrenfedermanometer (Abb. 119) hat eine hohle spiralförmig gebogene Feder von ovalem Querschnitt, die mit ihrem offenen Ende an einen Metallschuh am Manometergehäuse fest angelötet ist, während das andere zugelötete Ende sich frei bewegen kann. Unter dem Einfluß des Dampfdruckes sucht sie einen kreisförmigen Querschnitt anzunehmen und sich gerade zu strecken. Die hierbei auftretende Bewegung ihres freien Endes wird durch einen Mechanismus zur Zeigerbewegung entlang der Skala benutzt. Die Röhrenfedermanometer werden für alle im Dampfkesselbetrieb vorkommenden Drücke gebaut. Bis 60 Atmosphären werden Metallfedern, darüber hinaus Stahlrohrfedern verwendet.

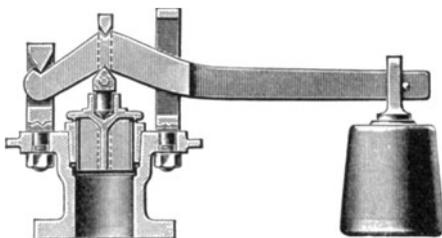


Abb. 120 mit Gewichtsbelastung.

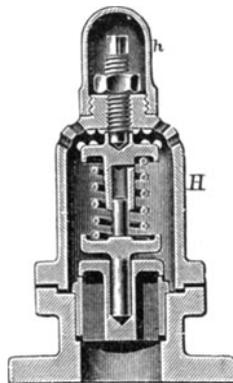


Abb. 121 mit Federbelastung.

Normale Sicherheitsventile von Dreher, Rosenkranz & Droop G. m. b. H., Hannover.

Die Manometer sollen zur Schonung der Feder nur handwarm werden. Druckschwankungen, die ein dauerndes Pendeln des Zeigers hervorrufen, und Druckstöße bei plötzlichen Be- und Entlastungen sowie dauernde Erschütterungen dürfen nicht auf das Manometer einwirken. Nach dem Dampfkesselgegesetz ist am Zifferblatt des Manometers der festgesetzte höchste Betriebsdruck durch eine unveränderliche deutliche Marke zu bezeichnen, ferner muß das Manometer für den Probedruck bei den amtlichen Druckproben ausreichen, die Manometerleitung mit einem Wasser-

faß versehen, zum Ausblasen eingerichtet und dicht am Manometer ein Dreivegehahn mit einem Stutzen zum Anschrauben des amtlichen Kontrollmanometers vorhanden sein. Die Manometerleitung wird zur Verhütung von Verstopfungen durch Rost nicht aus Eisen, sondern aus Kupfer hergestellt.

Die Plattenfeder ist im Anzeigen wesentlich träger und gegen ungleichmäßige Erwärmung empfindlicher als die Röhrenfeder. Ungenauigkeiten im Mechanismus des Plattenfedermanometers machen sich stärker bemerkbar, da die Übersetzung der Feder auf den Zeiger ungefähr 1 : 70 beträgt, gegenüber 1 : 2 beim Röhrenfedermanometer. Im übrigen sind die Manometer für Dampfkessel Präzisionsstücke, die bei schonender Behandlung auch im Dauerbetrieb keine oder doch nur sehr geringe Anzeigefehler ergeben.

Dem Dreivegehahn muß der Heizer besondere Aufmerksamkeit zuwenden; namentlich muß er darauf achten, daß die Durchbohrungen deutlich auf dem Hahnkegel gekennzeichnet sind.

Die Angaben der Manometerzifferblätter lauten auf kg/qcm, wobei  $1 \text{ kg/qcm} = 1 \text{ Atmosphäre}$  gesetzt wird. (Siehe Seite 77 u. 78.)

**Geht das Manometer falsch**, geht z. B. der Zeiger nicht auf den Nullpunkt zurück, so muß man zunächst versuchen, den Fehler durch Drehen des Zifferblattes zu beheben. Bei hohen Dampfkesseln muß das Manometer hoch angebracht werden; wird es tief angebracht, so bewirkt die in dem Manometerrohr stehende Wassersäule ein Voreilen des Manometers, was für je 1 Meter senkrechte Rohrlänge  $\frac{1}{10}$  Atmosphäre beträgt. Die Manometerfabriken leisten für ihre Manometer Garantie unter der Bedingung, daß die Manometer nicht geöffnet werden; zur Kontrolle hierüber bringen sie an jedem Manometer eine plombierte Garantieschnur an.

**Vakuummeter** dienen zum Messen von Drücken unter 1 Atmosphäre der Luftleere. Sie sind gebaut wie die Manometer, haben aber wesentlich empfindlichere Federn und Ziffernblätter mit anderer Einteilung (entweder 0 bis 100 oder 0 bis 76, dem normalen Barometerstand). Da sie nur bei den Kondensationsanlagen der Dampfmaschinen und Dampfturbinen verwendet werden, sind sie in der „Maschinistenschule“ besprochen.

**Die Sicherheitsventile** sollen, wie schon der Name sagt, der Sicherheit beim Kesselbetrieb dienen und zu hohem Dampfdruck im Kessel verhüten. Das Sicherheitsventil muß daher abblasen, sobald der höchste zulässige Dampfdruck überschritten wird. Das dabei entstehende Geräusch ist zugleich ein Warnungssignal für den Heizer, der hierauf die Dampferzeugung durch Anstellen der Speisepumpe oder durch Verminderung des Essen-zuges hemmen muß. Nach den gesetzlichen Vorschriften muß jeder feststehende Dampfkessel mindestens ein Sicherheitsventil, bewegliche Dampfkessel und Schiffskessel müssen zwei haben.

Werden die Sicherheitsventile durch ein Gewicht oder eine Feder belastet, die an einem Hebel wirken, so nennt man die Belastung indirekt. Die Gewichtsbelastung (Abb. 125) hat den Vorteil, daß sie einfach ist und keiner Nachstellung bedarf, wie die Federbelastung, bei welcher die Feder zeitweilig nachgespannt

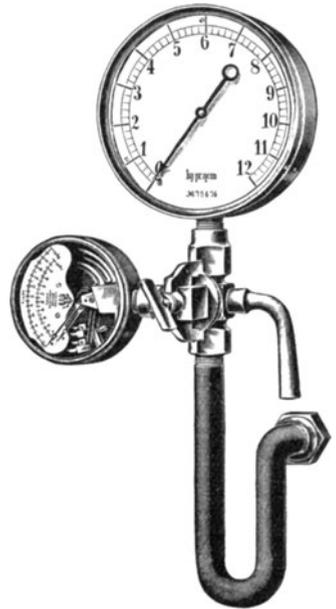


Abb. 122. Kesselmanometer mit Wasserfaß und angeschraubtem amtlichen Kontrollmanometer.

werden muß. Sicherheitsventile für Überhitzer und für fahrbare Kessel (Krane, Lokomotiven, Straßenwalzen) rüstet man jedoch wegen der größeren Unempfindlichkeit gegen den Rückstoß des Dampfes in der Dampfmaschine und gegen die beim Fahren des Kessels auftretenden Erschütterungen mit Federbelastung aus (Abb. 123).

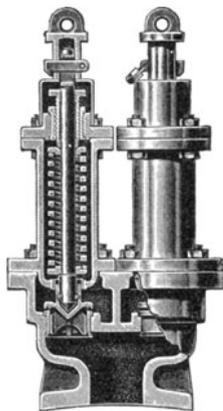


Abb. 123.

Sicherheitsventile mit direkter Federbelastung für Schiffskessel und bewegliche Dampfkessel.

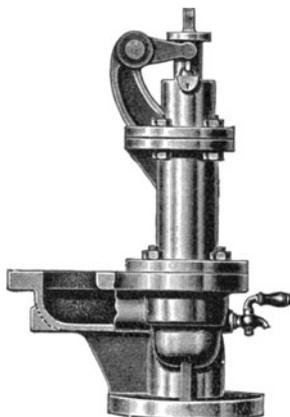


Abb. 124.

Das Belastungsgewicht hängt in einer Kerbe auf dem Hebel und wird durch eingebohrte Splinte gegen jede Verschiebung gesichert. Bei Sicherheitsventilen mit Federbelastung ist ein Anspannen der Feder über den zulässigen Druck hinaus durch eine Sperrhülse zu verhüten. Die Sicherheitsventile müssen sich während des Betriebes durch Anheben lüften und die Ventilteller auf dem Sitze drehen lassen. Man versieht deshalb die Ventilteller mit einem Sechseck oder Vierkant für einen Schraubenschlüssel. Sicherheitsventile für Schiffskessel, Lokomotiven und sonstige fahrbare Kessel wer-

den auch mit direkter Federbelastung ausgeführt, d. h. die Feder wirkt nicht an einem Hebel, sondern sitzt unmittelbar auf dem Ventilteller. An derartigen Ventilen wird eine Zugstange angebracht, mit der man das Ventil lüften kann (Abb. 124/27).

**Vollhubventile** haben über den eigentlichen Ventilteller noch eine angehoffene volle Scheibe, die einen größeren Durchmesser als der Ventilteller

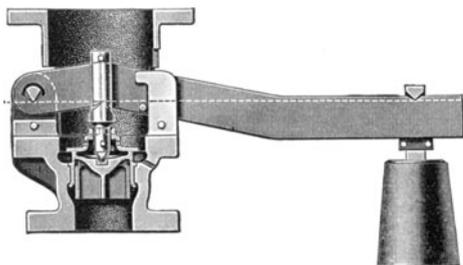


Abb. 125. Vollhubsicherheitsventil.

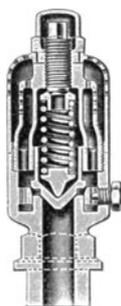


Abb. 126.



Abb. 127.

Popple'sches Sicherheitsventil mit verstellbarem Vollhub für Lokomotiven.

hat (Abb. 125). Das Ventilgehäuse ist bis an die obere Kante dieses Tellers verlängert, läßt aber einen Zwischenraum von einigen Millimetern frei. Bei einer geringen Drucküberschreitung im Kessel hebt sich der Ventilteller nur wenig; wird der Überdruck aber größer, so strömt der austretende Dampf so heftig gegen jene Scheibe an dem Ventilteller, daß letzterer sehr hoch gehoben wird und das Ventil stark abbläst. Damit der Ventilteller nicht zu hoch gehoben wird, darf das Ventilgehäuse bei geschlossenem Sicherheitsventil nicht zu viel über die mehrfach erwähnte Scheibe hinausragen. Bei dem auf Lokomotiven, Dampf-

booten usw. häufig angewandten Popschen Vollhub-Sicherheitsventil (Abb. 126 und 127) ist durch die Verstellbarkeit eines den Ventilsitz und den Ventiltiegel umschließenden Ringes die Vollhubperiode veränderlich gemacht. Beim Hochschrauben des Ringes wird der freie Ausweg für den Dampf enger, so daß der volle Hub des Sicherheitsventiles zeitiger eintritt und auch beim Zurückgehen des Dampfdruckes der Ventilschluß präziser einsetzt. Die Vollhubventile können einen kleineren Durchmesser haben und sind infolgedessen billiger als gewöhnliche Sicherheitsventile. Nähere Vorschriften über den erforderlichen Querschnitt der Sicherheitsventile sind im Dampfkesselgesetz gegeben.

Bläst ein Sicherheitsventil vorzeitig ab, so sind entweder die Sitzflächen beschädigt oder das Ventil liegt nicht waagrecht oder die Gelenke der Hebel und die Führungsflügel des Ventiltellers klemmen. Gänzlich unzulässig ist es, die Belastung oder die Hebelnängen zu ändern, was nur die zuständigen behördlichen Aufsichtsbeamten vornehmen dürfen. Ein gut in Ordnung gehaltenes Sicherheitsventil hebt sich in der Nähe des höchsten Kesseldruckes durch einen geringen Druck der Hand und schließt sich beim Loslassen der Hand von selbst wieder. Die Führungsflügel des Ventiltellers sollen in der Durchgangsöffnung des Ventils etwa  $\frac{1}{2}$  Millimeter Spielraum haben.

Die Sicherheitsventile werden am besten an der höchsten Stelle des Dampfraumes, z. B. an einem Stutzen des Dampfdomes angebracht. Befinden sie sich an einer tiefen, dem Wasserpiegel im Kessel nähergelegenen Stelle, so kann namentlich beim Abblasen der Vollhubventile aus dem Kessel Wasser fortgerissen werden.

**Hilfsgesteuerte Sicherheitsventile** für Hochleistungskessel (Abb. 128)<sup>1)</sup>. Die Vorschrift des Dampfkesselgesetzes, daß der Druck auf den Ventiltiegel bei gewichtsbelasteten Sicherheitsventilen 600 Kilogramm nicht überschreiten darf, hatte dazu geführt, daß bei hohem Dampfdruck eine sehr große Anzahl von Ventilen angebracht werden mußten. (In einem Falle 16 Doppel-Vollhub-Sicherheitsventile, also 32 Einzelventile, wodurch die Kesseltrommel und ihre Aufhängung allein durch die Belastungsgewichte mit 1700 Kilogramm belastet wurden.) Diesem Übelstand ist durch hilfsgesteuerte Sicherheitsventile abgeholfen; in dem erwähnten Falle hätten zwei derselben genügt.

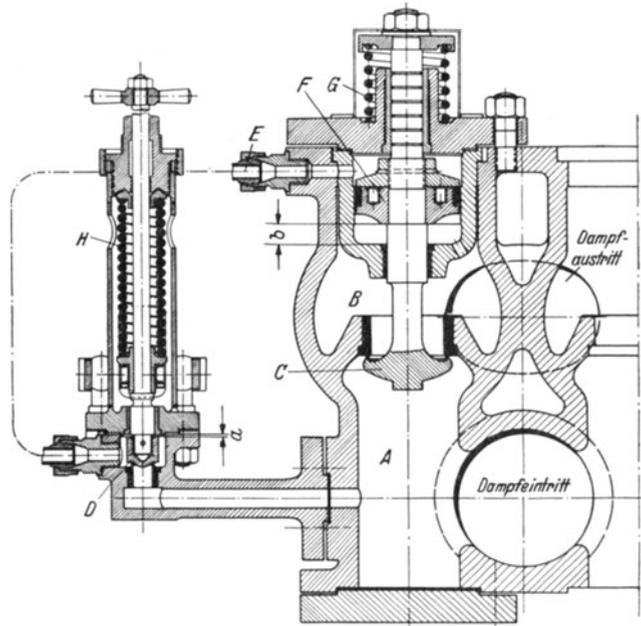


Abb. 128. Hilfsgesteuertes Sicherheitsventil für Hochleistungskessel.

<sup>1)</sup> Abb. 128 ist der Zeitschrift „Werft, Reederei, Hafen“ 1936 Heft 6, Berlin: Julius Springer, entnommen.

Im Raum A ist Kesseldruck, der das Hauptsicherheitsventil mit dem Kolben F von unten auf den Sitz preßt und bei Überschreitung des Höchstdruckes das kleine Hilfsventil D öffnet. Der ausströmende Dampf strömt durch die gestrichelte Rohrleitung von D nach E hindurch in den Raum oberhalb des Steuerkolbens F und läßt das Hauptventil abblafen. Nach dem Fallen des Dampfdruckes zieht die Feder G den Regel des Hauptventiles hoch. Der im Ventil befindliche Dampf entweicht durch Undichtheiten. Diese Ventile werden auch mit Gewichtsbelastung ausgeführt.

**Die Speisevorrichtungen** haben den Zweck, das verdampfte Wasser im Kessel wieder zu ersetzen. Nach dem Dampfkesselgesetz muß jeder Dampfkessel mindestens zwei Speisevorrichtungen haben, die nicht von derselben Betriebsvorrichtung (Dampfmaschine) abhängig sein dürfen. Zwei von derselben Dampfmaschine angetriebene Transmissionspumpen sind demnach unzulässig, eine der beiden

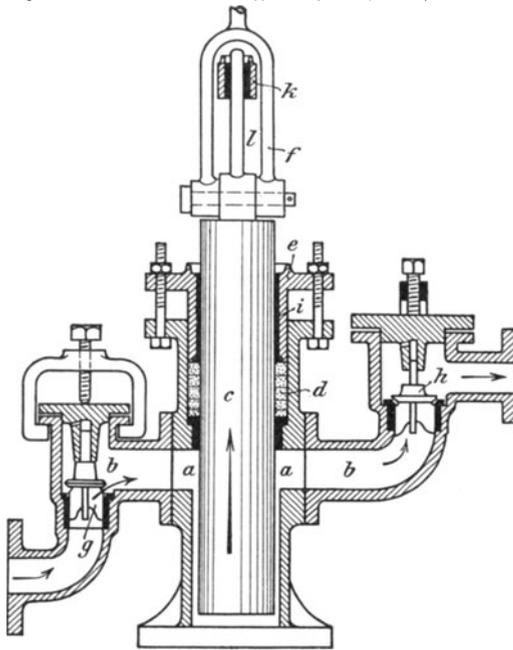


Abb. 129. Einfach wirkende Speisepumpe.

Speisevorrichtungen muß eine Dampfpumpe oder ein Injektor sein. Zulässig sind zwei Injektoren oder zwei Dampfpumpen. Jede Speisepumpe muß ferner doppelt so viel Wasser in den Kessel speisen können, als der Kessel in normalem Betriebe verdampft. Bei Maschinenpeisepumpen genügt die  $1\frac{1}{2}$ fache Leistungsfähigkeit. Handpumpen dürfen nur für Dampfkessel verwendet werden, wenn Heizfläche in Quadratmetern mal Kesseldruck in Atmosphären nicht größer als 120 ist<sup>1)</sup>. Die Speisevorrichtungen sind ständig betriebsbereit zu halten und abwechselnd zu benutzen.

**Die Saugwirkung und Saughöhe der Speisevorrichtungen** siehe Seite 77/78.

**Die einfach wirkende Speisepumpe mit Pumpenkolben** (Abb.

129) besteht aus dem Pumpenzylinder a und den angeschraubten

<sup>1)</sup> Näheres siehe Reichsges. Bl. 1923 I, Seite 263.

tung nach dem Kessel ab, während sich das Saugventil öffnet und in das Pumpengehäuse Wasser eintreten läßt. Bei seinem Abwärts gange drückt der Kolben auf das im Pumpenzylinder stehende Wasser, das Saugventil wird geschlossen und das Wasser aus dem Pumpentiefel durch das geöffnete Druckventil in die Speiseleitung und in den Kessel gepreßt. Da auf jede Kolbenbewegung nur eine Wirkung, entweder eine Saug- oder eine Druckwirkung kommt, nennt man diese Art Pumpen einfachwirkend.

Die einfach wirkenden Pumpen sind durchgängig Plunger (= Tauchkolben) pumpen. Sie werden für Maschinen- und Transmissionsantrieb und auch als Dampfpumpen ausgeführt und zeichnen sich durch sicheres Funktionieren aus. Mitunter ist nach jahrelangem Gebrauch infolge ungleichmäßiger Abnutzung die Stopfbüchse nicht mehr in dichtem Zustand zu erhalten. Der Pumpenkolben ist dann auf der Drehbank abzdrehen und die Stopfbüchse dem verkleinerten Kolbendurchmesser entsprechend neu auszubüchsen. Die Führungen für den Kolben macht man aus Rotguß oder Messing, einesteils zur Verhütung des Rostes, andererseits auch der geringen Abnutzung wegen, da Reibungsflächen von Gußeisen auf Gußeisen oder Gußeisen auf Schmiedeeisen zu stark verschleifen. Zur sicheren Führung erhalten die Ventiltiegel unten angegossene Führungssflügel und oben einen angegossenen senkrechten Stift, der in einer ausgebohrten Verlängerung des Gehäusedeckels über dem Ventile läuft. Schlägt ein Ventil beim Hubwechsel der Pumpe zu hart auf dem Sitz auf, so ist die Hubhöhe des Ventiltiegels durch einen Metall- oder Lederring über dem Führungsstift zu verringern. Die Hubhöhe der Ventiltiegel soll  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{4}$  des lichten Ventildurchmessers betragen; sie muß um so kleiner sein, je schneller die Pumpe arbeitet. Läuft die Pumpe schnell, oder wählt man eine größere Hubhöhe, so bringt man auf den Ventiltiegeln Spiralfedern an, die beim Hubwechsel des Kolbens einen schnellen Abschluß der Ventile bewirken. Die Spiralfedern an den Saugventilen verringern die Saugkraft der Pumpe und dürfen bei großer Saughöhe der Pumpe nicht zu stark gespannt sein, da die Pumpe sonst leicht versagt. Im allgemeinen ist es auch nicht gebräuchlich, den schnelleren Abschluß des Saugventils durch eine darauf lastende Feder zu beschleunigen. Wendet man daher wirklich einmal solche Federn auf dem Saugventile an, so muß man darauf achten, daß sie den Ventiltiegel in geschlossenem Zustande nicht zu sehr belasten.

Die **Dreiplungerpumpe** (Abb. 130) hat drei um  $180^\circ$  versetzte Kurbeln. Infolge dieser Kurbelanordnung arbeitet die Pumpe stoßfrei und liefert einen gleichmäßigen Wasserstrahl. Zur Regelung der Leistung werden der Saugraum und der

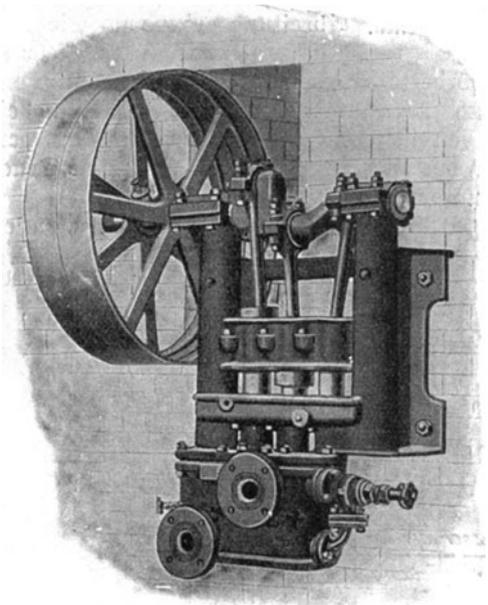


Abb. 130. Dreiplungerpumpe mit Umlaufvorrichtung von J. E. Naeyer Akt.-Ges., Pumpenfabrik in Chemnitz.

Die **Dreiplungerpumpe** (Abb. 130) hat drei um  $180^\circ$  versetzte Kurbeln. Infolge dieser Kurbelanordnung arbeitet die Pumpe stoßfrei und liefert einen gleichmäßigen Wasserstrahl. Zur Regelung der Leistung werden der Saugraum und der

Druckraum der Pumpe durch ein Rohr (in der Abb. 130 seitlich) miteinander verbunden, in welches ein Absperrventil eingebaut ist. Je nachdem man letzteres mehr oder weniger öffnet, läuft beim Niedergange der Kolben ein Teil des gefördertern Wassers aus dem Druckraum in den Saugraum der Pumpe zurück und verändert sich die in den Kessel gespeiste Wassermenge. Mit einer derartigen Umlaufvorrichtung ausgerüstete Pumpen können daher während der Betriebszeit des Kessels ununterbrochen im Gange und hierdurch der Wasserstand im Kessel auf gleichmäßiger Höhe gehalten werden.

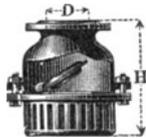


Abb. 131.  
Saugkorb mit  
Tellerventil.

Die **Dampfpumpen** werden mit und ohne Schwungrad ausgeführt. Die schwungradlosen Dampfpumpen haben weite Verbreitung gefunden. Sie besitzen wenig bewegte Teile und lassen sich auf schnellen und sehr langsamen Gang einstellen, so daß die geförderte Wassermenge in weiten Grenzen veränderlich ist und die Pumpen sich auch für ununterbrochene Kesselspeisung eignen. Da der Kolben ein Scheibenkolben ist und bei jeder Bewegung auf der einen Seite eine Saugwirkung und auf der anderen Seite gleichzeitig eine Druckwirkung erzeugt, nennt man derartige Pumpen **doppeltwirkend**.

Bedingung für das sichere Arbeiten einer Pumpe ist, daß die Kolben, die Ventile und die Saugrohre luftdicht schließen. Störungen können eintreten, wenn die gangbaren Pumpenteile abgenutzt sind, das Speisewasser zu heiß und die Saughöhe zu groß ist. Auch zu **schneller Gang** oder zu geringe lichte Weite des Saugrohres können die Ursache des Versagens der Pumpe sein; die Geschwindigkeit des Wassers in der Saugleitung soll daher ein Meter je Sekunde nicht überschreiten. Am unteren Ende des Saugrohres bringt man bei Pumpen einen Saugkorb mit einem Tellerventil oder einer Gummiplatte an (Abb. 131). Der Saugkorb hat den Zweck, das Ansaugen von Schlamm und Holzteilen zu verhüten. Ist das Wasser sehr schlammig, so ist er öfters herauszuziehen und samt dem Fußventil zu reinigen. Das Fußventil oder die Gummiplatte bewirken, daß das Wasser im Saugrohr stehen bleibt und die Pumpe bei der Ingangsetzung sofort ansaugt. Saugt die Pumpe schwer an, so schließt man das Absperrventil in der Speiseleitung, öffnet das Pumpengehäuse, gießt letzteres voll Wasser und setzt, nachdem man das Pumpengehäuse wieder verschlossen hat, die Pumpe in Bewegung. Um die Pumpe schnell nachsehen und innen reinigen zu können, müssen die Schraubenverschlüsse der Pumpengehäuse leicht zugänglich angeordnet sein. Die Saughöhe der Pumpe ist von der Temperatur des Wassers abhängig; je wärmer das Wasser ist, um so kleiner muß sie sein. Bei kaltem

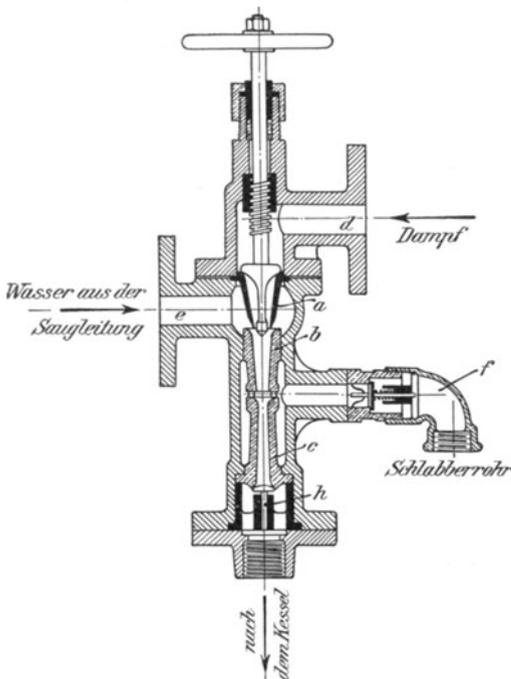


Abb. 132. Der einfache Injektor.

Wasser sehr schlammig, so ist er öfters herauszuziehen und samt dem Fußventil zu reinigen. Das Fußventil oder die Gummiplatte bewirken, daß das Wasser im Saugrohr stehen bleibt und die Pumpe bei der Ingangsetzung sofort ansaugt. Saugt die Pumpe schwer an, so schließt man das Absperrventil in der Speiseleitung, öffnet das Pumpengehäuse, gießt letzteres voll Wasser und setzt, nachdem man das Pumpengehäuse wieder verschlossen hat, die Pumpe in Bewegung. Um die Pumpe schnell nachsehen und innen reinigen zu können, müssen die Schraubenverschlüsse der Pumpengehäuse leicht zugänglich angeordnet sein. Die Saughöhe der Pumpe ist von der Temperatur des Wassers abhängig; je wärmer das Wasser ist, um so kleiner muß sie sein. Bei kaltem

Wasser beträgt sie theoretisch 10 Meter, in der Praxis darf sie aber nicht größer als 8 Meter sein. Das Nähere über die Saugwirkung der Pumpe ist bereits früher bei der Besprechung über die Messung des Luftdruckes erörtert worden (S. 78).

Die **Dampfstrahlpumpen oder Injektoren** sind wegen ihrer Einfachheit und Zuverlässigkeit vielfach angewendet. Der Dampf tritt an der Stelle *d* in den Injektor (Abb. 132). Wird die Ventilschindel herausgeschraubt, so strömt der Dampf durch die Düse *a* und erzeugt im Injektorgehäuse eine Luftverdünnung, durch die das Wasser aus der Saugleitung *e* angesaugt wird. Das angesaugte Wasser wirkt kondensierend auf den Dampf, vergrößert hierdurch die Luftleere und die Saugwirkung, vermischt sich in der Düse *b* mit dem Dampf zu einem

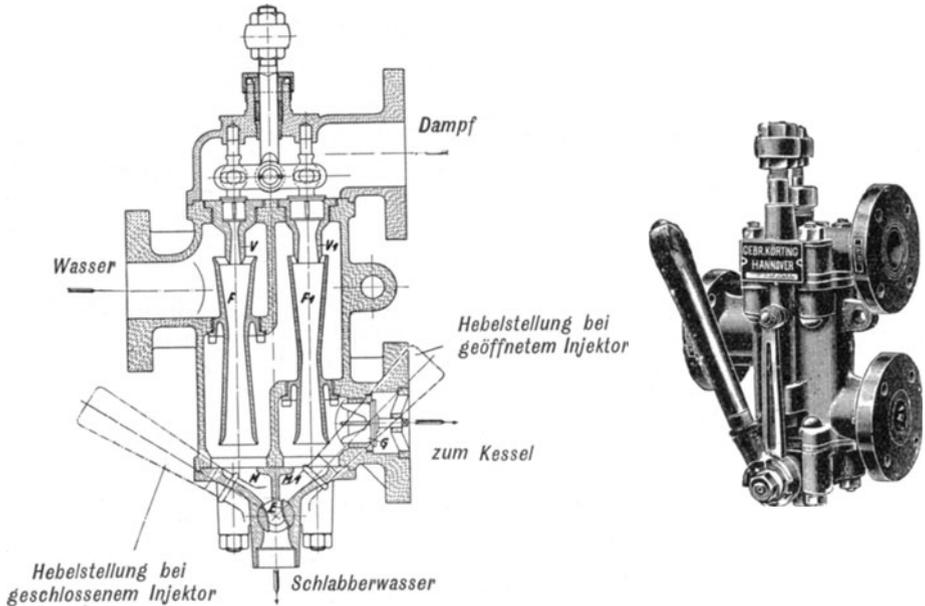


Abb. 133 u. 134. Schnittzeichnung und Ansicht des Rörting-Injektors neuerer Bauart. Bei geringer Bewegung des Hebels, der mit Hahn *E* fest verbunden ist, wird zunächst das Ventil der Saugdüse *V* geöffnet, weil es kleiner als das Ventil der Druckdüse *V<sub>1</sub>* ist. Das angesaugte Wasser läuft durch Kanal *M* ins Freie. Bei weiterer Fortbewegung des Hebels stößt der Stiel des Saugventils oben im Injektorgehäuse an, so daß nunmehr Düsenventil *V<sub>1</sub>* angehoben wird. Hahn *E* hat Kanal *M* abgeschlossen, das angesaugte Wasser tritt nach Düse *V<sub>1</sub>* und *F<sub>1</sub>*, läuft durch Kanal *M<sub>1</sub>* ab, bis Hahn *E* auch diesen abschließt, und wird dann durch das Rückschlagventil *G* hindurch in die Speiseleitung nach dem Kessel gedrückt.

heißer Wasserstrahl, der mit großer Geschwindigkeit aus der Düse austritt, anfangs zerstreut ist und durch das Überlaufrohr *f*, das sog. Schlabberrohr, entweicht. Allmählich dringt jedoch der Wasserstrahl in die Fangdüse *c* ein, setzt infolge der allmählichen Erweiterung dieser Düse seine Geschwindigkeit in Druck um, öffnet das bei *h* angebrachte Rückschlagventil und tritt in den Kessel ein. Der Überlauf des Wassers durch das Schlabberrohr wird nach kurzer Zeit geringer, bis schließlich beim weiteren Öffnen des Dampfzufflusses gar kein Wasser mehr aus dem Schlabberrohr herauskommt. Die Düse *a* nennt man die Dampf Düse, die Düse *b* die Mischdüse und die Düse *c* die Druckdüse. Der Injektor ist langsam in Gang zu setzen, und es darf namentlich nicht mehr Dampf, als nötig, zugeführt werden. Die Dampf Düse muß verstellbar sein und es ist während des Ansaugens zu-

nächst wenig Dampf zuströmen zu lassen. Hat der Injektor angefaugt, so muß durch weiteres Herausdrehen der Regulierspindel noch mehr Dampf in ihn eingelassen werden, bis das Wasser vom Dampfstrahl in den Kessel gedrückt wird. Damit sich die allmähliche Steigerung des Dampfverbrauches besser erreichen läßt, macht man die Regulierspindel unten konisch.

Fließt dem Injektor das Speisewasser zu, fällt also die Arbeit des Ansaugens fort, so wird auch die Stellvorrichtung der Dampfdüse überflüssig und der Injektor wesentlich einfacher. Solche einfache, nichtsaugende Injektoren mit festen Düsen werden gewöhnlich bei Lokomotiven verwendet. Bei einem derartigen Injektor (dem Schauschen Injektor) sind die Misch- und die Überdruckdüse in der Mitte zusammengelassen und haben an der Verbindungsstelle schließförmige Öffnungen, durch welche das Überlaufwasser abfließen kann.

**Der Rörtingsche Universal-Injektor** bildet eine Vereinigung von zwei Injektoren, von denen der eine das Wasser anzusaugen und der zweite das angesaugte Wasser in den Kessel zu drücken hat (Abb. 133 u. 134).

**Beim Einstellen des Injektors** muß der Hebel in seiner Endstellung an der Anagge anliegen und die beiden im Innern befindlichen Ventile fest auf den Sitz drücken, daß sie schließen. Sind diese Ventile bereits geschlossen, ehe der Hebel an der Anagge anliegt, so kann beim Ingangsetzen des Injektors nicht der volle Hub des Exzenters, auf dem der Hebel sitzt, ausgenutzt werden, und es wird dann insbesondere das Ventil für die Druckseite nicht genügend gehoben, so daß das Versagen des Injektors möglich ist. Aus demselben Grunde darf auch beim Abschrauben des oberen Injektorteiles nur eine dünne Papierscheibe und keine dicke Abbestplatte zum Abdichten verwendet werden.

Das Ingangsetzen vollzieht sich sehr schnell, so daß der Heizer nur nötig hat, den Hebel langsam von einer Seite nach der anderen zu bewegen und hierbei auf das richtige Ansaugen des Injektors zu achten. Während der Ansaugperiode läßt sich der Hebel leicht drehen; sobald das Druckventil  $V_1$  gehoben werden muß, geht er schwerer; der Heizer bemerkt daher sehr deutlich, wenn die Ansaugperiode beendet ist und die Druckwirkung im Innern des Injektors beginnt. Diese Injektoren wirken sehr zuverlässig. Sie saugen kaltes Wasser bis  $6\frac{1}{2}$  Meter,  $60^\circ$  Celsius warmes Wasser noch 2 Meter hoch an. Fließt ihnen das Wasser zu, so kann die Temperatur des Speisewassers bis zu  $70^\circ$  Celsius betragen; sie führen es dann weit über  $100^\circ$  erhitzt dem Kessel zu.

**Der Restarting-(Wiederansaug-)Injektor** saugt selbsttätig wieder an und arbeitet von selbst weiter, wenn er einmal abschnappt. b ist die Dampfdüse, die oben durch das Ventil a abgeschlossen ist, c die Mischdüse und d die Druckdüse. Das Rohr e ist die Dampfzuleitung, das Rohr f die Saugleitung nach dem Brunnen, das Rohr k die Druckleitung nach dem Kessel. Dreht man den Hebel (Abb. 135, 136), so bewegt sich der Papfen l in die Höhe und hebt den Ventilkörper a zugleich mit der daran angebrachten Regulierspitze. Der Injektor beginnt zu saugen und drückt das Wasser durch die Mischdüse c und die Druckdüse d nach dem Kessel, wobei das Rückschlagventil i geöffnet wird. Die Mischdüse c hat eine Klappe n, die um den Bolzen o nach außen aufklappen kann und während des regelrechten Ganges des Injektors geschlossen ist. Versagt der Injektor während der Speisung, so braucht er in Folge dieser Klappe nicht von neuem angestellt zu werden, sondern er saugt von selbst wieder an. Da beim Ansaugen aber weniger Dampf gebraucht wird und die Dampfzuströmung beim Abschnappen des Injektors unverändert bleibt, muß der überflüssige Dampf bequem entweichen können. Diesem Zwecke dient die Klappe n. Sobald der Injektor während des vollen Ganges versagt, klappt sie auf und öffnet dem überschüssigen Dampf und Wasser einen freien Austritt durch das Schlabberventil h. In dem Maße, in

dem der Injektor nun wieder zu arbeiten beginnt, wird die Klappe *n* wieder angefaugt, so daß die Mischdüse *c* die Form einer ungeteilten Düse annimmt und das Wasser durch die Druckdüse *c* und das Rückschlagventil *i* in die Speisefleitung nach dem Kessel dringt. Bei den Restating-Injektoren kann man sogar die Saugleitung aus dem Wasser heben; sobald man sie wieder unter Wasser hält, arbeitet der Injektor weiter. Der Restating-Injektor muß entweder liegend, mit nach oben gefehrter Klappe, oder stehend eingebaut werden.

Versagt ein Injektor, so kann dies an zu heißem Speisewasser oder zu großer Saughöhe liegen. Fußventile am unteren Ende des Saugrohres sind, da sie das Ansaugen erschweren, beim Injektor zu vermeiden. Alle Rohrleitungen für Kesseldampf und Wasser sowie alle in die Rohrleitungen eingeschalteten Ventile und Hähne müssen den vollen Querschnitt der Rohre haben. Besonders ist darauf zu achten, daß die Rohre nicht durch zu eng ausgeschnittene Gummidichtungen oder durch Kesselstein verengt sind. Alle Rohre müssen möglichst gerade sein, erforderliche Krümmungen sind in schlanken Bögen auszuführen.

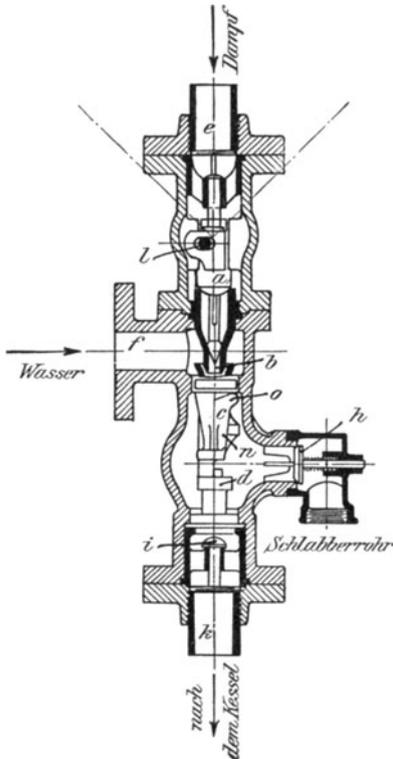


Abb. 135. Schnitt durch den Restating-Injektor.

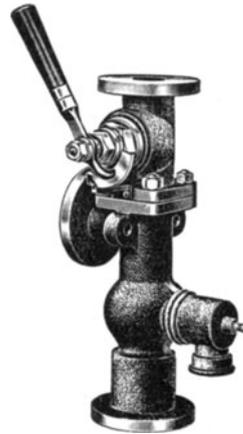


Abb. 136. Restating-Injektor von Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.

Sind scharfe Ecken in den Rohrleitungen vorhanden, so stößt sich das Wasser, und es ist unnötig viel Reibungswiderstand zu überwinden. Hat sich in den Düsen Kesselstein angesetzt, so sind sie sorgfältig herauszunehmen. Beim Reinigen dürfen sie nicht beschädigt werden, da grobe Beschädigungen der Düsenbohrung den Injektor untauglich machen. Einige Firmen empfehlen die Reinigung der Düsen vom Kesselstein mittels verdünnter Salzsäure. Die Injektoren werden für bestimmte Betriebsdrücke gebaut; fehlt der notwendige Druck, so arbeitet der Injektor nicht. Bei der Untersuchung eines versagenden Injektors ist zu beachten, daß er durch die Kondensation des Betriebsdampfes, welche durch das angesaugte Speisewasser bewirkt wird, wirken muß. Ist das Speisewasser zu heiß, so wird diese Kondensation unvollständig und der äußere Luftdruck vermag dann das Speisewasser nicht nachzudrücken.

Die Injektoren drücken das Speisewasser zwar mit hoher Temperatur in den Kessel; doch ist hierbei zu berücksichtigen, daß diese Temperaturerhöhung lediglich

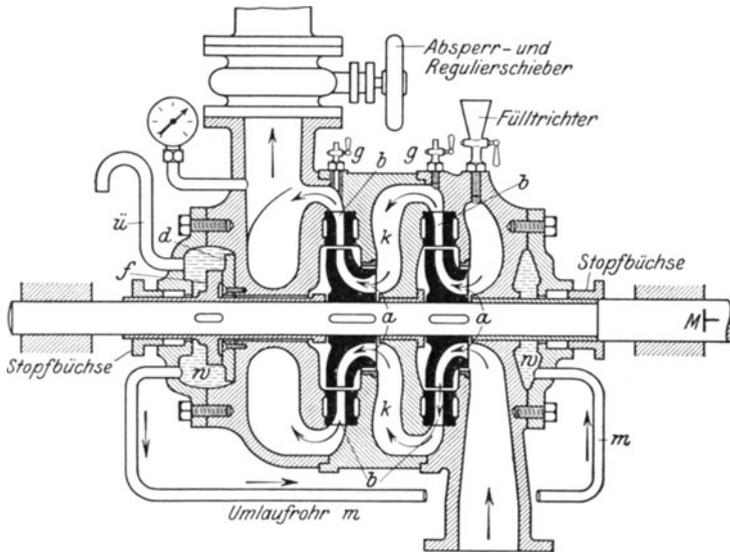


Abb. 137. Zweistufige Kreiselpumpe.

dadurch zustande kommt, daß zu dem Speisewasser direkter Dampf aus dem Kessel hinzutritt. Es besteht sonach in bezug auf Wärmeerparnis ein großer Unterschied darin, ob das Kesselspeisewasser unter Verwendung einer Pumpe oder eines Abdampf- oder eines Rauchgasvorbärmeres oder unter Verwendung eines Injektors heiß in den Kessel gelangt. Die Injektoren werden daher, weil sie für das Speisen von heißem Wasser nicht gut geeignet sind, zumeist nur aushilfsweise in Betrieb genommen.



Abb. 138. Querschnitt durch eine Kreiselpumpe. S = schnell rotierendes Schleuderrad; L = feststehendes Leitrad; K = Abflußkanäle nach der Druckleitung.

**Die Zentrifugal- oder Kreiselpumpen** werden bei größeren Kesselanlagen als Speisevorrichtungen verwendet. Die Wasserförderung wird durch die mit sehr hoher Umdrehungszahl (bis zu 3000 in der Minute) umlaufenden Schleuderräder a (Abb. 137) bewirkt. Die Zahl der Schleuderräder ist verschieden. Abb. 137 zeigt eine zweistufige Pumpe. Die Schleuderräder sind auf der Welle festgeteilt und haben im Innern spiralförmig nach außen verlaufende Kanäle S (Abb. 138). Aus dem Schleuderrad tritt das Wasser durch ein gleichfalls mit Kanälen L versehenes, in das Pumpengehäuse festverschraubtes Leitrad b. Von dem Leitrade tritt das Wasser in die Kanäle K des Pumpengehäuses und gelangt aus

denselben in das Schleuderrad der nächsten Stufe, wo das Wasser eine weitere Drucksteigerung erfährt und in derselben Weise den weiteren Stufen zugeführt wird, bis es schließlich durch den Austrittsstutzen die Pumpe verläßt und in die Speiseleitung nach dem Kessel gelangt.

Vor der Inbetriebnahme müssen die Zentrifugalpumpe und die Saugleitung mit Wasser gefüllt und hierbei gut entlüftet werden. Letzteren Zwecken dienen die Entlüftungshähne g. Das Anfüllen erfolgt durch den Fülltrichter oder durch eine besondere Rohrleitung zwischen dem Druck- und dem Speiserohr. Beim Füllen der Pumpe von der Druckleitung aus ist das Manometer zu beobachten und die Rohrleitung nur so weit zu öffnen, daß sich in der Pumpe kein höherer Druck als ein bis zwei Atmosphären bildet, da andernfalls das Fußventil durchgedrückt werden kann. Ein Fußventil muß vorhanden sein, weil sich die Saugleitung sonst nicht füllen läßt und die Pumpe leer nicht anläuft. Vor dem Anlassen muß die mit Wasser gefüllte Pumpe von Hand leicht gedreht werden können. Die Pumpe wird alsdann bei geschlossenem Regulierschieber angelassen und letzterer, nachdem die volle Umdrehungszahl der Pumpe erreicht ist, langsam geöffnet.

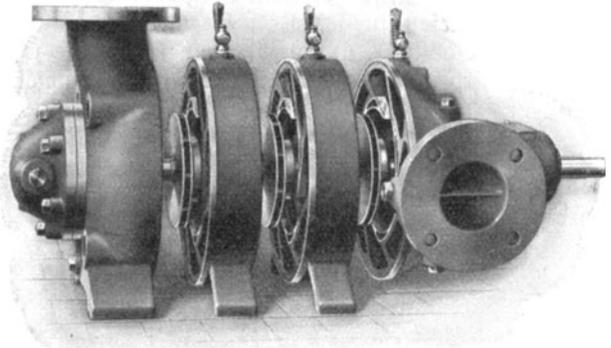


Abb. 139. Auseinandergenommene Zentrifugalpumpe.

Infolge des Unterdruckes in der Saugleitung erhält die Pumpenwelle einen seitlichen Druck, zu dessen Ausgleich bei jeder Zentrifugalpumpe eine besondere Vorrichtung vorgesehen ist. In Abb. 137 besteht sie in zwei dicht nebeneinander laufenden Scheiben d und f, zwischen denen ein kleiner Hohlraum vorhanden ist, der durch einen schmalen Kanal mit der Druckwasserseite in Verbindung steht, so daß die Scheibe f samt der Welle nach links gedrückt und der nach rechts gerichtete Betriebsdruck aufgehoben wird. Bei dieser Verschiebung entfernt sich die Scheibe f von der Scheibe d, so daß das zwischen beiden eingeschlossene Wasser abläuft, seinen Druck verliert und die Welle wieder nach rechts gedrückt wird. Durch das Rohr ü, welches selbstverständlich niemals verschlossen sein darf, läuft infolgedessen aus der Kammer w ständig ein wenig Wasser ab; es muß hoch gelegen sein, damit sich die Pumpe beim Stillstande nicht durch dasselbe entleeren kann.

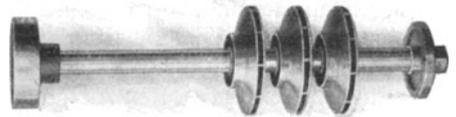


Abb. 140. Rotor einer 3stufigen Turbinenpumpe.

Entsprechend der unvermeidbaren Abnutzung an den Auflageflächen der Entlastungsscheiben d und f tritt im Laufe der Zeit eine Verschiebung der Welle mit den darauf befestigten Laufrädern gegen die Saugseite hin ein, so daß die Kanäle der Lauf- und Leiträder nicht mehr aufeinander passen und die innere Arbeitsweise der Pumpe gestört wird. Hat die Abnutzung etwa  $1\frac{1}{2}$  Millimeter erreicht, was durch das Nachmessen der am äußeren Lagerrande befindlichen Marke M auf der Welle zu kontrollieren ist, so muß sie durch Einlegen einer dünnen Blechscheibe zwischen Scheibe d und Pumpengehäuse ausgeglichen werden.

Die Leistung der Pumpen wird geregelt mittels eines Schiebers zwischen ihrem Druckstutzen und der anschließenden Speiseführung oder durch Änderung der Drehzahl

oder durch beide zugleich. Die Pumpen laufen meist ununterbrochen, doch darf die Förderung nicht längere Zeit abgestellt werden, da sie sonst zu heiß werden.

Zur Kontrolle erhält jede Pumpe ein Manometer, welches stets den Druck in der Pumpe anzeigt; vielfach wird auch auf der Saugseite ein Vakuummeter angebracht, dessen Schwanken darauf hinweist, daß durch undichte Stellen in der Saugleitung oder durch die Stopfbüchsen Luft eintritt. Die Stopfbüchsen sind mit weichen, gut in säurefreiem Talg oder Öl getränkten Baumwollzöpfen zu verpacken und dürfen nur leicht angezogen werden, so daß fortwährend etwas Wasser tropfenweise abläuft, um zu vermeiden, daß sie warmlaufen oder die Welle angegriffen wird. Die Wasserkammer auf der Saugseite ist durch das Umlaufrohr m

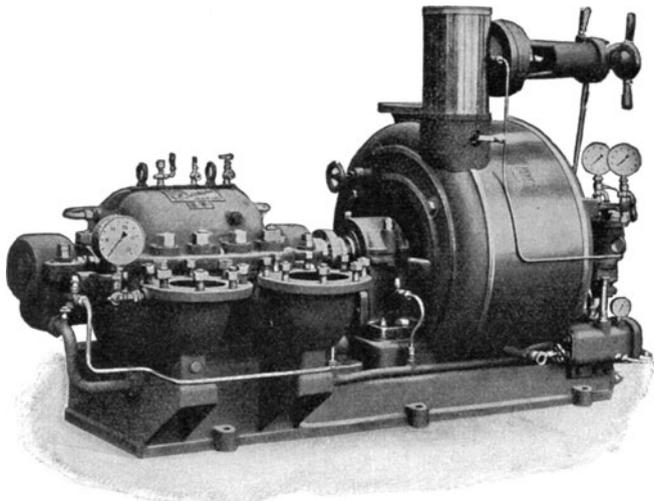


Abb. 141. Turbinenpumpe von Jaeger & Co., Leipzig-Plagwitz. Die Rohrleitungen schließen den unteren Gehäuseteil an und werden beim Öffnen der Pumpe nicht abgenommen. (Auch auf großen Seedampfern viel in Anwendung.)

mit der Wasserkammer auf der Druckseite zur Verhütung des Einschnüffeln von Luft durch die Stopfbüchse verbunden.

In den Lauf- und Leiträdern hat das Wasser eine sehr hohe Geschwindigkeit, die durch die breit angelegten Kanäle K in dem Gehäuse verlangsamt und in Druck umgekehrt wird. Auf der richtigen Bauart der Kanäle beruht daher zum großen Teil das richtige Funktionieren der Zentrifugalpumpe, deren Bauart nicht so einfach ist, wie es auf den ersten Blick hin aussieht. Der Kraftbedarf der Zentrifugalpumpen soll angeblich etwas höher sein als bei Kolbenpumpen; doch werden sie infolge ihrer Einfachheit, ihres geringen Platzbedarfes, der Betriebsicherheit und der stoßfreien Arbeitsweise bei großen Kesselanlagen ausschließlich angewendet.

Die **selbsttätigen Speisewasserregler** speisen ununterbrochen und derart, daß der Wasserstand im Kessel auf einer bestimmten normalen Höhe bleibt und Wassermangel und Überspeisen verhindert werden. Am bekanntesten und verbreitetsten ist der Hannemannsche Apparat. Derselbe besteht

a) aus dem Wasserstandsregler, der die Wasserzufuhr zum Kessel regelt,

b) aus dem Druckregler, der den Gang und die Leistung der Speisepumpe der jeweiligen Einstellung des Wasserstandsreglers anpaßt.

a) Der Wasserstandsregler (Abb. 142). Der massive Tauchkörper Y ist schwerer als Wasser, wird aber durch die Gegengewichte des Regelventiles Ae so ausgewogen,

daß er allen Bewegungen des Wasserspiegels genau wie ein Schwimmer folgt. Fällt der Wasserstand, so zieht der Tauchkörper den Hebel R, der seinen Drehpunkt  $G_1$  im Traglager P hat, nach unten, wobei das über Rollen laufende Stahlband N die

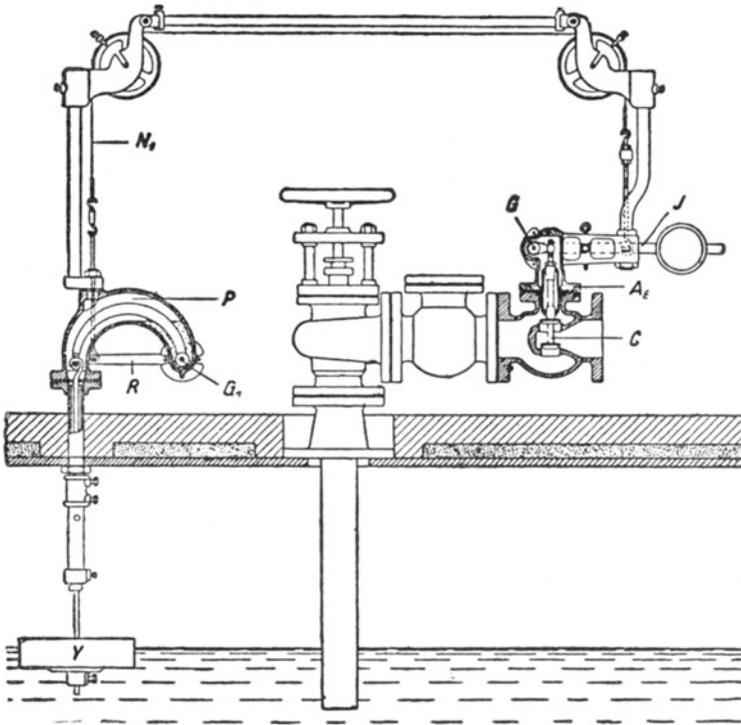


Abb. 142. Selbsttätiger Wasserstandsregler der Firma Hannemann, Berlin-Frohnau.

äußeren Hebel J des in die Speiseleitung eingebauten Regelventiles anhebt, den Doppelkegel C öffnet und die Speisung in Gang setzt oder, wenn sie bereits langsam im Gange war, verstärkt. Bei steigendem Wasserstande (also bei abnehmender Kesselbelastung) wird der Tauchkörper Y gehoben, die Bewegungen des Gestänges und des Regelventiles vollziehen sich in umgekehrter Richtung: die Speisung wird selbsttätig vermindert oder völlig abgestellt.

Damit die Bewegungen des Wasserstandes und des Tauchkörpers möglichst reibungsfrei auf den Doppelkegel C des Speiseventils Ae übertragen werden und insbesondere die Wellenlager  $G_1$  und G beim Heben und Fallen des Tauchkörpers keinen großen Widerstand bieten, sind an diesen Stellen keine Stopfbüchsen, sondern patentierte Abdichtungen mit Gummimanschetten verwendet, die vom Dampf- bzw. Wasserdruck angepreßt werden und infolge ihrer Elastizität die geringen Verdrehungen aufnehmen, ohne zu gleiten. Das Traglager P bildet infolge seiner gebogenen Form einen Wasserfack, wodurch die Gummimanschette der Einwirkung des Dampfes

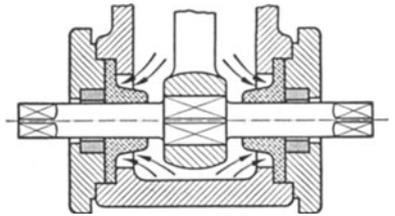


Abb. 143. Patentierte Hannemannsche Wellenlagerung mit selbstdichtenden, nachgiebigen Gummimanschetten.  $G_1$  und G in Abb. 142.

entzogen ist und auch bei hohen Temperaturen noch kühl bleibt. Die weite Verbreitung der Hannemannschen Apparate beruht zum großen Teil auf diesem über-

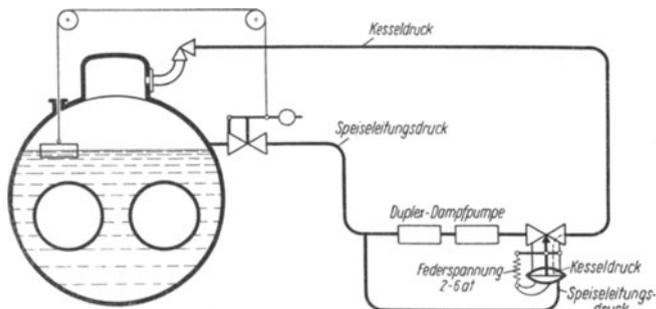


Abb. 144. Schema des Differenzdruckreglers „Dampf“ der Firma Hannemann. Bei hohem Wasserstand wird das Speiseventil am Kessel durch den Schwimmer gedrosselt. Der Speiseleitungsdruck steigt infolgedessen an, drückt die Membran im Druckregler nach oben und drosselt das Dampfventil der Duplexpumpe, so daß letztere langsamer läuft und der Speiseleitungsdruck fällt, bis er dem auf die obere Membranseite wirkenden Druck (Kesseldruck und Federspannung) wieder das Gleichgewicht hält.

Fördermenge der Speisepumpe nicht entsprechend verringert und überhaupt geregelt wird. Diesen Zwecken dient der **Druckregler**. Er hält in der Speiseleitung einen gleichmäßig hohen Überdruck über dem Kesseldruck und wird auch **Differenzdruckregler** genannt. Hat ein Kessel einen Betriebsdruck von 10 Atmosphären, so beträgt der Speiseleitungsdruck, der in jeder Kesselanlage höher als der Kesseldruck ist, etwa 12 Atmosphären und der Differenzdruck zwischen beiden  $12 - 10 = 2$  Atmosphären. Diese 2 Atmosphären hält der Differenzdruckregler aufrecht, auch wenn der Kesseldruck steigt oder fällt oder wenn der Wasserstandsregler die Speisung drosselt oder völlig frei gibt. Hingegen bei Kesselanlagen ohne Druckregler der Speiseleitungsdruck schwankt und namentlich bei gedrosseltem Wasserstandsregler bedeutend ansteigt. Der Vorteil des Differenzdruckreglers ist infolgedessen, daß der Wasserstandsregler sehr

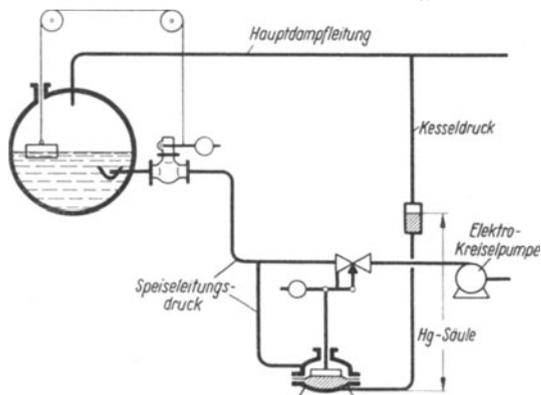


Abb. 145. Schema des Differenzdruckreglers „Universal“ der Firma Hannemann. Der Speiseleitungsdruck wirkt auf die obere Membranseite des Druckreglers (nicht auf die untere wie in Abb. 144). Hg-Säule = Quecksilbersäule und Kesseldruck drücken auf die untere Membranseite. Im übrigen ist die Wirkungsweise analog wie beim Regler „Dampf“.

genau arbeitet und die Speisevorrichtungen nicht überanstrengt werden und leicht gehen.

Nur in kleinen Anlagen mit nicht allzu hohem Druck und mit Riemen- oder Erzenterpumpen genügt an Stelle des Differenzdruckreglers meist ein einfaches federbelastetes, als Überströmventil ausgebildetes Sicherheitsventil in der Speiseleitung, das das von der Pumpe zuviel geförderte Wasser entweichen läßt.

aus einfachen, in der Wirkung sicheren und den gewöhnlichen Stopfbüchsen mit Brille, Schrauben und Asbestpackung überlegenen Patent, das die Firma bei ihren sämtlichen Konstruktionen verwendet (Abb. 143).

b) Der Wasserstandsregler regelt nur das Zuflußventil zum Kessel. Sind mehrere Kessel vorhanden, so erhält jeder einen Wasserstandsregler. Wird einer derselben gedrosselt, so würde der Druck in der Speiseleitung ansteigen, falls die

Fördermenge der Speisepumpe nicht entsprechend verringert und überhaupt geregelt wird. Diesen Zwecken dient der **Druckregler**. Er hält in der Speiseleitung einen gleichmäßig hohen Überdruck über dem Kesseldruck und wird auch **Differenzdruckregler** genannt. Hat ein Kessel einen Betriebsdruck von 10 Atmosphären, so beträgt der Speiseleitungsdruck, der in jeder Kesselanlage höher als der Kesseldruck ist, etwa 12 Atmosphären und der Differenzdruck zwischen beiden  $12 - 10 = 2$  Atmosphären. Diese 2 Atmosphären hält der Differenzdruckregler aufrecht, auch wenn der Kesseldruck steigt oder fällt oder wenn der Wasserstandsregler die Speisung drosselt oder völlig frei gibt. Hingegen bei Kesselanlagen ohne Druckregler der Speiseleitungsdruck schwankt und namentlich bei gedrosseltem Wasserstandsregler bedeutend ansteigt. Der Vorteil des Differenzdruckreglers ist infolgedessen, daß der Wasserstandsregler sehr

In anderen Fällen verwendet man einen Differenzdruckregler. Seine Bauart ist verschieden je nach der Größe der Kesselanlage und der Art der vorhandenen Speisepumpe, ob dieselbe eine Simplex- oder Duplexdampfpumpe oder eine mit einer Dampfturbine oder einem Elektromotor gekuppelte Kreiselpumpe ist. Die beiden Hauptteile des Hannemann-Differenzdruckreglers sind das Membrangehäuse und das Regelventil (Abb. 144 und Abb. 145).

Bei größeren Kesselanlagen ist infolge des meist sehr erheblichen Druckabfalles in der Dampfleitung auch der Unterschied zwischen Dampfdruck und Speiseleitungsdruck am Regler von dementsprechender Größe. In diesen Fällen wird an Stelle der erforderlichen zusätzlichen Federspannung zum Dampfdruck der Druck einer Quecksilbersäule in einem senkrechten Standrohr benützt, der eine sehr feinfühlig und stete Regelung des Speiseleitungsdruckes bewirkt, ohne, wie dies bei großen Federspannungen vielleicht möglich ist, überlastet zu werden. Soll der Überdruck der Speiseleitung dauernd ein höheres oder kleineres Maß erhalten, so kann dies leicht durch teilweises Auffüllen oder Ablassen von Quecksilber aus seinem Standrohr bewerkstelligt werden. Letzteres hat zu diesem Zweck einen Füllbehälter an seinem oberen und einen Ablass an seinem unteren Ende. Dieser Differenzdruckregler, der wegen seiner allgemeinen Verwendbarkeit nicht nur für große, sondern auch für kleine Kesselanlagen von der Firma Hannemann mit „Universal“ bezeichnet ist, hat aus konstruktiven Gründen (Quecksilber) die umgekehrte Anordnung wie der Differenzdruckregler „Dampf“ (Abb. 144): der Dampfdruck und der Quecksilberdruck wirken von unten, der Speiseleitungsdruck von oben auf die Reglermembran.

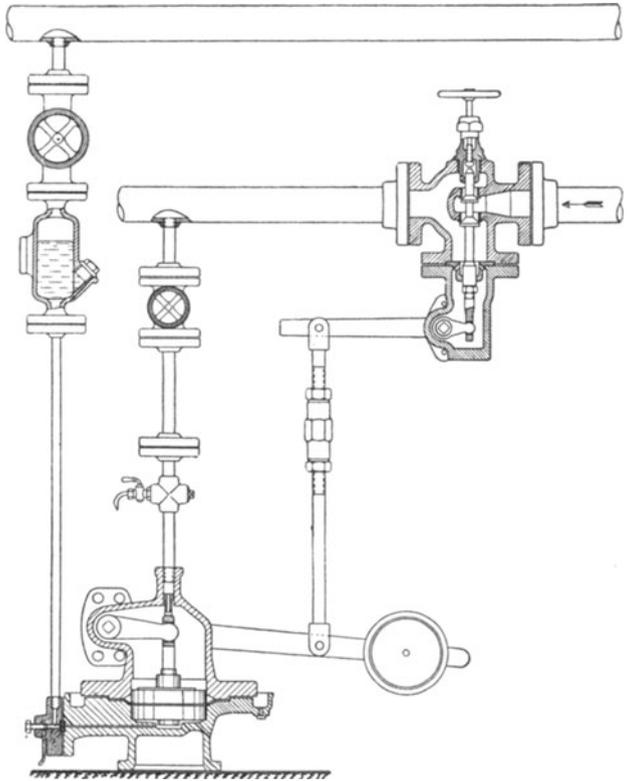


Abb. 146. Druckregler „Universal“ der Abb. 145. Die Dampfleitung ist oben, die Speiseleitung unten. Die Membran ist zwischen den beiden Kolbenhälften eingepannt. Das linke senkrechte Rohr enthält die Quecksilberfüllung.

Bei Dampfturbopumpen können die Differenzdruckregler in die Dampfleitung der Dampfturbine, aber auch in die Druckleitung der Pumpe eingebaut werden. Im ersteren Falle regeln sie die Leistung der Pumpe durch Veränderung ihrer Drehzahl, im anderen Falle wirken sie als Drosselregler, so daß der Überdruck in der Speiseleitung hinter dem Regler (zwischen diesem und dem Kesselspeiseventil) auf gleicher Höhe gehalten wird. Auch bei elektrisch angetriebenen Kreiselpumpen erfolgt der Reglereinbau in dieser Weise.

Die selbsttätigen Speiseregler sind viel im Gebrauch und bewirken, daß der Wasserstand im Kessel nur wenige Millimeter schwankt. Sie erleichtern die Bedienung, liefern trockenen Dampf usw. Der Heizer kann sie auch zeitweilig abstellen, falls dies aus betrieblichen Gründen, etwa bei vorübergehendem Hochspeisen zur Ausnützung der Wärmespeicherung des Wasserinhaltes des Kessels, geboten erscheint.

Das **Speise- oder Rückschlagventil** (Abb. 147) gestattet dem Wasser den Eintritt in den Kessel, verhindert aber dessen Austritt. Es wird unter dem Drucke des Pumpentolsens selbsttätig geöffnet und vom Kesseldruck selbsttätig geschlossen. Der Ventilteller muß sich daher im Ventilgehäuse frei bewegen können. Das Ventil ist so einzubauen, daß das Wasser das Ventil in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles durchfließt. Damit sich das Ventil nicht festklemmen kann, erhält der Ventilteller außer den gebräuchlichen Führungsflügeln im Ventilsitz noch einen langen, im Deckel des Ventilgehäuses geführten Stiel.

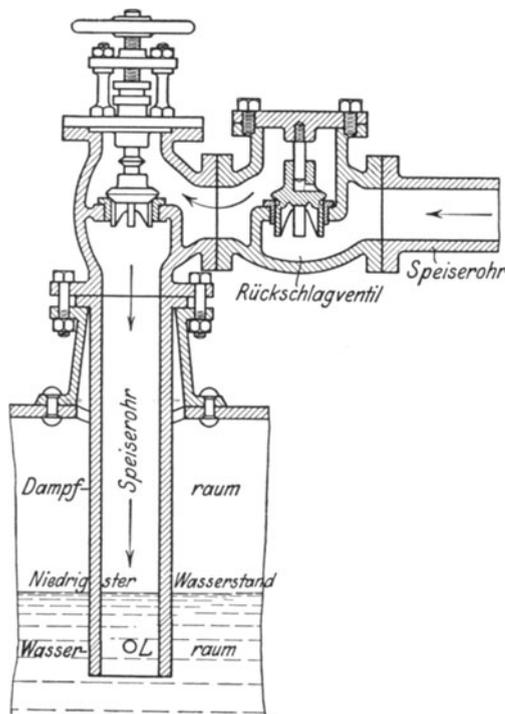


Abb. 147. Speisepfopf mit Rückschlag- und Absperrventil und Speiserohr.

noch oberhalb der vom Feuer berührten Kesselstellen münden oder es erhält ein Loch L. Das Speiserohr ist bei jeder Kesselreinigung herauszunehmen und vom Kesselstein zu reinigen.

**Die Ablassvorrichtung.** Damit das Kesselwasser zeitweilig abgelassen werden kann, ist der Kessel an der tiefsten Stelle mit einem Hahn oder Absperrventil zu versehen. Ist die Ablassvorrichtung nicht direkt am Kessel, sondern an einem Rohrstück angebracht, so ist letzteres vor der Berührung durch die Heizgase zu schützen, da andernfalls der darin sich ansammelnde Schlamm festbrennt, und das Rohr nach kurzer Zeit völlig verstopft wird. Soll der Dampfkessel gereinigt werden, so ist zunächst das Kesselmäuer genügend abzukühlen und der Dampfdruck herunter zu lassen und dann erst der Ablasshahn zu öffnen.

Setzt das Wasser viel Schlamm im Kessel ab, so versucht man, den Schlamm durch öfteres regelmäßiges Öffnen der Ablassvorrichtung am Sonntag, nachdem

Zwischen dem Speiseventil und dem Kessel ist gemäß gesetzlicher Vorschrift ein Absperrventil einzuschalten (Abb. 147). Hierdurch ist es möglich, das Speiseventil bei etwaigen Undichtheiten auch während des Kesselbetriebes nachsehen oder auswechseln zu können. Die früher übliche Bauart, bei welcher das Rückschlagventil zugleich als Absperrventil ausgeführt war, ist nicht mehr gesetzlich zulässig, da Störungen am Ventil nur bei abgelassenem Kessel beseitigt werden konnten. Das Speiseventil muß der Heizer gut in Ordnung halten, da Undichtheiten desselben Wassermangel im Kessel zur Folge haben können. Damit in solchen Fällen der Wasserstand nicht zu tief sinken kann, muß das Einhäng- oder Speiserohr

der Kessel mehrere Stunden still gestanden hat, unter vermindertem Dampfdruck auszublasen. Verwendet man den einfachen Abflaßhahn, so kann es leicht vorkommen, daß er sich mit Schlamm verstopft oder von dem heißen durchströmenden Wasser so stark erwärmt und ausgedehnt wird, daß er sich nicht wieder schließen läßt und bei Anwendung von Gewalt abbricht. Absperrventile lassen sich zwar leichter wieder zumachen, sind jedoch nicht dicht zu bekommen, sobald sich beim Ausblasen des Schlammes abgesprungene Kesselsteinschalen und Schlamm auf der Sitzfläche festsetzen. Das Abschlämmen des Dampfkessels mittels gewöhnlicher Hähne oder Ventile unter Druck bleibt daher immer eine gefährliche Sache.

Die Uebelstände der einfachen Abflaßhähne und Abflaßventile vermeidet man durch die vielfach angewendeten Abschlämmapparate, die durch einen Fußtritt auf einen Hebel oder durch einen Handzug geöffnet werden und beim Loslassen des Hebels selbsttätig wieder schließen (Abb. 148 und 149). Hat sich beim Abschlämmen Schlamm oder Kesselstein im Ventil festgesetzt und ist letzteres infolgedessen wasserundurchlässig, so kann durch Drehen

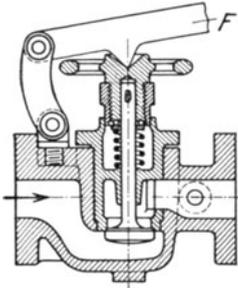


Abb. 148. Abschlämmventil von Gerbts & Strauch, Bremen. F = Fußtritt.

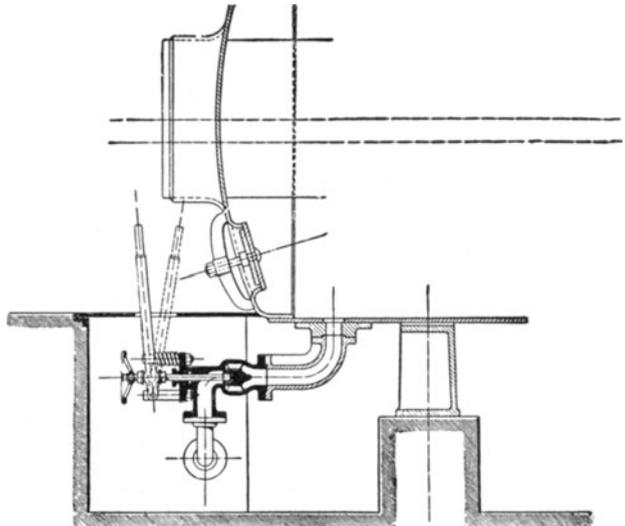


Abb. 149. Abschlämmventil mit Handhebel an einem Flammrohr von der Dinglerschen Maschinenfabrik A. G. in Zweibrücken.

am Handrade der Schlamm zerrieben und das Ventil dicht gemacht werden, ohne es auseinandernehmen zu müssen. Das Öffnen des Ventils muß beim Abschlämmen kurz und stoßweise erfolgen, da hierdurch der Schlamm am besten fortgerissen wird. Nach jedesmaligem Abschlämmen muß der Heizer sich an der Mündung des Abflaßrohres überzeugen, ob das Ventil in geschlossenem Zustande dicht schließt. — Wenn irgend möglich, sollen bei dem Abschlämmen eines Kessels zwei Leute zugegen sein, von denen der eine den Wasserstand im Kessel beobachtet und der andere die Abflaßvorrichtung bedient.

Die **Dampfbsperrventile** werden bis etwa 25 Atmosphären Betriebsdruck aus einem hochwertigen Grauguß, für höhere Drücke und Betriebstemperaturen bis 425° (nach den Bestimmungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer) aus Elektrostahtguß und für besonders hohe Beanspruchungen und Temperaturen aus „Pyknostahst“ (Schäffer & Budenberg) hergestellt. Die Ventilschindel muß sorgfältig geglättet sein, um die Stopfbüchsenpackung zu schonen. Unten ist sie kugelig, damit der Ventiltiegel beim Schließen des Ventils zentriert auf seinem Sitz zu liegen kommt. Der Keil muß daher entsprechend beweglich sein und nach dem Aufsetzen auf den

Sitz bei weiterem Drehen der Spindel liegen bleiben können, so daß ein Aufeinandergleiten und Fressen der Dichtflächen vermieden wird. Auf die Flügelführung des Kegels wird vielfach verzichtet und dieselbe durch eine lange und genaue Spindelführung ersetzt, da sie bei guter Passung leicht klemmt oder aber bei reichlichem Spiel keine hinreichende Führung gewährleistet. In Anwendung ist sie noch bei Sattdampf und niedrigen Drücken, wobei die Führungsfügel sehr kurz gemacht werden. Die Styringe im Kegel und im Gehäuse werden aus Messing oder Nitrostahl hergestellt, doch wird für Sattdampf und für Heißdampf bis  $300^{\circ}$  auch eine Kegelweichdichtung (eine verbesserte Jenkins-Dichtung) benützt.

Die Stopfbüchse erhält Asbestpackung und unten einen Schutzring gegen das Eindringen von Fremdkörpern (Verpackungsresten) in das Ventil. Die Kegelbefestigung dichtet bei völlig geöffnetem Ventil an der Innenseite des Ventildeckels

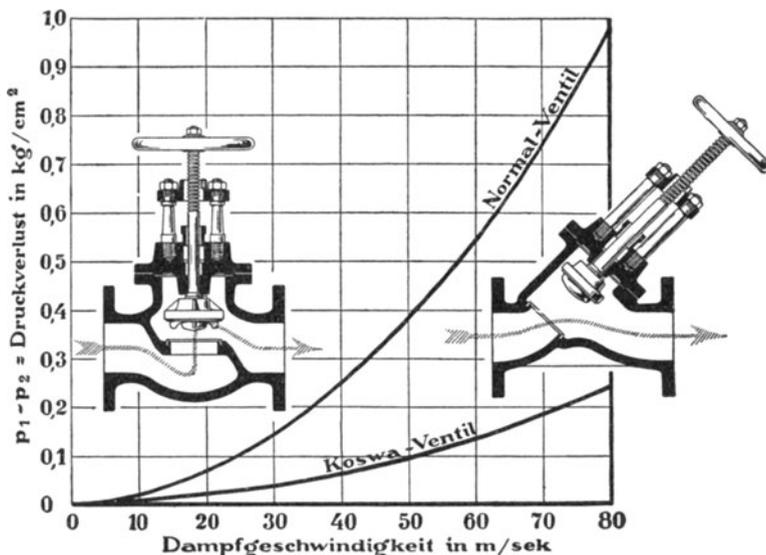


Abb. 150. Bei 50 Meter sekundlicher Dampfgeschwindigkeit verursacht das Normalventil (links) 0,4, das Koswaventil (rechts, Schumann & Co., Leipzig) nur 0,1 Atm. Spannungsabfall.

ab, so daß die Stopfbüchse auch unter vollem Betriebsdruck gefahrlos nachverpact werden kann.

Die Ventile werden in der Regel so eingebaut, daß der Dampf unter dem Kegel eintritt und über dem Kegel austritt. Eine Ausnahme machen Ventile mit Entlastungskegeln für hohe Drücke und großem Durchmesser (über 4000 Kilogramm Druck unter dem Kegel), da hier der Druck bei geschlossenem Ventil über dem Kegel lasten muß. In Ringleitungen, in denen die Dampfströmung nach beiden Seiten erfolgen kann, ist es gleichgültig, wie man die Ventile einbaut. Wünscht man jedoch in einer Richtung besonders dichten Abschluß, so ist zu beachten, daß die Abdichtung bei Dampfeintritt über dem Kegel besser ist als umgekehrt.

Die Form der Ventile wird so gewählt, daß ihr Strömungswiderstand möglichst gering bleibt (Abb. 150).

Für Heißdampfleitungen mittlerer und großer Durchmesser kommt heute nur noch der **Absperrschieber** mit parallelen Dichtflächen in Frage, der von jeder Armaturenfabrik in eigener Ausführung hergestellt wird. Alle Dampfventile müssen langsam geöffnet werden, damit sich die Rohrleitung zunächst anwärmen kann.

Die Nichtbeachtung dieser Maßnahme hat schon häufig zu Wasserschlägen in den Rohrleitungen und zu Rissen in Dampfmaschinenzylindern geführt. Sehr große Ventile und Absperrschieber versteht man mit einem kleinen Umgehungsventil zum Anwärmen der Rohrleitung.

**Die Rohrleitungen.** Maßgebend sind die Dinormen und, ausschließlich für Heißdampf, die sehr ausführlichen Richtlinien der Vereinigung der Großkesselbesitzer. Farbenbezeichnung nach den Dinormen: Dampf: rot, Wasser: grün, Öl: braun, Gas: gelb. Verwendet werden nahtlose Rohre aus Flußeisen oder (für Heißdampf bis 550°) aus besonderem legierten Stahl. Bei hohen Temperaturen (über 400°) sollen zur Vermeidung des Fressens der Gewinde die Muttern aus einem anderen Werkstoff als die Schraubenbolzen bestehen. Geschweißte Rohre sind wegen der Möglichkeit des Aufplatzens der Naht beim Biegen seltener im Gebrauch.

Für den elastischen Längenausgleich genügen schlanke Rohrleitungsbogen, die bei den Anschlüssen an den Kessel und an die Turbine auch als Falten- oder Wellrohr ausgeführt werden. Lange Rohrleitungen erhalten Lyrabögen (Abb. 151) oder Ausgleichstücke mit Stopfbüchsen, in denen sich das Rohr in seiner Längsrichtung verschieben kann. Nach den „Richtlinien“ wird die Rohraufhängung wegen der geringen Wärmeverluste durch Ausstrahlung und der leichteren Beweglichkeit als zweckmäßiger empfohlen als die Auflagerung auf Rollen. Letztere sind leicht beweglich zu erhalten und auch im Gebrauch. Rohrshellen für die Aufhängung sind vom Rohr zu isolieren und auf eingelegte Wärmeisulsteine von hoher Druckfestigkeit (~ 100 bis 150 kg/qcm) zu lagern. Rohrgefälle muß wegen der Entwässerung und der Wasserschläge in Richtung der Dampfströmung gleichmäßig verlaufen (etwa 3 bis 4 Millimeter je Meter Länge). Vor der Ingebrauchnahme sind die Rohre durch mehrstündiges Beizen und Neutralisieren und kräftiges Ausblasen mit Dampf, nicht aber durch äußeres Behämmern mit eisernen Werkzeugen sorgfältig zu reinigen. Die Dichtungsflächen der Flanschen müssen genau parallel liegen, Schraubenlöcher genau zusammenpassen. Die Schrauben sind paarweise gegenüberliegend und stufenweise reihum gut, aber nicht übertrieben und nicht mit Hämmern anzuziehen. Hierbei wird bei Schrauben aus hochwertigem Sonderstählen die Verlängerung des Bolzens mit Meßuhren gemessen und auf ein zulässiges Maß unterhalb der Elastizitätsgrenze beschränkt.

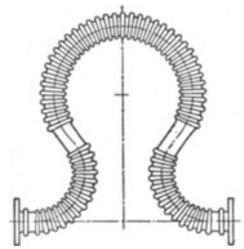


Abb. 151<sup>1)</sup>. Rohrbogen zum Längenausgleich.

**Dichtungen und Dichtungsflächen** sollen Temperaturbeständigkeit, namentlich bei häufigem Wechsel vom warmen zum kalten Zustand, Elastizität zur Aufnahme des Anpressungsdruckes und zum Ausgleich geringer Unebenheiten der Dichtungsflächen sowie Korrosionsbeständigkeit gegen chemische Einflüsse des Dampfes, des Öles (Druckölschmierung) und heißer Gase (Lusterhitzer) besitzen. Angewendet werden ebene Dichtungsflächen, Dichtungen mit Nut und Feder, mit Vor- und Rücksprung, mit Eindrehung für Runddichtungen, mit Linsendichtungen usw.

**Weichpackungen**, die sog. It-Dichtungen (Klingerit u. ä.) sind am häufigsten, bestehen aus einer Mischung von Asbest mit Kautschuk (~ 10 Prozent) als Bindemittel und mit mineralischen Bestandteilen (Schwerspat) und mit Drahteinlagen zur Erhöhung der Festigkeit, und haben sich in Dampfleitungen bis 35 Atmosphären und 425° bewährt. Dicke für Hochdruckleitungen nicht über 1 Millimeter. Sie eignen sich auch für Kalt- und Heißwasser, falls die Zusätze die Kautschukbestandteile vor dem zerstörenden Einflusse des alkalischen Speisewassers schützen. Für Öl-

<sup>1)</sup> Abb. 151 ist aus „Dübel, Taschenbuch f. d. Maschinenbau“, Berlin: Julius Springer, entnommen.

leitungen müssen besondere Zusätze die It-Dichtungen ölbeständig machen. Dicke nicht über 2 Millimeter. Auch ölgetränkte Pappdichtungen haben sich bewährt.

**Weichgummidichtungen** werden am besten in Kaltwasserleitungen verwendet, mit Leinwand- oder Drahteinlage auch bei Mannlochdeckeln für mittlere Drücke und Temperaturen.

**Metallichtungen** sind für hohe Drücke und Temperaturen bestimmt. Ihr Ausdehnungswert muß möglichst dem des Stoffes der Rohrleitung gleich sein. Bei gewellten Stahllichtungen mit beiderseitiger graphitierter Asbestauflage darf der Anpressungsdruck zur Vermeidung von Längs- und Querrissen eine gewisse Grenze nicht überschreiten (800 kg/qcm). Dichtungen aus handelsüblichem Kupfer verlieren bei hohen Temperaturen erheblich an Festigkeit, besser ist Elektrolytkupfer, weil es sehr rein ist, also Phosphor, Arsen, Antimon usw. nicht enthält. Weicheisendichtungen in Form von Ringen oder gerillten Flachdichtungen haben sich bewährt (100 Atmosphären, 470°), Niro-Stahl- und Aluminiumdichtungen gleichen infolge ihrer Nachgiebigkeit ungenau ausgerichtete Dichtflächen aus, doch fällt die Zugfestigkeit des Aluminiums bei steigender Temperatur beträchtlich. Letztere erhalten deshalb die ziemlich große Dicke von 1,5 bis 2,5 Millimeter.

Sorgfältiger **Wärmeschutz** ist aus wirtschaftlichen und (namentlich bei Heißdampf) auch aus sicherheitstechnischen Gründen erforderlich, da bei guter Isolierung die Temperaturunterschiede und die Beanspruchungen in der Rohrleitungsanlage geringer werden. Verwendet werden hauptsächlich: Seide als Zopf bis 100°, Kork als Schrot und in Schalen bis 120°, Magnesia mit 15 bis 20 Prozent Kieselgur gestopft und in Schalen bis 250°, Kieselgur als Masse bis 500°, gegläht und als Formstück bis 800°, Schlackewolle gestopft, mit Hart- oder Blechmantel bis 700° und Gichtstaub gestopft, mit Blechmantel bis 1000°. Die Isolierungen müssen gegen Druck und Stoß standhalten (beim Anlegen von Leitern, Auflegen von Brettergerüsten) und nötigenfalls mit einem Hartmantel von 10 bis 25 Millimeter Dicke aus einer Mischung von Gichtstaub, Kieselgur und Gips oder ähnlichem oder mit einem Blechmantel (teurer) versehen werden. Bei Freileitungen hat der Blechmantel einen Schutzanstrich, der Hartmantel eine Ummantelung mit teerfreier, mit Stahlbändern befestigter Pappe zu erhalten. Isoliermassen, die als Schmiermasse aufgetragen werden, lassen sich leicht ausbessern, können aber nur an warmen Rohrleitungen angebracht werden, was bei schnellem Bauen hinderlich sein kann.

Bei Heißdampf ist auch sorgfältiger Wärmeschutz der Flanschen erforderlich und werden auch Schweißverbindungen statt der Flanschen empfohlen. Flanschekappen erhalten mitunter einen mit Wraßenröhrchen versehenen zweiteiligen, mit Flügelschrauben zusammengehaltenen Dichtungsring.

#### 14. Die Speisewasservorwärmer und Dampferhitzer.

Das Speisewasser hat, je nachdem es einem Brunnen, einem Flusse oder einem Teiche entnommen wird, eine Temperatur von etwa 10 bis 25° Celsius. Benutzt man das aus der Einspritzkondensation einer Dampfmaschine abfließende Wasser, so beträgt dessen Temperatur etwa 38 bis 44° Celsius. Das auf diese Weise verfügbare Kesselspeisewasser ist demnach wesentlich kälter als das Wasser im Kessel. Durch Ausnutzung der im Auspuffdampf einer Dampfmaschine oder der in den Abgasen einer Kesselanlage enthaltenen Wärme kann man die Temperatur des Speisewassers beträchtlich, mitunter bis auf die Siedetemperatur des Wassers im Kessel erhöhen. Man erzielt hierdurch nicht nur eine Kohlenersparnis, sondern es werden auch die Temperaturschwankungen im Kessel gemildert und ungleiche Ausdehnung der Kesselbleche und Undichtheiten der Nietverbindungen

vermieden. Die Vorwärmer werden in die Druckleitung der Speisepumpe eingebaut.

**Der Abdampfvorwärmer** (Abb. 152 u. 153) besteht aus einem zylindrischen schmiedeeisernen Mantel mit einem ausziehbaren Rohrsystem, das häufig aus dünnwandigen Kupfer- oder Messingrohren besteht. Das Wasser wird von der Speisepumpe innen durch die Rohre hindurchgedrückt, wogegen der Auspuffdampf der Dampfmaschine die Rohre von außen umgibt. Diese Anordnung ist die fast allgemein gebräuchliche, weil sich ein etwaiger Schlamm- und Kesselsteinbelag aus dem Kesselspeisewasser auf der Innenseite der Rohre besser als auf deren Außenseite beseitigen läßt. Der Dampfraum wird in der Regel mit einem Kondensstopf zur Ableitung des Kondenswassers oder mit einem offenen Rohr von geringem Durchmesser für den Wasserabfluß verbunden. Damit sich das Rohrsystem bei der Erwärmung ungehindert ausdehnen kann, wird der eine Rohrboden fest, der andere beweglich angeordnet und mit einem Gummiring gegen die Deckelwandung abgedichtet. Der Heizer muß darauf sehen, daß diese Dichtung immer gut hält, da andernfalls die Speisepumpe das Wasser nicht durch die unter hohem Innendruck stehenden Rohre, sondern in den Dampfraum mit wesentlich geringerem Druck drückt, hierdurch unter Umständen das von der Dampfmaschine kommende Aus-

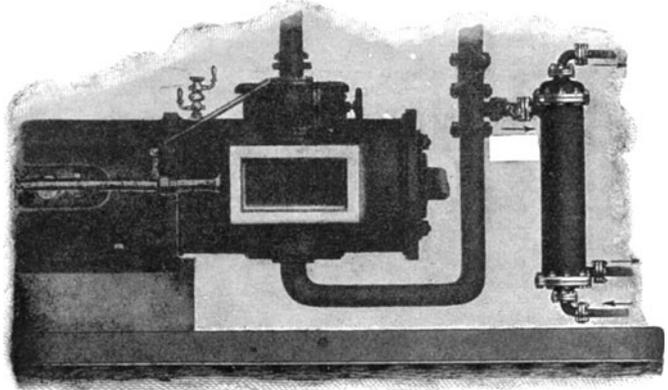
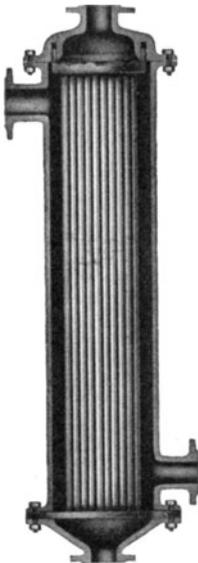


Abb. 152 und 153. Abdampfvorwärmer von Schumann & Co., Maschinenfabrik, Leipzig-Plagwitz. Das Speisewasser durchströmt die Rohre von unten nach oben. Auf der Außenseite werden die Rohre vom Abdampf der Auspuffmaschine beheizt. Der untere waagerechte Stutzen am Mantel des Vorwärmers leitet das Kondenswasser ab.

puffrohr mit Wasser gefüllt wird und gefährliche Wasserschläge im Dampfmaschinenzylinder entstehen können. Derartige Unregelmäßigkeiten bemerkt der Heizer am schlechten Funktionieren der Kesselspeisung und am verstärkten Wasserablauf aus dem Kondensstopf des Vorwärmers. Zur Sicherheit wird daher an einer möglichst tiefgelegenen Stelle des Auspuffrohres, dicht vor der Dampfmaschine, ein Abflaßhahn angebracht, den der Heizer öfter zu kontrollieren hat. Da der Abdampf wenig über  $100^{\circ}$  Celsius warm ist, wird das Speisewasser bei diesen Vorwärmern meist bis etwa  $60^{\circ}$  Celsius erwärmt. Sicherheitsventil und Manometer sind nicht erforderlich, da sich im Rohrsystem nur der in der Speisewasserleitung bestehende Druck bildet. Abdampfvorwärmer werden auch an Kondensationsmaschinen zwischen Dampfzylinder und Kondensator eingebaut. In diesem Falle ist ihm ein Dampfentöler vorzuschalten. Sie sind möglichst nahe dem Dampfzylinder einzubauen, da

sie auf den Auspuffdampf wie ein Kondensator wirken und bis zu einem gewissen Grade ein Vakuum erzeugen, wodurch der Auspuffdampf vom Dampfzylinder abgeseugt wird und die Dampfmaschine leichter geht.

Die **Abgas- oder Rauchgasvorwärmer** sind unter der (englischen) Bezeichnung **Economiser** allgemein bekannt und von dem Engländer Green im Jahre 1845 zuerst gebaut. Die gußeisernen Economiser werden in zwei Bauarten hergestellt, als Glattrohrovorwärmer mit Rußträgern und als Rippenrohrvorwärmer mit Ausbläsern.

Der Glattrohr-Economiser besteht aus senkrecht angeordneten gußeisernen Rohren von 96/116 Millimeter Durchmesser



Abb. 154. Glattrohreconomiser der Vereinigten Economiser-Werke G.m.b.H., Gilben/Rh. u. Freital/Sa., bestehend aus 2 Rohrgruppen von 96 qm Heizfläche und mit Rußträgern.

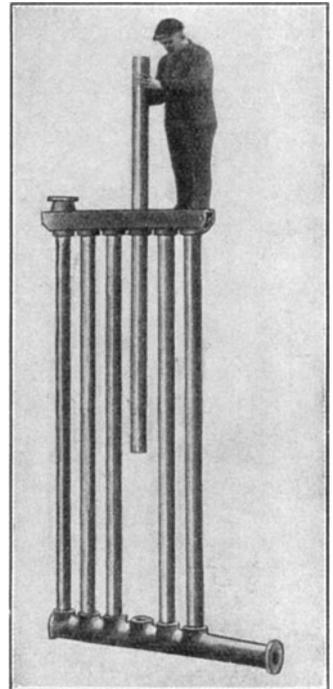


Abb. 155 zeigt das Einsetzen der Economiserrohre.

fer, deren Länge bei den normalen Ausführungen 2,800 Meter oder 4 Meter mit 1 bzw. 1,5 Meter Heizfläche je Rohr beträgt. Die Rohre sind oben durch rechteckige Sammelkästen, unten durch waagerechte Querrohre miteinander verbunden und in dieselben ohne besonderes Dichtungsmaterial eingepreßt. Die Preßverbindung besteht in einer konischen Ausbohrung der Querrohre und Sammelkästen — etwa 1 : 110 — und dem Konus der Rohre — etwa 1 : 115 — und hält bis etwa 20 Atmosphären ohne Verankerungen fest, bei höheren Drücken hingegen wird ein Teil der Rohre als Anferrohre ausgebildet und mit den Sammelkästen und Querrohren durch eine Verschraubung oder sonstwie fest verbunden, um ein Abdrücken der Rohre

aus den Preßverbindungen zu verhüten. In den oberen Sammelkästen sind oberhalb der Rohrenden Verschlüsse zum zeitweiligen Reinigen der Rohre von Kesselsteinansatz angebracht. Die Verschlüsse (Abb. 156, 157) bestehen aus konischen gußeisernen Deckeln, die von innen eingesezt und vom Wasserdruck fest angeprezt werden, so daß sie ohne besondere Dichtung halten. Beim Reinigen der Rohre sind sie einfach durch Aufschlagen mittels eines Hammers zu lösen, wobei sie in den Sammelkasten hineinfallen. Um sie alsdann herein- und herausnehmen zu können, sind einige größere ovale Deckelverschlüsse angeordnet. Die Deckeldurchmesser sind so groß gewählt, daß die Ökonomiserrohre beim Auswechseln durch die Deckellöcher hindurch herausgenommen und eingesezt werden können, ohne daß es eines Auseinandernehmens der Register bedarf. Der Beseitigung der Schlammansammlung in den Rohren dienen Abblasehähne, die an unteren Querrohren, also an der tiefsten Stelle, angebracht sind und beim Durchspülen des Ökonomisers zu öffnen sind, bis das abfließende Wasser keine Trübung mehr zeigt. Sind mehrere Schlammhähne vorhanden, so sind sie der Reihe nach zu öffnen und ist hierbei am hinteren Ende zu beginnen. Jedes Rohr ist mit einem Schaber ausgestattet, der von einer maschinell bewegten Kette langsam auf- und niedergezogen wird und die Ruß- und Flugaschenansätze auf den Rohren abstreift. Die herabgefallene Flugasche und der Ruß sind regelmäßig, etwa monatlich, aus der Ökonomiserkammer zu entfernen, wozu besondere Reinigungsöffnungen in das Ökonomisergemäuer eingebaut sind. Im Betrieb ist ferner darauf zu achten, daß die Kraberbalken nicht hängen bleiben und die Ketten, die andernfalls sehr stark abgenutzt werden, nicht auf den Kettenrädern schleifen. Die Wasserführung in den Ökonomiserrohren ist so eingerichtet, daß sie den Rauchgasen entgegenströmt, der Wassereintritt liegt demnach an der Gasaustrittsseite. Im übrigen wird sie aber von den Ökonomiserfabriken verschieden angeordnet. Das Gegenstromprinzip ergibt stets die größten Temperaturunterschiede zwischen den Rauchgasen und dem Wasser im Ökonomiser und wird wegen des guten Wärmeaustausches bevorzugt. Wie an der tiefsten Stelle der Ökonomiser die Abschlammlleitung, so befindet sich oben, auf der Plattform des Ökonomisers, an den Rohren eine Entlüftungsleitung mit einem Entlüftungsventile, durch welches die beim Erwärmen des Speisewassers frei werdende Luft automatisch abgeführt wird. Läßt die Wärmeleistung des Ökonomisers nach, so ist nachzusehen, ob die Rohre innen mit Kesselstein verkrustet sind, Ascheverlagerungen vorliegen, das Ökonomisergemäuer

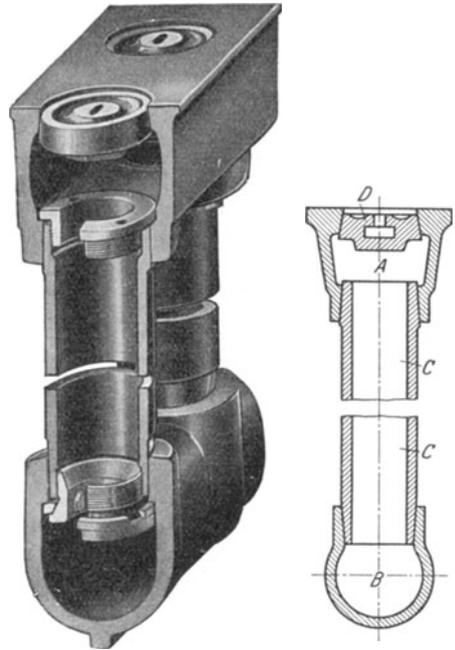


Abb. 156 und 157. Ökonomiserrohre mit und ohne Verankerung. Ausführung der Firma Vereinigte Ökonomiser-Werke G. m. b. H. in Düsseldorf und Freital in Sachsen. D. R. P. A = oberer, B = unterer Sammelkasten; C = Ökonomiserrohr; D = konischer Deckel, der vom Wasserdruck in die Bohrung geprezt wird und bei der Entfernung des Kesselsteins aus den Ökonomiserrohren durch Aufschlagen mit einem Hammer gelöst werden kann, wobei er in den Kasten A fällt.

dicht ist, die beiden Ventilkappen richtig stehen usw. Etwa alle 1 bis 2 Jahre ist der Ökonomiser auf Kesselstein- und Schlammansatz in den Rohren zu untersuchen. Dicke Kesselsteinschichten setzen die Wirkung des Ökonomisers herab und können ein Platzen der Rohre veranlassen, weil sie die Rohre beim Abkühlen am Zusammenziehen hindern. Zum Reinigen verwendet man Stoßschaber oder besondere Rohrreiniger je nach der Dicke und Härte des Ansatzes. Die äußeren Anzehrungen der Ökonomiser treten hauptsächlich an den Eintrittsstellen des Wassers auf, da die Rohre an dieser Stelle kalt sind und sich hier der Wasserdampf aus den Essengasen niederschlägt. Durch besondere Wasserführung in den Ökonomiserrohren sucht man diesen Beschädigungen der Rohre vorzubeugen. Je nach der Anfangstemperatur des Speisewassers und dem Wassergehalt des Brennstoffes mischt man auch dem Speisewasser vor dem Eintritt in den Ökonomiser einen Teil des vorgewärmten Speisewassers bei, indem von der Speiseleitung, vor deren Einmündung in den Kessel, eine Rohrleitung abgezweigt und in die Wassereintrittsstelle am Ökonomiser geleitet wird. Zumeist wird das Speisewasser schon in der Wasserreinigungsanlage auf eine genügend hohe Temperatur erwärmt. Die Mindesttemperatur des Wassers soll an dessen Eintrittsstelle in den Ökonomiser etwa 35° Celsius betragen, muß aber bei niedriger Gastemperatur noch höher sein, um das Schweißen und Verschmieren der Ökonomiserrohre mit Ruß mit Sicherheit zu verhüten.

In den Ökonomisern wird das Speisewasser beträchtlich höher als in den Abdampfvorwärmern erwärmt. Die Temperatur des aufgewärmten Wassers ist oft gleich der Temperatur des Kesselwassers; es ist demnach der Ökonomiser auch dann noch vorteilhaft anzuwenden, wenn das verfügbare Speisewasser (etwa Kondenswasser aus Oberflächenkondensatoren an Dampfturbinen oder Dampfmaschinen) schon sehr heiß ist. Zu hohen Druck und Wasserschläge in den Ökonomisern verhindert man durch ununterbrochene, dem Dampfverbrauch im Kessel angemessene Speisung. Auch erhält der Ökonomiser an der Wassereintritts- und Austrittsstelle je ein Thermometer sowie ein Sicherheitsventil, das immer für 3 bis 4 Atmosphären mehr als der Kesseldruck eingestellt wird, da im Ökonomiser oft höhere Drücke als im Kessel auftreten.

Um etwaige Reparaturen am Ökonomiser unabhängig vom Kesselbetrieb ausführen zu können, wird für die Essengase noch ein Essenzug angelegt, der um die Ökonomiserkammer herumführt. Durch Drehen mehrerer Essenschieber kann man die Heizgase durch diesen Umgehungs kanal direkt in den Schornstein ableiten, den Ökonomiser völlig vom Rauchgasstrom ausschalten und seine Kammer begehbar machen (siehe Abb. 160 Seite 144). Die Kesselspeisung erhält eine Umgehungsleitung, so daß bei Ökonomiserreparaturen unmittelbar in den Kessel gespeist werden kann.

**Die Rippenrohrekonomiser** haben seit ihrem Aufkommen vor etwa 25 Jahren die Glattrohrekonomiser nahezu völlig verdrängt. Ihre Vorzüge bestehen in dem geringen Platzbedarf und in der Brauchbarkeit für Drücke, für die der Glattrohrekonomiser nicht mehr ausreicht, da die Rippen dem Rohrkörper eine große Druckfestigkeit geben. Infolge ihrer gedrängten Bauart können sie dem Kessel unmittelbar angegliedert und ihr Betrieb mit dem Kesselbetrieb zwangsläufig und organisch vereinigt werden. In Neuanlagen erhält jeder Siederohrkessel einen Ökonomiser als selbstverständlichen Zubehöriteil für sich. Hierdurch wird die Wärmeausnutzung verbessert und auch ermöglicht, die Speisewasservorwärmung den Betriebsbedürfnissen des einzelnen Kessels anzupassen.

Die Rippenrohre werden aus einem besonderen Edelguß (Perlguß oder Elektroguß) von großer Festigkeit und Feuerbeständigkeit bis zu 1200° hergestellt, erhalten einen lichten Durchmesser zwischen 40 und 80 Millimeter und eine Länge

zwischen 0,75 bis 2,50 Meter. Ihr lichter Durchgang ist nicht immer kreisförmig, sondern auch elliptisch (Ökonomiser „Reford“ der Vereinigten Ökonomiserwerke G. m. b. H., Hilden a. Rhein und Freital i. Sa.), wodurch die Heizfläche wirksamer und der im Gaschatten liegende Rohrteil kleiner wird. Die ursprünglich vorherrschende Kreisform der Rippen ist neuerdings fast allgemein durch das Quadrat mit abgerundeten Ecken ersetzt worden. Über die zweckmäßigste Höhe der Rippen bestehen verschiedene Ansichten. Wegen der großen Rohrabstände, die die hohen Rippen bedingen, werden auch **Kurzrippen** angewendet, die außer der Gewichtersparnis einen besseren Wärmedurchgang haben sollen und eine gedrungene, billige Bauweise des Ökonomiser ermöglichen. Die Flanschen an den Rohrenden sind quadratisch

und bilden an dem zusammengesetzten Ökonomiser vorn und hinten die Abschlußwand. Die Seitenwände werden, sofern kein

Die Rippenrohre liegen waagrecht und werden mit Rußbläsern sauber gehalten, auf deren Bauart und Handlichkeit viel Wert gelegt wird, da die Reinhaltung der Rohre von Flugasche und Ruß für die Leistung des Ökonomisers sehr wichtig ist. Verwendet werden Bläserrechen, die eine große Anzahl Düsen haben und über die ganze Breite des Ökonomisers reichen. Die Düsen sind so eingerichtet, daß der Dampfstrahl eine kleine Menge Rauchgase aus der Ökonomiserkammer ansaugt und sich mit ihr vermischt und daß der so gebildete Fegestrahle zur Erhöhung seiner Stoßkraft eine axiale Drehung, einen Drall, erhält. Hierdurch wird verhütet, daß die getroffene Heizfläche, wie dies bei bloßem Dampfe möglich ist, naß wird und der Ruß und die Flugasche ankleben. Ein Abblasen in halb-, ein- oder mehrtägigen Zeitabständen hat sich im allgemeinen als ausreichend erwiesen. Je schärfer der Gaszug, um so geringer der Schmutzanlaß. Bei Verfeuerung von gutartigem Brennstoff werden die Rippenrohre außen durch den Gasstrom blank gehalten und kann das Abblasen auch völlig unterbleiben. In Sonderfällen, etwa bei naßem Dampf und niedrigen Temperaturen in der Ökonomiserkammer, wird der Rußbläser mit Preßluft betrieben.

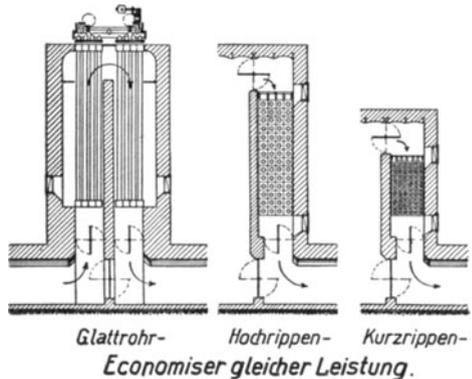


Abb. 158. Nach Angabe der Firma Max u. Ernst Hartmann, Freital-Dresden.

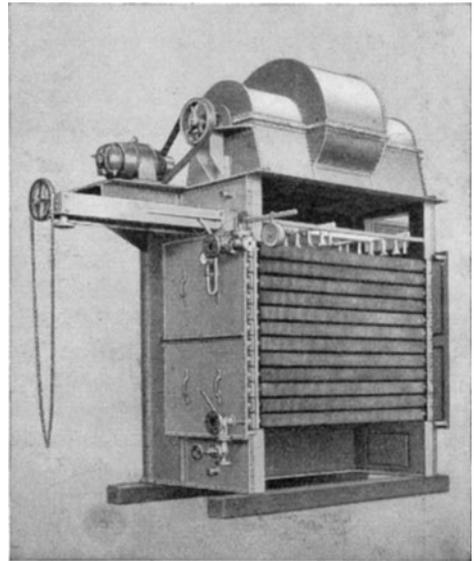


Abb. 159. Ansicht eines Saugzuekonomisers von M. u. E. Hartmann, Freital, Bez. Dresden. Die Ökonomiserrohre und der Rußbläser sind durch Wegnahme der vorderen Ökonomiserwand sichtbar gemacht. Der Kettenzug dient zum Verfahren des Rußbläfers in waagerechter Richtung dicht über den Rippenrohren.

Bei dem **Saugzug-Ekonomiser** (Abb. 159 und 160) ist der Ekonomiser mit einem Saugzug-Ventilator baulich vereinigt. Er hat Kurzrippen, an Stelle der Einmauerung ein hohlwandiges, gut isolierend ausgekleidetes Stahlblechgehäuse, ist leicht, kann ohne besonderes Fundament und unmittelbar auf dem Rauchgaskanal aufgestellt werden und ist infolgedessen billig, so daß die Grenze, bei welcher sich der Kapitalaufwand für einen Ekonomiser noch lohnt, durch diese Sonderbauart von 80 auf etwa 30 Quadratmeter Kesselheizfläche herabgesetzt worden ist. Er eignet sich für Kesselanlagen, bei denen die Anschaffung eines Ekonomisers ohne Saugzug an

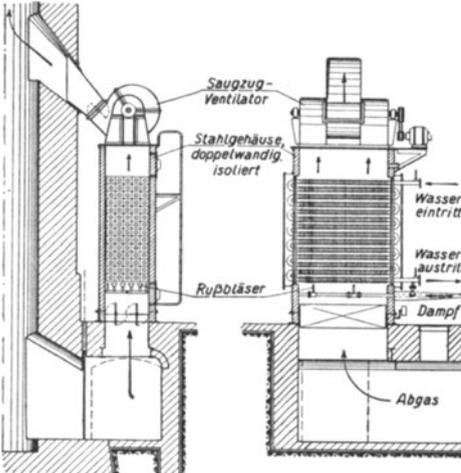


Abb. 160. Saugzugökonomiser, Einzugtype, von Hartmann, Freital-Dresden, mit ausfahrbarem Kupfbläser für Dampf oder Preßluft, unmittelbar am Schornstein.

dem geringen Effizienz scheitert. Letzterer wird durch den Ventilator verstärkt und mit der Anlaßvorrichtung des Ventilator-motors, die zur Erleichterung der Handhabung im Heizstande angebracht ist, geregelt. Der Effizenzschieber bleibt voll geöffnet und wird nur bei Betriebschluß geschlossen. Außer Sonderfällen wird der Saugzug-Ekonomiser bei Aufstellung am Schornstein als Ein-, bei Aufstellung über einem Rauchkanal als Zwei-Zugbauart ausgeführt. Sein Kraftbedarf ist im Verhältnis zum Wärmegewinn bei der Erhöhung der Temperatur des Speisewassers zumeist nicht wesentlich.

Die gußeisernen Rippenrohr-Ekonomiser reichen für die zur Zeit üblichen Betriebsdrücke, die nur vereinzelt über 50 Atmosphären hinausgehen, gut aus. Für höhere Drücke werden **schmiedeeiserne Ekonomiser** aus einem Sondermaterial verwendet.

### Die Kohlenersparnis durch die Vorwärmer.

In den **Abdampfvorwärmern** wird das Speisewasser durchschnittlich auf etwa 70° erhitzt. Bei einer Anfangstemperatur von 18° ergibt sich sonach für jedes Kilogramm vorgewärmtes Wasser ein Wärmegewinn aus dem Abdampf von 70 — 18 = 52 Wärmeeinheiten. Unter Annahme eines Betriebsdruckes von 10 Atmosphären Überdruck würde dann nach Spalte 6 der Tabelle Seite 75, wonach zur Umwandlung von 1 Kilogramm Wasser in Dampf von diesem Druck rund 665 Wärmeeinheiten erforderlich sind, die Wärmersparnis betragen:

$$\frac{52}{665} = \frac{X}{100} \quad \text{oder} \quad \frac{52 \cdot 100}{665} = 7,8\%.$$

In den **Ekonomisern** wird das Speisewasser höher als in den Abdampfvorwärmern erhitzt, da sie eine größere Heizfläche haben und die Temperatur der Rauchgase höher als die des Auspuffdampfes ist; außerdem wird ihnen das Speisewasser zumeist aus einer Enthärtungsanlage in vorgewärmtem Zustande zugeführt. Bei Annahme einer Temperatursteigerung von 75 auf 155° würde sich je Kilogramm Speisewasser eine Wärmersparnis von 155 — 75 = 80 Wärmeeinheiten ergeben oder unter Zugrundelegung eines Betriebsdruckes von 10 Atmosphären

$$\frac{80}{665} = \frac{X}{100} \quad \text{oder} \quad \frac{80 \cdot 100}{665} = 12\%.$$

Die wirtschaftlichen Vorteile der Speisewasservorwärmer sind unbestritten. Auch ohne rechnerische Nachweise kann sich der Heizer von ihnen überzeugen, wenn er den Vorwärmer einmal ausschaltet und nichtvorgewärmtes Wasser in den Kessel speist. Hinzu kommt noch die Schonung der Kessel durch Vermeidung schädlicher Temperaturschwankungen, die Erleichterung des Betriebes bei Belastungsänderungen und die Verhinderung von Anfressungen der Kesselbleche, da die Luft aus dem Speisewasser bereits im Economiser ausgeschieden wird, auf dessen Gußeisen sie kaum schädigend einwirkt.

Die Economiser verdienen daher mit vollem Rechte ihre weite Verbreitung.

### Die Abgas-Lufterhizer.

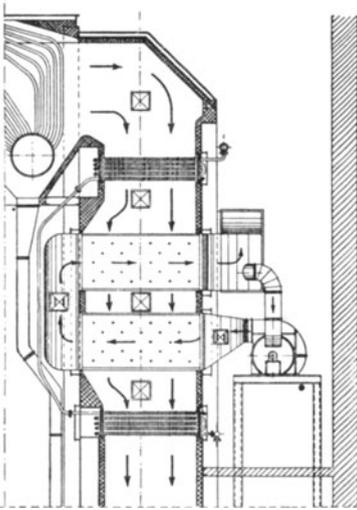
Bei den Lufterhizern wird die Wärme der Rauchgase zur Erwärmung der Verbrennungsluft benützt, wodurch die Temperatur im Feuerbett und im Feuerraum gesteigert und die Verheizung geringwertiger, insbesondere aschenreicher, gasarmer und feuchter Brennstoffe ermöglicht wird. Es wird also mit dem Lufterhizer nicht, wie beim Economiser, eine Abwärmeverwertung der Rauchgase schlechthin, sondern die Verfeuerung billiger, schwerentzündlicher Kohlenarten als betriebliches Ziel gesetzt. Die üblichen Temperaturen der vorgewärmten Luft liegen bei 100 bis 150°. Höhere Temperaturen sind zwar möglich, doch ist zu berücksichtigen, daß die alsdann im Feuerraum auftretenden hohen Temperaturen zu einer übermäßigen Inanspruchnahme von eisernen Teilen und der Ausmauerung der Feuerung führen können. Auch darf der Aschenschmelzpunkt nicht zu niedrig liegen, beträgt er über 1300°, so dürften bei Kofstfeuerungen keine Schwierigkeiten zu erwarten sein, da bei diesen Feuerungen die durchschnittliche Temperatur unter diesem Maße bleibt, jedoch bei Verfeuerung von hochwertigsten Brennstoffen bis etwa 1450° ansteigt. Zur Schonung des feuerfesten Mauerwerks erhalten hierbei die Wände des Feuerraumes Kühlrohre im Wasserkreislauf des Kessels.

Durch Anwendung der Lufterhizer wird auch die Kofst- und Kesselleistung beträchtlich erhöht, sie eignet sich daher für Höchstleistungskessel mit erheblichen Belastungsschwankungen, die durch Zu- und Abschalten des Lufterhizers leicht überwunden werden. Die Abgastemperaturen am Kesselende sind bei derartigen Anlagen immer so hoch, daß dem Lufterhizer noch ein Economiser vorgeschaltet wird. Doch wird auch, falls auf eine hohe Lufterhizung Wert gelegt wird, der Economiser in zwei Teile zerlegt und zwischen beiden der Lufterhizer eingebaut.

Die Lufterhizer werden als sog. Taschenlufterhizer aus etwa 1,5 bis 3 Millimeter dicken Blechtafeln der handelsüblichen Größen (1,5 × 3 m, 1,25 × 2,5 m, 1 × 2 m) angefertigt. Die Bleche werden unter Zuhilfenahme von Ankerbolzen und Abstandshaltern gleichmäßig nebeneinander gereiht und unter Verwendung der autogenen und elektrischen Schweißung zu einzelnen Elementen oder Paketen vereinigt, so daß viele enge Kanäle für die Rauchgase und für die Luft entstehen und die Bleche auf der einen Seite von den Rauchgasen, auf der anderen von der Luft bestrichen werden, und zwar bewegen sich beide im Kreuzstrom zueinander. In Abb. 161 strömen die Rauchgase in senkrechter Richtung von oben nach unten, die Luft im unteren Teile des Lufterhizers in waagerechter Richtung von rechts nach links, im oberen Teile von links nach rechts. Die Luft wird von einem Ventilator angesaugt und durch den Lufterhizer und eine Rohrleitung hindurch unter den Kofst der Feuerung getrieben. Die Anlage wirkt demnach bei Kofstfeuerungen wie eine Unterwindfeuerung und wird auch wie diese geregelt.

Wie der Economiser, so wird auch der Lufterhizer zumeist von der Rauchgasführung absperrbar eingerichtet, wozu in den Rauchgaskanälen Drehhieber angebracht sind. Werden dieselben geschlossen, so ziehen die Rauchgase unmittelbar in

den Schornstein ab, wovon bei Schwachlast Gebrauch gemacht werden kann. Die Reinhaltung der abgasseitigen Heizfläche ist von wesentlichem Einfluß auf die Leistung des Lusterhitzers. Bei Brennstoffen, die eine körnige, nicht klebende Flugasche ergeben, sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich; in allen anderen Fällen



ist der Einbau von Rußbläsern erforderlich, die fahrbar und so angeordnet werden, daß die Abgaskanäle des Lusterhitzers nacheinander gründlich durchgeblasen werden können.

Auch bei Lusterhitzern müssen Schwigerscheinungen auf der Abgasseite, die Ruß- und Flugaschenablagerungen und Anrostungen in der Nähe des Lufteintrittes hervorgerufen und insbesondere bei der Verheizung von Brennstoffen mit hohem Wasserergehalt auftreten, vermieden werden. Die Luft wird in diesen Fällen vorgewärmt, indem man etwas Heißluft zurückführt. In Abb. 161 deutet das kleine Rohr am Ventilator die senkrecht von oben nach unten stattfindende Rückführung an. Auch im Lusterhitzer kühlt man die Rauchgase nicht unter 120 bis 130° ab, um noch einen genügenden natürlichen Auftrieb der Rauchgase im Schornstein zu erhalten; doch werden derartige Kesselanlagen auch vielfach mit künstlichem Zug betrieben.

Abb. 161. Lusterhitzer an einem Steilrohrkessel. Der Ventilator saugt kalte Luft an und drückt sie durch den Erhitzer hindurch in die Unterwindfeuerung. Ober- und unterhalb des Lusterhitzers befindet sich der in zwei Teile zerlegte Economiser.

In Ausnahmefällen, etwa bei der Verheizung stark schwefelhaltiger Brennstoffe, oder bei hohen Abgastemperaturen, werden Lusterhitzer aus Gußeisen verwendet, da letzteres gegen Korrosions- und Temperatureinflüsse widerstandsfähiger als Eisenblech ist.

## 15. Betriebsvorschriften für die Kesselwärter von Landdampfkesseln.

Allgemein gilt für den Heizer, daß er den Dampfkessel abends, bei Betriebschluß, abzusperrt und früh, bei Betriebsbeginn, aufzumachen hat. Er hat demgemäß abends sämtliche Dampfventile und das Speiseventil zuzudrehen, die Wasserstandsapparate abzustellen, das Feuer herauszunehmen, den Essenschieber, die Feuertüre und die Klappe vom Aschefall zu schließen (siehe hierzu jedoch Punkt 22). Der Kessel muß genügend mit Wasser gefüllt und der Dampfdruck einige Atmosphären heruntergearbeitet sein. Im Kesselhause ist für Ordnung zu sorgen, insbesondere dürfen auf dem Kesselgemäuer keine brennbaren Stoffe liegen. Früh, nach dem Betreten des Kesselhauses, hat der Heizer als erste Arbeitsvornahme den Wasserstandsapparat anzustellen und einen Blick auf das Manometer zu werfen. Sind der Wasserstand und der Dampfdruck in Ordnung, so beginnt er mit dem Anfeuern, zieht den Essenschieber zunächst nur zum Teil in die Höhe, überzeugt sich, ob die Ventile, die er abends zuvor geschlossen hat, nicht unbefugterweise geöffnet worden sind und kontrolliert durch Befühlen der Speisewasserleitung und Ablassleitung, ob deren Abschlußorgane über Nacht dicht gehalten haben. Hierauf feuert er den Dampfdruck allmählich hoch und wärmt die Dampfleitung nach der Dampfmaschine vorsichtig an.

Die amtlichen Betriebsvorschriften<sup>1)</sup> lauten:

<sup>1)</sup> Diese Vorschriften müssen im Kesselhause aushängen.

**Allgemeines.**

1. Die Kesselwärter haben die nachfolgenden Betriebsvorschriften für die Bedienung von Landdampfesseln zu beachten.

2. Die Kesselwärter haben sich den Dampfesselfrüfern und sonstigen zuständigen Stellen gegenüber auf Anforderung über die Kenntnis der Vorschriften auszuweisen.

3. Das Betreten der Kesselräume durch Unbefugte ist verboten und darf nicht geduldet werden. Das Verbot ist anzuschlagen.

4. Der Kessel muß unter sachkundiger Aufsicht bleiben, solange sich Feuer auf dem Kofst befindet oder die Beheizung nicht abgestellt ist. Der Kesselwärter darf vor der Ablösung und der ordnungsmäßigen Übergabe des Kessels seinen Posten nicht verlassen.

5. Die Kesselanlage ist stets rein, gut beleuchtet und frei von allen nicht dahin gehörigen Gegenständen zu halten. Die vorgeschriebenen Ausgänge der Kesselanlage müssen während des Betriebes stets unverschlossen und frei bleiben. Andere, etwa versperrte Ausgänge sind zu kennzeichnen.

6. Werkzeuge, Bedarfsgegenstände und sonstige Ersatzteile für den Betrieb sollen stets vorhanden sein und geordnet aufbewahrt werden.

**Inbetriebsetzung des Kessels.**

7. Wenn der Kessel geöffnet war, so ist vor dem Schließen festzustellen, daß fremde Gegenstände aus ihm entfernt sind. Alle zum Kessel gehörigen Vorrichtungen müssen gangbar, ihre Verbindungen mit dem Kessel frei und die Entleerungsvorrichtungen geschlossen sein.

8. Das Anheizen muß vorsichtig und darf erst dann erfolgen, wenn der Kessel so weit mit Wasser gefüllt ist, daß der Wasserstand mit Sicherheit als genügend erkannt werden kann.

9. Rauchschieber, Zugdrehklappen usw. müssen vor dem Anheizen geöffnet werden, damit Rauchgasverpuffungen nicht eintreten können.

Es ist verboten, das Brennmaterial besonders zum Zwecke des leichteren Anzündens mit Petroleum oder anderen leicht entzündlichen Brennstoffen zu übergießen.

10. Während des Anheizens ist der Dampfraum des Kessels durch Öffnen der Sicherheitsventile oder anderer Vorrichtungen mit der äußeren Luft zu verbinden.

Dichtungen sind nachzusehen und erforderlichenfalls vorsichtig nachzuziehen.

11. Vor Beginn und während des Anheizens sind alle Ausrüstungs- und Zubehöerteile, besonders die Wasserstands- und Ventile, unter Benutzung aller Hähne oder Ventile zu prüfen; das Manometer ist zu beobachten.

**Betrieb des Kessels.**

12. Hähne und Ventile sind vorsichtig zu öffnen und zu schließen. Besondere Sorgfalt ist bei Benutzung von Entleerungsvorrichtungen anzuwenden. Dampfleitungen und Überhitzer sind beim Anwärmen zu entwässern unter Berücksichtigung der Eigenart der Anlage. Dampfleitungen dürfen nur langsam angewärmt werden.

Die Entnahme von heißem Wasser aus Dampfesseln für Gebrauchszwecke ist unzulässig, soweit nicht in Ausnahmefällen besondere Einrichtungen hierfür genehmigt sind.

13. Der Wasserstand muß stets in ausreichender Höhe gehalten werden. Er darf im Betrieb im allgemeinen nicht unter die Marke des niedrigsten Wasserstandes sinken. Kann der Wasserstand nicht mehr mit Sicherheit als genügend erkannt werden, so ist sofort die Einwirkung des Feuers zu unterbrechen und dem zuständigen Vorgesetzten unverzüglich Anzeige zu erstatten.

14. Die Wasserstands- und Ventile sind sämtlich zu benutzen und sauber zu halten. Alle Hähne und Ventile sind täglich, nach Bedarf mehrmals zu prüfen. Sie sind langsam und vorsichtig zu öffnen und zu schließen. Mängel, insbesondere Verstopfungen, sind sofort zu

beseitigen. Die Wasserstandsgläser sind gut zu beleuchten. Schutzvorrichtungen an ihnen sind stets in Ordnung zu halten.

15. Alle Speisevorrichtungen sind stets in brauchbarem Zustand zu erhalten, möglichst abwechselnd zu benutzen, zum mindesten aber öfter auf ihre Betriebsfähigkeit hin zu prüfen.

16. Das Manometer ist zeitweise vorsichtig auf seine Gangbarkeit zu prüfen. Hierbei ist danach zu sehen, ob die Zeigerstellung mit dem Abblasen der Sicherheitsventile übereinstimmt, ob der Zeiger beim vorsichtigen Schließen des Hahnes ohne Hemmung auf den Nullpunkt sinkt und beim langsamen Wiederöffnen auf den früheren Stand zurückgeht. Eine erhebliche Unstimmigkeit zwischen den Anzeigen des Manometers und dem Abblasen der Sicherheitsventile ist dem Vorgesetzten zu melden.

17. Der Dampfdruck soll die festgesetzte, auf dem Fabrikschild angegebene und am Manometer durch eine rote Marke bezeichnete, höchste Spannung nicht überschreiten. Steigt der Druck zu hoch, so ist der Kessel aufzuspeisen und der Zug zu vermindern. Blasen dabei die Sicherheitsventile nicht ab, so sind sie sofort nachzusehen.

18. Die Sicherheitsventile sind regelmäßig auf ihren ordnungsmäßigen Zustand zu prüfen. Jede eigenmächtige Änderung der Ventile oder ihrer Belastung, insbesondere jedes Überlasten und Unwirksammachen, ist verboten.

19. Beim Abschließen und bei der Handbeschickung des Kofes ist gebotenfalls der Zug zu vermindern.

20. In Betriebspausen ist der Kessel nach Bedarf aufzuspeisen und der Zug zu vermindern.

21. Gegen Ende des Kesselbetriebes ist die Zufuhr von Brennstoff einzustellen, der Dampf soweit wie möglich wegzuarbeiten und der Kessel nach Bedarf aufzuspeisen; erforderlichenfalls sind die Absperrvorrichtungen, besonders die der Wasserstandsvorrichtungen und die der Speiseleitung zu schließen. Die Einwir-

kung des Feuers ist aufzuheben und hernach der Rauchschieber zu schließen.

22. Das Decken des Feuers nach Beendigung des Betriebes ist nur gestattet, wenn der Kessel unter sachkundiger Aufsicht bleibt. Dabei darf der Rauchschieber nicht ganz geschlossen werden.

23. Die Kesselwärter haben den Zustand der Kessel, der Kesselmauerung und der Zugführung, besonders auch der Gewölbe, zum Schutze einzelner Kesselteile gegen die Einwirkung heißer Gase (besonders der Schutzwölbe unterhalb der Wasserkammern bei Wasserrohrkesseln) zu beobachten.

Auffallende Erscheinungen an Nietnähten und an Schweißnähten, besonders an solchen von Wasserkammern, undichte und schadhafte Stellen, starke Verrostungen und ungewöhnliche Erscheinungen am Kessel, Beschädigungen am Mauerwerk, Einsturz von Schutzwölben sind dem Vorgesetzten unverzüglich zu melden.

Vor Leckwasser und ausströmendem Dampf sind alle Teile des Dampfkessels sorgfältig zu schützen.

24. Schäden sind baldigst zu beseitigen. Bei gefährdenden Schäden ist der Kessel sofort außer Betrieb zu setzen.

### Reinigen und Entleeren des Kessels.

25. Mit dem Entleeren des Kessels darf erst begonnen werden, wenn das Feuer und die glimmende Flugaße entfernt sind und das Mauerwerk genügend abgekühlt ist.

Muß der Kessel aus zwingenden Gründen unter Dampfdruck entleert werden, so hat dies mit größter Vorsicht und bei möglichst niedrigem Druck zu geschehen.

Damit der Kessel völlig ausläuft, ist für Luftzutritt zu sorgen.

26. Einlassen von kaltem Wasser in den entleerten heißen Kessel ist untersagt.

27. Bei Frostgefahr sind außer Betrieb gesetzte Kessel und Rohrleitungen gegen Einfrieren zu schützen.

28. Außer Betrieb gesetzte Kessel und Rohrleitungen sind sorgfältig gegen die Einwirkung von Feuchtigkeit, insbesondere auch gegen die Einwirkung von Grundwasser zu schützen.

29. Der zu befahrende Kessel muß von den mit ihm verbundenen und unter Dampf gehenden Kesseln in allen Rohrverbindungen durch genügend starke Blindflanschen oder durch Abnehmen von Zwischenstücken sicher und sichtbar abgetrennt werden.

Gemeinschaftliche Feuerungseinrichtungen sind sicher abzusperren. Der Kessel und die Züge sind gut zu lüften.

30. Kesselstein und Schlamm sind aus dem Kessel gründlich zu entfernen. Der Kesselstein darf nicht mit zu scharfen Werkzeugen abgeklopft und nicht mit gesundheitsschädlichen Mitteln entfernt werden.

31. Die Züge und die äußeren Kesselwandungen sind gründlich von Flugasche und Ruß zu reinigen.

32. Nach jeder Reinigung haben die Kesselwärter oder andere hierfür geeignete Personen den Kessel und seine Feuerzüge zu befahren und genau zu untersuchen.

Dabei sind besonders stark beanspruchte Stellen, z. B. Krempen an Böden, Kammerhälse und Stutzen, Nietnähte und Schweißnähte, die Durchgangsöffnungen der Wasserstandsrichtungen, die Mündungen der Speise- und Entleerungsvorrichtungen sorgfältig

auf ihren Zustand zu prüfen. Mängel sind dem Vorgesetzten zu melden (siehe auch Ziffer 23).

33. Beim etwaigen Anstrich des Kesselinneren ist mit Vorsicht zu verfahren. Der Anstrich ist möglichst dünn aufzutragen.

Die Verwendung von Stoffen, die betäubende oder leicht entzündliche Gase entwickeln, ist verboten.

34. Zur Beleuchtung beim Befahren der Kessel und Züge dürfen leicht entzündliche Brennstoffe nicht benutzt werden.

Bei Benutzung elektrischer Lampen ist darauf zu achten, daß die Handlampen und Kabel den jeweils geltenden Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, e. V., entsprechen und in Ordnung sind. Unter anderem müssen die Lampen mit einem sicher befestigten Überglas und mit Schutzkorb versehen sein und dürfen keine Schalter haben. Die Spannung muß bei Wechselstrom durch Schutztransformatoren mit getrennter Wicklung auf 42 Volt oder weniger herabgesetzt werden. Der Schutztransformator muß unmittelbar an der festverlegten Nulleitung oder nahe am Stecker angeschlossen sein. Stecker für Kleinspannungen dürfen nicht in Dosen für höhere Spannungen passen.

35. Gelegentlich der Reinigung eines Kessels sind die Ausrüstungs- und Zubehörteile zu untersuchen und erforderlichenfalls instand zu setzen.

## 16. Wärmewirtschaft und Kesselhausüberwachung.

**Die selbsttätige Feuerregelung.** Belastungsschwankungen in einer Kesselanlage bemerkt der Heizer bei der Beobachtung des Manometers. Nimmt die Kesselbelastung zu, so steigert sich die Dampfenahme und der Dampfdruck sinkt. Der Heizer hat alsdann die nötigen Maßnahmen zu treffen. Das Abstellen der Kesselspeisung, das immer als erstes Hilfsmittel angewendet wird, scheidet bei den modernen Kesselanlagen aus, da dieselben ausnahmslos mit selbsttätigen Wasserreglern ausgerüstet sind, deren Außerbetriebsetzung bei Kesseln mit geringem Wasserinhalt nicht zugänglich ist. Der Heizer muß demnach entsprechend der Zunahme der Kesselbelastung für erhöhte Dampferzeugung sorgen, indem er das Feuer verstärkt, also den Essenschieber neu einstellt, bei Wanderrosten die Kostgeschwindigkeit erhöht und bei Anwendung von Unterwind die Unterwindklappen verstellt oder die Drehzahl des Unterwindgebläses erhöht. Bei dieser Regelung darf auch der Wirkungsgrad des

Feuers nicht beeinträchtigt werden und der Heizer hat am Kohlen säureapparat (Manarex u. a.) abzulesen, ob dies der Fall ist und bei rückläufigem Kohlen säuregehalt der Rauchgase die Schieberstellung, die Kofstgeschwindigkeit und die Unterwind einrichtung so oft zu ändern, bis die betrieblichen Anforderungen erfüllt sind. Auch gut eingearbeitete Heizer werden bei dieser Regelung nicht immer gleich das Richtige treffen und es wird immer einige Zeit dauern, bis die Dampferzeugung die Dampf abgabe wieder deckt, ganz abgesehen davon, daß der Heizer in dringenden Fällen auch mit schlechtem Kohlen säuregehalt, also mit großem Luftüberschuß und zu hohem Kohlenverbrauch arbeiten wird, wenn es gilt, den Dampfdruck wieder hoch zu bringen.

Die selbsttätige Feuerregelung ist daher für Großbetriebe eine betriebstechnische Notwendigkeit geworden. Sie hält die Dampferzeugung auf gleicher Höhe mit der Dampfentnahme, und zwar so, daß auch bei großen Belastungsschwankungen nicht nur der Dampfdruck, sondern auch der Wirkungsgrad der Feuerung, das ist das Verhältnis der Kohlenmenge zur zu strömenden Luftmenge oder der prozentuale Kohlen säuregehalt der Feuergase unverändert bleiben. Sie besteht demnach:

1. in der Dampfleistungs- oder Belastungsregelung und
2. in der Verbrennungsregelung.

Sind mehrere Kessel in dem Betriebe vorhanden, so kommt noch hinzu:

3. die Regelung der Lastverteilung, das ist die planmäßige Verteilung der Dampferzeugung auf die einzelnen Kessel.

Die Anwendungsmöglichkeiten der selbsttätigen Feuerregler sind ziemlich vielseitig; in nachstehendem ist nur auf einen Grundfall mit Wanderrostfeuerung in der Ausführung der Astantia-Werke A.-G., Berlin-Friedenau, eingegangen, der sinngemäß auch für andere mechanische Feuerungen und für die Kohlenstaubfeuerung gilt.

Die Regelung erfolgt in einfacher Weise dadurch, daß das Feuer bei zunehmender Dampf abgabe verstärkt, bei abnehmender Dampf abgabe abgeschwächt wird.

Für die Änderung der Luftzufuhr reicht das sonst übliche und auch hier angewendete Verstellen des Essenschiebers hinter dem Kesselende nicht aus, da der Regelbereich der Essenschieber selten ermöglicht, den Kessel auf weniger als einem Drittel seiner Höchstleistung herunterzuregulieren. Es liegt dies hauptsächlich daran, daß auch bei stark gedrosseltem Essenzuge im Feuerraum ein Auftrieb der heißen Feuergase besteht und eine Weiterverbrennung verursacht, die auch durch den Gasdruck, der sich im Feuerraum infolge des schwachen Essenzuges bildet, nicht ganz beseitigt wird. Besonders bei hohem Feuerraum (Steiltrohrkessel) tritt dann das „Dünsten“ oder Qualmen auf, indem die Rauchgase aus Mauerwerksfugen und Schaulöchern entweichen und die Verankerungen und Staupendel unzulässigen Wärmebeanspruchungen aussetzen.

Diesem Übelstande wird dadurch abgeholfen, daß die Luftzufuhr nicht nur durch den Essenschieber am Kesselende, sondern auch vorn am Kessel bei ihrem Eintritt unter dem Kofst vermindert wird. Bei Wanderrosten ohne Unterwind geschieht dies durch Verstellen einer oder mehrerer Klappen der Kofstverkleidung. Bei Unterwind wird entweder eine Drosselklappe in der Druckleitung des Gebläses oder es werden bei Zonenrosten die miteinander verbundenen Regelklappen gesteuert. Hierdurch läßt sich die Kesselbelastung auf nahezu Null einstellen, ohne daß das Feuer qualmt oder die Feuerung unwirtschaftlich wird. Auf diese Regelung, die Zug- oder Druckregelung im Feuerraum, wird jedoch verzichtet, wenn keine kleine Lasten zu steuern sind.

Die Regelung der Brennstoffmenge erfolgt bei Wanderrosten dadurch, daß der selbsttätige Feuerregelungsapparat die Kofstgeschwindigkeit ändert bei gleichbleibender Schütthöhe für alle Belastungen. Sie richtet sich nach der Art des jeweils

vorhandenen Kofantriebes. Ist letzterer ein Gleichstrommotor, so verstellt der mechanische Regler die Widerstände in der Nebenschluß- und in der Hauptstromleitung, wodurch sich die Drehzahl des Motors und mit dieser der Kofvorschub ändern. Ist der Antriebsmotor ein Drehstrommotor, so wird eine Schaltsteuerung mit einer elektromagnetischen Kupplung verwendet und hierdurch ein regelbarer veränderlicher schrittweiser Kofvorschub erzielt.

Ist die Regeleinrichtung in Ruhelage, so befinden sich das Meßsystem 1, auf welches der Dampfdruck aus der Sammelleitung wirkt, und das Gewicht 2 im Gleichgewicht. Bei steigender

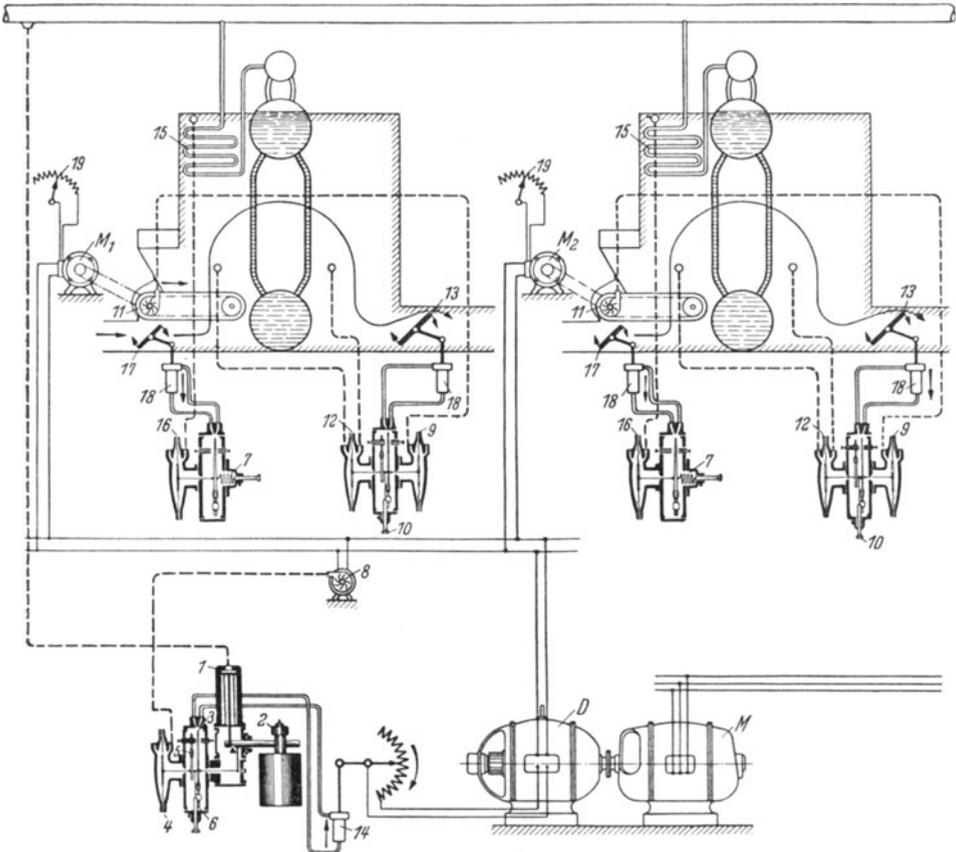


Abb. 162. Schema der selbsttätigen Feuerregelung der Askania-Werke A.-G., Berlin-Friedenau, an zwei Wanderrostfesseln.

Belastung, also bei sinkendem Dampfdruck, bekommt das Gewicht 2 das Übergewicht und lenkt das Strahlrohr 3, aus welchem aus einem (nicht gezeichneten) Kraftgetriebe  $M_1$  unter Druck ausströmt, aus seiner Mittelstellung ab und bringt es vor die Mündung des rechten Rohres nach dem Steuerzylinder 14. Letzterer wird hierbei in der Pfeilrichtung verschoben und schaltet Widerstandsstufen der Gleichstromdynamomaschine  $D$  ab, so daß sich deren Spannung erhöht und die von ihr gespeisten Kofantriebsmotoren  $M_1$  und  $M_2$  und die Gebläse 8 und 11 schneller laufen. Sind durch die erhöhte Kofgeschwindigkeit die Verbrennung und die Dampferzeugung so weit gesteigert, daß die Dampfspannung wieder auf dem Solldruck verharrt, so ist die Regelung der Kohlenzufuhr beendet und das Strahlrohr 3 nimmt wieder seine Mittelstellung ein. Das Rückführgebläse 8 wirkt bei der Regelung derart, daß sich durch den schnelleren Gang seines (nicht gezeichneten) Motors seine Saugwirkung auf die Membran im Gehäuse 4 erhöht und hierdurch das Niedergehen des Gewichtes 2 gehemmt wird.

Die Gebläse 11 dienen der Verbrennungsregelung, wobei sie auf die Membranen und die Strahlrohre der Meßsysteme 9 einwirken; die Strahlrohre verlassen hierbei ihre Mittelstellung und leiten den Öldruck in die Steuerzylinder 18, die durch ein Gestänge mit den Essenschiebern 13 verbunden sind und diese verstellen. Die Meßsysteme 16 regeln auf dieselbe Weise den Druck (oder Zug) und den Luftzutritt zum Feuerraum, da sich derselbe, wie wir bereits sahen, bei steigender Rauchgasmenge (geöffnetem Essenschieber) vermindert, bei sinkender Rauchgasmenge (gedrosseltem Essenschieber) vermehrt. Hierbei werden durch die Steuerzylinder 18 die Luftklappen 17 unter dem Rost mehr oder weniger offen gehalten werden, bis der anfängliche Druck (oder Zug) wieder hergestellt ist, das Strahlrohr in seine Mittelstellung zurückgeht und das Meßsystem in Ruhstellung kommt.

Die selbsttätigen Feuerregler halten den Dampfdruck sehr gut auf gleichmäßiger Höhe. Voraussetzung ist, daß der Kessel für die von ihm geforderte Leistung bemessen ist. Beträgt seine Höchstleistung 50 Kilogramm Dampf je Stunde und Quadratmeter Heizfläche, so kann natürlich auch der Feuerregler nicht mehr herausholen. Der Heizer wird sehr entlastet, aber nicht etwa ausgeschaltet und muß seine Fachkenntnisse durch Wahrung der betrieblichen Vorteile des selbsttätigen Feuerreglers beweisen.

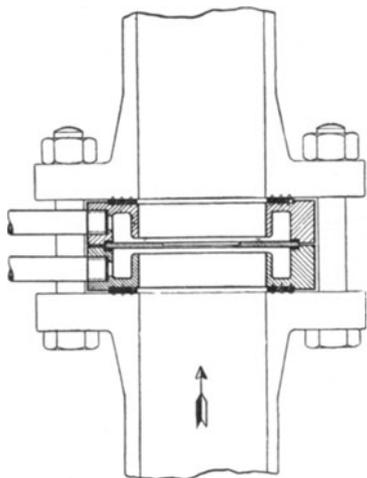


Abb. 163. Schnitt durch die eingebaute Ringkammer des Staugerätes der AEG., Berlin.

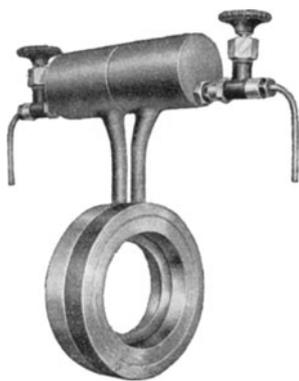


Abb. 164. Ansicht des Staugerätes.



Abb. 165. Schematische Anordnung der Meßanlage in waagrechtlicher Dampfleitung.

Die **Dampfmengenmesser** (Dampfuhren; Abb. 163 bis 165) zeigen die Dampfmenge in Tonnen (= 1000 Kilogramm) je Stunde an, die durch eine Dampfleitung hindurchfließt. Sie lassen also, wenn sie in die Hauptdampfleitung eingebaut sind, die jederzeitige Belastung des Kessels erkennen, nach welcher der Heizer den Betrieb (die Feuerung, den Essenzug, die Kesselspeisung) einzustellen hat. Sie bestehen aus einem Staugerät und dem anzeigenden Mengenmesser. Das Staugerät ist als Ringkammermeßgerät mit einer Blende zwischen den Ringkammern ausgeführt. Beim Durchströmen des Dampfes durch die Blende, die einen kleineren lichten Durchmesser als die Dampfleitung hat, bildet sich vor derselben ein Überdruck, hinter derselben ein Unterdruck. Beide Drücke werden mittels dünner Rohre auf die Plattenfeder und die Zeigervorrichtung des Mengenmessers im Gesichtsbereich des Heizers übertragen und ändern sich mit der Geschwindigkeit des strömenden Dampfes und mit dem Dampfdruck. Die Blende ist für den Fall, daß man auf andere Drücke übergehen will, leicht auswechselbar. Vor und hinter dem Staugerät sind gerade Rohrstrecken von 10 bzw. 5 Meter Länge ohne Abzweigungen und eingebaute Armaturen erforderlich.

Die **selbsttätigen Rückspeisegeräte** dienen der Rückleitung des Kondensates aus Heizvorrichtungen und Rohrleitungen in den Kessel. Das Kondensat muß ölfrei,

auch nicht in anderer Weise verunreinigt und zur Kesselspeisung geeignet sein. Erläuterung zu Abb. 166:

Das Kondenswasser aus den verschiedenen Dampfleitungen wird nach einem (nicht gezeichneten) Sammelbehälter abgeleitet, der mit dem tief stehenden Heber durch eine Rohrleitung verbunden ist. Sobald der Heber gefüllt ist, wird durch einen in seinem Inneren befindlichen Schwimmer eine Frischdampfleitung selbsttätig geöffnet, so daß der in dem Heber entstehende Dampfdruck das Kondensat in den eigentlichen Rückleiter, der 1 bis 2 Meter über dem Kessel aufgestellt ist, hebt. Hat sich der Heber auf diese Weise entleert, so stellt der Schwimmer die Frischdampfleitung wieder ab und es kann aus dem (nicht gezeichneten) Sammelgefäß wieder von neuem Kondenswasser in den Heber hineinfließen.

Der Rückleiter ist, wie der Heber, gleichfalls innen mit einem Schwimmer versehen; ist er leer, so verschließt der Schwimmer die vom Kessel nach dem Rückleiter führende Rohrleitung und das Wasser kann aus dem Heber in den Rückleiter eintreten. Hierdurch wird der Schwimmer gehoben, die Dampfzuleitung nach dem Rückleiter geöffnet, in letzterem bildet sich über dem Wasser der Kesseldruck und das Wasser tritt mit seinem natürlichen Gefälle in die Speisefleitung und durch das Rückschlagventil hindurch in den Dampfkessel.

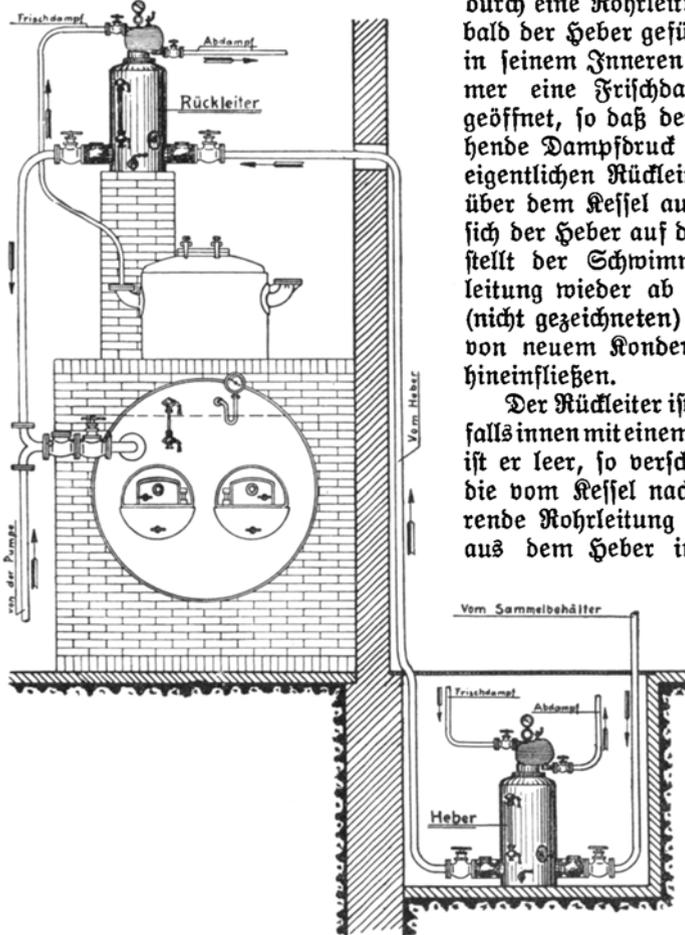


Abb. 166. Automatische Rückspeiseanlage für Kondenswasser von der Firma Böhling u. G., Halle a. Saale.

**Laufende Überwachung.** Zu einem geordneten Kesselbetrieb gehören:

1. eine fortlaufende Feststellung des täglichen Kohlenverbrauches,
2. eine fortlaufende Feststellung des Speisewasserverbrauches,
3. die Kontrolle der Verbrennung in der Feuerung,
4. die Registrierung des Dampfdruckes und der Temperatur des überhitzten Dampfes.

Der Verbrauch an Brennstoffen und Speisewasser wird auf die stündliche Menge festgestellt und zueinander in Beziehung gebracht. Der Heizer weiß dann, wieviel Kilogramm Wasser er mit 1 Kilogramm Kohle verdampft; stellt sich zeitweise eine schlechte Verdampfungsziffer heraus, so ist den Ursachen nachzuforschen, ob etwa die Kohle minderwertiger geworden ist, der Kessel infolge von starkem

Kesselsteinansatz, schlechtem Essenzug, Anhäufung von Flugasche in den Kesselzügen oder aus sonstigen Gründen schlecht arbeitet. Das Messen der verfeuerten Kohle erfolgt entweder durch Wiegen oder dadurch, daß der Heizer die Zahl der Kohlenkarren, die er in das Kesselhaus hineinführt, aufschreibt. Von Zeit zu Zeit ist auch das Gewicht der Schlacke festzustellen, obgleich der Heizer schon beim Bedienen des Kesselheizers bemerken wird, ob die Kohle mehr oder weniger schlackt.

Zur Feststellung des Speisewasserverbrauches sind Wassermesser in die Speiseführung eingebaut, deren Angaben der Heizer täglich in ein Buch einzutragen hat. Sind sie nicht vorhanden, so hat sich der Heizer auf andere Weise, etwa dadurch, daß er beobachtet, wie lange die Speisepumpen täglich in Betrieb sind oder daß er das Fassungsvermögen eines Speisewasserbehälters mißt, wenigstens einen annähernden Überblick über die vom Kessel verdampfte Wassermenge zu verschaffen. Ergibt sich zeitweilig ein erhöhter Verbrauch, so hat er zu prüfen, ob etwa die Abflußleitung oder das Speiseventil undicht sind oder andere Ursachen, wie Undichtheiten an der Steuerung, am Kolben und an den Kondensstöpfen der Dampfmaschine vorliegen.

Die Kontrolle der Dampfkefselfeuerung ist bereits in Abschnitt 3 eingehend besprochen worden. Es sei hierbei nur nochmals darauf hingewiesen, daß der Heizer die Stellung des Essenschiebers mit der Schichthöhe des Feuers in Einklang bringen und beide dem Dampfverbrauch und der verfeuerten Kohlen Sorte anpassen muß. Gute Hilfsmittel sind hierbei die Rauchgasprüfer und die Zugmesser. Zur Kesselhauskontrolle gehört auch, daß der Heizer die Temperatur im Kesselhaus zu bestimmten Betriebszeiten notiert.

Über die Kohlenersparnis, welche der hohe Dampfdruck, die Dampfüberhitzung und die Speisewasservorwärmer mit sich bringen, ist bereits in den Abschnitten 10 und 14 eingehend gesprochen worden.

Es sollte in jedem Kesselhause der Heizer laufend Aufzeichnungen über den Kesselbetrieb machen und ein Betriebsbuch führen. Die dafür aufgewendete geringe Mehrarbeit wird sich gut bezahlt machen und dem Heizer den Dienst erleichtern.

## 17. Die Heizkessel.

**Niederdruckdampfkeffel** dienen zu Heiz- und Kochzwecken. Der Betriebsdruck beträgt höchstens 0,5 Atmosphäre. Infolgedessen unterliegen sie nicht den Gesetzesvorschriften über Dampfkeffel für höhere Drücke und können auch in übersehten Räumen aufgestellt und aus beliebigem Material hergestellt werden<sup>1)</sup>.

Sie müssen aber ein **Sicherheitsstandrohr** erhalten, das entweder verhindert, daß die Dampfspannung den Betriebsdruck von 0,5 Atmosphäre übersteigt, oder den Kessel bei einer Überschreitung dieses Druckes um 10 Prozent wirksam entlastet. Es muß vom Dampfraum ausgehen und unabherrbar sein und kann die einfache U-Form erhalten, wobei der U-Bogen mittels eines Gahnes und Trichters mit Wasser gefüllt wird. Die Wassersäule (1 Meter = 0,1 Atmosphäre) hält dem Dampfdruck das Gleichgewicht, verhindert also das Ausströmen des Dampfes aus dem Kessel. Bei einer Drucküberschreitung wird es aus dem Sicherheitsrohr herausgeschleudert und entweicht der gesamte Dampf aus dem Kessel. Der Gefahr einer Kesselexplosion ist daher durch das Sicherheitsstandrohr sehr wirksam und besser als durch Sicherheitsventile, die übrigens an diesen Kesseln gesetzlich nicht zulässig sind, vorgebeugt. An Stelle des U-Rohres werden jedoch andere, genormte Ausführungen verwendet. Abb. 167: Das Rohr a geht nach dem Dampfraum. Beim Überschreiten des festgesetzten Dampfdruckes wird das Wasser durch das Rohr b hindurch in den oberen

<sup>1)</sup> Näheres siehe Niederdruckdampfkeffel-Verordnung vom 28. Januar 1935 — RGVl. S. 76.

Behälter F gedrückt, bis das untere Ende des Rohres c frei wird und der Dampf durch F und das Rohr d hindurch ins Freie entweicht. Nach dem Fallen des Dampfdruckes fließt das Wasser aus dem Behälter F und durch das Rohr b hindurch in den unteren Behälter E zurück und verschließt das Rohr c wieder, so daß kein weiterer Dampf entweichen kann.

**Der Betriebsdruck** wird bei den Heizkesseln zumeist nur 0,1 Atmosphäre gewählt, weil bei schnellem Hochheizen das Wasser aus dem Kessel in die Rückleitungen für das Kondenswasser gedrückt wird. Der Dampf steigt aus dem Kessel aus natürlichem Auftrieb in die Höhe, da er  $1\frac{1}{2}$  mal so leicht ist wie Luft von  $100^\circ$ . Weit verzweigte Heizungen und Kochkessel werden mit Druck bis  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre betrieben. Zum Ablesen des Dampfdruckes erhält der Kessel ein Manometer.

**Die Speisung des Heizkessels** erfolgt durch eine Wasserleitung, die an den Kessel angeschlossen ist und durch einen einfachen Hahn abgesperrt oder geöffnet werden kann. Eine Speisung während des Betriebes ist nur in sehr beschränktem Maße nötig, da das verdampfte Wasser sich in den Heizkörpern niederschlägt und selbsttätig wieder in den Kessel zurückfließt. Infolge dieses steten Wasserumlaufes setzt sich im Kessel auch fast kein Kesselstein ab, was sehr wesentlich ist, da sich der Kesselstein sehr schwer entfernen läßt. Aus diesem Grunde ist jede unnötige Erneuerung des Kesselwassers zu vermeiden, und es darf dem Kessel auch niemals Wasser zu Reinigungs- oder anderen Zwecken entnommen werden. Zur Speisung ist nur reines Wasser zu verwenden, das zur Verhütung von Kesselsteinansatz entweder Regenwasser oder vorher abgekocht sein soll.

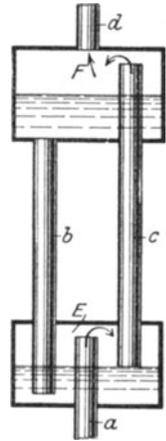


Abb. 167. Sicherheitsstandrohr für Niederdruckkessel beim Beginn des Abbläns des Kessels.

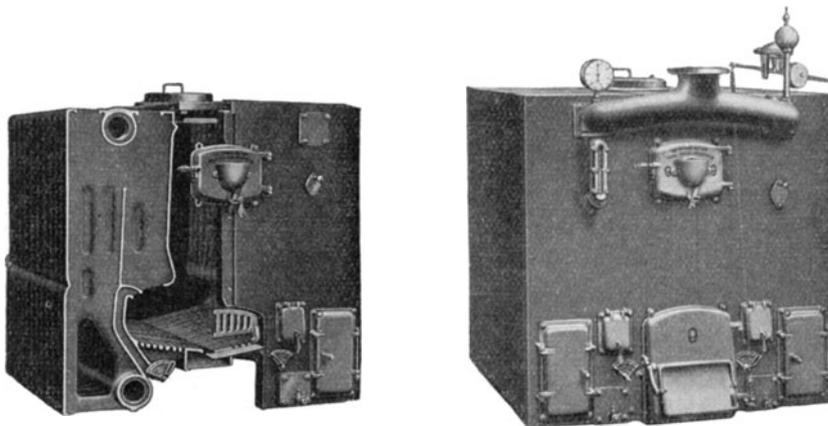


Abb. 168 u. 169. Strebelkessel für Niederdruckdampf- oder für Warmwasserheizung, 17—53 qm Heizfläche, besteht aus Halbgliedern, unterer Abbrand, der Füllraum ist über dem Brennraum stark eingeschnürt, wodurch günstiger Verbrennungsraum geschaffen und überstarke Vergasung und Hochbrennen vermieden wird. An der Stirnwand rechts und links je eine Regelvorrichtung für die Zusatzluft zur Rauchverbrennung.

Werden diese Vorschriften nicht beachtet und macht sich der Kesselsteinansatz durch die verminderte Leistungsfähigkeit des Kessels bemerkbar, so kann er durch eine Mischung der handels üblichen Salzsäure mit zwei Teilen Wasser gelöst werden. Lösungsdauer: etwa 8 Stunden, wobei der Kesselraum zum Schutze gegen Salz-

fäuredämpfe gut zu lüften ist und der Kessel vor der Wiedereingebrauchnahme sorgfältig mit Druckwasser auszusprühen ist. (Nach Angabe des Strebelwerkes.)

**Bau der Niederdruckkessel.** Es gibt schmiedeeiserne und gußeiserne Kessel. Die Bauart der schmiedeeisernen Kessel ist unter Anwendung des Schweißverfahrens außerordentlich vielseitig, und zwar von der Form des einfachen Topfes an bis zum Rauchröhrenkessel nach Art der Dampfkessel für höhere Drücke.

Die **gußeisernen Gliederkessel**, nach ihrem Erfinder auch Strebelkessel genannt, sind am verbreitetsten und bestehen aus hohlen Gliedern mit angegossenen bearbeiteten Rippen, durch die beim Zusammenbau die Heizkanäle gebildet werden. Die Glieder sind durch konische Rippen miteinander verbunden und haben hohle, in der Mitte geteilte angegossene Roste, deren Hohlräume mit dem Wasserraum des Kessels verbunden und hierdurch gekühlt sind. Das erste und letzte Kesselglied haben

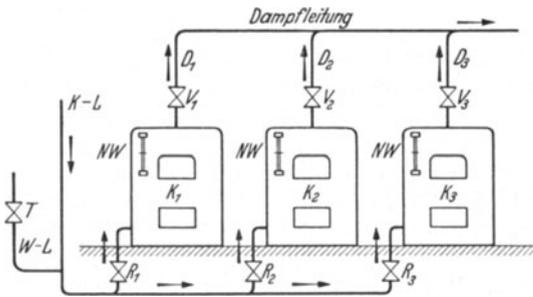


Abb. 170.  $K_1, K_2, K_3$  = Niederdruckkessel;  $V_1-V_3$  = Abperrventile für Dampf;  $K-L$  = Kondenswasserücklaufleitung;  $W-L$  = Wasserleitung zum Speisen der Kessel mit Abperrventil  $T$ . Sind sämtliche Kessel in Benützung, so müssen sämtliche Ventile  $V$  u.  $R$  geöffnet sein. Wird nur ein Kessel befeuert, so sind die Ventile  $V$  u.  $R$  der übrigen Kessel zu schließen oder sämtlich offen zu lassen; werden nur ihre Dampfventile geschlossen, so drückt der Dampf des befeuerten Kessels dessen Wasserinhalt durch die Ventile  $R$  zurück in die kalt stehenden Kessel und der befeuerte Kessel wird leer und kann in wenigen Minuten glühend werden und zerpringen.

Stirnwände mit den Feuer- und Aschfalltüren und den Anschlußstutzen für die Rohrleitungen. Durch eine größere und kleinere Zahl der Zwischenglieder kann stets ein in seinen Abmessungen normal ausgebildeter Kessel von größerer oder kleinerer Heizfläche hergestellt werden.

Zur Erkennung des Wasserstandes muß laut gesetzlicher Vorschrift an Niederdruckdampfkesseln, die nicht oder nicht ausschließlich der Raumheizung dienen, ein Wasserstandsglas vorhanden sein. Bei reinen Heizkesseln sind demnach auch Schwimervorrichtungen zulässig, jedoch verhältnismäßig wenig angewendet. Der Heizer darf erst anheizen, nachdem er sich vom Wasserstande überzeugt hat. Befeuerte gußeiserne Kessel erglühend und zerpringen bei Wassermangel. Aus diesem Grunde ist auch das Feuer

herauszuziehen und der Kessel langsam abzukühlen, falls er durch Abblasen des Sicherheitsstandsrohres entleert worden ist. **Streng zu beachten ist Abb. 170.**

Die **Feuerung** darf nicht viel Bedienung erfordern und wird daher als Füllfeuerung mit Dauerbrand ausgeführt, die täglich nur ein- oder zweimaliges Nachschütten des Brennstoffes nach vorherigem Löffern oder Abschladen des Feuers erfordert. Der hauptsächlichste Brennstoff ist Koks (Zechenkoks aus den Kokereien und Gaskoks aus den Gasanstalten). Für die Verfeuerung von Braunkohlenbriketts, Anthrazit, magerer Steinnußkohle von 10 bis 20 und 8 bis 15 Millimeter, von Gas und von Holzabfällen gibt es erprobte Sonderbauarten der Feuerung. Zechenkoks (der etwa zu 80 bis 90 Prozent in Hochöfen verfeuert wird) ist im allgemeinen fester als Gaskoks, aber gasärmer und infolgedessen schwerer entzündlich als letzterer. Maßgebend für die Wahl der Koksforte sind auch Körnung und Preis. Geeignete Körnungen sind Drechkoks I, II, III, Größe  $90 \times 60$ ,  $60 \times 40$  und  $40 \times 20$  Millimeter. Je größer der Kessel, um so größer kann die Körnung sein, weil grobkörniger Koks sich luftdurchlässiger aufschichtet und schlackenärmer ist. Koks ist für Füllfeuerungen der geeignete Brennstoff, weil er entgast ist und infolge der äußerst

geringen Rauchentwicklung die Heizflächen des Kessels nicht so schnell mit Ruß beschlagen werden. Kohlen- und Brikettfeuerungen erhalten zur Verbrennung der flüchtigen Bestandteile Nebenluftzuführung mit verstellbarer Regelflappe.

Bei den Feuerungen mit **oberem Abbrande** (Abb. 171) werden die Heizgase im oberen Teile des Füllschachtes, im Raume über dem Brennstoff, abgezogen und ist somit die ganze Brennstoffmenge in Brand und eine sehr große Berührungsfläche des Feuers mit der Kesselheizfläche vorhanden. Die Heizkanäle fallen von oben nach unten (Gegenstromprinzip). Beim **unteren Abbrand** (Abb. 168) werden die Feuergase zu beiden Seiten dicht oberhalb des Kofses abgesaugt. Die Heizkanäle führen erst aufwärts und dann abwärts, was einen langen Weg der Heizgase und eine gute Wärmeausnützung ergibt. Der untere Abbrand ist häufiger; für die Verfeuerung von Braunkohlenbriketts, Anthrazit und Steinkohle ist er zur Vermeidung der starken Rauch- und Rußentwicklung Bedingung. Gegen beigemengten Kohlenruß ist er wegen der Verschlackung empfindlicher als der obere.

**Die Regelung des Feuers** erfolgt im groben durch den Rauchschieber am Kesselende. Er erhält entweder einen schmalen Schlitz oder ein Loch, damit er auch bei völligem Niederlassen nicht ganz schließt und ein geringer Luftzug Gasansammlungen in den Heizkanälen und Gasexplosionen verhütet. Die feinere Regelung des Feuers erfolgt selbsttätig durch einen Regler, der in verschiedenen Bauarten ausgeführt wird und die Luftklappe des Mchefalls, mit der er durch eine Kette verstellbar verbunden ist, unter dem Einflusse des Dampfdruckes mehr oder weniger schließt. Im Gebrauche sind Regler mit Membran (Abb. 172) oder mit Schwimmer.

Beim Anheizen sind der Rauchschieber und die Frischluftklappe am Mchefall voll zu öffnen, die Nebenluftklappen, die auch an manchen Kofskfeuerungen für den Fall der abwechselnden Verfeuerung von mageren Steinkohlen vorhanden sind, zu schließen. Dann sind einige dünne Holzscheite über die ganze Kofskfläche anzuzünden und das Holzfeuer dünn mit Kofsk zu überstreuen. Wenn der Kofsk gut glüht, ist der Füllschacht allmählich aufzufüllen und der Rauchschieber entsprechend dem Wärmebedarf einzustellen. Die Frischluftklappe ist hierauf mit dem selbsttätigen Feuerungsregler zu verbinden, der dann die Luftzuführung zum Kofsk seiner Einstellung entsprechend übernimmt. Bei Unterabbrand ist der Füllschacht völlig, bei Oberabbrand nur zu  $\frac{2}{3}$  aufzufüllen. Bei mildem Wetter genügt eine geringe Schütthöhe.

Die Luftzufuhr soll gering sein, eine Zugstärke von 3 bis 5 Millimeter ist ausreichend, damit das Feuer nicht zu schnell abbrennt und keine Weißglut auftritt, die nicht gebraucht wird und das Zusammenbacken des Kofskes und der Schlacke zur Folge haben würde.

**Das Reinigen der Heizzüge** von Ruß und Flugasche (Abb. 173) erfolgt bei Kofskbrand nach je 6 bis 8 Wochen mit einer Drahtbürste. Die Reinigungsöffnungen werden durch Lücken in den Rippen der Kesselglieder gebildet und sind während des Betriebes durch lose aufliegende Deckel mit Asbestdichtung verschlossen. Über den Deckeln sind abnehmbare Verschlussbleche in der Kesselverkleidung angebracht. Die

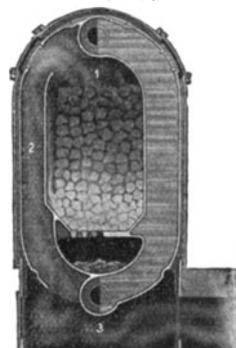


Abb. 171. Original-Strebelkessel mit oberem Abbrande. Die Verbrennungsgase strömen aus dem Feuerraum doppelteitig durch die Heizkanäle 2, dem Sockelzug 3 nach dem Schornstein. Die Abb. stellt rechts einen Schnitt durch einen Heizkanal, links durch einen Wasserraum dar.

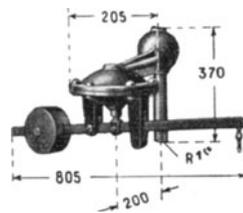


Abb. 172. Membranregler an Strebelkesseln. Dient zur feineren Regelung der Zugluft. Seine Anbringung ist aus Abb. 169 ersichtlich.

Reinigung ist bei Verwendung von Braunkohlenbriketts, Anthrazit und gasarmen Steinkohlen wegen der stärkeren Ablagerung von Ruß öfter als bei Koksfeuer vorzunehmen.

**Abheizen.** Nach Beendigung der Heizzeit sind Kofst, Mischefall, Kesselzüge, Fuchs und Schornstein gründlich zu säubern. Das Wasser bleibt auch den Sommer über im Kessel und ist nur im Winter, falls die Anlage nicht benützt wird, vor Eintritt des Frostes bei geöffneten Heizkörpern abzulassen.

**Die Warmwasserheizkessel** sind mit den Rohrleitungen und Heizkörpern völlig mit Wasser gefüllt und unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bauart nicht von den Niederdruckdampfkesseln. Sie werden durch ein senkrecht, unver schließbares Steig-

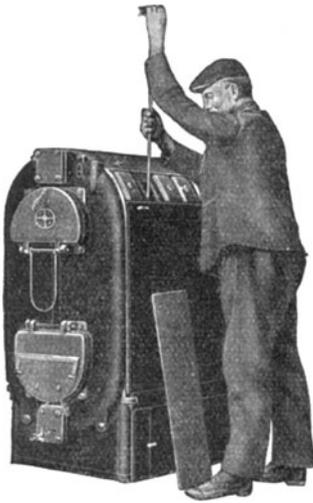


Abb. 173. Reinigen der Rauchkanäle des Strebekessels.

rohr mit dem sog. **Ausdehnungsgefäß** verbunden, das an einer hochgelegenen Stelle des Gebäudes angebracht ist, nur mit einem losen Deckel abgedeckt werden darf und ein Entlüftungs- und Überlaufrohr haben muß. Es nimmt die Ausdehnung des Wassers beim Erwärmen auf, ohne daß sich ein Druck bilden kann, und muß mit dem Steigrohr vor Frost geschützt sein. Im Kesselraum wird entweder ein Wasserhöhenanzeiger oder am Ausdehnungsrohr ein Wasserstandsrohr angebracht. Der Kessel erhält

ein Thermometer zum Ablesen der Wassertemperatur. Bei  $+10^{\circ}$  Außenwärme genügen 40 bis 50, bei  $10^{\circ}$  Kälte 65 bis  $70^{\circ}$  Wasserwärme. Mehr als  $95^{\circ}$  darf letztere nicht betragen, da die Anlage bei  $100^{\circ}$  überkocht. Der Heizer hat demgemäß zu feuern und den selbsttätigen Verbrennungsregler nach erfolgtem Hochheizen des Kessels entsprechend einzustellen. Die Regler übernehmen, wie beim Niederdruckdampfkessel, die feinere Zugregelung und bestehen beim Warmwasserkessel aus einem Wärmefühler oder einer Rohrkonstruktion, die vom Heißwasser berührt oder durchströmt werden, hierbei ihre Länge ändern und die Luftdrosselklappe im Mischefall verstellen.

Das Wasser der Heizanlage befindet sich infolge des natürlichen Auftriebes, den es bei der Erwärmung im Feuer und bei der Abkühlung in den Heizkörpern erhält, in stetem Umlauf. (Warmes Wasser ist leichter als kaltes, größte Dichte bei  $4^{\circ}$ .) Bei geringem Temperaturabfall und für große Betriebe reicht der natürliche Auftrieb nicht aus und muß ein Zwangsumlauf durch Pumpen herbeigeführt werden. Die Zuleitungen vom Kessel zu den Heizkörpern heißen Vorlauf, die Leitungen in umgekehrter Richtung Rücklauf. Die lichte Weite des Steigrohres ist gemäß gesetzlicher Vorschrift nach der Kesselgröße zu bemessen.

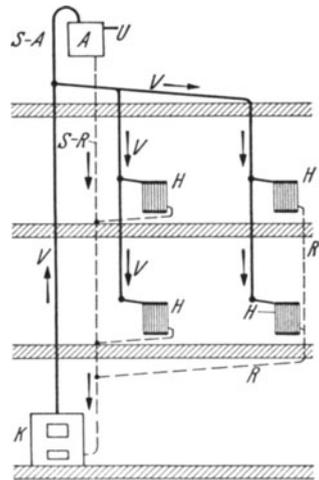


Abb. 174. Schema der Warmwasserheizung mit oberer Verteilung. V = Vorlauf oder Steigeleitung des Warmwassers aus dem Kessel K. S—A = Sicherheitsausdehnungsleitung; U = Überlauf, zugleich Entlüftung; A = Ausdehnungsgefäß; H = Heizkörper. S—R = Sicherheitsrücklaufleitung. Werden einzelne Zimmer schlecht beheizt, so ist zunächst durch eine veränderte Einstellung der Ventile an den Heizkörpern Abhilfe zu versuchen.

Die Warmwasserheizung eignet sich wegen ihrer milden und nachhaltenden Wärme (bei 100° enthält 1 Liter Wasser ~ 100, 1 Liter Dampf 0,370 W.-E. Tabelle Seite 75, Spalte 4 und 8) besonders für Wohnräume, Krankenhäuser u. a., die Niederdruckdampfheizung mehr für Fabriken und andere Räume, die nur tagsüber beheizt werden und in kurzer Zeit durchgeheizt sein müssen. Genaue Grenzen des Anwendungsbereiches der beiden Heizungsarten bestehen jedoch nicht.

**Abhilfsmassnahmen** beim Nachhinken einzelner Arbeitsräume bei der Beheizung sind: Neueinstellung der Heizventile, Erhöhung des Betriebsdruckes, abwechselndes Beheizen der Betriebsräume, Einbau besonderer Leitungen nach den mangelhaft beheizten Arbeitsräumen oder Aufstellung eines besonderen Heizkessels für dieselben.

## Wie spart man Brennstoff bei Zentralheizungen?

Im nachstehenden sind die wichtigsten Regeln über die Bedienung von Zentralheizungen nach dem von Magistratsbaurat Arnold in Dortmund herausgegebenen Merkblatt wiedergegeben.

1. Nur bei Außentemperatur von weniger als 12° Celsius über Null heizen. Bei milderem Wetter die Heizung sofort einstellen. Jeder fortgefallene Heiztag erspart  $\frac{1}{200}$  des Jahresverbrauchs.

2. Haustüren, Dach- und Kellerfenster geschlossen halten. Unnötige Abkühlung der Häuser vermeiden. Nur so viel Räume heizen, als unbedingt erforderlich. Aborte, Schlafzimmer, Treppenhäuser nur bei starker Kälte frostfrei halten.

3. Heizflächen des Kessels reinhalten. Siederohre und andere Rauchzüge jeden Sonnabend nachmittag durchstoßen und Flugasche entfernen.

4. Morgens nicht zu rasch anheizen. Nach dem Hochheizen schwachen Zug geben. Bei schnellem Anheizen wird zu viel Brennstoff verbraucht.

5. Beim Anheizen darauf achten, welche Räume in der Temperatur nachhinken. Abhilfe: Vergrößerung der Heizfläche in diesen Räumen oder Aufstellen eines Ofens.

6. Bei mehreren Kesseln die einzelnen Rauchschieber so einstellen, daß alle Kessel gleichmäßig abbrennen.

7. Die verbrauchte Brennstoffmenge sowie die Außentemperatur täglich notieren. Die zweckmäßigste Füllhöhe richtet sich nach der Außentemperatur. In Übergangszeiten nur wenig Brennstoff aufwerfen. Kessel mit unterem Abbrand können höher aufgefüllt werden als solche mit oberem (durchgehendem) Abbrand.

8. Koksstückchen und brennbare Reste aus Schlacke und Asche auslesen und wieder verwenden. Schlackenstücke hierbei zerbrechen! Ersparnis: mitunter bis zu 40 Prozent.

9. Abbrand im Kessel während der Nacht so klein wie möglich halten!

10. Bei öffentlichen Gebäuden: Nach Abstellung des Kessels am Abend alle Heizkörperventile öffnen. Grund: Räume, in denen die Ventile morgens zu spät geöffnet werden, hinken beim Anheizen nach, die übrigen Räume werden überheizt.

### Fremdwörter-Erläuterungen

#### Sonstige Ausrüstungsteile für Dampfanlagen

|   |   |   |
|---|---|---|
| Kondensstöpfe,<br>Druckminderungs- (Reduzier-) Ventile,<br>Dampfentöler,<br>Schmierapparate | } | sind im Leitfaden<br>„Die Maschinenschule“<br>Vorträge über die Bedienung von Dampf-<br>maschinen und Dampfturbinen von F. D.<br>Morgner behandelt. |
|---|---|---|

# Sachverzeichnis.

**Abbläßen** 27.  
**Absperrventile** 135.  
**Absperrschieber** 136.  
**Abblämvventile** 135.  
**Adams'sche Verbindung** 91.  
**Aggregatzustände** 70.  
**Alfalität** 71.  
**Anrostungen** 107.  
**Armaturen** 110.  
**Arschfall** 34.  
**Atmosphäre** 37.  
**Aufgaben des Kesselwärters** 1.  
**Bensonkessel** 106.  
**Betriebsvorschriften** 146.  
**Blechrisse** 109.  
**Braunkohle** 19.  
**Braunkohlenbrifetts** 20.  
**Braunkohlenkoks** 21.  
**Brennstoffe** 2, 16.  
**Dampf** 79.  
**Dampfdruck** 77.  
**Dampfgebläse** 64.  
**Dampfmengenmesser**  
(Dampfuhren) 152.  
**Dampfüberhitzer** 80.  
**Decken des Feuers** 28, 148.  
**Dichtungen** 137.  
**Differenzzugmesser** 29.  
**Druckzug** 64.  
**Ökonomiser** 140.  
**Entgasung des Speisewassers**  
71.  
**Eisenschiebereinstellung** 9, 62.  
**Eisenschuchs** 61.  
**Feuerbrüde** 34.  
**Feuerbüchsenkessel, stehende**  
92.  
**Feuergechränke** 33.  
**Feuerregelung** 9, 14.  
—, selbsttätige 149.  
**Flammrohrkessel** 87.  
**Flüssigkeitswärme** 74.  
**Gasfeuerungen** 42.  
**gasige Brennstoffe** 21.  
**Gaswaage** 13.  
**Graphit** 4.  
**Großwasserraumkessel** 87.  
**Graafenkessel** 105.  
**Hahn'schmiere** 4.  
**Halbgasfeuerung** 39.  
**Härte des Wassers** 66, 72.  
**Heißdampf fühler** 83.  
**Heizfläche** 60.  
**Heizgase** 7, 8, 10.  
**Heizöle** 21.  
**Heizrohrkessel** 91.  
**Heizungskessel** 154.  
**Heizwert** 16.

**Hochleistungskessel** 100.  
**Holzfeuerung** 40.  
**Injektoren** 125.  
**Isolierstoffe** 138.  
**Kalorie** 16.  
**Kalk-Soda-Verfahren** 67.  
**Kesselbau** 106.  
**Kesselfeuerbedienung** 22.  
**Kesselmauerwerk** 61.  
**Kesselschäden** 107.  
**Kesselreinigung** 73.  
**Kesselstein** 65.  
**Kesselsteinausscheideapparate**  
72.  
**Kettenroste** 50.  
**Kohlennäße** 6.  
**Kohlenstoff** 4.  
**Kohlenstoffverbrennung** 7.  
**Kohlenoxyd** 7.  
**Kohlensäure** 7.  
**Kohlenstauffeuerung** 57.  
**Kohlenverluste, Tabelle**, 9.  
**Koks** 20.  
**Kombinierte Kessel** 93.  
**Kopfheizen** 25.  
**Krämermühlenseuerung** 57.  
**Leachfeuerung** 47.  
**Lokomobilkessel** 2.  
**Luft, Zusammensetzung** 5.  
**Lufterhitzer** 145.  
**Luftüberschuß** 9.  
**Manometer** 117.  
**Merktblatt für Zentralheizun-**  
**gen** 159.  
**Muldenrostfeuerung** 41.  
**Matronzahl** 71.  
**Niederdruckdampfessel** 154.  
**Nietverbindungen** 107.  
**Ölfeuerung** 43.  
**Orjatapparat** 10.  
**Permutitverfahren** 69.  
**Planrostbeschidung** 25.  
**Planrostfeuerung** 34.  
**Prämien f. Kesselheizer** 30.  
**Probierhähne** 111.  
**Pyrometer** 76.  
**Ranarexapparat** 13.  
**Rauch** 2, 7.  
**Rauchgasprüfer** 12.  
**Rauchrohrkessel** 91.  
**Rauchverbrennung** 45.  
**Richtlinien, amtliche** 1.  
**Rohrleitungen** 137.  
**Rostbelastung** 23.  
**Rostfläche** 23.  
**Roststäbe** 31.  
**Rückschlagventile** 134.

**Rückspeiseapparate** 152.  
**Rußbläfer** 14.  
**Sägespänsfeuerung** 40.  
**Sauerstoff** 4.  
**Saughöhe** 77, 78, 79.  
**Saugzug** 63.  
**Sicherheitsventile** 120.  
**Siederohrreiniger** 74.  
**Siederohrkessel** 97.  
**Siegert'sche Formel** 63.  
**Schiffskessel** 10.  
**Schlammrückführung** 70.  
**Schmelzwärme d. Eises** 74.  
**Schornsteinverlust** 63.  
**Schrägrohrkessel** 97.  
**Schürplatte** 33.  
**Schwefel** 8.  
**Speisewasser** 63, 64.  
**Speiseventil** 134.  
**Speisevorrichtungen** 122.  
**Speisewasserregler** 130.  
**Stehbolzen** 109.  
**Steinrohrkessel** 97, 101.  
**Steinkohle** 18.  
**Steinkohlenbrifetts** 20.  
**Steinkohlenteeröl** 21.  
**Steinmüllerkessel** 54.  
**Stichflammen** 23.  
**Stokerfeuerung** 56.  
**Strahlungskessel** 105.  
**Tabelle über Wasserdampf** 75,  
79.  
— über Heizwerte 18.  
**Teilammerkessel** 97, 100.  
**Thermometer** 76.  
**Torfteuerung** 19, 40.  
**Treppenrostfeuerung** 36.  
**Trinatriumphosphat** 69.  
**Unterwindfeuerung** 42.  
**Wanderroste** 50.  
**Wärmeleiter** 64.  
**Wärmeeinheit** 16.  
**Wärmeschutzstoffe** 138.  
**Wärmespeicher** 85.  
**Warmwasserkessel** 158.  
**Wasserdruckprobe** 109.  
**Wasserkammerkessel** 99, 100.  
**Wasserreinigung** 65.  
**Wasserstandsanzeiger** 110.  
**Wasserstoff** 4.  
**Wasserumlauf** 60.  
**Wechfeuerung** 12.  
**Wengerfeuerung** 13.  
**Wurfteuerung** 14.  
**Zonenwandlerroste** 55.  
**Zug, künstlicher** 63.  
**Zugmesser** 28.  
**Zugverluste** 61.  
**Zugluft** 5.