

Kesselbetrieb

Sammlung von Betriebserfahrungen

als Studie zusammengestellt vom
Arbeitsausschuß für Betriebserfahrungen der
Vereinigung der Großkesselbesitzer E. V.

Sonderheft Nr. 14

der Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer E. V.

Charlottenburg, Oktober 1927

Im Manulverfahren vervielfältigt
1929.

ISBN-13:978-3-642-90608-4 e-ISBN-13:978-3-642-92466-8
DOI: 10.1007/978-3-642-92466-8

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1929

Vorwort.

Die vorliegende Sammlung von Betriebserfahrungen stellt eine Studie dar und soll als Grundlage dienen für einen Erfahrungsaustausch.

Aus diesem Grunde hat der unterzeichnete Arbeitsausschuß der VGB die hauptsächlichsten der Regeln gesammelt, welche heute in den verschiedenen Anlagen angewendet werden.

Die einzelnen Abschnitte sind in leicht verständlicher Weise unter Hinweglassung aller wissenschaftlichen und theoretischen Erörterungen geschrieben; soweit es wünschenswert erschien, sind im Anhang Spezialgebiete wie feuerfestes Material usw. ausführlich behandelt. Auch wird dort auf die einschlägige Literatur für Studienzwecke hingewiesen.

Die Verfasser haben auch berücksichtigt, daß die Anwendung technischer Neuerungen längere Zeit benötigt, um sich in der Betriebspraxis auszuwirken; solche Neuerungen sind daher nur vereinzelt erwähnt.

Es ist beabsichtigt, die Ergebnisse des Erfahrungsaustausches, der durch diese Schrift angeregt wird, zu einem späteren Zeitpunkt in eine Neubearbeitung dieser Schrift aufzunehmen.

Ausschuß für Betriebserfahrungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer E. V.

F. Heinicke, Obmann

G. Maas		C. Kreyszig
M. Meyer	H. Knodel	C. H. Peters
F. Prüfer	O. Rösing	A. Splittgerber
O. Schöne	A. Vaupel	H. Zeuner

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erster Teil.	
I. Bau- und Betriebsvorschriften für Landdampfkessel (Gültig am 1. April 1927)	1
II. Hinweise für die Bestellung und Montage von Dampfkesseln	2
III. Leistungsanforderungen	3
Zweiter Teil.	
IV. Anheizen, Inbetriebsetzen und Abstellen von Dampfkesseln	6
V. Überwachung des Feuerungsbetriebes	10
VI. Maßnahmen zur Verhütung von Feuerrückschlägen und Rauchgasexplosionen	16
VII. Verhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen im Kesselbetrieb	18
Dritter Teil.	
VIII. Regelmäßige Untersuchungen	25
IX. Verhalten bei Befund von Mängeln an Kessel und Zubehör.	27
X. Kesselreinigung	29
Vierter Teil.	
XI. Eigenschaften des Speisewassers	33
XII. Erfahrungen mit Speisewasserreinigungsanlagen	38
XIII. Entgasung und Entsäuerung des Speisewassers	47
XIV. Laufende Untersuchungen des Speisewassers	49
XV. Schutz gegen Rostschäden	52
Fünfter Teil.	
XVI. Erfahrungen mit Dampfüberhitzern	55
XVII. Erfahrungen mit Abgasspeisewasservorwärmern	57
XVIII. Erfahrungen mit Kesselspeisepumpen	60
XIX. Erfahrungen mit Rohrleitungen	63
XX. Meßinstrumente und Apparate für die Betriebsführung	67
Sechster Teil.	
XXI. Kesseleinmauerung und Isolierung	77
XXII. Isolierungen von Kesseln und Rohrleitungen	83
XXIII. Kontrolle der Ersatzteile	85
Anhang	
Anlage 1. Verzeichnis der Metalloxyde und Säurereste im Rohwasser, gereinigten Wasser und Kesselwasser, sowie der chemischen Elemente, Salze, Säuren und Gase	87
Anlage 2. Untersuchungsmethoden für Kesselspeisewasser	91
Anlage 3. Richtlinien für die Anforderungen an feuerfestes Material	119
Anlage 4. Anweisungen der VGB über die Ausführung der Nietlochprobe	130
Anlage 5. Anweisungen der VGB über die Untersuchung von Kesselböden auf Krepfenrisse	134
Anlage 6. Literaturnachweis der von der VGB herausgegebenen Arbeiten	137

Erster Teil.

I. Bau- und Betriebsvorschriften für Landdampfkessel.

Für die Erzielung einer geordneten Betriebsführung von Dampfkesselanlagen ist die genaue Kenntnis der einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen sowie der gültigen Bedienungs-
vorschriften für die Anlageteile unerlässlich.

Als solche sind zu bezeichnen:

a) Die Bestimmungen der Reichsgewerbeordnung § 24, 25, 49, 50 und 147 über die Genehmigungspflicht von Dampfkesseln.

b) Die Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die An-
legung von Landdampfkesseln vom 17. Dezember 1908.

c) Die ergänzenden Verordnungen der Länder über die Ge-
nehmigung und Untersuchung von Dampfkesseln.

d) Die von den Beschlußbehörden vorgeschriebenen Ge-
nehmigungsbedingungen.

e) Die in den Ländern jeweils gültigen „Vorschriften für die
Bedienung von Landdampfkesseln“ (Dienstvorschriften für Kessel-
wärter).

f) Die von den Lieferfirmen übergebenen Betriebsanleitungen
für Kessel und Zubehör.

g) Die Unfallverhütungsvorschriften der für den jeweiligen
Betrieb zuständigen Berufsgenossenschaften¹.

Das Studium der vorstehenden Bestimmungen erleichtert
nicht nur die Betriebsführung, es erhöht vielmehr auch die Be-
triebssicherheit der Anlagen und trägt zur Schonung der Ein-
richtungsteile bei.

¹ Diese Unfallverhütungsvorschriften, sowie die „Anleitung zur ersten
Hilfeleistung bei Unfällen im elektrischen Betriebe“ und die „Dienstvor-
schriften für Kesselwärter“ müssen an einer für das Personal zugänglichen
Stelle ausgehängt werden (letztere im Kesselhaus).

II. Hinweise für die Bestellung und Montage von Dampfkesseln.

1. Die Mitglieder der VGB benutzen bei der Bestellung von Dampfkesseln und Zubehör die „Richtlinien“ der VGB, welche wichtige, über die gesetzlichen Vorschriften¹ hinausgehende Bestimmungen enthalten und eine erhöhte Gewähr für die Verwendung besten Materials und fehlerfreie Arbeit bieten. Es handelt sich dabei um folgende „Richtlinien“:

a) Richtlinien für die Anforderungen an den Werkstoff und Bau von Hochleistungsdampfkesseln vom Januar 1928 mit Deckblättern vom April 1929.

b) Richtlinien für die Anforderungen an den Werkstoff und Bau von Abgasspeisewasservorwärmern vom Dezember 1927.

2. Die nach diesen Richtlinien bestellten Kessel und Vorwärmer sind einer Materialabnahme und zweckmäßig einer Bauüberwachung durch Sachverständige zu unterziehen. Als Sachverständige gelten die Revisionsvereine und die staatlichen Materialprüfungsämter.

3. Unter den verschiedenen Kesselsystemen verdienen diejenigen den Vorzug, welche erfahrungsgemäß einen guten Wassercyclus haben.

4. Bei der Beurteilung der Kessel ist zu beachten, daß die einzelnen Bestandteile eine ihrer höchsten Betriebstemperatur entsprechende Dehnungsmöglichkeit besitzen.

5. Die Kesseltrommeln sollen so gelagert sein, daß die Auflagepunkte kein Hindernis für die Längs- und Querdehnung bilden. Auch bei der Herstellung der Traggerüste bzw. Aufhängung der Trommeln ist diesem Gesichtspunkt Rechnung zu tragen.

6. Wo Kesselteile und Mauerwerk einander berühren, soll an den Berührungspunkten ein entsprechender Luftraum vorgesehen werden, welcher mit einer elastischen Abdichtung zu verschließen ist.

7. Die Verbindung einzelner Trommeln unter sich, oder von Wasserkammern mit Kesseltrommeln sollen so beschaffen sein,

¹ Amtliche Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel, Ausgabe Oktober 1926 mit Erläuterungen und Nachträgen.

daß die Beweglichkeit des ganzen Kesselsystems nicht behindert wird. Steife Stützen und gekrempte Flanschen, sowie starre Rohrverbindungen von Trommeln sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

8. Die Längsausdehnungen der Siederrohrbündel, der Rauchrohre und Flammrohre müssen ohne Behinderung erfolgen können, wobei zu beachten ist, daß diese Kesselteile keinen wechselnden Biegungsbeanspruchungen ausgesetzt werden dürfen.

9. Die Heizgasführung der Kessel soll derart angeordnet sein, daß eine gleichmäßige Beheizung der wasserberührten Heizflächenteile gesichert ist. Wo dies nicht der Fall ist, sind Materialbeanspruchungen zu gewärtigen, welche einen schädlichen Verlauf nehmen können.

10. Die von den Dampfkesseln abgehenden Rohrleitungen müssen so angeordnet werden, daß sie die Beweglichkeit des Kessels nicht behindern und keine unzulässigen Biegungsbeanspruchungen der Kessel-Anschlußstützen hervorrufen.

III. Leistungsanforderungen.

Um hohe Kesselleistung und guten Wirkungsgrad zu erzielen, ist es erforderlich, daß bei der konstruktiven Ausführung des Kessels und seines Zubehörs alle erprobten technischen Erkenntnisse Berücksichtigung finden.

1. Die Leistung der Kessel wird hauptsächlich beeinflusst:

a) Von der räumlichen Anordnung der feuerberührten Heizfläche.

b) Von der Größe der Rostfläche.

c) Von der Lage der Rostfläche zur bestrahlten Heizfläche.

d) Von der Größe und Bauart des Feuerraums.

e) Vom Verhältnis der Strahlungsheizfläche zur Berührungsheizfläche.

f) Von den richtigen Querschnittsverhältnissen für die Bewegung des Wassers, Dampfes und der Heizgase.

g) Vom verfügbaren Brennstoff.

2. Sind die genannten konstruktiven Vorbedingungen für den Kessel richtig gewählt, so können nach den Erfahrungen der Betriebe folgende spezifische Dauer-Dampfleistungen der Kessel erzielt werden:

Flammrohr-, Rauchrohr- und Siederohrkessel	18—20 kg/m ² Hzl./Std.		
Schrägrohr-Kammerkessel	20—30	„	„
Schrägrohr-Sektionalkessel	30—35	„	„
Steilrohr-Trommelkessel	35—50	„	„
Steilrohr-Sektionalkessel	35—50	„	„

3. Der Wirkungsgrad für Kessel, Überhitzer und Vorwärmer soll mindestens 82% betragen. Bei hoher Vorwärmung der Verbrennungsluft und Kohlenstaubfeuerung ist ein Wirkungsgrad von mindestens 85% erreichbar.

4. Die stündliche Verbrennungsleistung je m² Rostfläche bei nicht vorgewärmter Verbrennungsluft soll bei Anwendung

von Steinkohlen auf Kettenrosten	100—150 kg
„ Braunkohlenbriketts auf Kettenrosten	150—200 „
„ Rohbraunkohlen auf Schrägrosten	250—350 „
„ Rohbraunkohlen auf Muldenrosten	250—400 „
„ Rohbraunkohlen auf mech. Rosten	300—450 „

betragen.

Bei Steigerung oder Minderung dieser Leistungszahlen leidet erfahrungsgemäß der Kesselwirkungsgrad.

5. Der Abstand der Rostfläche von der die Strahlung empfangenden Heizfläche soll bei Wasserrohrkesseln so groß bemessen sein, daß die vollkommene Verbrennung der Gase und Koksteilchen bereits erzielt ist, bevor die Feuergase die Heizflächen berühren, um Nachverbrennungen zwischen den Rohrreihen oder in den Feuerzügen zu verhüten.

6. Die Größe des Feuerraumes richtet sich nach der angestrebten Kesselleistung. Bewährte Ausführungen weisen stündliche Brennleistungen von 100000 bis 150000 WE auf 1 m³ Feuerraum, Kohlenstaubfeuerungen bis 250000 WE je m³ Feuerraum auf..

Luftvorwärmung und Strahlungsheizflächen erhöhen die Brennleistung.

7. Um zu hohe Feuerraumtemperaturen auf ein erträgliches Maß herabzumindern, können Strahlungsheizflächen eingebaut werden. Berührungsheizflächen erfordern hohe Geschwindigkeiten.

8. Ungenügender Wasserumlauf kann die Erzielung der Kesselhöchstleistung erschweren oder unmöglich machen. Die Querschnitte für die Wasser- und Dampfbewegung müssen deshalb reichlich bemessen werden.

9. Bei Kesseln mit mehreren Oberkesseln ist der Querschnitt der Rohrverbindungen der Dampf- und Wasserräume derselben reichlich groß zu wählen, um Absenkungen des Wassers in der hinteren oder Überkochen in der vorderen Obertrommel zu vermeiden.

10. Die Erfahrungen in den Betrieben der VGB ergaben, daß neuere, gut durchgebildete Kessel bei entsprechender Wartung noch größere Dauerleistungen ohne Schaden ertragen, so daß die angegebenen Leistungen nicht das Höchstmaß derselben darstellen.

11. Zur Nachprüfung der aufgestellten Forderungen dient ein Verdampfungsversuch. Es empfiehlt sich dem Lieferanten vor diesem Versuch Gelegenheit zu eigenen Versuchen zu geben. Nach Beendigung derselben erfolgt der Hauptversuch, zu welchem möglichst ein unparteiischer Sachverständiger zuzuziehen ist und für dessen Vorbereitung und Durchführung die Regeln für Abnahmeversuche an Dampfkesselanlagen (herausgegeben vom VDI 1925) angewendet werden können.

Ebenso wichtig ist es, zur Feststellung etwaiger ungünstiger Veränderungen der Leistung oder des Wirkungsgrades im Laufe der Betriebszeit von Zeit zu Zeit eingehende Betriebsversuche vorzunehmen, für deren Zeitpunkt das Ergebnis der regelmäßigen Betriebsaufzeichnungen maßgebend sein wird.

Zweiter Teil.

IV. Anheizen, Inbetriebsetzen und Abstellen von Dampfkesseln.

a) Vorbereitung zum Anheizen.

1. Vor dem Anlegen des Feuers bringt man den Wasserstand auf die niedrigste Marke. Ist vorheriges Auffüllen nötig, so paßt man die Temperatur des Füllwassers möglichst der Temperatur der Kesselwandungen an. Wird wärmeres Wasser gespeist, so füllt man den Kessel langsamer.

2. Man überzeugt sich, ob alle Blindflanschen aus Rohrleitungen entfernt, ob Wasserstandsvorrichtungen, Manometer, Ablaß- und Absperrventile ordnungsmäßig geöffnet bzw. geschlossen sind und die Sicherheitsventile des Kessels, Überhitzers und Vorwärmers sich in der vom Kesselprüfer festgelegten Einstellung befinden.

3. Die Rauchklappen werden auf ihre richtige Einstellung und Gangbarkeit geprüft, worauf die Feuerzüge nochmals durchlüftet werden. Überhitzer-, Vorwärmer- und Zugventilatorklappen, Aschenverschlüsse und Schlackenroste werden anheizbereit gestellt und in ihrer Einstellung gesichert. Bei dieser Gelegenheit werden die Zugmesser und Rauchgasprüfer auf ordnungsmäßigen Anschluß, die Einsteigtüren und Schauöffnungen auf dichten Abschluß untersucht.

4. Dampfüberhitzer und Vorwärmer, Wandungskühlrohre, Strahlungsüberhitzer und Granulierroste werden zur Vermeidung des Erglühens mit Wasser oder Dampf aufgefüllt, entlüftet und anheizbereit gestellt. Kühlwasser für Schlackenstauer, Feuerbrücken, Lagerkühlung und dergleichen Einrichtungen, sowie die Antriebsmotore und maschinellen Einrichtungen der Roste, Ventilatoren und Pumpen werden probiert und vorschriftsmäßig angelassen.

5. Zur Schonung der Kesselteile empfiehlt es sich, das Anheizen möglichst bei mäßig bedecktem Rost mit nur geringem

Zug und mit gleichmäßiger Wärmeentwicklung vorzunehmen, damit die Kesselteile nicht ungleich erwärmt werden.

Man belegt zu diesem Zweck die Rostfläche gleichmäßig mit Holz oder Kohle und bringt das Brennmaterial langsam zur Entzündung. Die Entzündung wird erleichtert durch Einleitung von Warmluft, Auflegen glühender Kohlen in der Nähe der Feuertüren, oder Anheizen mit Öl, Gas oder Kohlenstaub.

b) Anheizdauer und Dehnung.

6. Die Anheizzeit ist abhängig von der Bauart des Kesselsystems, seiner Dehnungsfähigkeit, der Größe des Wasserinhalts und der Dampf- und Wasserumlaufsmöglichkeiten. Elastische Kessel mit gutem Wasserumlauf können in 1—2 Stunden, weniger elastische Kessel in 4—6 Stunden, Walzen- und Flammrohrkessel in 6—10 Stunden hochgeheizt werden.

Wo Unterlagen über die Dehnungsfähigkeit der Kesselsysteme fehlen, ist es zweckmäßig, die Dehnung durch Messungen festzustellen.

7. Kessel für Spitzenbetriebe oder Reservekessel, welche durch ihre Bauart außerordentlichen Dehnungsbeanspruchungen gewachsen sind, können erfahrungsgemäß bei Bedarf in kürzeren Zeiträumen in Betrieb gesetzt werden, wenn günstige Wasserumlauf- und Dampfabzugsverhältnisse vorhanden sind.

8. Einblasen von Dampf, oder noch besser von warmem Wasser in den Wasserraum an der kältesten Stelle des Kessels zwecks rascherer Einleitung des Wasserumlaufs im Kesselsystem wird zur Abkürzung der Anheizzeit angewandt, doch sind dabei die Dehnungsvorgänge zu beachten.

9. Die Dehnung der Kesselteile beginnt mit dem Anheizen und verstärkt sich entsprechend der Temperaturzunahme; dies gilt auch für die Eisenteile des Traggerüsts, für die Kesseleinmauerung und deren Verankerung.

Werden die Kessel vor dem Anheizen mit heißem Wasser gefüllt, so treten die Dehnungsvorgänge bereits zu Beginn des Auffüllens ein, äußern sich jedoch wesentlich schroffer als beim normalen Anheizen, weshalb die Auffüllung langsam vorgenommen wird. Ähnliche Vorgänge treten im Kessel auf, wenn die Temperatur des Kesselinhaltes durch Einspeisen zu kalten Wassers

in größeren Mengen oder durch Anwärmen mit Dampf raschen Änderungen unterworfen wird.

10. Nach dem Anheizen des Kessels beobachtet man das Manometer und probiert den Wasserstandsanzeiger auf gute Anzeige. Zeigt das Manometer Druck an, so werden Kessel und Überhitzer durch das zugehörige Ventil entlüftet, bis nur noch Dampf auströmt. Das Entlüften erfolgt zweckmäßig nicht am Kesselsicherheitsventil, da dieses hierbei leicht in Unordnung gerät.

c) Inbetriebnahme.

11. Ist etwa die Hälfte des Betriebsdruckes erreicht, so wird der mit Wasser gefüllte Dampfüberhitzer entleert und unter Dampf gesetzt, indem die Verbindungsleitung zwischen Kessel und Überhitzer voll geöffnet wird, wenn dies nicht schon beim Anheizen erfolgt ist, so daß der Überhitzer gleichen Druck wie der Kessel erhält. Die Entleerungsventile des Überhitzers können hierbei etwas geöffnet bleiben, bis Sicherheit vorhanden ist, daß der Überhitzer von Wasserresten völlig entleert ist.

12. Ist der Wasserstand infolge der Ausdehnung des Wassers bei der Erwärmung zu hoch angestiegen, so wird das Wasser vorsichtig bis 5 cm über „Niedrigsten Wasserstand“ abgelassen. Auf dichten Abschluß des Ablaufventils wird hierbei besonders geachtet.

13. Das Zuschalten des Kessels auf die Hauptdampfleitung erfolgt durch langsames Öffnen des Absperrventiles zwischen Überhitzeraustritt und Dampfrohrleitung in der Regel bei einem Druckunterschied von 0,2 bis 0,5 Atm. zwischen Kessel und Rohrleitung (Kesseldruck niedriger als Rohrleitungsdruck).

In Anlagen mit sehr hoher Überhitzung wird das Zuschalten des Kessels auf die Hauptdampfleitung bei einem Kesseldruck vorgenommen, der 0,2 bis 0,5 Atm. höher ist als der Druck der Hauptleitung, um das Hineinströmen von hoch überhitztem Dampf in die Kessel zu vermeiden. In beiden Fällen ist man bestrebt, plötzlichen Druckausgleich zu vermeiden.

14. Ist die Hauptdampfleitung nicht in Betrieb gewesen, so wird diese vor dem Zuschalten des Kessels entlüftet und entwässert.

15. Ist der Kessel ordnungsmäßig zugeschaltet worden, so wird die Wasserstandseinrichtung und Speiseregleranlage nochmals auf gute Arbeitsweise geprüft.

16. Ist der Kessel bereits einmal aufgespeist, so können etwa vorhandene Rauchgas-Führungsklappen des Economisers umgestellt und dieser in Betrieb gesetzt werden. Der Anstieg der Wassertemperaturen im Vorwärmer wird bis zum Eintritt des Beharrungszustandes beobachtet.

17. Mit der kräftigeren Beschickung der Feuerung steigt die Dampfüberhitzung an und es werden nunmehr die Temperaturreguliereinrichtungen — wo solche vorhanden — in Betrieb gesetzt und in ihrer Wirkung beobachtet.

18. Es wird empfohlen; den Beginn des Anheizens, den Zeitpunkt der Zuschaltung und die Anzeige sämtlicher Druck- und Temperatur-Meßeinrichtungen kurz nach der Zuschaltung im Kesselwärterbericht zu notieren, um über den Betriebszustand des Kessels bei Beginn der Dampflieferung Klarheit zu haben.

d) Abstellen der Kessel.

19. Das Feuer läßt man so weit abbrennen bis sich nur noch leichtes Kopffeuer und Verbrennungsrückstände auf dem Rost befinden. Ist die Nachverdampfung im Kessel beendet und beginnt der Kesseldruck zu sinken, so wird das Absperrventil am Überhitzeraustritt geschlossen. Hierauf entwässert man den Überhitzer, schließt das Hauptdampfventil am Kessel und vermindert den Kesselzug. Der Abschluß des Ventils kann unterbleiben, wenn der Kessel nur kurze Zeit abgestellt wird.

20. Der Kessel wird hierauf nach Bedarf etwas über den „Niedrigsten Wasserstand“ aufgespeist, worauf Luft- und Wasservorwärmer (Economiser), wo Umgehungskanäle vorhanden sind, aus dem Heizgasstrom ausgeschaltet und die Speiseventile geschlossen werden.

Der Rauchgasschieber oder die Rauchklappe hinter dem Kessel werden erst vollständig geschlossen, wenn das leichte Kopffeuer auf dem Rost ausgegangen ist. Bei kurzen Stillständen der Kessel (aufgebänkte Feuer) wird der Rauchschieber bis auf ganz geringe Zugstärke gedrosselt.

21. Beim Außerbetriebnehmen und Abstellen von Kesseln ist zu beachten, daß zu rasche Abkühlung des Kesselkörpers durch kalten Luftzug oder zu rasche Entleerung des heißen Kesselinhaltes starken Temperaturrückgang bewirkt und Materialspannungen auslösen kann.

22. Einseitige Erwärmung einzelner Kesselteile hat die gleiche Wirkung, weshalb man vor dem Entleeren des Kesselinhaltes die heiße Flugasche aus den Kesselzügen entfernt oder abkühlen läßt.

23. Die gleichen Gefahren entstehen, wenn Schlamm-sammler mit größerem Wasserinhalt, die gewöhnlich in niedrigem Temperaturbereich liegen, zu rasch entschlammt oder entleert werden.

24. Das Anhängen abgestellter, nicht mehr befeuerter Kessel an die Hauptdampfleitung, um die Kessel unter vollem Druck zu halten, ist wegen der unvermeidlichen einseitigen Erwärmung des Dampfteiles nicht zu empfehlen.

25. Abgestellte Kessel wird man gelegentlich vor der Reinigung in den Zügen befahren und von der Feuerseite besichtigen, um die Wirkungen der Kesselbewegung zu beobachten und Ausdehnungshindernisse rechtzeitig auffinden und beseitigen zu können.

26. Da heute noch manche Kesselsysteme nicht genügend Elastizität besitzen, pflegt man beim An- und Abstellen besonders vorsichtig zu sein, um unzulässig hohe Dehnungs- und Biegespannungen in den oft schon gealterten Kesselbaustoffen zu vermeiden und dadurch dem Eintreten von Blechrisen, Schweißnaht- und Haarrissen, sowie Beschädigungen der Einmauerung vorzubeugen.

V. Überwachung des Feuerungsbetriebes.

1. In kleinen Kesselanlagen gehört der Feuerungsbetrieb zu den Obliegenheiten des Kesselwärters neben der Wartung, Regulierung und Speisung des Kessels.

In größeren Anlagen kann der Dienst des Kesselwärters auf verschiedene Personen verteilt werden, wobei die Speiser nach den gesetzlichen Bestimmungen den beruflichen Anforderungen entsprechen müssen.

2. Auf die Heranziehung eines tüchtigen Bedienungspersonals und dessen Ausbildung ist im Interesse der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Kesselbetriebes ein besonderes Augenmerk zu verwenden. Wo eigenes Ausbildungspersonal nicht zur Verfügung steht, kann die Ausbildung durch Lehrheizer, Heizerkurse oder Wärmeingenieure erfolgen.

Größeren Betrieben wird für genannte Zwecke die Anstellung eines geeigneten Fachmannes empfohlen, dessen Kosten sich erfahrungsgemäß durch mancherlei Einsparungen bezahlt machen.

3. Der beste Beweis für eine gute Feuerführung ist ein gleichmäßig hoher Kesseldruck. Will man hinsichtlich der Druckanzeige sicher gehen, so wird man das Manometer regelmäßig auf richtiges Anzeigen durch vorsichtiges Ausblasen des Kontrollhahnes untersuchen, da Verstopfungen im Zuleitungsrohr vorkommen können. Der Zeiger des Manometers muß beim Ausblasen auf Null zurückgehen. Beim Ausblasen und Wiederanstellen der Manometer ist zu beachten, daß sie höchstens handwarm werden; es darf also niemals Dampf oder heißes Wasser in die Manometer gelangen. Zweckmäßig ist es, den normalen Betriebsdruck etwas unter der roten Marke des Manometers (dem Konzessionsdruck) zu halten, um die Dampfverluste beim Abblasen der Sicherheitsventile bei Belastungsrückgängen zu vermeiden. Blasen die Sicherheitsventile ab, so wird man den Zug und die Rostbeschickung einschränken.

Die Dampferzeugung kann gegebenenfalls auch durch Nachspeisen vermindert werden. Nur im äußersten Notfall wird man dazu greifen, die Abkühlung des Kessels durch Öffnen der Schau- und Einsteigtüren zu beschleunigen (Schädigung des Kessels).

Das Auflegen von Gewichten auf die Hebel der Sicherheitsventile oder das Verschieben der Gewichte zum Zwecke der Verhütung des Abblasens der Sicherheitsventile ist strengstens verboten.

4. Die Feuergewölbe über dem Rost und hinter der Feuertür sucht man dauernd glühend zu erhalten, um die Entzündung des frischen Brennmaterials zu erleichtern. Abgekühlte Gewölbe erhitzt man wieder durch Zugverminderung und langsame Rostbeschickung.

5. Es ist ferner darauf zu achten, zur Erzielung eines wirtschaftlichen Feuerungsbetriebes den Eintritt falscher Außenluft in die Feuerung und in die Züge des Kessels zu verhindern. Falsche Luft sollte daher weder durch Mauerwerksöffnungen, Risse und Fugen, Putz und Einsteigekästen, Schauöffnungen, Meßstellen, Aschenklappen, noch durch schadhafte Abstreifer oder an anderen Stellen der Rostbahn eindringen. Undichtheiten verschließt man nicht mit Lehm — der erfahrungsgemäß bald wieder aus-

bröckelt —, sondern mit Chamottemörtel, Schlackenwolle oder Asbestschnur. Das Abschlacken erfolgt in kürzester Zeit in regelmäßigen Zeiträumen und unter Verminderung des Zuges. Falsche Luft tritt in erheblichem Maße durch die Rostspalten ein, wenn der Rost nicht vollständig und gleichmäßig bis an sein Ende, an die Abstreifer bzw. die Feuerbrücke mit Brennmaterial oder Verbrennungsrückständen bedeckt ist.

a) Vollkommene Verbrennung.

6. Der beste Wirkungsgrad der Feuerung wird erzielt bei Erreichung eines möglichst hohen Anteils an Kohlensäure (CO_2) und eines möglichst niedrigen Gehaltes an Sauerstoff (O_2) in den Abgasen. Die Verbrennung beginnt jedoch erst, wenn der Brennstoff, Gase und Koks, durch Glut und Strahlungshitze auf seine Entzündungstemperatur gebracht worden ist. Deshalb ist die dauernde Aufrechterhaltung einer genügend hohen Temperatur des Verbrennungsraums von größter Wichtigkeit.

b) Unvollkommene Verbrennung.

7. Die Verbrennung wird gestört, wenn dem Brennstoff zu wenig Luftsauerstoff zugeführt wird. Die brennbaren Gasbestandteile verbrennen dann nur unvollkommen und die Feuerung rußt oder raucht. Sie wird ferner gestört, wenn die festen und flüchtigen brennbaren Bestandteile durch übermäßige Luftzufuhr unter die Entzündungstemperatur abgekühlt werden oder die Innenwände der Feuerung erkalten. In diesem Falle entweichen die hochwertigen Gase entweder unverbrannt, oder die bei ihrer Verbrennung erzeugte Wärme wird zur Erwärmung überschüssiger Luftmengen aufgebraucht. In beiden Fällen werden durch Kohlenoxydbildung (CO), durch Flugkoks oder unnötige Luft-erwärmungen erhebliche Wärmemengen unausgenutzt durch den Schornstein entführt und mit der Flugasche abgefahren. Holier Luftüberschuß ist also ebenso schädlich wie Luftmangel. Eine gute Feuerführung arbeitet mit dem etwa 1,3 bis 1,5fachen der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Hiermit wird sich je nach der verfeuerten Kohlensorte unter sonst normalen Verhältnissen ein Kohlensäuregehalt am Kesselende von 12 bis 14% ergeben, der als wirtschaftlich zu bezeichnen ist.

Der Kohlenoxydgehalt der Rauchgase soll auf alle Fälle gleich

Null sein, da das Auftreten von Kohlenoxyd (CO) auf Luftmangel hinweist. Bekanntlich verbrennt bei genügender Sauerstoffzufuhr 1 kg Kohlenstoff unter Entwicklung von etwa 8000 Wärmeinheiten zu Kohlensäure (CO₂); während bei Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd (CO) nur 2440 Wärmeinheiten (WE) frei werden, d. h. der Wärmewert des Kohlenstoffes ist dann nur zu etwa 30 % ausgenutzt worden.

8. Zur Nachprüfung der Verbrennungsvorgänge und des Zustandes der Feuerzüge sollte in allen Kesselanlagen ein geeigneter Heizgas-Untersuchungsapparat für Handbedienung zur Verfügung stehen, womit jeder Kessel in gewissen Zeiträumen planmäßig untersucht werden kann. Es gibt hierfür verschiedene bewährte Fabrikate, am bekanntesten ist der Orsat-Apparat mit drei Absorptionsflaschen für Sauerstoff-, Kohlensäure- und Kohlenoxydbestimmung.

9. Die Gebrauchsanweisung für solche Apparate ist so einfach, daß auch der Heizer an ihre regelmäßige Benutzung gewöhnt werden kann. Man muß aber darauf achten, daß die Reagenzien oft erneuert werden, da sonst z. B. CO wieder an das zu untersuchende Gas, wenn dieses wenig CO besitzt, abgegeben werden kann. Da außerdem die Absorptionsflüssigkeit leicht Sauerstoff aufnimmt, so darf sie nur nach Entfernung des Sauerstoffes aus dem zu untersuchenden Gasvolumen angewendet werden (vorherige Absorption des Sauerstoffes in der Pyrogallussäure). Bei sehr geringen Gehalten an Kohlenoxyd (unter 0,1 Volumprozenten) wird eine größere Genauigkeit jedoch durch einen elektrischen CO-Messer erhalten.

e) Heizregeln.

10. Ein sicherer Maßstab für die Feuerführung ist der Vergleich des Kohlensäuregehaltes in den Abgasen mit der Angabe des Zugmessers. Der CO₂-Gehalt soll möglichst hoch, die Zugstärke dagegen möglichst niedrig sein. Die Feuerführung ist gut, wenn ein helles volles Feuer vorhanden ist und ein gleichmäßiger Dampfdruck bei gut bedecktem Rost gehalten werden kann. Hieraus ergibt sich die einfache Regel:

„Halte hohe Feuerraumtemperaturen, helles Feuer und hohen Kohlensäuregehalt bei niedriger Abgastemperatur: Diese Be-

dingungen sind die Grundlage für eine wirtschaftliche Ausnützung der Brennstoffe.“

d) Verdampfungsziffern.

11. Zur Kontrolle des Kesselwirkungsgrades empfiehlt es sich, täglich, wöchentlich oder monatlich die Verdampfungsziffern der Gesamtanlage, d. h. die pro kg Brennstoff nutzbar abgegebene Dampfmenge zu bestimmen. Hierzu sind Vorrichtungen zur Gewichtsbestimmung der verfeuerten Brennstoffmenge und der gespeisten Wassermenge bzw. der abgegebenen Dampfmenge erforderlich. Die Verdampfungsziffer wird erhöht durch hohe Wasservorwärmung im Speisewasserbehälter, durch Abdampfvorwärmung (Speisepumpen, Hilfsturbinen usw.), durch Abgasspeisewasservorwärmer und Lufthertzung.

Es verdampft:	Bei einem	Dampf von
	Kesselwirkungsgrad von	1 Atm. (Normaldampf) aus Wasser von 0° C
	%	kg
1 kg fette Steinkohlen	82	9,2—10,1
1 „ mittlere Steinkohlen	82	7,4— 8,7
1 „ Hüttenkoks	82	7,4— 9,6
1 „ Steinkohlenbriketts	82	7,9— 9,7
1 „ Braunkohlenbriketts	82	5,4— 6,7
1 „ Maschinen-Preßtorf	82	4,5— 5,4
1 „ Stichtorf	82	3,6— 4,5
1 „ lufttrockenes Holz	82	2,9— 4,7
1 „ böhmische Braunkohlen	82	5,4— 7,0
1 „ niederlaus. Rohbraunkohlen	82	2,5— 2,7
1 „ mitteldeutsche Rohbraunkohlen	82	2,8— 3,3
1 „ rheinische Rohbraunkohlen	82	2,4— 2,6
1 „ Oberpfälzer Rohbraunkohlen	82	2,1— 2,5

e) Heizwerte.

12. Der Heizwert eines Brennstoffes ist abhängig von seinem Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, ferner vom Gehalt an Wasser und Asche. In vorstehender Tabelle haben die ersteren vier einen Wassergehalt von 2 bis 5%, Braunkohlenbriketts 12 bis 16%, Maschinenpreßtorf 20 bis 25%, Stichtorf 20 bis 35%, lufttrockenes Holz 15 bis 18%, böhmische Braunkohle 10 bis 25%, Rohbraunkohle 50 bis 62%.

Als Heizwert kommt praktisch nur der untere Heizwert, bezogen auf Kohlensäure, Schwefelsäure und dampfförmiges Wasser in Betracht. Der Heizwert eines Brennstoffes wird nach seinen Wärmeeinheiten, die 1 kg bei vollkommener Verbrennung in der kalorimetrischen Bombe im reinen Sauerstoff entwickeln kann, berechnet. Es entwickelt etwa:

1 kg fette Steinkohlen	7200—7900 WE	unt. Heizwert
1 „ mittlere Steinkohlen	5800—6800	„ „ „
1 „ Hüttenkoks	5800—7500	„ „ „
1 „ Steinkohlenbriketts	6200—7600	„ „ „
1 „ Braunkohlenbriketts	4200—5200	„ „ „
1 „ Maschinen-Preßtorf	3500—4200	„ „ „
1 „ Stichtorf	2800—3500	„ „ „
1 „ lufttrockenes Holz	2300—3700	„ „ „
1 „ böhmische Braunkohlen	4200—5450	„ „ „
1 „ niederlaus. Rohbraunkohlen	1950—2100	„ „ „
1 „ mitteldeutsche Rohbraunkohlen . .	2200—2600	„ „ „
1 „ rheinische Rohbraunkohlen	1850—2000	„ „ „
1 „ Oberpfälzer Rohbraunkohlen	1650—1950	„ „ „

13. Es wird empfohlen, den Heizwert der angelieferten Kohle von Zeit zu Zeit untersuchen zu lassen. Die Untersuchung kann entweder durch eigene Chemiker oder in auswärtigen Speziallaboratorien erfolgen. Außer der kalorimetrischen Heizwertbestimmung wird die chemische Elementar-Analyse empfohlen, welche Aufschluß gibt über den Gehalt des Brennstoffes an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Asche und Wasser. Wichtig ist auch der Gehalt des Brennstoffes an „Flüchtigen Bestandteilen“, (Sauerstoff — Wasserstoff — Stickstoff — Schwefel), welcher durch die Verkokungsprobe im Tiegel festgestellt wird.

Ferner ist es zweckmäßig, von der Schlacke und Asche regelmäßig Proben zu entnehmen, um sich zu vergewissern, ob der Prozentsatz an unverbranntem Brennstoff nicht zu hoch ist. Beträgt der Anteil des Verbrennlichen in der Asche bei Steinkohlenfeuerung mehr als 15 bis 20%, bei Braunkohlenfeuerung 35 bis 50%, so ist ein Mangel in der Feuerbedienung oder ein hoher Kohlendurchfall am Rost vorhanden. Auch die Flugasche in den Feuerzügen der Kessel ist regelmäßig auf ihren Gehalt an Verbrennlichem zu untersuchen.

14. Die zur Untersuchung entnommene Kohlenmenge ist gut durchzumischen und die Mischung durch Ausbreiten auf einem Stein- oder Metallfußboden, Vierteilung, Wegnahme eines Viertels

und Wiederholung der Vierteilung eines Viertels zu verkleinern, bis eine Probemenge von etwa 10 kg des Brennstoffes übrig bleibt, wovon zwei Blechbüchsen von je 5 kg Inhalt voll aufzufüllen sind. Die Büchsen sind unverzüglich luftdicht zu verschließen, am besten zu verlöten. Eine Brennstoffprobe geht an das Laboratorium, während die zweite Probe für Reservezwecke bei Mißlingen der ersten Probe aufbewahrt wird. Während der Mischung des Brennstoffes empfiehlt sich die Zerkleinerung desselben, doch ist darauf zu achten, daß dabei die Feuchtigkeit der Kohle nicht vermehrt oder verringert wird. Bei sehr feuchten Kohlen empfiehlt es sich, während des Versuches Feuchtigkeitsproben von der Versuchskohle zu entnehmen und deren Feuchtigkeitsgehalt unabhängig von der Heizwertprobe zu bestimmen.

f) Betriebsinstrumente.

15. Zur Erzielung einer wirtschaftlichen Verbrennung benötigt das Bedienungspersonal zuverlässige Anzeigeeinstrumente, insbesondere Zugmesser, Rauchgasprüfer, Temperaturmesser, Wasser- und Dampfmesser. Hierfür stehen bewährte Einrichtungen zur Verfügung, die auf chemischer, physikalischer oder elektrischer Grundlage arbeiten und mit welchen gute Erfolge erzielt werden können, wenn sie mit Interesse und Verständnis gewartet werden (siehe auch „Fünfter Teil“ Abschnitt XX).

VI. Maßnahmen zur Verhütung von Feuerrückschlägen und Rauchgasexplosionen.

1. Rauchgasexplosionen bilden sich immer dort, wo Gemische von Brenngasen und Luft in einem geschlossenen Raum zur plötzlichen Entzündung gebracht werden. Sie können auf folgende Weise zustande kommen. Gibt man auf einen mit schwachem Feuer bedeckten Rost größere Mengen gasreichen Brennmaterials bei gleichzeitiger Hemmung der Luftzufuhr plötzlich auf, so tritt keine Verbrennung, sondern eine Vergasung des Brennstoffes ein und die Gase ziehen unverbrannt in die Feuerzüge ab. Da die unverbrannten Gase leichter sind als die verbrannten, so sammeln sie sich an den höchsten Stellen der Feuerzüge an. Durch die glühenden Verbrennungsgase, welche durch die inzwischen normal gewordene Verbrennung erzeugt wurden, kann dann eine plötzliche Entzündung der unverbrannten Gase in den toten Ecken

der Heizgaszüge hervorgerufen werden. Die entstehende Verpuffung (Explosion) äußert sich durch mehr oder weniger starken Überdruck im Feuerraum. Derartige Störungen können vermieden werden, wenn man bei kammerähnlichen Heizgaszügen an den höchsten Stellen eine in Richtung der Rauchgase liegende Verbindung der Kammern herstellt. Solche Verbindung können durch selbsttätig bei Überdruck sich evtl. auch nach außen öffnende Abzugsklappen verschlossen werden. Ebenso liegen die Verhältnisse bei einer Feuerung, die mit Luftmangel arbeitet und bei welcher plötzlich die Feuertüre geöffnet wird. Es bildet sich hierbei im Feuerraum ein explosives Gemisch, das bei der Explosion ein Heraus schlagen der Flamme aus Schauöffnungen und Feuertüren verursacht, wodurch das Bedienungspersonal der Kessel gefährdet wird. Häufig treten solche Verpuffungen, die ein Heraus schlagen der Flamme nach dem Heizerstand zu verursachen, bei Schrägrostfeuerungen auf. Die Gründe hierfür können sein:

a) Änderungen der Zugstärke. Der Zug ist besonders bei Rohbraunkohlenfeuerungen nur ganz allmählich zu verändern, niemals plötzlich.

b) Falsche Rostneigung. Meistens ist sie in solchen Fällen zu steil.

c) Abdecken der Brennschicht durch Schlacke; wenn auf dem Rost in der Schwel- oder Entgasungszone schon eine lebhafte Verbrennung der Kohle eingeleitet ist und sich dadurch bereits auf dem oberen Teil des Rostes in größeren Mengen backende Asche bildet, kann es vorkommen, daß diese dann durch plötzliches Abrutschen über den Rost läuft und große Mengen frischer Kohle nachstürzen läßt. Diese Kohle kommt dann unentschwelt in die Brennzone und gibt derartig große Schwelgasmengen ab, daß Verpuffungen entstehen.

d) Starker Druck der Kohle aus den Bunkern auf die Feuerung; Zwischenbunker über dem Rost entlasten die Feuerung.

e) Wechselnde Beschaffenheit der Kohle. Hierbei sind Feuchtigkeit, grobe Nässe, Korngröße, hoher Aschengehalt oder Sand Beimengungen von wesentlichem Einfluß.

f) Feinheit der Kohle, Staub aus Fett- und Flammkohlen neigt leicht zu Verpuffungen.

Auf Grund der vorerwähnten Ursachen ergeben sich nachstehende Maßnahmen:

18 VII. Verhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen im Kesselbetrieb.

a) Regulierung der Brennstoffaufgabe auf dem Rost und Kontrolle der Rostneigung bei Brennstoffwechsel. Da bei Unterwind auch über dem Rost entsprechend der Belastung der Feuerung auch noch Überdruck herrschen kann, ist beim Öffnen der Feuertüren und Trichterverschlüsse besondere Vorsicht geboten.

b) Vorsicht beim Aufgeben frischen Brennmaterials, wenn das Feuer während der Betriebspausen abgedeckt war.

c) Ausreichender Luftüberschuß, wobei zu beachten ist, daß die Gase, so lange sie nicht vollständig verbrannt sind, nicht unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt werden.

d) Anpassung des Zuges an die Beschickung. Gleichmäßige Bedeckung des Schrägrostes. Ist dies nicht der Fall, d. h. liegt der obere Teil des Rostes frei, so ist das Brennmaterial langsam und vorsichtig aufzugeben.

e) Veränderung der Feuerzüge zwecks Verbesserung eines ungehinderten Abzugs der Rauchgase. Abdichten der Züge und des Rauchkanals gegen Eintritt von Luft.

f) Einbau von Explosionsklappen bei Kesseln und Rauchgasvorwärmern. Diese sind nach Möglichkeit an hochliegenden toten Ecken nach außen aufschlagend einzubauen.

g) Reichlichere Bemessung der Zugverhältnisse bei Verwendung von Brennstoffen, welche zu Heizgasverpuffungen neigen. Die Zulanlage soll in der Lage sein, die bei Maximalleistung der Feuerungen entwickelten Heizgasmengen mit einer Mindestgeschwindigkeit von 6 m/Sek. abzuführen.

VII. Verhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen im Kesselbetrieb.

1. Außergewöhnliche Ereignisse im Kesselbetrieb äußern sich entweder durch plötzliches Freiwerden großer Wärmeenergie-mengen, welche katastrophalen Schaden anrichten, oder durch schlagartiges Ausströmen des Dampfes und Wassers aus Schadenstellen am Kesselkörper, aus der Rohrleitung oder Herausschlagen des Feuers. In schwereren Fällen wird durch das Ereignis der Betrieb der Kessel und der dampfangetriebenen Maschinen plötzlich unterbrochen; es treten Temperatur- und Druckveränderungen in den betroffenen Anlageteilen auf, welche gefährliche Nachwirkungen zur Folge haben können.

Zu ersteren Ereignissen zählen Kesselexplosionen, Dampfrohrbrüche, Kesselsiederrohrbrüche, Schweiß- und Nietnahtrisse, Gasexplosionen sowie Erglühen von Heizflächenteilen. Zu letzteren gehören: Wassermangel, Überspeisen der Kessel, Wasser schläge in den Rohrleitungen, Überhitzerdefekte, Economiser-Rohrbrüche und Feuerrückschläge aus Rosten und Aschensümpfen.

2. Erfahrungsgemäß können selbst große Störungen im Kesselbetrieb in verhältnismäßig kurzer Zeit und ohne erhebliche Gefährdung von Personal und Einrichtung beseitigt werden, wenn Betriebs- und Aufsichtspersonal in genügender Anzahl vorhanden und mit den Einrichtungsteilen gut vertraut ist.

Es ist Pflicht der Aufsichtsorgane, in solchen Fällen persönlich einzugreifen, um das Vertrauen des Betriebspersonals zur Sicherheit der Einrichtungen zu erhalten.

Bei katastrophalen Ereignissen, welche den Bruch ganzer Einrichtungsteile zur Folge haben, ist in der Regel die unmittelbare Gefahr mit dem plötzlichen Freiwerden der Energiemengen beseitigt, so daß durch energisches Eingreifen der Bedienungsmannschaft weitere Schädigungen der Anlageteile verhindert werden können.

a) Kesselexplosionen.

3. Der Explosion eines Dampfkessels gehen in der Regel außerordentliche Anzeichen, Geräusche oder andere außergewöhnliche Betriebserscheinungen voraus. Man wird deshalb allen Vorgängen am Kessel, Überhitzer, Economiser und in der Feuerung dauernd größte Aufmerksamkeit zuwenden. Besonderes Augenmerk verwendet man auf etwaige Ausbeulungen von Flammrohrschüssen, Feuerbüchsen, Mantelblechen von Trommeln, Rauch- und Siederohren, sowie auf Geräusche austretenden Dampfes oder Wassers aus Undichtheiten. (Vergleiche Regelmäßige Untersuchungen „Dritter Teil“ Abschnitt VIII.)

4. Werden derartige Anzeichen bemerkt, so wird der Kessel möglichst rasch von den übrigen Anlageteilen abgetrennt und die Einwirkungen des Feuers auf denselben beseitigt. Hierauf wird der gegebenenfalls noch vorhandene Dampfdruck vorsichtig abgelassen unter Vermeidung von Stößen oder Rückschlägen. Es eignen sich hierfür am besten die Sicherheitsventile und Rohrleitungsentwässerungen.

5. Alsdann überzeugt man sich unverzüglich, ob die Kessel-speiseeinrichtungen noch einwandfrei arbeiten und ob in den unbeschädigten Kesseln genügend Wasser vorhanden ist. Wenn dies nicht der Fall ist, so werden deren Feuer schnellstens abgedeckt oder entfernt, um ein Ausglühen von Kesselteilen zu vermeiden.

6. Die Verminderung der Feuerwirkung auf die gefährdete Heizfläche kann auch durch Zugverstärkung und Öffnen der Schau- und Aschentüren erzielt werden. Wegen der damit verbundenen zu plötzlichen Abkühlung des Feuerraumes und des Kesselkörpers wird diese Maßnahme nur im äußersten Notfall ausgeführt.

7. Das Einspritzen von Wasser auf den Rost oder in die Feuerung ist gefährlich.

8. Bei Wassermangel, welcher bereits zum Ausbeulen oder Erglühen der beheizten Kesselwandungen oder Rohre geführt hat, wird Wasser nicht mehr nachgespeist.

9. Kesselexplosionen können entweder infolge Wassermangels durch Ausglühen von Heizflächenteilen entstehen oder infolge von Fehlern des Werkstoffs und der Herstellung, durch Aufreißen von Schweißnähten, Nietnähten, Blebschüssen, Kesselböden, Flammrohren; in einzelnen Fällen auch durch erhöhte Dehnungsspannungen und dadurch bedingte Überschreitung der Material-Streckgrenze.

10. Beim Eintritt solcher Ereignisse versucht man zuerst die beschädigten Einrichtungsteile der Anlagen durch beiderseitige Absperrung sämtlicher Zuleitungen dampf- und wasserseitig abzuschalten. Sofern dies innerhalb des Kesselhauses zu gefährlich erscheint, läßt man die Abschaltung außerhalb vornehmen. Zu diesem Zwecke sind in einigen Anlagen Rohrbruchventile an den einzelnen Kesseln und motorangetriebene Schnellschlußventile in den Hauptleitungen eingebaut, welche außerhalb des Kesselhauses durch Fernsteuerung betätigt werden können.

11. Alle Beobachtungen, welche vor Eintritt des Schadens gemacht wurden, werden schriftlich aufgezeichnet oder mündlich dem Vorgesetzten gemeldet, auch wenn sie scheinbar nicht direkt mit dem Schaden zusammenhängen.

Die Schadensstelle darf vor der Untersuchung nicht aufgeräumt oder verändert werden — soweit dies nicht zur Rettung von Menschenleben erforderlich ist — damit die Erhebungen der Sachverständigen nicht erschwert oder unmöglich gemacht werden.

b) Rohrbruch.

12. Dampfrohr- und Siederohrbrüche können als Folge eines Wasserschlages in der Dampfleitung, durch Material- oder Bearbeitungsfehler, infolge unzureichender Herstellung oder durch ungewöhnliche Betriebseinflüsse entstehen.

13. Die Wirkung des Schadens hängt von der Größe und Lage der Bruchstelle ab. In den meisten Fällen ist eine rasche Entspannung des Dampfdruckes, oft auch ein erheblicher Wasserverlust aus dem Kessel die Folge.

14. Man versuche die Schadenstelle schnellstens von den übrigen Anlageteilen abzutrennen und ziehe die Feuer des betroffenen Kessels auf kürzestem Wege heraus.

15. Bei Brüchen von Siederohren mit kleinerem Querschnitt besteht die Möglichkeit, durch Nachspeisen entsprechender Wassermengen den Kessel vor der Einwirkung der Strahlungshitze zu schützen, doch ist hierbei mit Rücksicht auf die Schädigung des Kesselmauerwerks mit Vorsicht zu Werke zu gehen.

16. Nach erfolgter Abkühlung überzeugt man sich, wie weit das Kesselwasser gesunken ist und untersucht daraufhin den Kesselkörper auf Anlauffarben, Beulen, verbogene Rohre und Undichtheiten. Die gefährlichsten Stellen liegen in der Regel zwischen höchster Feuerlinie und dem tiefsten erreichten Wasserstand.

17. Bei Schweiß- und Nietnahtissen sind die gleichen Maßnahmen wie bei Rohrbrüchen zu empfehlen

c) Gasexplosionen.

18. Diese können zu Zerstörungen der Kesseleinmauerung, der Tragkonstruktion und auch des Dampfkessels selbst führen, wenn die Gaszüge mit explosiblen Gasgemischen in größeren Mengen angefüllt sind und diese eine plötzliche Zündung erfahren.

19. Über Maßnahmen zur Verhütung solcher Explosionen siehe Abschnitt VI.

d) Wassermangel.

20. Wassermangel kann im Kessel entstehen, wenn die regelmäßige Speisung unterlassen wird, wenn die Speiseeinrichtungen bei Verstopfung der oberen oder unteren Verbindungsrohre der Wasserstandsanzeiger versagen oder wenn der Kessel durch Undichtheiten oder auf andere Weise Wasser verliert,

22 VII. Verhalten bei außergewöhnlichen Ereignissen im Kesselbetrieb.

welches nicht rechtzeitig ersetzt wird. Starke Wasserspiegelunterschiede in den Obertrommeln von Mehrtrommelkesseln können die gleichen Nachwirkungen wie Wassermangel verursachen.

21. Bei kurzfristigem Wassermangel stellt man die Dampf-
abgabe des Kessels durch Absperrung des Hauptdampfventils
ein und vermindert die Feuerleistung des Rostes durch vorsich-
tige Abkühlung.

22. Hat sich der Kesselinhalt beruhigt und ist der Wasser-
spiegel im Glase noch nicht sichtbar, so versucht man den Kessel
mit gedrosselten Speiseventilen vorsichtig in kleinen Mengen
Wasser zuzuführen. Schlagen hierbei die Speiseventile am Kessel
oder werden dumpfe Schläge im Kesselinnern vernommen, so
ist das Wasser tiefer gesunken als das Speiserohr reicht. Die
Speisung wird in diesem Falle eingestellt.

23. Nach erfolgter Abkühlung überzeugt man sich über die
Schadenwirkung, wie im Absatz 16 bei Rohrbrüchen beschrieben
wurde.

e) Überspeisen.

24. Das Überspeisen des Kessels über den zulässigen höchsten
Wasserstand bewirkt eine Verminderung der Verdampfungsoberfläche und des Dampf-
raumes, wodurch der Abzug des er-
zeugten Dampfes behindert wird.

25. Das Überspeisen äußert sich in leichteren Fällen durch
Mitreißen von Wasser durch den Dampfsammler des Kessels
in den Überhitzer oder in die Dampfrohrleitungen. Es treten in
der Regel plötzliche Temperaturschwankungen, Undichtheiten
an Walzstellen und Flanschverbindungen auf.

26. In schwereren Fällen erfolgen starke Wasserschläge aus
dem Kessel in die Rohrleitung, Aufschlagen der Sicherheits-
ventile, Abreißen von Armaturen und Beschädigungen der An-
triebsmaschinen oder auch Dampfrohrbrüche.

27. Besteht die Vermutung, daß der Kessel überspeist ist,
so überzeugt man sich unverzüglich, ob die Wasserstandsanzeiger
in Ordnung sind und ob die Speiseventile dicht schließen. Man
öffnet die zunächst liegenden Entwässerungsleitungen des Über-
hitzers und der Dampfleitungen und vermindert die Kessel-
leistung durch schwächeren Zug.

28. Sind heftigere Anzeichen des Wasserüberreißen vorhanden,

so wird der Kessel schnellstens durch Absperrung der Hauptventile von der Dampf- und Speiseleitung abgetrennt, die Feuerung vorsichtig abgekühlt und das Kesselwasser langsam so weit abgelassen, bis der normale Wasserstand im Schauglas des Wasserstandsanzeigers erreicht ist.

29. Die Abblau- und Entwässerungsventile, welche hierbei benutzt wurden, können durch Schlamm verschmutzt sein und werden nach Abschluß auf Dichthalten geprüft.

f) Wasserschläge.

30. Diese können eintreten, wenn Wasser in Dampfleitungen oder Luft in Wasserleitungen kommt. Mangelhaft verlegte Leitungen, ungenügende Entwässerungen und Entlüftungen, undichte Saugleitungen und Dampfbildung in Wasserleitungen begünstigen Wasserschläge.

31. Man beseitigt solche Mängel durch Einsetzen reichlich großer Wasserabscheider an den tiefliegenden Stellen der Dampfleitungen, durch wirksame Isolierung gegen Wasserniederschläge, durch Windkessel und Entlüftungsventile an den höchsten Punkten von Wasserleitungen.

32. Bei Schlägen in Speiseleitungen prüft man die Rückschlagventile auf ihre Wirksamkeit nach. Über Einspeisen in den Dampfraum siehe Absatz 22, Wassermangel. Es können auch Undichtheiten im Speisewasserverteilungsrohr oder Speisekasten innerhalb des Dampftraumes des Kessels vorliegen, wodurch Dampf in die Speiseleitung gelangt.

g) Überhitzerdefekte.

33. Schäden an Überhitzern werden verursacht durch Schwächung der Wandstärke von außen oder von innen infolge Korrosion, Erglühen der Rohrschlangen in Kästen infolge Schlamm- und Steinansatz oder Materialfehler.

34. Beim Anheizen der Kessel schützt man die Rohrschlangen vor Erglühen durch eine wirksame Wasserkühlung. Hierzu dient eine Wasserfülleinrichtung. Die Ausschaltung des Überhitzers aus dem Heizgasstrom durch genügend dicht schließende Zugregelvorrichtungen ist ebenfalls ein wirksames Mittel gegen zu hohe Erwärmung.

35. Bei Brüchen von Rohrschlangen wird der schadhafte

Überhitzer durch Absperren des Kessels und der Ringleitung außer Betrieb gesetzt, die Feuerung abgekühlt, und der Kessel baldigst abgestellt, um ein Ausglühen der noch unbeschädigten Überhitzer-Rohrschlangen zu vermeiden.

36. Sind Mischdampfleitungen oder Wasserfülleinrichtungen vorhanden, so kann man in solchen Fällen die Überhitzer-Rohrschlangen durch Dampf oder Wasser vor dem Erglühen schützen.

h) Rohrbrüche an Abgasspeisewasservorwärmern (Economiser).

37. Rohrbrüche an gußeisernen Vorwärmern entstehen infolge Materialfehler oder durch übermäßige Verspannung des Systems bei fehlerhaftem Zusammenbau und ungenauer Lagerung der Röhrenelemente, durch Schwächung der Wandstärke infolge innerer und äußerer Korrosionen, vereinzelt auch durch Wassererschläge infolge Dampfbildung in den Vorwärmerrohren.

38. Ist die Bruchstelle derart, daß ein wesentlicher Wasserverlust im Vorwärmer eintritt, so wird er unverzüglich außer Betrieb gesetzt.

39. Wo dies möglich ist, kann die Außerbetriebsetzung durch Umstellen der Rauchklappen erfolgen, damit der Vorwärmer aus dem Heizgasstrom ausgeschaltet ist. Hierauf wird der schadhafte Vorwärmer vom Kessel und von der Speiseleitung durch Absperren der Speiseventile getrennt.

40. Wird der Kessel mit der Hilfsspeiseleitung weiter betrieben, so wird darauf geachtet, daß die Rauchklappen, welche den schadhafte Vorwärmer ausschalten, dicht abschließen.

41. Nach dem Ausschalten und Absperren des Vorwärmers wird er durch Öffnen der Zugklappen und Putztüren langsam abgekühlt und das Wasser nachher aus ihm entleert.

42. Die Sicherheitsventile des Vorwärmers werden bei jeder Vorwärmerreparatur durch Unterschieben eines Keiles oder Abheben der Gewichte vollkommen geöffnet, so daß sich im Vorwärmer kein unvorhergesehener Überdruck bilden kann.

43. Wird die Ausschaltung des Vorwärmers aus dem Feuerzug, die Entleerung seines Wasserinhaltes oder das Öffnen der Sicherheitsventile versäumt, der Dampfkessel jedoch weiter betrieben, so besteht die Möglichkeit der Explosion des Vorwärmers.

44. Zur Nachkontrolle der Druckvorgänge erhält der Vorwärmer neuerdings ein Überdruckmanometer mit Schleppzeiger.

Dritter Teil.

VIII. Regelmäßige Untersuchungen.

1. Es ist zu unterscheiden zwischen amtlich vorgeschriebenen periodischen Kesseluntersuchungen und solchen Untersuchungen, welche von den Betrieben nach eigenem Ermessen angeordnet werden. Erstere erstrecken sich in der Regel auf äußere Besichtigungen während des Betriebes sowie innere Revisionen in mehrjährigen Zwischenräumen.

Die Vorschriften für die Vorbereitung der amtlichen Untersuchungen sind in den Revisionsbüchern oder Katastern der Kessel enthalten.

2. Bei den von den Betrieben vorzunehmenden Untersuchungen ist zur Auffindung von Mängeln und Feststellung ihrer Ursachen eine eingehende Kenntnis der Kesselbaustoffe, der Kesselherstellung und der thermischen Vorgänge beim Betrieb der Kessel erforderlich.

Solche Kenntnis wird durch langjährige Betätigung auf diesem Spezialgebiet erworben und durch Studium des einschlägigen Schrifttums erreicht.

Mit der planmäßigen Untersuchung der Kesselanlagen werden nur solche Organe beauftragt, welche obige Voraussetzungen erfüllen oder der zuständige Kesselprüfer. Folgende Regeln haben sich in der Praxis bewährt und können zur Ausübung der Untersuchungen empfohlen werden.

3. Äußere Untersuchungen. Die Untersuchung auf Undichtheit des Kesselkörpers soll durch Abhorchen in der Stillstandszeit der Kessel unter Druck oder bei schwachem Betrieb erfolgen, um Anzeichen von Dampfgeräuschen oder Tropfwasser festzustellen, welche auf Undichtheiten schließen lassen. Das Abhorchen erfolgt zweckmäßig in mehrwöchentlichen Zeitabständen. Zum Abhorchen bedient man sich der Einsteigeöffnungen oder Schautüren in den Zügen, wobei fremde Außen-

geräusche abzuhalten sind. Auf nässende Stellen an der Isolierung oder am Mauerwerk ist hierbei ein besonderes Augenmerk zu verwenden.

4. Nach Abstellen der Kessel empfiehlt sich die Besichtigung der Feuerseiten, wobei der Kessel noch einen Betriebsdruck von 2 bis 3 Atm. aufweisen soll. Die undichten Stellen sind erkenntlich durch Anhäufungen von Glaubersalz an Niet- oder Schweißnähten, an Walzstellen oder harten Krusten, welche sich feucht anfühlen.

5. Nach erfolgter Reinigung der Feuerseiten des Kessels von Ruß und Flugasche werden etwaige undichte Stellen eingehend untersucht.

Besonderes Augenmerk verwendet man auf die Niet- und Schweißnähte, Stemmkannten, Stutzen und Bodenkrempe, sowie auf die Walzstellen und Außenseiten der Siederohre. Hierbei achtet man besonders auf äußere Anrostungen an den Mauerwerksanschlüssen und Siederohrwandungen sowie auf nasse Stellen unter der Flugasche.

6. Rauch- oder Siederohre mit Walzfehlern oder ausgebeulte Rohre werden ausgewechselt, auch wenn sich die Ausbeulung erst im Anfangsstadium befindet.

7. Die Nietköpfe werden auf ihre Festigkeit durch leichtes Abklopfen untersucht. Stemmkannten, Schweiß- und Nietnähte sowie Kesselböden werden mit Stahlbürsten blank gereinigt und bei Vorhandensein verdächtiger Stellen mit der Lupe besichtigt.

8. Sind Undichtheiten gefunden, so forscht man den Ursachen nach, ehe man sie beseitigt. (Über das Verhalten bei Befund von Mängeln siehe Abschnitt IX.)

9. Innere Untersuchungen. Alle 2 Jahre findet eine amtliche Revision statt. Darüber hinaus benutzen die Betriebe bei längerem Stillstand des Kessels die Gelegenheit zu einer inneren Besichtigung. Zu diesem Zweck werden Einsteigöffnungen und Rohrverschlüsse abgenommen und das Kesselinnere gründlich gereinigt. Vorhandene Schlammanhäufungen und Kesselsteinschalen werden mit geeigneten Werkzeugen beseitigt und die Kesselwandungen mit der Stahlbürste gesäubert.

10. Die Untersuchung im Kesselinnern erstreckt sich hauptsächlich auf die Prüfung der Böden, auf die Unversehrtheit der

Niet- und Schweißnähte und auf etwaige Anfressungen oder Abrostungen des Blechmaterials und der eingebauten Teile.

11. Den Kremen der Kesselböden wendet man besonderes Augenmerk zu, insbesondere hinsichtlich des Vorhandenseins von Kremenrissen. Bei den älteren Böden mit Kremenradien, die kleiner als ein Zehntel des Bodendurchmessers sind, werden die Untersuchungen in kurzen Zwischenräumen wiederholt.

(Über die Durchführung der Untersuchung auf Kremenrisse siehe Anhang Anlage 5.)

12. Wasserstands- und Speiserohrmündungen werden auf ihre Unversehrtheit geprüft und sauber gereinigt, desgleichen die Inneneinrichtungen: Speiseregler, Schwimmer, Temperaturregler und Wasserumlaufeinrichtungen.

13. Untertrommeln und Wasserkammerschweißböden werden auf Schlammansammlungen, Steinbelag und Anfressungen untersucht. Die Abschlammrohre werden abgenommen und nachgesehen, desgleichen die Sicherheits-, Speise- und Ablassventile.

Stehbolzen und Hohlanker werden sauber gereinigt und auf ihre Unversehrtheit geprüft.

14. Am Kessel angeschlossene Betriebsinstrumente, insbesondere Manometer und Rohrleitungen, werden geprüft und gegebenenfalls ausgewechselt.

IX. Verhalten bei Befund von Mängeln an Kesseln und Zubehör.

1. Sind während des Betriebes des Kessels oder im Stillstand desselben Anzeichen wahrgenommen worden, welche auf eine Undichtheit oder auf einen anderen Mangel am Kesselkörper schließen lassen, so wird zur Klarstellung des Mangels unverzüglich ein Sachverständiger des Betriebes im Sinne des Abschnittes VIII, Absatz 2) oder in schwereren Fällen der zuständige Kesselprüfer hinzugezogen. Ergeben sich Material- oder Herstellungsfehler, so beteiligt sich auch ein Vertreter des Kessellieferanten an der Untersuchung.

2. Ist die Ursache des Schadens und sein Umfang soweit als möglich geklärt, so läßt man die Reparatur am besten durch den Kesselhersteller, oder, wenn die erforderliche Sachkenntnis vorhanden ist, durch eigenes Personal ausführen.

3. Von dem Erfolg der Reparatur überzeugt man sich durch eine regelrechte Wasserdruckprobe, welche nicht über den normalen Betriebsdruck hinaus zu erfolgen braucht. Gemäß § 13 der pol. Bestimmungen muß bei Hauptausbesserungen die Wasserdruckprobe durch den zuständigen Kesselprüfer erfolgen. Nach kurzer Betriebszeit besichtigt man die Reparaturstelle nochmals von außen her bei geringem Dampfdruck.

4. Schweißarbeiten am Kessel, für deren Güte keine Gewähr übernommen werden kann, werden abgelehnt, da sie den Schaden nicht beseitigen, sondern unter Umständen nur vergrößern. Vor Ausführung von Schweißarbeiten an bestehenden Kesseln ist das Einverständnis des zuständigen Kesselprüfers zu erwirken.

5. Bei Stemmarbeiten achtet man darauf, daß das gesunde Blech nicht eingekerbt, die Blechauflage nicht hochgestemmt wird und daß die Stemmkante nicht aufblättert. Undichte Stemmkanten entstehen meist dort, wo Blechverbindungen nicht gut aufliegen oder Stöße nicht gut überdeckt sind.

6. Abmeißeln von Stemmkanten oder Anschweißen solcher sind Behelfsmittel, welche bei fachmännischer Kesselherstellung nicht notwendig werden dürfen. Sie müssen daher vermieden werden.

7. Werden Schweißnaht- oder Blechrisse vermutet, so wird die betreffende Stelle blank geschliffen oder gemeißelt, gegebenenfalls durchbohrt und die Stelle durch Ätzung sichtbar gemacht. Man bedient sich hierfür einer 40%igen Salpetersäure in Alkohol, welche mit einem sauberen Watteballen aufgetragen wird.

8. Für die Feststellung von Nietnahttrissen wendet man allgemein die von der VGB empfohlene Nietlochprobe an (Anhang, Anlage 4).

9. Bei Steilrohrkesseln mit starr verbundenen Trommeln, oder anderen Kesseln, deren Bauart nicht elastisch genug ist, empfiehlt sich die Durchführung einer Nietlochprobe an den Trommelkörpern innerhalb einer Betriebszeit von etwa 10000 Stunden. Verläuft diese Probe zufriedenstellend und zeigen sich bei einer zweiten Probe nach einer weiteren Betriebsdauer von etwa 10000 Stunden keinerlei Haarrisse, so ist die Nietnaht erfahrungsgemäß einwandfrei hergestellt und betriebssicher.

10. Für die Feststellung von Anbrüchen in Krepfen der Kesselböden wende man die von der VGB gegebene Anleitung an (siehe Anhang, Anlage 5).

11. Die Anschlußkrepfen von ebenen Wasserkammern an Oberkesseln sollen allerseits am Oberkesselblech gleichmäßig und ohne Spannung anliegen. Undichte Stemmkannten und Nietnähte an den Kammerhalsflanschen deuten darauf hin, daß an diesen Stellen eine unsachgemäße Arbeit vorliegt. Man kontrolliert dies durch eine Nietlochprobe.

12. Die stumpfgeschweißten Nähte ebener Wasserkammern und deren Umlaufbleche oder Böden sind gegen Wärmespannungen sehr empfindlich und werden von den Betrieben scharf überwacht.

13. Die Umlaufbleche solcher Kammern dürfen laut behördlicher Bestimmung nicht direkt beheizt werden. Die Schweißnaht und das Umlaufblech müssen während des Betriebes von außen sichtbar sein und sollen regelmäßig auf ihre Unversehrtheit untersucht werden.

14. Sind undichte Siederohre trotz ein- bis zweimaligen Nachwalzens nicht dicht zu bekommen, so werden sie ausgewechselt, da die Undichtheiten dann zweifellos ein Zeichen für unsaubere Walzstellen oder für Fehler am Rohrmaterial bzw. der Rohrwand sind.

15. Die Art der aufgefundenen Mängel an Dampfkesseln deren Umfang, ihre Ursachen und die angewendeten Reparaturmaßnahmen werden in einem Lebens- oder Stammbuch eingetragen. Diese Aufzeichnungen sind für die dauernde Überwachung einer Kesselanlage von großem Wert.

X. Kesselreinigung.

a) Innere Reinigung.

1. Die innere Reinigung wird je nach dem Befund der Niederschläge im Kessel in längeren oder kürzeren Zeitabständen nötig. Der Kessel soll zu diesem Zwecke vorschriftsmäßig abkühlen. Das Ablassen unter Druck zur schnelleren Entfernung des Schlammes und Nachspeisen frischen Wassers hat den Nachteil, daß man die Kessel zu rasch abkühlt und die Schlammmenge nicht kontrollieren kann. Auch verstopft sich dabei leicht die Entleerungs-

einrichtung. Ferner entleert man den Kessel erst, wenn man sich überzeugt hat, daß keine glühende Flugasche mehr auf den Heizflächenteilen liegt. Sämtliche Dampf- und Wasserleitungen, welche mit Nebenkesseln verbunden sind, sollen abgenommen oder mit Blindflanschen geschlossen werden. Dies gilt insbesondere auch für Kesselablaßleitungen.

2. Bei Beginn der Reinigung nimmt man sämtliche Verschlüsse, insbesondere Mannloch- und Rohrverschlüsse, Ventilanschlüsse und die zugehörigen Ventile ab zum Zwecke der Durchlüftung des Kesselinnern, sowie zur Reinigung und Reparatur der Armaturenteile.

3. Zur Beleuchtung im Kesselinnern verwendet man in der Regel elektrische Lampen, welche den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker entsprechen. Die Lampen werden zweckmäßig mit einer Spannung von nicht mehr als 20—40 Volt betrieben. Wo diese Spannung nicht vorhanden, benutzt man einen besonderen Transformator zur Reduzierung der Netzspannung. An Stelle empfindlicher Litzen verwendet man allgemein für die Handlampen armierte Kabel. Das Reinigungspersonal muß sich vor der Benutzung der Lampen von ihrem ordnungsmäßigen Zustand überzeugen. Die Verwendung von Karbid- oder Benzinlampen ist nicht ungefährlich.

4. Die Entfernung des Kesselsteins erfolgt von Hand oder durch Fräs- oder Schlagwerkzeuge, welche elektrisch oder mit Wasser, bzw. Preßluft angetrieben werden. Bei der Entfernung des Kesselsteins ist darauf zu achten, daß das Kesselblech keine Beschädigungen durch die Schlagwerkzeuge erfährt. Durch längeres Bearbeiten einer Stelle besteht die Möglichkeit der Blechverletzung; beim Bohren von Siederohren durch längere Bearbeitung einer Stelle, kann Beulenbildung oder Durchfräsen der Wandung eintreten. Wo die Beseitigung des Kesselsteins infolge seiner Härte oder Unzugänglichkeit des Kessels Schwierigkeiten bereitet, kann die Auflösung des Kesselsteinbelages durch Auskochen mit 5%iger Natronlauge bewirkt werden. Der Kessel ist nachher sauber zu spülen und von den Resten der Lauge zu befreien.

5. Bei starker Staubentwicklung hilft man sich durch leichtes Anfeuchten der zu bearbeitenden Stellen oder Absaugen der staubhaltigen Luft. Man verlangt von dem Personal das Tragen von Schutzbrillen gegen abspringende Kesselsteinsplitter. Ferner

werden bei stauberzeugenden Arbeiten Atmungsschützer, die auf Mund und Nase aufgesetzt werden, benutzt.

6. Mit Rücksicht auf etwaige Unfälle läßt man die genannten Reinigungsarbeiten von mindestens 2 Mann ausführen.

7. Gelegentlich der inneren Reinigung der Kessel nimmt man eine gründliche Untersuchung des Kesselkörpers von innen und außen vor. (Vgl. den Abschnitt „Regelmäßige Untersuchungen“, Dritter Teil, Abschn. VIII.)

8. Nach Beendigung der Reinigungsarbeiten überzeugt man sich, ob alle Werkzeuge aus dem Kessellinnern entfernt, die Inneneinrichtungen wieder ordnungsmäßig angebracht und die Dichtstellen der Mann-, Rohrloch- und Überhitzerverschlüsse gut gereinigt bzw. abgefräst sind. Letztere setzt man mit einem Magnesit- oder Graphitanstrich ein.

Halten die Verschlüsse bei der nachfolgenden Kaltwasserdruckprobe mit normalem Betriebsdruck dicht, so bedürfen sie nach dem Anheizen des Kessels keines Nachziehens, mit Ausnahme der Mannlochverschlüsse.

b) Äußere Reinigung des Kessels und Flugaschenbeseitigung.

9. Ehe der Kessel äußerlich befahren wird, entlüftet man die Feuerzüge nochmals gründlich, schließt dann die Rauchklappen und sichert sie wenn möglich und erforderlich gegen willkürliches Öffnen.

10. Sämtlicher, in den Feuerzügen befindlicher Ruß, sowie die Flugasche wird sorgfältig entfernt. Flugasche mit hohem Gehalt an Verbrennlichem kann sich beim Aufwirbeln entzünden und wird daher besonders vorsichtig entfernt.

11. Der Kesselmantel wird mit Schabern und Drahtbürsten von dem anhaftenden Ruß, insbesondere dem sogenannten Glanzruß, vollkommen befreit. Etwaige dabei gefundene Undichtigkeiten meldet das Personal dem aufsichtführenden Beamten. Es ist wichtig, daß dieser den Zustand der schadhaften Stelle besichtigt, ehe Krusten usw. beseitigt werden.

12. Die mechanische Entfernung der Ablagerungen durch Absaugevorrichtungen, die sich auf dem Boden der Feuerzüge befinden, hat sich bewährt.

Das Absaugen erfolgt durch reichlich große Öffnungen im

Mauerwerk, um eine leichte Bedienung der Absaugeschläuche zu ermöglichen.

13. Steigeisen und Mauerwerksansätze, die zur Befahrung angebracht sind, werden vor der Benutzung geprüft, da diese durch die Gase und die hohen Temperaturen, denen sie ausgesetzt sind, beschädigt sein können.

14. Mechanische Entaschungsanlagen erleichtern die Entleerung der Aschenbunker und Flugaschenansammlungen aus den Kesselzügen. Solche Einrichtungen sind heute in fast allen größeren Kesselanlagen eingebaut, da die Entfernung der Grobschlacke und Flugasche von Hand in der Regel stauberzeugend und für das Bedienungspersonal unangenehm ist.

Vierter Teil.

XI. Eigenschaften des Speisewassers.

a) Rohwasser.

1. Für das eingehendere Studium der Speisewasseraufbereitung und Kontrolle sei an dieser Stelle auf das Buch „Speisewasserpflege“, bearbeitet vom Arbeitsausschuß für Speisewasserpflege der VGB, hingewiesen.

2. Fast sämtliche natürlichen Wässer sind mehr oder weniger reich an gelösten und ungelösten Salzen, freien oder gebundenen Säuren und Gasen, sowie an organischen Substanzen. Ihre Anwesenheit erschwert die Anwendung der natürlichen Rohwässer zum Zwecke der Dampferzeugung durch Kesselstein- und Schlamm- ausscheidung, Gasabspaltung und Anreicherung mit chemischen Verbindungen, wie Sulfaten, Chloriden, Nitraten und Silikaten.

Über die Bezeichnung der im Rohwasser enthaltenen Einzelbestandteile siehe Anhang, Anlage 1.

3. Als welche Wässer bezeichnet man im allgemeinen solche bis 8° deutscher Härte (d. H.), als mittelharte Wässer solche von 8 bis 16° d. H. und als harte Wässer diejenigen über 16° d. H.

4. Die Härte der Wässer wird bemessen nach ihrem Gehalt an Kalzium- und Magnesiumsalzen. Die Gesamthärte ungereinigter Wässer besteht im allgemeinen aus der Karbonathärte, gebildet aus dem Gehalt an Kalzium- und Magnesiumbikarbonaten $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ und $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$, die beim Kochen des Wassers zum Teil in Schlammform ausgefällt werden, und aus der Nichtkarbonathärte, gebildet von den Sulfaten $[\text{CaSO}_4, \text{MgSO}_4]$, Chloriden $[\text{CaCl}_2, \text{MgCl}_2]$, Nitraten $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2, \text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$ und Silikaten von Kalk und Magnesia, welche auch beim Kochen bei nicht zu starkem Eindampfen gelöst bleiben.

5. Werden die Härtebildner erst im Dampfkessel ausgefällt, so bilden sie unter der Einwirkung der Hitze den mehr oder weniger harten Kesselstein auf der Heizfläche.

Die doppeltkohlen-sauren Salze des Kalziums und Magnesiums können sich in Schlammform ausscheiden, während die Salze der Nichtkarbonathärte im allgemeinen festen Kesselstein bilden.

6. Kesselstein, welcher in der Hauptsache aus den Karbonaten und Hydroxyden der Härtebildner besteht, ist in geringen Mengen praktisch weniger gefährlich. Bei Gegenwart merklicher Mengen an Silikaten, Sulfaten und organischen Substanzen ist jedoch Vorsicht am Platze, da diese auf die Eigenschaften des Niederschlages von ungünstigem Einflusse sind.

7. Von großer Wichtigkeit ist ferner der Gehalt des Rohwassers an freien oder gelösten Gasen und Säuren, da diesen erfahrungsgemäß korrodierende Wirkungen auf Metall und Eisenteile, Rohrleitungen und Kesselbleche der mit Dampf gespeisten Maschinen und Apparate zuzuschreiben sind. Neben einem je nach den Grundwasserträgern stark wechselnden Gehalt an freier Kohlensäure enthalten fast alle Wässer gebundene Kohlensäure in Form von Bikarbonaten, die beim Erhitzen oder infolge von chemischen Umsetzungen leicht die Hälfte ihrer Kohlensäure abgeben.

8. Da eine Kesselsteinschicht auf der Heizfläche von kaum 1 mm Stärke nicht nur dauernd hohe Wärmeverluste, sondern je nach Kesselbeanspruchung auch Ausbeulungen der Flamm- und Siederohre, Feuerbüchsen und Trommelbleche zur Folge haben kann, wird in fast allen Kesselbetrieben das Rohwasser in einer Wasserreinigungsanlage aufbereitet.

9. Vor der Beschaffung einer solchen Anlage wird das zur Verfügung stehende Rohwasser in einem chemischen Laboratorium für Wasseruntersuchungen auf seine Brauchbarkeit zur Kessel-speisung untersucht. Für diese Untersuchungen können die bei einigen Dampfkesselüberwachungsvereinen eingerichteten Laboratorien sowie geeignete Privatsachverständige zu Rate gezogen werden.

b) Kondenswasser und Destillate.

10. Das Kondenswasser aus Dampfmaschinen, Apparaten, Kochern, Heizanlagen und Dampfrohrleitungen eignet sich unter den nachstehend näher behandelten Voraussetzungen gut zur Kesselspeisung. Es ist zu beachten, daß das Kondensat mit Öl, Kühlwasser oder anderen Stoffen aus der Fabrikation verunreinigt

sein kann und dann entsprechend vorbehandelt werden muß. Hierzu verwendet man Abdampftöler, Koks oder Kiesfilter und dgl. Man beschränkt den Öl- oder Fettgehalt des Kondenswassers auf höchstens 5 mg/l Kesselwasser, da andernfalls Wärmestauungen entstehen können, die Beulen und Rißbildungen an Kesselblechen und Rohren begünstigen.

11. Kondenswasser besitzt eine hohe Aufnahmefähigkeit für Gase, insbesondere für Luftsauerstoff, und wird deshalb nicht gerne in offene Behälter geleitet. Die Ausmündungen der Zulaufrohre des Kondensates sind daher unter Wasserspiegel geführt. Zur Aufnahme des Kondensates haben sich geschlossene Behälter bewährt in der Ausführung der Gasbehälter mit Wasserverschluß, oder geschlossene Behälter, bei welchen der Hohlraum zwischen Deckel und Wasserspiegel mit einem Dampfpolster ausgefüllt wird, um den Luftzutritt zu verhindern. Im Standrohr des Behälters kann ein Sauerstoffabsorptionsfilter eingebaut werden.

12. Wo das Kondenswasser schädliche Mengen von Kohlensäure oder Sauerstoff enthält, werden Entgasungsanlagen verwendet, um die anfressende Wirkung auf die Kesselbaustoffe zu vermeiden. Bei ausschließlicher Verwendung von Destillaten und Kondensaten wird deren Entgasung, sowie die Zugabe von Alkali als Schutzmittel angeraten. Dieses Alkali scheidet auch etwaige geringe Resthärten, die im Kondensat enthalten sein können, aus.

13. Um über die Bestandteile im Kondenswasser unterrichtet zu sein, wird dasselbe regelmäßig untersucht.

Da die Möglichkeit des Eintritts von Kühlwasser aus undichten Kondensatoren vorliegt, wird auch das Kondensat regelmäßig auf Härte geprüft.

c) Chemisch gereinigtes Wasser und Kesselinhalt.

14. Man hat erkannt, daß der Reaktionsverlauf bei der chemischen Enthärtung in der Praxis vielfach anders ist, als die Theorie erwarten läßt, und man sollte daher den praktischen Erfahrungen besondere Beachtung schenken.

Maßgebend für die Beurteilung des Endeffektes wird immer der Befund des Kesselinnern sein müssen. Von diesem Endeffekt leitet sich auch die Festlegung der meisten Grenzzahlen für die

Mindest- und Höchstgehalte des Kesselwassers an einzelnen Bestandteilen ab; die regelmäßige chemische Analyse hat also in der Hauptsache den sehr wichtigen Zweck, in kürzester Zeit ohne Unterbrechung des Betriebes erkennen zu lassen, ob Bedenken gegen die augenblickliche Betriebsweise zu erheben sind.

15. Für die chemische Überwachung ist es aus diesem Grunde wichtig, diejenigen Grenzwerte zu kennen, bei deren Einhaltung die Gewähr vorhanden ist, daß im praktischen Kesselbetrieb Kesselsteinansätze und Anfressungen des Kesselbaustoffes weitgehend vermieden werden.

Ein bewährtes Schutzmittel gegen Kesselsteinansätze und Korrosionen stellt die Erhaltung einer dauernden Mindestalkalität des Kesselwassers dar, welche mit 0,4 g Natronlauge im Liter bzw. 1,85 g Soda im Liter nicht unterschritten werden soll. (Schwellenwert der Alkalität)¹. (1)

Beide Alkalien können sich im Verhältnis 0,4 : 1,85 oder rund 1 : 4,5 ersetzen, so daß z. B. auch eine Alkalität von 0,3 g Natronlauge und 0,45 g Soda im Liter Kesselwasser ausreichend schützen würde. Als Maßstab für die zum Schutze des Kessels notwendige Alkalität ist die „Natronzahl“ eingeführt worden, die folgendermaßen bestimmt wird:

Man dividiert den durch Analyse des Kesselwassers gefundenen und als mg/l berechneten Gehalt an Soda durch 4,5 und addiert zu dieser Zahl den gleichfalls als mg/l ausgedrückten Gehalt an Ätznatron. $\left(\frac{\text{Na}_2\text{CO}_3}{4,5} + \text{NaOH}\right)$. Die so erhaltene Summe soll stets über 400 liegen, 2000 aber möglichst nicht überschreiten.

16. Die chemische Untersuchung des Kesselinhaltes erstreckt sich daher auf die Feststellung der beiden Einzelwerte Soda und Ätznatron. Die Ermittlung der Gesamtalkalität hat hier wenig Wert, da das Maß der Spaltung der im Kesselinhalt befindlichen Soda in Ätznatron und Kohlensäure von den jeweiligen Betriebsverhältnissen stark abhängt, mit stöchiometrischen Regeln nicht erfaßt und daher aus der Gesamtalkalität auch nicht abgeleitet werden kann. Hält man den Kesselinhalt auf dieser Alkali-Mindestkonzentration, so wirkt nach den Erfahrungen der Praxis auch höhere Konzentration von Chloriden, Nitraten und Sulfaten nicht mehr angreifend, so daß man Anreicherungen des Kessel-

¹ (1) — (6) = Schwellenwerte für die einzelnen Bestandteile.

inhaltes bis zu 4 g Chlorid (Cl), 1,5 g Nitrat (N_2O_5) und 8 g Sulfat (SO_3) im Liter zulassen kann. (2)

17. Der Gesamtgehalt an gelösten Salzen darf 20—40 g/l erreichen. (3)

18. Der Gesamtgehalt an gelösten Stoffen, der Abdampfrückstand, kann annähernd mit der Beauméschindel geprüft werden:

Bestände der Abdampfrückstand nur aus Kochsalz (NaCl), so sind 10 g/l = 1% gleichbedeutend mit 1° Baumé.

Sind an Stelle der Chloride überwiegend Sulfate (Glaubersalz) vorhanden, so entsprechen 1,2% Glaubersalz (Na_2SO_4) 1° Bé.

Die betreffenden Zahlen sind für wasserfreie Soda 0,7% = 1° Bé, für Natronsalpeter 0,9% = 1° Bé, für Ätznatron 1,0% = 1° Bé.

19. Die Erfahrung der Betriebe geht dahin, daß ein Höchstgehalt des Kesselinhaltes an Salzen von 2° Bé, ermittelt in dem auf 15 bis 20° C abgekühlten Wasser, noch zulässig ist.

Die Dichte des Kesselwassers wird manchmal durch seinen Gehalt an organischen Stoffen stark beeinflusst. In solchen Fällen, wenn z. B. schon das Rohwasser mit organischen Substanzen angereichert oder das gereinigte Wasser durch Holzwoolfilter an Stelle von Kiesfiltern geleitet wird, ist eine niedrigere Grenze für die Dichte des Wassers, etwa 1 bis 1,5° Bé, empfehlenswert. (4)

Die zulässige Höchstgrenze richtet sich aber auch noch nach dem Kesselsystem und seiner jeweiligen Belastung. Im allgemeinen wird den alkalischen Verbindungen (Soda und Ätznatron), sowie den organischen Stoffen die Neigung des Wassers zum Schäumen zugeschrieben.

20. Von der Bestimmung der organischen Substanzen im laufenden Betrieb kann in der Regel abgesehen werden. Ergibt die chemische Untersuchung einen Verbrauch von 1,5 g/l Kaliumpermanganat, so ist das Kesselwasser teilweise oder ganz zu erneuern; als Höchstgrenze gelten 2 g/l $KMnO_4$ Verbrauch. (5)

21. Die Härte des Kesselinhaltes, die sogenannte Resthärte, soll unter 2° d. H. nach Blacher liegen, wobei zu beachten ist, daß von dem bei der Enthärtung entstehenden kohlen-sauren Kalk unter Umständen bis zu 36 mg/l = 1,9° d. H. in Lösung bleiben können. Mit steigender Alkalität des Kesselwassers und mit wachsender Temperatur wird jedoch auch die Resthärte geringer. (6)

22. In wissenschaftlichen Kreisen, namentlich in Amerika, schreibt man dem Vorhandensein von Sulfaten im Kesselwasser eine Schutzwirkung gegen Brüchigwerden von Kesselblechen und Ribildungen in solchen zu. Man schlägt deshalb vor, daß im Kesselwasser das Verhältnis der Gesamtalkalität, ausgedrückt als Soda (Na_2CO_3), zum Sulfatgehalt, ausgedrückt als Glaubersalz (Na_2SO_4), bei Betriebsdrücken bis 10,5 Atm. 1 : 1, von 10,5 bis 17,5 Atm. 1 : 2 und über 17,5 Atm. 1 : 3 übersteigen soll¹.

23. Ausscheidungen von Kieselsäure im Kesselwasser, bzw. Bildung von kieseläurereichem Kesselsteinbelag lassen sich wesentlich vermindern,

a) wenn die Resthärte im Kesselwasser möglichst gering ist, d. h. wenn die Härtebildner soweit aus dem Wasser entfernt sind, daß die gelöste Kieselsäure mit ihnen keine wasserunlösliche Verbindung eingehen kann;

b) wenn das Löslichkeitsprodukt der Kieselsäure nicht überschritten wird, mit anderen Worten, wenn die Eindickung des Kesselinhaltes nicht so weit getrieben wird, daß die Kieselsäure auch bei Abwesenheit von Härtebildnern allein ausfällt, d. h. also, wenn regelmäßig abgeblasen wird;

c) wenn stets genügend Alkali im Kessel vorhanden ist, so daß die Kieselsäure in der löslichen Form des Natriumsilikates bestehen kann;

d) wenn eine ausreichende Menge an kolloid-organischer Substanz die Bildung von festem Stein verhindert.

XII. Erfahrungen mit Speisewasserreinigungsanlagen.

a) Kalk-Soda-Verfahren.

1. Dieses Reinigungsverfahren wird hauptsächlich angewandt bei Wässern mit freier Kohlensäure, sowie solchen mit vorwiegender oder beträchtlicher Karbonathärte. Dem hochoerwärmten

¹ Es wird angenommen, daß die Sulfate die im Material aus anderen Gründen (Nieten) entstandenen fehlerhaften Stellen mit einer deckenden Schutzhaut gegen chemischen Angriff schützen. (Eine ausreichende Erklärung für die Schutzwirkung ist nicht erbracht worden, doch sollen günstige Betriebserfahrungen bei der Einhaltung dieses Schutzverhältnisses vorliegen.)

Rohwasser wird eine der jeweiligen Karbonathärte entsprechende Menge Ätzkalk zugeführt, welcher die gasförmige, die Karbonathärtebildner in Lösung haltende freie und halbgebundene Kohlensäure bindet und der kohlensauren Magnesia die gebundene Kohlensäure entzieht.

Die Nichtkarbonathärte (Sulfat- oder Giphärte und Chloridhärte) wird durch Soda beseitigt, indem die Härtebildner, also schwefelsaurer Kalk, schwefelsaure Magnesia, Chlorkalzium und Chlormagnesium in kohlensaure Salze verwandelt werden, die wegen ihrer sehr schweren Löslichkeit ausfallen. Sämtliche Kalksalze des Rohwassers fallen bei richtiger Wahl der Fällungsmittel als wasserunlösliches Karbonat, sämtliche Magnesiumsalze als wasserunlösliches Hydroxyd aus und setzen sich nach mehrstündiger Reaktion im Reinigungsbehälter als Schlamm ab.

Während die Karbonathärte aus dem Wasser verschwindet, ohne daß lösliche Alkalisalze an ihre Stelle treten, nimmt das Wasser eine den ausgeschiedenen Härtebildnern der Sulfat- und Chloridhärte äquivalente Menge von Natriumsalzen auf.

Die zum Weichmachen des Wassers erforderlichen Mengen an Kalk und Soda können nach verschiedenen Methoden aus der stöchiometrischen Gleichung berechnet werden. Die durch Rechnung erhaltenen Zahlen sind stets annähernd richtig.

2. Die Reihenfolge der Zusätze Kalk und Soda ist gleichgültig. Die Umsetzungen benötigen jedoch eine bestimmte Zeit, welche sich durch Erhöhung der Wassertemperatur abkürzen läßt.

Während für die Umsetzungen bei gewöhnlicher Raumtemperatur 6—8 Stunden benötigt werden, genügen bei 50° C Wassererwärmung bereits 3 Stunden, bei 70° C etwa 1½ Stunden. Eine Erwärmung des zu reinigenden Wassers auf mindestens 50° ist schon deshalb erforderlich, um den Niederschlag grobflockig zu machen und das raschere Absitzen und Filtrieren zu ermöglichen. Eine wesentliche Steigerung des Reinigungserfolges kann durch Vergrößerung des Klär- und Absitzbehälters erzielt werden. Wo diese Behälter die 3—4fache Stundenleistung der Reinigungsanlage aufnehmen können, arbeitet die Anlage zufriedenstellend.

3. Ein Überschuß an Ätzkalk ist nach Möglichkeit zu vermeiden, da dieser Störungen im Kessel verursacht. Durch im Überschuß zugesetzte Soda werden diese Störungen jedoch beseitigt.

Bei einem geringen Überschuß an Soda behält das auf 50 bis 60° erwärmte Reinwasser noch eine sogenannte Resthärte von durchschnittlich 3 bis 4° d. H., bei 50% Sodaüberschuß meist weniger als 1°. Den Ätzkalkzusatz kann man in der Regel auf 97 bis 98% der Rechnung beschränken, weil ein Teil der Bikarbonate schon durch thermische Umsetzung bei der Erwärmung ausfällt.

4. Kalk und Soda können dem Rohwasser entweder als wässrige Lösungen oder in Pulverform zugegeben werden. In beiden Fällen achtet man darauf, daß die Menge des Zusatzes dem jeweiligen Wasserverbrauch und der Wasserbeschaffenheit angepaßt wird, da gegebenenfalls eine unvollständige Ausscheidung der Härtebildner erfolgt, welche dann teilweise erst im Dampfkessel unter starker Schlammabildung ausfallen.

5. Für Wasser, welche niedrigen Gehalt an freier Kohlensäure und niedrige Karbonathärte, dafür aber viel Magnesiumsalze enthalten, eignet sich zwar auch das Kalk-Sodaverfahren, besser jedoch das Ätznatron-Soda-Verfahren.

b) Ätznatron-Soda-Verfahren.

6. Die chemischen Umsetzungen hierbei sind prinzipiell die gleichen wie beim Kalk-Soda-Verfahren. Ein Unterschied liegt jedoch darin, daß durch die Wechselwirkung zwischen der Natronlauge und den Kalk- bzw. Magnesium-Bikarbonaten des Rohwassers nicht nur wasserunlöslicher kohlensaurer Kalk wie beim Kalk-Soda-Verfahren, sondern zum Teil auch Soda entsteht. Durch den Wegfall des Kalkes wird die Menge des ausfallenden Schlammes geringer, weshalb sich das Verfahren für Wasser von absolut hohen Härtegraden, wobei ein beträchtlicher Teil der Härte auf Magnesiumsalze entfällt, empfiehlt.

c) Soda-Enthärtungs-Verfahren.

7. In Übereinstimmung mit dem Kalk-Soda-Verfahren fallen auch hier alle Kalksalze als wasserunlöslicher kohlensaurer Kalk, alle Magnesiumsalze als wasserunlösliches Hydroxyd zu Boden, jedoch treten im Gegensatz zum Kalk-Soda-Verfahren an die Stelle der Karbonathärte lösliche Alkalisalze. Das so enthärtete Wasser wird also salzreicher als das nach dem Kalk-Soda-Verfahren enthärtete Wasser.

Da die Magnesiumsalze durch Soda nicht vollständig ausgefällt werden können, so tritt ein Teil derselben in Form des

teilweise wasserlöslichen kohlensauren Magnesiums mit dem Wasser in den Kessel über. Bei den im Dampfkessel herrschenden Druck- und Temperaturverhältnissen spaltet sich ein Teil der überschüssig zugegebenen Soda in Kohlensäure und Ätznatron. Die Spaltung beginnt bei etwa 3 Atm., erreicht bei 15 Atm. etwa 65%, bei 20 Atm. etwa 78%, bei 30 Atm. etwa 85%. Die so entstandene Natronlauge scheidet das in den Kessel übergegangene Magnesium in Form von Magnesium-Hydroxyd vollständig aus, so daß hier eine Nachreaktion im Dampfkessel vorliegt.

8. Das vorliegende Enthärtungsverfahren kommt insbesondere in Betracht bei Wässern mit vorwiegender Nichtkarbonathärte bei gleichzeitiger Magnesiaarmut. Weniger empfehlenswert ist es bei hohem Mg-Gehalt, da dann die Natronlaugeerzeugung im Kessel und die Rückführung derartig hoch getrieben werden müssen, daß schon in vielen Fällen betriebliche Schwierigkeiten entstanden sind. In solchen Fällen muß außer Soda auch noch Kalk oder Ätznatron zugegeben werden.

Außerdem ist bei sehr hartem Wasser der hohe Salzgehalt des Kesselwassers hinderlich (Schäumen und Spucken).

9. In der Praxis trifft man dieses Verfahren häufig in Verbindung mit der Schlammrückführung. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die verhältnismäßig engen Rohrleitungen der Schlammrückführung sich leicht verstopfen, wodurch Anreicherungen des Kesselinhaltes an Natronlauge auftreten können.

10. Erfahrungsgemäß reichert sich das aus dem Dampfkessel rückgeführte sauerstofffreie Wasser in den Absitzbehältern rasch mit Luftsauerstoff an, weshalb man es in geschlossene, luftdichte Behälter leitet. Weiterhin ist der Kohlensäure im Dampf mit Rücksicht auf mögliche Anrostungen der Kesselteile besondere Beachtung zu schenken. Sie entsteht durch den Zerfall des Natriumbikarbonats (NaHCO_3) im Kessel in Soda, Wasser und Kohlensäure.

11. In Fällen, wo infolge niedrigen Kesseldruckes die Spaltung der Soda nur gering ist, kann das Soda-Rückführungs-Verfahren kaum angewendet werden, es müßte vielmehr außer Soda noch Ätznatron zugeführt werden.

d) Permutit-Enthärtungsverfahren.

12. Die Enthärtung des Rohwassers erfolgt bei diesem Verfahren auf kaltem Wege, nachdem es vorher von freien Säuren

durch Neutralisation mit Kalk oder Soda befreit und die organischen und eisenhaltigen Stoffe durch Kiesfiltrierung entfernt worden sind. Die Enthärtung beruht auf dem Vorgang, daß natürliche oder künstliche Aluminiumsilikate (Zeolithe) das in ihnen enthaltene Alkali gegen die Härtebildner austauschen.

Zur künstlichen Herstellung solcher Zeolithe werden Kaolin, Quarz und Soda verschmolzen. Das Schmelzprodukt wird gekörnt und mit Wasser behandelt, worauf durch Wasseraufnahme ein kristallartiges Natriumaluminiumsilikat entsteht, welches unter der Bezeichnung Permutit in den Handel kommt.

Die enthärtende Wirkung des Permutits erfolgt während der Filterung des reinen Rohwassers in der Permutitschicht durch Basenaustausch. Die Kalzium- und Magnesium-Bikarbonate des Rohwassers (Karbonathärte) liefern beim Umtausch das wasserlösliche Natriumbikarbonat (NaHCO_3), während die Verbindungen der Nichtkarbonathärte in die entsprechenden wasserlöslichen Natronsalze umgewandelt werden.

Nach dem Umtauschprozeß ist das permutierte Wasser von allen Härtebildnern befreit. Die Enthärtung erfolgt praktisch bis auf fast 0° .

Ist der Austausch des im Permutitmaterial vorhandenen Natriums größtenteils erfolgt, so würde das Kalzium seinerseits beim Weiterbetrieb der Anlage mit Rohwasser das vorher vom Permutit gebundene Magnesium wieder austreiben, so daß sich jetzt im enthärteten Wasser mehr Magnesium finden kann, als im ursprünglichen Wasser enthalten war.

Das Permutit im Filter ist dann erschöpft und wird regeneriert.

Die Regenerierung erfolgt mit einer höchstens 35° warmen Kochsalzlösung (Chlornatrium NaCl). Das Natrium der durch das Filter geschickten Kochsalzlösung treibt das am Permutitrest gebundene Kalzium und Magnesium wieder aus, die sich mit dem Chlorid der Kochsalzlösung zu dem leicht löslichen Kalzium- bzw. Magnesiumchlorid verbinden, während das Natrium sich wieder an den Permutitrest anlagert, wodurch das ursprüngliche Material „Permutit“ wieder hergestellt wird. Das Kalzium- bzw. Magnesiumchlorid wird mit dem Spülwasser beim Auswaschen des Filters entfernt. Beim Eindampfen des permutierten Wassers im Dampfkessel verwandeln sich die Natrium-Bikarbonate unter Abspaltung von Kohlensäure in Soda, wodurch eine alka-

liche Reaktion eintritt. Hinsichtlich der zulässigen Konzentration des Kesselwassers vergleiche man: Vierter Teil, Abschnitt XI, Absatz c.

Das Verfahren eignet sich besonders für Wässer mit schwankender Zusammensetzung (Oberflächenwasser), sowie für Wässer mit geringem Kohlensäuregehalt und niedriger Karbonathärte. Bei Anwesenheit von Kieselsäure im Speisewasser ist zu beachten, daß die Konzentration des Kesselinhaltes nicht so weit gesteigert wird, bis kieselsaure Salze ausgeschieden werden.

13. Nach den vorliegenden Betriebserfahrungen mit gewöhnlichem Permutit ist die höchste Wassertemperatur, bei der die Regenerierung vorgenommen wird, 35°C .

14. Permutiertes Wasser sättigt sich an der Luft rasch mit Sauerstoff. Man hält deshalb das enthärtete Wasser unter Luftabschluß. In einigen Betrieben wird dasselbe auch vor Eintritt in den Kessel noch entgast.

Da beim Permutitverfahren Natriumbikarbonat (NaHCO_3) entsteht und mit dem gereinigten Wasser in den Kessel gelangen würde, wo es in Soda, Wasser und Kohlensäure zerfällt, ist es in der Regel erforderlich, die neu entstehende freie Kohlensäure vor Einführung des Wassers in den Kessel wieder zu beseitigen. Hierzu erwärmt man das enthärtete Wasser auf 90 bis 100° , wozu Abdampf von Pumpen, Ausblasedämpfe, neuerdings auch die Wärme des Abschlämmwassers, verwendet wird. Gleichzeitig wird hierdurch auch der Sauerstoff ausgetrieben.

e) Kalk-Ätznatron-Verfahren.

15. Dieses in seltenen Fällen benutzte Verfahren scheidet die freie Kohlensäure und die Bikarbonate von Kalk und Magnesia zunächst als Karbonate, weiterhin die ganze Magnesia als Hydroxyd aus; die aus dem Ätznatron dabei zum Teil entstehende Soda wirkt dann in bekannter Weise auf die Nichtkarbonathärte ein. Bei der immerhin nur verhältnismäßig geringen Menge der entstehenden Soda ist das Verfahren nur anwendbar bei Wässern, deren Karbonathärte höher ist als die Nichtkarbonathärte.

f) Baryt-Verfahren.

16. Das Kalk-Baryt-Verfahren sollte als Ersatz für die Kalk-Sodareinigung dienen, hat sich aber aus betrieblichen und wirt-

schaftlichen Gründen wenig eingeführt. Verwendung finden als Fällungsmittel:

Chlorbarium, kohlensaures Barium, Ätzbaryt und Bariumaluminat.

Bei der chemischen Umsetzung werden im Gegensatz zur Soda-Verwendung die Sulfate nicht in wasserlösliche und infolgedessen im Kesselwasser verbleibende Natronsalze (Glaubersalz) umgewandelt, sondern als völlig wasserunlösliches Bariumsulfat im Reinigungsapparat ganz aus dem Wasser entfernt.

Das Barytverfahren hat den Vorzug, daß es bei Anwendung sehr sulfatreichen Wassers, z. B. Grubenwässer, eine Anreicherung des Kesselinhaltes mit Natronsalzen verhindert.

g) Verdampfer-Anlagen.

17. Die Gewinnung von chemisch reinem Kesselspeisewasser erfolgt bei diesem Verfahren auf thermischem Wege durch Verdampfung von Rohwasser und Niederschlagung des so gewonnenen Brügendampfes in Kondensatoren oder mit anderen Hilfsmitteln zu Destillat.

Bei ausreichender Bemessung und guter Überwachung der Verdampferanlagen enthält das so gewonnene Destillat nur eine sehr geringe Alkalität und Härte, je nach dem, ob das Speisewasser vorher chemisch gereinigt und ein- oder mehrstufig zur Verdampfung gelangt.

18. Es hat sich beim Betrieb von Verdampferanlagen herausgestellt, daß in den meisten Fällen eine chemische Vorreinigung — wo nicht ganz harmloses Wasser vorlag — des Rohwassers erforderlich wurde. Dies ist verständlich, da die Verdampferanlage im wesentlichen einem Dampfkesselbetrieb gleicht. Deshalb gelten für Verdampfer bezüglich des Speisewassers die gleichen Gesichtspunkte, wie für Dampfkessel. Mit Schlamm oder Kesselstein belegte Heizflächen beeinträchtigen die Leistung der Anlage in spezifisch höherem Maße und setzen die Leistung oft in kurzer Zeit bedeutend herab.

19. Bei Rohwässern mit vorwiegender Karbonathärte und geringer Nichtkarbonathärte kann man sich auf die Beseitigung der Karbonathärte beschränken, da infolge der verhältnismäßig niedrigen Betriebstemperatur und der hohen Löslichkeit der Nichtkarbonathärtebildner ein gipsartiger Steinansatz an den Heiz-

flächen der Verdampfer kaum zu erwarten ist. Es genügte in der Regel ein Zusatz von Ätznatron oder Säure (meist Salzsäure — Impffverfahren) in das mechanisch gereinigte Rohwasser. Die Annahme, daß die Karbonathärte lediglich durch Auskochen des Rohwassers beseitigt werden könne, hat sich in der Praxis nicht bestätigt, weshalb die chemische Vorreinigung in fast allen Fällen erforderlich war. Dagegen konnte man durch die Auskochung bis über 100° eine vollständige Entgasung des Wassers erreichen.

20. Das thermische Reinigungsverfahren arbeitete wirtschaftlich, wo der gesamte Wärmeinhalt des aufgewendeten Heizdampfes mit dem gewonnenen Destillat den Dampfkesseln zugeführt werden konnte und wo die Abwärmeverluste durch Abschlämmen der Lauge, Kesselsteinausscheidung und Mantelabkühlung auf ein Mindestmaß eingeschränkt wurde.

21. Als Heizdampf wird in der Regel Abdampf aus Turbinen, Dampfmaschinen und Dampfpumpen verwendet; in Fällen, bei welchen Frischdampf zugesetzt wird, ist eine höhere Verdampferleistung, aber auch eine schnellere Verkrustung zu erwarten. Der spezifische Heizdampfverbrauch verringert sich mit der Anzahl der Verdampferstufen, da in den nachgeordneten Stufen der im einstufigen bzw. erststufigen Apparat erzeugte Brüden- dampf als Heizdampf verwendet wird.

Als Regel kann angenommen werden, daß Einstufenapparate Anwendung finden können, wo reichliche Heizdampfmen gen zur Verfügung stehen und eine hohe Speisewassertemperatur erwünscht ist. Mehrstufenapparate dürften am Platze sein, wo wenig Heizdampf zur Verfügung steht und das Speisewasser mit Rücksicht auf den Economiser nicht zu hoch erwärmt wird.

22. Um Überkochen oder Leerlauf der Verdampfer zu vermeiden, hat sich eine sorgfältige Einregulierung der jeweiligen Heizdampfzufuhr und der zuzuspeisenden Rohwassermenge nach dem jeweiligen Gesamtspeisewasserbedarf als notwendig herausgestellt. Auch wurde in mehreren Anlagen die nachträgliche Beschaffung einer Reserveanlage als Ersatz für die Dauer der Unterhaltungs- und Reinigungsarbeiten erforderlich.

23. Wo die Austreibung des Gasgehaltes des Speisewassers nicht schon vor Eintritt in die Verdampferanlage erfolgt war, wurde das Destillat nachher entgast. Auch wird dafür Sorge getragen, daß das gewonnene Destillat der leichten Sauerstoff-

aufnahmefähigkeit halber durch völligen Luftabschluß geschützt wird.

h) Elektrische und kolloidale Wasser-Enthärtungsverfahren.

24. Das Elektrolytverfahren ist ursprünglich als Schutzverfahren gegen Anfressungen der Kesselwandungen bei Anwendung salzhaltiger Wässer eingeführt worden, es wird ihm aber auch die Fähigkeit zugeschrieben, kesselsteinverhütend zu wirken.

Hierbei werden keine Härtebildner aus dem Speisewasser entfernt, es wird vielmehr nur deren Verhalten im Kesselwasser beeinflußt, indem keine harte Kesselsteinschicht an den Kesselwandungen entsteht, dafür aber eine entsprechende Schlammschicht bzw. Schlammausscheidung erzeugt wird.

Der Elektrolytschutz besteht darin, daß in dem zu schützenden Kessel Anoden gegen denselben isoliert eingeführt werden, die mit dem positiven Pol einer Stromquelle verbunden sind, während die Kesselwandung selbst an dem negativen Pol angeschlossen wird, so daß diese die Kathode bildet.

Die Einführung der Anoden kann auch statt in den Kessel in den Speisewasserbehälter erfolgen. Durch Einführung eines niedrig gespannten Gleichstroms erfolgt ein Stromübergang Kesselwasser-Kesselwandung, wobei sich an der Kesselwandung eine gasförmige Wasserstoffschicht bildet, welche das Anbrennen und Hartwerden der schlammförmigen Härtebildner verhindern soll.

25. Die vielfach als Geheimmittel in den Handel kommenden Wasserenthärtungs- bzw. Kesselstein-Verhütungsmittel bestehen in der Hauptsache aus organischen Substanzen verschiedener Art, Gerbsäurepräparaten mit Zusätzen von Soda-Ätznatron, Kochsalz, Glaubersalz, Zellstoffwasser, Stärke und dgl., Graphit usw. Sie sollen die Härtebildner im Dampfkessel gewissermaßen umhüllen, und so deren Anbrennen an der Heizfläche verhindern. Ihr praktischer Wert ist zweifelhaft.

Der erhebliche Schlammansatz im Kesselinnern ist erfahrungsgemäß aus betrieblichen Gründen sehr unerwünscht, er bewirkt aber auch erhebliche Wärmeverluste durch seine isolierende Wirkung oder infolge häufigen Abschlämmens der Kessel.

Für Lokomotiven oder andere schlecht zugängliche Kleinkessel

sollen sich kolloidale Kesselstein-Verhütungsmittel bewährt haben.

26. Ein Nachteil beider Verfahren ist grundsätzlich, daß hierbei die Ausfällung der Härtebildner im Dampfkessel selbst erfolgt, wodurch Schlammablagerungen auf den Heizflächen entstehen.

27. Die Wirksamkeit der verschiedenen Verfahren, d. h. die Verhinderung der Bildung harten Kesselsteines ist sehr von der jeweiligen Zusammensetzung des Speisewassers abhängig. Die Erfahrungen der Betriebe sind deshalb sehr widersprechend.

28. Die Anwendung eines Innenanstrichs wird verschiedentlich heute noch benutzt, um die Niederschläge aus den Kesseln bei der Reinigung leichter entfernen zu können und um die Kesselwandungen vor Korrosionen zu schützen. Einige dieser Anstrichmittel entwickeln aber gesundheits- und feuergefährliche Gase, die schon verschiedentlich zu Betriebsunfällen geführt haben. Auch übt der Anstrich gegebenenfalls eine isolierende Wirkung auf die Kesselwandung aus und kann bei stark beanspruchten Heizflächen Wärmestauungen hervorrufen.

29. Einige Betriebe pflegen vor der Erstfüllung eines neuen Kessels die Kesselwandungen mit einer Mischung aus Graphit und Magermilch anzustreichen, die als harmlos zu bezeichnen ist.

XIII. Entgasung und Entsäuerung des Speisewassers.

1. Bei der Beurteilung der Brauchbarkeit des Speisewassers für die Dampfkesselbetriebe ist seinem Gehalt an freien und gelösten Gasen, Säuren oder Salzen, welche eine angreifende Wirkung auf Kesselbaustoffe besitzen, ein besonderes Augenmerk zuzuwenden. Als solche kommen in Frage:

Kohlensäure, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure, Huminsäuren, Salpetersäure, salpetrige Säure, Salzsäure und Chlormagnesium.

2. Wichtig ist ferner, zu wissen, daß jedes Wasser eisenangreifend wirkt, wenn es nicht so alkalisch ist, daß die Natronzahl (vgl. XI, c, 15) erreicht wird. Auch destilliertes Wasser macht keine Ausnahme, wenn genügend Zeit für den Angriff gegeben ist.

Beschleunigung der Wasserbewegung verzögert den Angriff von Gasen und Säuren.

3. Bei den im Dampfkessel üblichen Konzentrationen wird ein gewisser Schutz gegen Angriff erzielt, wenn man das Speisewasser durch Zusatz von Soda oder Natronlauge in den Grenzen der Natronzahl alkalisch hält. Den Sättigungsgrad der Grenze zwischen Rostangriff und Rostschutz nennt man Schwellenwert. Bei Soda liegt der Schwellenwert im allgemeinen bei 1,85 g/l. Für Natronlauge liegt der Schwellenwert bei 0,4 g/l (vgl. XI. c, 15).

4. Freie Säuren, Schwefelsäure (vielfach in Grubenwässern), Salpetersäure, salpetrige Säuren und Salzsäure greifen auch schon in stark verdünnten Lösungen an, weshalb diese Säuren vor Verwendung des Wassers zur Kesselspeisung entfernt oder neutralisiert werden müssen. In vielen Fällen genügen hierfür die Wasserreinigungsverfahren mit entsprechenden Fällungsmitteln.

5. Sauerstoff und Kohlensäure sind unter gewissen Bedingungen als aggressive Gase bekannt; bei der Anwesenheit beider Gase im Speisewasser ist besondere Vorsicht am Platze. Gelöster Sauerstoff ohne gleichzeitige Anwesenheit von Kohlensäure findet sich in gewissen Grenzen bei Kesselwässern, welche nach dem Kalk-Soda-Verfahren enthärtet wurden.

6. Da die Löslichkeit des Sauerstoffes in alkalisch enthärteten Speisewässern von der Wassertemperatur abhängt, sind folgende Löslichkeitswerte beachtlich:

Bei Wassertemperatur von	60° C	=	5,2 mg/l O ₂
„	„	„	80° C = 3,4 „
„	„	„	100° C = 0 „

Ebenso ist die Löslichkeit des Sauerstoffes von dem verschiedenen Gehalt an Ätznatron im Speisewasser abhängig. Sie beträgt bei einer Wassertemperatur von 20° C:

bei	0,0 mg NaOH	44 mg O ₂ je l	Speisewasser
„	500 mg NaOH	25 mg O ₂ je l	„
„	1000 mg NaOH	19 mg O ₂ je l	„

7. Da sauerstofffreies Wasser den Sauerstoff der Luft gierig anzieht, achtet man auf dichten Luftabschluß der Speisewasserbehälter, Saugleitungen und Stopfbüchsen der Pumpen. Wo ein höherer Gasgehalt vorliegt, kommt eventuell die Entgasung in Frage. Man erzielt damit Sauerstofffreiheit des Wassers bis auf etwa 0,5 mg/l oder 0,35 ccm/l.

8. Auch die quantitative Ermittlung des Gasgehaltes im Dampf kann von Wichtigkeit sein.

9. Sauerstoffgehalte von mehr als höchstens 0,5 mg/l O₂ niedergeschlagenen Dampfkondensates sind bedenklich.

10. Für Kohlensäure beträgt die Höchstgrenze etwa 35 mg/l CO₂ niedergeschlagenen Dampfkondensates.

11. Die Entgasung des Wassers wird erzielt durch physikalische, chemische und mechanische Entgasungsapparate oder auf thermischem Wege mittels Erwärmung und Evakuierung, durch Herabsetzung des Partialdruckes der Gase im Wasser durch Einblasen von Stickstoff, durch Zugabe von Natriumsulfit (Na₂SO₃) und durch Verdampfung.

Welches der Verfahren im Einzelfall anzuwenden ist, muß durch eingehendes Studium der jeweiligen Wasserverhältnisse entschieden werden.

XIV. Laufende Untersuchungen des Speisewassers.

1. Um die Wasserreinigungs- und Enthärtungsanlagen in gutem Zustand zu erhalten und über die Vorgänge in der Kesselanlage unterrichtet zu sein, haben sich folgende regelmäßige Betriebsuntersuchungen bewährt.

2. Tägliche Untersuchungen:

- a) Rohwasser: auf Härte, Chlorid und Schlammgehalt,
- b) Aufbereitetes Zusatzwasser: auf Härte, Natriumbicarbonat, Soda, Ätznatron, Sauerstoff,
- c) Kondenswasser: auf Härte und Sauerstoff,
- d) Speisewasser: auf Härte,
- e) Kesselwasser: auf Dichte, Härte, Soda und Ätznatron.

3. Weitere Untersuchungen in regelmäßigen Zeitabständen:

- f) Wertbestimmung des Ätzkalkes und der Soda besonders bei Anlieferung,
- g) Rohwasser: auf Nitrat-, Sulfat- und Silikatgehalt,
- h) Speisewasser: auf Chloridgehalt und Sauerstoff,
- i) Kesselwasser: auf Chlorid-, Sulfat-, Nitrat-, Silikat- und Schlammgehalt (Schwebestoffe).

Für die Durchführung der für den Betrieb wichtigsten Untersuchungen hat die VGB einfache Untersuchungsmethoden ausarbeiten lassen, welche im Anhang Anlage 2 enthalten sind. Im übrigen sind sämtliche Untersuchungsmethoden für Kesselspeisewasser im Buch „Speisewasserpflege“ II. Aufl. enthalten.

4. Einheitliches Formblatt für Wasseruntersuchungen. Für vergleichende Zusammenstellungen einzelner Betriebe verwendet man nachstehenden Vordruck:

a) Gefunden:

	Roh- wasser	Kon- densat	Enthär- tetes Roh- wasser	Speise- wasser	Kessel- inhalt
Ges.-Härte (d. ⁰) (nach Wartha) . .	?	—	—	—	—
Nichtkarbonat-Härte (nach Wartha)	?	—	—	—	—
Karbonat-Härte (nach Wartha) . .	?	—	—	—	—
Ges.-Härte (nach Blacher)	?	?	?	?	?
CaO mg/l	?	?	?	?	?
MgO mg/l	?	?	?	?	?
Cl mg/l	?	?	?	?	?
SO ₃ mg/l	?	?	?	?	?
SiO ₂ mg/l	?	—	?	?	?
CO ₂ frei mg/l	?	?	?	?	—
Abdampfrückstand mg/l	?	?	?	?	?
Glührückstand mg/l	?	?	?	?	?
Öl mg/l	? ²	? ²	? ²	? ²	? ²
p ¹	?	?	?	?	?
m ¹	?	?	?	?	?
O ₂	? ²	? ²	? ²	? ²	—
KMnO ₄ -Verbrauch mg/l	?	—	?	?	?
N ₂ O ₅ (N ₂ O ₃ u. NH ₃ qualitativ) ² . .	?	?	?	?	?

b) Berechnet (aus vorstehenden Werten):

Ges.-Härte (d. ⁰) aus CaO+MgO . .	?	?	?	?	?
NaOH	—	?	?	?	?
Na ₂ CO ₃	—	?	?	?	?
NaOH+Na ₂ CO ₃ als ges. Na ₂ CO ₃ . .	—	—	—	?	?
Na ₂ SO ₄	—	?	?	?	?
Ges. Na ₂ CO ₃ : Na ₂ SO ₄	—	—	—	?	?

¹ p, m: ccm $\frac{n}{10}$ HCl, die zur Titration von 100 ccm Wasser erst mit Phenolphthalein (p) bis zum Farbumschlag und dann mit diesem zusammen nach erfolgtem Zusatz Methyl-orange (m) bis zum zweiten Farbumschlag verbraucht werden.

² Nur bei besonderen Proben zu bestimmen.

c) Ferner anzugeben:

	Roh- wasser	Kon- densat	Enthär- tetes Roh- wasser	Speise- wasser	Kessel- inhalt
Aussehen des Wassers	?	?	?	?	?
Art der Wasserreinigung	—	—	?	—	—
Temperatur im Reiniger	—	—	?	—	—
Wassermenge des ganzen Betriebes cbm/Std.	?	?	?	?	—
Desgleichen in %	?	?	?	?	—
Kesseltype, aus der die Kesselwasser- probe entnommen wurde	—	—	—	—	?
Kesselbaujahr	—	—	—	—	?
Sind Nietlochrisse gefunden worden	—	—	—	—	?
Sind Korrosionen im Kessel vor- handen	—	—	—	—	?
Kesseldruck	—	—	—	—	?
Kesselleistung kg H ₂ O je qm/Std.	—	—	—	—	?
Kesselheizfläche qm	—	—	—	—	?
Wird ein Kesselanstrichmittel ver- wendet?	—	—	—	—	?
Wenn ja, welches?	—	—	—	—	?

Merksätze. für Speisewasseraufbereitung.

a) Die Erwärmung des Kessel Speisewassers erfolgt während — beim Permutitverfahren nach — der Enthärtung, auf mindestens 70—80° C.

b) Der Sauerstoffgehalt im Dampf wird auf höchstens 5 mg/l = 3,5 ccm/l niedergeschlagenen Dampfkondensates begrenzt.

c) Der Kohlensäuregehalt im Dampf wird auf höchstens 35 mg/l niedergeschlagenen Dampfkondensates begrenzt.

d) Damit die Alkalität des Kesselwassers eine Schutzwirkung gegen Anfressungen ausübt, wird die Natronzahl eingehalten.

e) Natronzahl = $\frac{\text{Soda}}{4,5} + \text{Ätznatron}$ (in mg/l) = 400 — 2000.

f) Bei Einhaltung der Natronzahl sind Anreicherungen des Kesselwassers bis zu 4 g/l Chlorid (Cl), 1,5 g/l Nitrat (N₂O₅) und 8 g/l Sulfat (SO₃) zulässig.

g) Die Höchstgrenze für den Gesamtgehalt an gelösten Salzen im Kesselwasser liegt bei 20 g/l entsprechend 2° Bé.

h) Ergibt die chemische Untersuchung des Kesselwassers einen Verbrauch von 1,5 g Kaliumpermanganat, so ist das Maximum der Konzentration erreicht und der Kesselinhalt wird verdünnt oder erneuert.

i) Die Härte des Kesselwassers (Resthärte) wird unter 2° d. H. gehalten.

k) Der Öl- oder Fettgehalt im Kesselwasser wird auf höchstens 5 mg/l begrenzt.

Anmerkung.

5. Um Verwechslungen zu vermeiden, ist im Anhang Anlage 1) ein Verzeichnis enthalten, in welchem alle vorstehend behandelten chemischen Elemente, Salze, Säuren und Gase, sowie deren chemische Bezeichnungen aufgeführt sind.

XV. Schutz gegen Rostschäden.

1. Rostschäden an Dampfkesseln und Rohrleitungen treten als gleichmäßige Oberflächenanrostungen oder als örtliche Anfressungen (Korrosionen) an der Innen- oder Außenseite der Eisenteile während des Betriebes oder beim Stillstand der Anlagen auf. Die Forschungen haben ergeben, daß Lösungen von Salzen bzw. Alkalien eine ganz bestimmte Einwirkung auf Eisen zeigen.

Gruppe A. Die Einwirkung auf das Eisen nimmt zunächst mit steigender Konzentration etwas ab, wird dann stärker bis zu einem Maximalwert (kritische Konzentration), fällt von jetzt sehr rasch ab, ohne jedoch völlig zu verschwinden.

Zu dieser Gruppe gehören fast sämtliche Neutralsalze, z. B. Chloride, Sulfate und Nitrate von Kalk, Magnesium und Natrium.

Gruppe B. Die Lösungen verhalten sich im allgemeinen wie bei Gruppe A; jedoch fällt nach Erreichen der kritischen Konzentration die angreifende Wirkung auf Eisen außerordentlich rasch ab und erreicht dann einen Wert, bei dem jeder Rostprozeß aufhört (Schwellenwert der Konzentration).

Zu dieser Gruppe gehören Lösungen von Soda, Pottasche, Ätznatron, Ätzkali, essigsäurem Natrium sowie die Salze der Sauerstoffsäuren, insbesondere Chromat und Chlorat.

Soweit die Rostschäden durch chemische Einwirkungen der Speisewässer, deren Salze, Gase und Säuren während des Betriebes hervorgerufen werden, sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen im vierten Teil Abschnitt XI—XIV aufgeführt.

Gegen elektrolytische Einwirkungen schützt man sich durch Beseitigung des schadenbringenden Stromüberganges auf elektrischem Wege.

2. Anrostungen treten seltener im Dampfraum und in den Dampfleitungen, häufiger unterhalb des Wasserspiegels in Obertrommeln, öfter auch in Untertrommeln, Siederöhren, Kesselmänteln und Kesselböden auf. Sie entstehen in der Regel nicht während des Betriebes, sondern unmittelbar nach Beendigung oder Verringerung des Wasserumlaufes durch die angreifende Wirkung des Kessel- und Rohrinhaltes, sowie bei Kesseln, welche für kürzere oder längere Zeit außer Betrieb gestellt werden.

3. Äußere Anrostungen können durch Undichtheiten des Kessels entstehen, weshalb man sich bei Außerbetriebsetzung des Kessels von seinem Zustand überzeugen soll, wie im „Dritten Teil, Abschnitt VIII“ angegeben wurde.

4. Abgestellte Kessel, welche sofort wieder betriebsklar sein müssen, werden mit leicht alkalischem Wasser auf Normalstand aufgefüllt und ausgekocht, bis der Kesselinhalt entgast und entlüftet ist. Hierauf schließt man alle Ventile dicht ab, läßt den Kessel langsam abkühlen und luftleer stehen. Während des Stillstandes prüft man die Höhe des Wasserstandes nach. Treten Änderungen der Wasserspiegelhöhe ein, so sind Ventile oder Kesselteile undicht, und es sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

5. Man kann abgestellte Kessel auch vollkommen bis zum Scheitel des Dampfsammlers mit Wasser anfüllen, das im cbm 4 kg Natronlauge (Ätznatron des Handels) enthält, um sie vor inneren Anrostungen zu schützen, beachte dabei jedoch, daß der Wasserstand vor dem Anheizen auf normale Höhe gebracht wird, wobei etwas Luft einzulassen ist, die später wieder entfernt wird.

Kessel und Rohrleitungen, welche längere Zeit außer Betrieb gestellt sind, schützt man gegen Einfrieren durch Beheizung der Räume oder Isolierung.

6. Kessel, welche längere Zeit außer Betrieb gelangen, können auch entleert und trocken gelegt werden. Sie werden zu diesem Zwecke innen und außen gut gereinigt und durch Abreiben der Wandungen und kräftige Ventilation völlig getrocknet, wobei krummen Röhren, toten Ecken und Wassersäcken ein besonderes Augenmerk zugewandt wird. Alle Anschlußrohrleitungen, Ablaß- und Entwässerungsleitungen werden abgenommen. Die Ventile werden ebenfalls abgenommen und überholt, da die Dichtflächen und Dichtungen durch langen Stillstand leiden.

7. Zur Absorbierung der Feuchtigkeit pflegt man in die Trommeln abgestellter Kessel Schalen mit Chlorkalzium zu hängen. Zur Absorbierung des Luftsauerstoffes können brennende Holzkohlen eingebracht werden. Die Gefäße sollten vom Mannloch aus erreichbar sein. Das brennende Holzkohlenfeuer sollte einen solchen Abstand von der Kesselwandung haben, daß deren unzulässige Erwärmung ausgeschlossen ist. Die Schalen für Chlorkalzium werden nur halb gefüllt und sind so groß bemessen, daß ein Überlaufen des später flüssig werdenden Chlorkalziums ausgeschlossen ist. Nach Einführung der Schalen werden die Mannlöcher geschlossen. Nach Verlauf eines Monats, später in längeren Zeitabständen bis zu 3 Monaten, sollten die Einsätze erneuert werden. Der gute Erfolg auch dieser Methode ist ebenfalls abhängig von der absoluten Dichtigkeit der Kesselarmaturen.

8. Ein leichter Anstrich trockener Kesselwandungen mit Firnis oder Graphit und Zementmilch hat sich bewährt, doch ist zu beachten, daß ein starker Anstrich wärmeisolierend wirkt.

Fünfter Teil.

XVI. Erfahrungen mit Dampfüberhitzern.

1. Um einen möglichst betriebssicheren Überhitzer mit erstklassigem Rohrmaterial und zuverlässigen Sammelkästen zu erhalten, pflegen die Betriebe der VGB den Werkstoff der Überhitzer nach den Richtlinien der VGB zu bestellen und abnehmen zu lassen (siehe I. Teil II. Abschnitt Absatz 1).

2. Bei der wagerechten Anordnung hat sich der Vorteil einer leichten Füllung und Entwässerung bestätigt. Dagegen brennen bei dieser Anordnung die Schellen — wenn die Rohre aufgehängt sind — leicht durch, was ein Verbiegen der Rohre zur Folge hat und zu Undichtheiten an den Einwalzstellen, sowie zum Aufliegen des Überhitzers auf den Siederohren führen kann. Man verwendet daher an Stelle der Schellen auch gußeiserne Hohlbalken mit Luftkühlung zur Unterstützung des Überhitzers.

3. Bei der senkrechten Anordnung hat man außer dem Vorteil des leichteren Aus- und Einbaues auch eine geringere Verschmutzung durch Ruß und Flugasche und damit auch eine Verminderung der Gefahr, daß die Rohre durch schwefelhaltige Rückstände angegriffen werden. Da sie von oben in den Heizstrom eingehängt werden, so können keine Schellen oder Halteisen verbrennen. Die unbequemere Entwässerungsmöglichkeit hat sich jedoch als ein Nachteil herausgestellt.

4. Wo eine einwandfreie Umleitung der Rauchgase beim Anheizen des Kessels nicht vorhanden ist, füllt man den Überhitzer mit Wasser und verbindet ihn dampfseitig mit dem Kessel.

5. Die Füllung des Überhitzers erfolgt in den meisten Fällen durch eine mit dem Wasserraum des Kessels verbundene Füllleitung. Dieses Wasser kann jedoch neben Schlammteilchen Salze enthalten, die eine Verschmutzung der Rohre und der Kammern hervorrufen können. Man ist daher bestrebt, die Schlangen möglichst gründlich zu entleeren, gegebenenfalls kann die Füllung des Überhitzers mit Speisewasser aus der Speisedruckleitung

erwogen werden. Eine Verschmutzung des Überhitzers kann weiter eintreten durch Mitreißen von Wasser, durch Überkochen bei hohem Wasserstand oder durch Schäumen des Kesselwassers. Die in demselben enthaltenen Bestandteile können zu Rohrverstopfungen, sowie zu Korrosionen und Undichtheiten sowie Rohrausglühen Veranlassung geben.

6. Am Absperrventil der Fülleitung werden manchmal Undichtheiten wahrgenommen, wodurch dann während des Betriebes dauernd Kesselwasser in den Überhitzer eintritt. Es hat sich als sehr zweckmäßig herausgestellt, in die Fülleitung 2 Absperrventile und dazwischen ein Probierventil zur Feststellung solcher Undichtheiten einzubauen.

7. Ein regelmäßiges tägliches Abblasen von Ruß und Flugasche durch Prebluft oder Heißdampf brachte wärmewirtschaftliche Vorteile. Bei Benutzung von Heißdampf zum Abblasen beginnt man mit dem Abblasen erst dann, wenn die Zuleitung vollständig entwässert ist, da sonst ein Zusammenbacken der Verbrennungsrückstände eintreten kann.

8. Anfressungen in den Überhitzerschlangen haben ihre Ursache in Materialfehlern und neben den bereits genannten Salzen des Kesselwassers hauptsächlich im Sauerstoff und in der Kohlensäure des Dampfes. Sie entstehen aber auch bei Stillstand des Kessels durch undichte Ventile. Ventile mit Kegeln und Sitzen z. B. aus nichtrostendem (V_2A) Stahl gewährleisten eine gute Abdichtung.

9. Es empfiehlt sich, die Einwalzstellen der Überhitzerrohre in den Sammelkästen vor der Berührung mit heißen Rauchgasen zu schützen entweder durch eine isolierende Schutzschicht aus Mauerwerk oder durch Asbestmanschetten.

10. Außer mit einem Sicherheitsventil rüstet man die Überhitzer auch mit einem Thermometer aus, da erhebliche Überschreitungen der normalen Dampftemperatur zu Schädigungen empfindlicher Turbinen geführt haben. Um den Grad der Verschmutzung eines Überhitzers und damit einen hohen Druckabfall in demselben rechtzeitig zu erkennen, ist die Anbringung eines Zwischenmanometers vor dem Überhitzer von Vorteil gewesen.

11. Bei Neuanlagen ist es häufig vorgekommen, daß zu hohe Überhitzungstemperatur als Folge einer zu großen Überhitzer-

heizfläche aufgetreten ist. In diesem Falle hat man die Überhitzerfläche durch Abmauerung oder Beseitigung einiger Überhitzerrohre verkleinert. Eine weitere Regelung der Überhitzungstemperaturen wird mit Klappen und Schiebern erreicht, doch kommen diese Regler in der Hauptsache nur für Flammrohrkessel in Frage. Die bei Wasserrohrkesseln übliche Regelung erfolgt entweder durch Rückkühlung des überhitzten Dampfes durch Kühlrohre, welche im Wasserraum des Oberkessels liegen, oder durch Zusatz von Sattdampf zu dem höher erhitzten Dampf durch ein Mischventil. Neuerdings wird auch durch ein Düsenventil Kondenswasser zur Abkühlung des zu hoch überhitzten Dampfes in die Rohrleitung eingespritzt. Die Einrichtungen haben sich im allgemeinen noch nicht genügend bewährt und haben außerdem den Nachteil, daß dadurch eine zu hohe Überhitzung der Rohrschlangen des Überhitzers nicht beseitigt wird.

XVII. Erfahrungen mit Abgasspeisewasser-Vorwärmern (Economiser).

1. Trotzdem die Werkstoffqualität der gußeisernen Vorwärmer in den letzten Jahren wesentlich verbessert wurde, hat es sich als nützlich erwiesen, bei Bestellungen die Richtlinien der VGB für „Werkstoff und Bau von Abgasspeisewasservorwärmern“ zugrunde zu legen.

2. Den Vorwärmer versieht man mit Thermometern für Wasserein- und -austritt sowie mit einem Manometer mit Schleppzeiger, so daß der höchste aufgetretene Betriebsdruck jederzeit festgestellt werden kann. Unregelmäßigkeiten im Speisepumpenbetrieb oder im Vorwärmer selbst sind hierdurch am besten zu ermitteln. Für Messung der Rauchgasein- und -austrittstemperaturen empfiehlt es sich, ebenfalls Meßstellen vorzusehen.

3. Die niedrigste Wassertemperatur, mit der der Vorwärmer zur Vermeidung von äußeren Anrostungen gespeist wird, ist abhängig von dem Feuchtigkeitsgehalt der Rauchgase. Sie beträgt fast niemals weniger als 40° C; bei Betrieb mit Braunkohlen erhöht man diese Mindesttemperatur je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Kohle bis auf etwa 70°.

4. Das Schwitzen des außer Betrieb befindlichen Vorwärmers verhindert man am besten dadurch, daß das Zuschalten der Gase

auf den Vorwärmer erst erfolgt, nachdem die Feuerung in gutem Gang ist. Dies gilt für solche, die Umgehungskanäle für die Rauchgase haben und besonders bei Verfeuerung von Rohbraunkohle.

5. Sicherheitsventile mit Hebel und Gewicht haben sich gut bewährt. Sie werden etwa 25 % höher eingestellt als der Betriebsdruck des Kessels beträgt. Die Abläufe der Sicherheits- und Abbläbventile werden so angeordnet, daß Undichtheiten jederzeit bemerkt werden. Außerdem erhalten sie einen sichtbaren Auslauf mit Trichter und mit besonderem Ablaufrohr. Sicherheitsventile sind während der Füllung des Vorwärmers zu lüften.

6. Um Wasserschläge, Undichtheiten an Sammelkästen, Konussen und Putzlochdeckeln zu vermeiden, hält man den Speiseleitungsdruck stets einige Atmosphären über dem Kesseldruck.

7. Absperrorgane in der Speiseleitung werden langsam geöffnet und geschlossen. Zugklappen, die an der Eintrittsstelle der Rauchgase in den Vorwärmer eingebaut sind, werden stets vollständig offen gehalten und die Zugstärke im allgemeinen am Vorwärmeraustritt reguliert. Die Zugklappen erhalten eine Feststellvorrichtung mit der Bezeichnung „Auf — Zu“.

8. Treten an Verschlüssen, Dichtungen und Walzstellen Undichtheiten auf, so werden die beschädigten Elemente abgeblindet, und es wird dafür Sorge getragen, daß möglichst kein Speisewasser an die Ober- oder Unterteile sowie an die Heizrohre gelangt; man pflegt jedoch mit solchen abgeblendeten Elementen nicht lange weiterzufahren, da sonst ein rasches Zerfressen und Unbrauchbarwerden dieser Teile eintritt. Durch Eindringen von Wasser in die Flugaschenablagerungen entstehen nach kurzer Zeit zementartige feste Krusten, welche sich an den Heizflächen festsetzen und dann nur mühsam entfernt werden können.

9. Die Schabereinrichtung läßt man teils dauernd, teils täglich einige Stunden laufen; ein Dauerbetrieb ist in der Regel nicht notwendig.

Je nach den vorliegenden Zugverhältnissen und der Beschaffenheit des Brennstoffes nimmt man schon bei der Einmauerung des Vorwärmers auf die Reinigungsmöglichkeit der Rohre Rücksicht; das Ausblasen von Flugasche erfolgt mit Heißdampf oder Preßluft, wobei der Zug verstärkt wird.

10. Der Vorwärmer muß von Zeit zu Zeit einer gründlichen äußeren und inneren Reinigung unterzogen werden. Die Laufzeit des Vorwärmers ist ebenso wie beim Kessel je nach der Beschaffenheit des Brennmaterials und des Speisewassers verschieden. Die Regeln für Kesselreinigung (Dritter Teil, Abschnitt V) gelten auch für Vorwärmer.

11. Das Nacharbeiten der konischen Öffnungen für die Putzlochdeckel geschieht mit Vorsicht, um Risse in den Oberteilen zu vermeiden.

12. Beim Einbringen von gußeisernen Ersatzrohren in Röhrenelemente verlangt die Bearbeitung und das erforderliche Nachstemmen der hierfür benötigten Stemmringe besondere Aufmerksamkeit. Nach den bisherigen Erfahrungen können bei einem Betriebsdruck des Vorwärmers von 16 Atm. im 8röhrigen Element höchstens 2 Ersatzrohre, bei einem 10röhrigen Element höchstens 3 Ersatzrohre ohne Schwächung der Haltbarkeit des Elementes eingezogen werden.

13. Die Aufrechterhaltung einer möglichst gleichmäßigen Speisewassertemperatur im Vorwärmer verringert die mechanischen Beanspruchungen von Material und System. Dies kann durch vorsichtiges Speisen erreicht werden. Der Speiseregler wird daher in der Regel zwischen Speisedruckleitung und Vorwärmereintritt angeordnet. Beim Abschluß des Speisereglers bleibt dann die Verbindung des Vorwärmeraustrittes mit dem Kessel offen, so daß ein etwaiger Überdruck im Vorwärmer nach dem Kessel entweichen kann.

14. Bei der Herstellung der Einmauerung ist zu beachten, daß eine gute Zugänglichkeit zur Reinigung und Untersuchung der beheizten Vorwärmerteile ermöglicht wird. Die Unterteilung der Heizflächen in Einzelgruppen kann zu diesem Zweck empfohlen werden. Große Einsteigtüren oder abnehmbare Blechwände erleichtern die Zugänglichkeit. Steht der Vorwärmer über dem Rauchkanal oder über tiefen Flugaschentrichtern, so bringt man geeignete Auflagen, Unterzüge oder Roste an, auf welchen das Reinigungspersonal zum gefahrlosen Einstieg einen Dielenbelag errichten kann.

15. Über die Behandlung des Vorwärmers beim Anheizen und Abstellen des Kessels siehe zweiter Teil, Abschnitt IV.

XVIII. Erfahrungen mit Kesselspeisepumpen.

1. Die Größe und Anzahl der Kesselspeisepumpen hat den allgemeinen polizeilichen Bestimmungen des Bundesrates (siehe I. Teil, Abschnitt I, b und c) zu entsprechen, wonach für jeden Kessel zwei voneinander unabhängige Speisevorrichtungen vorhanden sein müssen, welche nicht von der gleichen Antriebsvorrichtung abhängig sind, z. B. Transmissionsantrieb, Dampf-antrieb, Motorantrieb.

Die Leistung der Kesselspeisepumpen ist so zu bemessen, daß jede der beiden Speiseeinrichtungen die doppelte Wassermenge der normalen stündlichen Verdampfungsleistung des Kessels liefert.

2. Sind mehrere Kessel vorhanden, so kann die Pumpenleistung für die gemeinsame Dampfleistung der sämtlichen Kessel berechnet werden (ohne Abzug der Reservekessel).

In Dampfanlagen, welche über eine größere Anzahl Kessel verfügen, empfiehlt sich die Unterteilung der erforderlichen, vorgeschriebenen Pumpenleistung in mehr als zwei Sätze.

Sind die Kessel in mehreren Kesselhäusern untergebracht, so erhält in der Regel jedes Kesselhaus die der eingebauten Gesamtheizfläche entsprechende Pumpenleistung zugeteilt.

In diesem Fall umfaßt die Pumpenleistung: Zwei mit verschiedenartiger Antriebsweise arbeitende Pumpengruppen, in der Einzelleistung beliebig unterteilt, wovon jede eine Gesamtleistung liefert, welche mindestens der doppelten Normalleistung der Gesamtheizfläche des zugehörigen Kesselhauses entspricht.

3. Wenn mehrere Pumpengruppen in verschiedenen Kesselhäusern vorhanden sind, empfiehlt sich ihre Verbindung durch eine Haupt-Speisedruckleitung, so daß die Pumpen des einen Kesselhauses auch auf die Kessel der anderen Kesselhäuser arbeiten können.

4. Die Erfahrungen unserer Betriebe gehen dahin, daß dampfangetriebene Pumpen in bezug auf Betriebssicherheit anderen Antriebsarten vorzuziehen sind.

5. Kolbenpumpen finden nur noch in Betrieben kleineren Umfanges Verwendung. Die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten sind erheblich und der ölhaltige Abdampf nicht angenehm.

Der bessere Wirkungsgrad wird durch diese Nachteile aufgewogen.

6. Zentrifugalpumpen werden infolge des geringen Platzbedarfes, der großen Betriebssicherheit und der einfachen Bedienung halber allgemein bevorzugt.

Für den Antrieb der Zentrifugalpumpen kommt entweder die Kleinturbine oder der Elektromotor in Betracht. Die Dampfturbopumpe hat gegenüber der elektrisch angetriebenen Pumpe neben der völligen Unabhängigkeit vom elektrischen Netz den Vorteil der größeren Wirtschaftlichkeit, sofern der Abdampf zur Speisewasservorwärmung verwendet wird.

Die elektrisch angetriebenen Pumpen werden bei Störungen im elektrischen Teil der Hauptanlage unangenehm beeinflußt. Ist dagegen eine besondere Hausturbine für die Hilfsantriebe vorhanden, so fällt dieser Nachteil fort. Die Elektropumpe hat den Vorteil der geringeren Wartung und Unterhaltung im Antriebsteil. Diese Pumpen fallen infolge der geringeren Tourenzahl des Elektromotors größer aus.

7. Direkt gekuppelte Motoren mit möglichst hoher Umdrehungszahl sind zu empfehlen. Häufig werden bei größeren Motoren Rollenlager angeordnet. Gekapselte Motore sind selten notwendig. In dampfswadenfreien, gut gelüfteten Räumen kommt man mit offenen Motoren ohne besonderen Schutz aus. Sonst sind Motoren mit Feuchtigkeitsschutz oder ventiliert gekapselte vorzuziehen. Mit Rücksicht auf mögliche Stromunterbrechungen ordnet man Schaltapparate mit Maximal- und Minimalauslösung an.

Die Speisewasserregelung ist bei elektrischem Pumpenantrieb wegen der konstanten Umdrehungszahl mit Schwierigkeiten verknüpft.

Die Regulierung der Pumpenleistung bzw. des Pumpendruckes erfolgt neuerdings durch ein Ventil, welches an einer Verbindungsleitung zwischen Saug- und Druckstutzen angeordnet ist und durch den Pumpendruck gesteuert wird, derart, daß die überschüssige Leistung in den Saugraum der Pumpe zurückgefördert wird.

Die Einrichtung einer sogenannten Umlaufleitung zwischen Saug- und Druckleitung, wenn auch nur mit Handregulierung durch ein Ventil, hat sich in den meisten Fällen bewährt.

Die Regulierung des Pumpendruckes und der Leistung kann auch durch Verminderung der Umdrehungszahl des Motors mittels Regulieranlasser erfolgen.

8. Dampfانgetriebene Turbinen-Speisepumpen mit etwa 4000 Umdrehungen in der Minute werden wegen ihrer Betriebssicherheit bevorzugt. Wegen der leichteren Reparaturmöglichkeit ist getrennte Bauart, Turbine und Pumpe durch Kupplung verbunden, erwünscht. Die Schnellschlußventile dieser Antriebsturbinen bedürfen jedoch sehr sorgfältiger Wartung und werden in gleich großen Zeiträumen wie bei den Hauptturbinen geprüft und nachgesehen.

Druckregler, die den Pumpendruck in der gewünschten Höhe über dem Dampfdruck konstant halten, sind in allen Fällen erforderlich, damit der Pumpendruck bei niedriger Leistung nicht zu hoch ansteigt.

9. Überdruckablaufventile, welche auf einen Differenzdruck über den jeweiligen Dampfdruck eingestellt werden, sind nicht beliebt.

Der Einbau von Rückschlagklappen unmittelbar hinter den Druckstutzen der Pumpen wird bei jeder Kesselspeisepumpe, gleich welcher Bauart, empfohlen.

10. Der Abdampf der dampfangetriebenen Kesselspeisepumpen wird allgemein aus wärmewirtschaftlichen Gründen zur Vorwärmung des Speisewassers verwendet oder zu Heiz- und Kochzwecken ausgenützt.

11. Mit Rücksicht auf die sehr wertvolle Speisewasservorwärmung durch Regenerativ- und andere Verfahren haben die Kesselspeisepumpen in einigen Anlagen heißes Wasser zu fördern und sind dafür gebaut.

Die Saugleistung der Pumpen nimmt bei Erwärmung des zu saugenden Wassers in folgender Weise ab:

Wassertemperatur in °C .	0	20	40	60	75
Größte Saughöhe in m . .	6,4	5,8	4,7	2,3	0

Aus Gründen der Betriebssicherheit und mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit der Saugleitungen gegen Lufteintritt, auch um den Zutritt des Luftsauerstoffes in das Speisewasser zu verhindern, werden die Kesselspeisepumpen gewöhnlich so angeordnet, daß das Speisewasser den Pumpen unter einem gewissen Überdruck zuläuft.

Bei heißem Wasser ist hierfür folgende Mindestzulaufhöhe erforderlich.

Wassertemperatur °C	90	100	110	120	130	140
Zulaufhöhe in m.	2	4	6	8	10	12

Diese Zulaufhöhen können verringert werden, wenn der Durchmesser der Zulaufleitung zur Pumpe genügend groß gewählt wird.

Zur Beobachtung der richtigen Arbeitsweise der Pumpen baut man auf der Saugseite ein Vakuummeter und ein Thermometer, auf der Druckseite ein Manometer ein. An regelbaren Zentrifugalpumpen findet man Tourenzähler eingebaut.

12. Bei Betrieb der Pumpen mit heißem Wasser ist zu beachten, daß die Lager mit einer für hohe Temperaturen geeigneten Schmierölführung und gegebenenfalls mit Lagerkühlung versehen werden. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk dem Umstande zuzuwenden, daß Öl und Wasser nicht miteinander in Berührung kommen dürfen.

Bei Zentrifugalpumpen, welche mit stark alkalischen Speisewässern betrieben werden, bewährten sich gußeiserne Lauf- und Leiträder; bei chemischen oder elektrolytischen Anfressungen wurde mit Erfolg eine Phosphorbronzelegierung mit hohem Kupfergehalt (z. B. 86% Kupfer, 11% Zinn, 2% Zink, Rest Phosphor u.s.w. 1%) neben den im vierten Teil, Abschnitt XI—XV aufgeführten Hilfsmitteln für die Beseitigung der Angriffseigenschaften des Speisewassers, angewandt.

13. Pumpen, welche an eine Zulaufleitung angeschlossen sind, werden mit Entlüftungsventilen versehen.

XIX. Erfahrungen mit Rohrleitungen.

a) Rohrleitungen im allgemeinen.

1. Für die Abmessungen der Rohrleitungen und Verbindungen gelten sowohl die Normalien des V.D.I. der Rohrleitungen für hohen Druck vom Jahre 1912 als auch die Deutschen Industrienormen (Dinorm) vom Jahre 1920. Daneben hat es sich in allen Betrieben bestens bewährt, die zuverlässige Beschaffenheit jedes einzelnen Rohres nach den „Richtlinien für Werkstoff und Bau von Hochleistungs-dampfkesseln“ der VGB prüfen zu lassen. Für Ventile und gegossene Formstücke verwendet man bei Drucken über 15 Atm. allgemein Stahlguß.

2. Bei der Wahl der Lichtweite der Rohrleitungen ist darauf zu achten, daß sich Dampf und Wasser mit nicht zu hoher Geschwindigkeit fortbewegen. An Stelle sehr großer Rohrdurchmesser werden häufig Doppelleitungen mit geringeren Durchmessern angewendet. 350 bis 400 mm l. W. werden als Grenzfälle angesehen. Bögen mit glatten Rohren werden mit einem Radius von mindestens dem fünffachen Rohrdurchmesser ausgeführt. Anschlußleitungen an die Hauptdampfleitung münden in diese nicht senkrecht, sondern werden nach Möglichkeit in einem spitzen Winkel an die Hauptleitung angeschlossen. Diese Ausführung ist natürlich nur bei Dampfströmung in einer Richtung möglich. Müssen Leitungen senkrecht abgezweigt werden, so werden keine scharfkantigen T-Stücke verwendet, sondern kugelförmige oder solche mit stark abgerundeten Ecken. Die Rohrleitung verlegt man mit leichtem Gefälle in der Strömungsrichtung. Bei Querschnittsübergängen in der Leitung werden lange konische Übergangsstücke verwendet. Steigung des Konus möglichst 1 : 10.

Doppelleitungen werden vielfach angewendet aus Gründen der Betriebssicherheit, damit Leitungsreparaturen während des Betriebes der Anlagen ausgeführt werden können.

b) Dampfrohrleitungen.

3. Die Rohrleitungen erhalten eine genügende Anzahl Auflagerstellen (Rollenslager) und die nötigen Festpunkte. Zwischen diesen Festpunkten der Rohrleitung baut man wirksame Wärme-Ausgleichvorrichtungen ein. Anwendung finden: Flach- und Wellrohrfederbögen und Stopfbüchsendehnungsrohre. Einfach-Kompensationsbögen in Lyraform mit genügend großer Ausladung werden bevorzugt.

4. Flanschverbindungen. Neuerdings werden neben den glatten bzw. Nut- und Federverbindungen bei hohen Drucken Flanschenverbindungen mit Vor- und Rücksprung bevorzugt. Die Abmessungen der Flanschverbindungen sind in den vom Normenausschuß des V.D.I. herausgegebenen Normenblättern einheitlich festgelegt.

Flanschverbindungen für Kesselbetriebe wurden früher nur durch Einwalzen der Rohre in die Flanschen befestigt. Die Eindrehung des Flanschenhalses, das Umbördeln des Rohrendes, die

Vernietung oder Verschweißung des Flanschenhalses mit dem Rohr erhöhen die Festigkeit der Flanschverbindung gegen Abstreifen. Bei Walzflanschen für Dampfrohre von 200 mm/1 Durchmesser an aufwärts und höheren Betriebsdrücken greift man zu einer Sicherung gegen das Abgleiten. Das alleinige Aufschweißen von Flanschen auf die Rohre ist für Kesselanlagen nicht empfehlenswert, da die Schweißstelle bei Schadhafwerden ohne vorherige Anzeichen zu Bruch gehen kann.

Bei aufgenieteten Flanschen ist zu beachten, daß die im Innern des Rohres liegenden Nietköpfe tadellose Beschaffenheit besitzen. Die Flanschflächen müssen parallel liegen. Mit Rücksicht auf die Wärmedehnung achtet man darauf, daß Flanschverbindungen bei der Montage nicht mit Spannung eingebaut werden. Die Verwendung von Stahlschrauben für Flanschverbindungen ist empfehlenswert; in wichtigen Dampfrohrleitungen verwendet man keine anderen Schrauben. Als Dichtungen verwendet man zweckmäßig für Dampfdrücke bis 20 Atm. und Dampftemperaturen bis 350° Klingertringe oder Kupferwellblechringe mit Asbesteinlage. Für höhere Dampftemperaturen haben sich Dichtungen aus nichtrostendem Stahl oder Nickel mit Asbesteinlage in einigen Anlagen bewährt.

5. Entwässerung. Bei Dampfleitungen schafft man an jeder tiefsten Stelle der Rohrleitung eine Möglichkeit für die Abführung des Kondensates und das Ausblasen der Leitung. Dabei gilt als Grundsatz, die Leitung so anzuordnen, daß man mit möglichst wenig Kondenstöpfen auskommt. Jeder Kondenstopf gibt Anlaß zu Wärmeverlusten. Um den Kondenstopf prüfen zu können, empfiehlt es sich, die Kondenswasserableitungen getrennt zu führen. Da es sich stets um reines Kondenswasser handelt, wird man es in die Speiswasserbehälter zurückleiten. Eine Einrichtung zur Prüfung der Arbeitsweise von Kondenstöpfen ist empfehlenswert. Für hochüberhitzten Dampf sind nur Kondenstöpfе mit geschlossenem Schwimmer brauchbar. Auch hier ist die Ausrüstung des Kondenstopfes mit V_2A -Dichtungen von Nutzen.

6. Auspuffleitungen werden ebenfalls am tiefsten Punkt entwässert. Wegen des starken Geräusches des Auspuffs bauen die Betriebe am oberen Ende der Auspuffleitungen einen Schalldämpfer ein.

7. Kann das Kondensat dem Speiswasserbehälter nicht direkt zulaufen, so benutzt man zu seiner Rückführung selbsttätig wirkende Kondenswasserrückleiter oder Kondenswasserpumpen. Die Kon-

denswasserrückleiter sind gegen heißes Kondenswasser unempfindlich. Bei Anwendung von Kondenswasserpumpen führt man zweckmäßigerweise sämtliches Kondenswasser einem Sammelgefäß zu.

Um bei Störungen an den Kondenswasserrückführleitungen den Betrieb weiterführen zu können, empfiehlt sich der Einbau von freien Entwässerungen.

8. Wasserabscheider. In größeren Hauptdampfleitungen ordnet man ausreichend große Wasserabscheider an. Beim Anwärmen der Rohrleitung entsteht oft sehr viel Kondensat, welches der selbsttätige Kondenswasserableiter nicht mehr zu bewältigen vermag und das zweckmäßig durch eine vom Maschinisten zu betätigende Hilfsdampfleitung abgeführt wird.

Auch an den Enden von Rohrleitungssträngen werden vielfach Wasserabscheider eingebaut; hierbei dienen die Wasserabscheider gleichzeitig als Fixpunkte für die Rohrleitungen. Mit Rücksicht auf die starke Inanspruchnahme in Störungsfällen werden die Wasserabscheider in kräftigster Ausführung gebaut. Stark dimensionierte Anschlußstutzen und zuverlässige Schweißnähte sind Hauptbedingung für die Betriebssicherheit. Selbst nachträgliche Sicherung leicht gebauter Wasserabscheider können empfohlen werden. Nach innen gewölbte Böden haben in einzelnen Fällen versagt. Bei den nach außen gewölbten Böden ist auf ausreichend großen Krepfenradius zu achten.

In Anlagen, bei welchen infolge stoßweiser Belastung die Gefahr des Wassermitreißen in Hauptdampfleitungen vorliegt, befinden sich Wasserabscheider mit Einrichtungen zur automatischen Ausscheidung des Wassers durch Änderung der Strömungsrichtung mit Erfolg in Betrieb.

9. Armaturen. Die Verwendung von Dampfventilen ist wegen des großen Druckverlustes nicht ratsam, obgleich sie gegenüber Dampfschiebern manche Vorteile besitzen. Dampfschieber haben sich gut bewährt, weil sie den ganzen Rohrquerschnitt ohne Richtungsänderung freigeben und somit kaum Druckverluste verursachen. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Schieber im geöffneten Zustande den Rohrquerschnitt tatsächlich freigeben und alle Teile der Einwirkung des strömenden Dampfes entzogen werden.

Dichtungsflächen von Ventilen und Schiebern aus V_2A -Stahl, Reinnickel und Nickelbronze haben sich gut bewährt, desgleichen Schieber mit entlasteten Sitzflächen.

10. Um bei Dampfrohrbrüchen die Dampfzufuhr schnell unterbrechen zu können, werden heute auch Schnellschlußventile eingebaut. Ihre Betätigung erfolgt entweder durch einen Elektromotor oder durch ein Fallgewicht. Von schnellster Wirkung ist eine elektrische Druckknopfschaltung für die Einschaltung der Elektromotoren von verschiedenen Stellen der Anlage aus. Zu beachten ist, daß besonders bei Rohrbrüchen große einseitige Drücke entstehen können. Man verlangt daher bei Bestellung derartiger Schnellschlußventile von den Lieferfirmen den rechnerischen Nachweis über die spezifische Flächenpressung; andererseits muß auch die Antriebskraft des Elektromotors bzw. Fallgewichtes genügend hoch gewählt werden.

11. Bei einer Anzahl Betriebe sind zwischen Kessel und Ringleitung Rohrbruchventile eingebaut, welche je nach Lage der Bruchstelle sowohl gegen den Kessel als auch gegen die Hauptleitung zu, durch Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des austretenden Dampfes oder Wassers selbsttätig abschließen. Während früher solche Rohrbruchventile nach erfolgter Auslösung nicht immer sofort wieder geöffnet werden konnten, haben sich neuere Bauarten deutscher Firmen in letzter Zeit bewährt.

XX. Meßinstrumente und Apparate für die Betriebsführung.

1. Zur Erzielung der größtmöglichen Betriebssicherheit von Dampfkesselanlagen und zur Erhöhung ihrer Wirtschaftlichkeit werden dem Kesselpersonal neben den behördlich vorgeschriebenen Betriebsinstrumenten verschiedene zur technischen Untersuchung und Überwachung der Anlagen erforderliche Meßinstrumente und Apparate zur Verfügung gestellt.

Die Zahl derselben richtet sich im allgemeinen nach Größe und Bauart der Kesselanlage.

In der Folge sind die in obiger Hinsicht wichtigsten Meßinstrumente und Apparate aufgeführt.

a) Instrumente für wirtschaftliche Untersuchungen.

2. Rauchgasprüfer. Es sind verschiedene Bauarten, welche auf chemischer, physikalischer oder thermo-elektrischer Grundlage arbeiten, in Verwendung.

Die chemischen Apparate sind von genügender Genauigkeit, haben jedoch eine gewisse Anzeigeverzögerung und erfordern eine tägliche Bedienung. Physikalische und thermo-elektrische Apparate besitzen gute Anzeigegenauigkeit und zeigen schneller an, doch erfordert deren ordnungsmäßige Instandhaltung ein höheres Maß von Sachkenntnis der jeweiligen Vorgänge.

Es empfiehlt sich, den eigentlichen Messer so einzubauen, daß die Saugleitung nach dem Gasraum ansteigt und kurz gehalten wird. Auch sind Gassauger und Filter vorzusehen, die eine schnelle Heranführung der Gase an den Apparat und die Reinigung des Gases bewirken. Es ist von Vorteil die Anzeige durch Fernanzeigeeinstrumente dem Heizer an seiner Arbeitsstelle sichtbar zu machen. Die Verkürzung der Anzeigeverzögerung erhält erhöhte Bedeutung bei der Kohlenstaubfeuerung, weil sich Veränderungen in der Kohlenstaubzufuhr und damit in dem CO_2 -Gehalt der Abgase viel schneller vollziehen, als bei der Rostfeuerung.

3. Dampfmengenmesser. Hierfür kommen Apparate mit Stauscheiben oder Venturirohre in Frage.

4. Die Stauscheibe oder das Venturirohr kann sowohl in der Sattedampfleitung des Kessels vor dem Überhitzer, als auch in der Heißdampfleitung hinter dem Überhitzer eingebaut werden. Man achtet darauf, daß vor und hinter der Stauscheibe oder dem Venturirohr je eine gerade Rohrstrecke von mindestens 1 m Länge anschließt, um die nötige Meßgenauigkeit zu erhalten. Eine absolute Genauigkeit des Dampfmengenmessers am Kessel ist im allgemeinen nicht erforderlich, da die Anzeige des Apparates dem Kesselwärter nur als Anhalt dafür dient, wie hoch sein Kessel belastet ist bzw. wie sich die Belastung ändert. Wird der Heißdampf gemessen, so können Fehler infolge der verschiedenen Heißdampftemperaturen auftreten. Bei Messungen des Sattedampfes wird die Veränderlichkeit der Feuchtigkeit im Dampf nicht berücksichtigt. Da die Mängel bei Messung in der Sattedampfleitung kleiner sind als im anderen Falle, wird im allgemeinen der Einbau des Messers in die Sattedampfleitung bevorzugt.

Auch diese Anzeigeeinstrumente werden zweckmäßig auf der Instrumententafel des Kessels im Gesichtskreis des Kesselwärters angebracht.

5. Speisewassermesser. Bewährt haben sich je nach der Wasserbeschaffenheit und Temperatur: Scheibenwassermesser, Kolben- und Kammerwassermesser, sowie Flügelrad- und Venturiwassermesser.

Mit Rücksicht auf die Reinigungs- und Reparaturbedürfnisse mechanisch arbeitender Wassermesser haben sich in den Großbetrieben Venturiwassermesser mit unbeweglichen Meßorganen gut eingeführt.

6. Die Leistung der Wassermesser wird entsprechend der normalen Dauerleistung des Kessels gewählt, da die Anzeigenauigkeit sowohl bei Überlastung als auch bei zu geringer Leistung wesentlich zurückgeht. Wo zu Berechnungszwecken eine höhere Genauigkeit erforderlich ist, wird bei stark schwankender Belastung die Anordnung zweier Wassermesser mit verschiedener Leistung benutzt, welche parallel oder einzeln betrieben werden können.

Wassermesser, bei welchen die jeweilige Leistungsmenge durch ein Zeigerinstrument ersichtlich gemacht ist, haben in den Betrieben große Verbreitung gefunden. Beim Einbau dieser Messer werden für den Fall zeitweiligen Ausbaus der Apparate Umführungsleitungen vorgesehen.

7. Temperaturmesser. Von Wichtigkeit sind in erster Linie die Feuerraumtemperaturen, welche einen Rückschluß auf den Gütegrad der Verbrennung gewähren und die Abgastemperaturen, welche auf die Wärmeaufnahmefähigkeit des Kessels schließen lassen, sowie die Temperatur des überhitzten Dampfes. Bei Anwendung von Vorwärmern ist die Wasserein- und -austrittstemperatur, bei Lufterhitzern und Kohlenstaubfeuerungen die Messung der Primär- und Sekundärlufttemperatur von Wichtigkeit.

An Instrumenten kommen Quecksilberinstrumente, Thermolemente und Widerstandsthermometer in Frage. Die Meßgenauigkeit der Instrumente ist für den Betrieb genügend gut. Für die Verwendung der Widerstandsthermometer bei Fernübertragung spricht ihre einfache Verbindung mit dem Anzeigerinstrument.

Die Messung der Feuertemperatur ist besonders bei Kohlen mit niederem Aschenschmelzpunkt sehr erwünscht. Bisher sind verlässliche Instrumente, die dauernd anzeigen, nicht vorhanden, dagegen haben sich transportable optische Strahlungspyrometer bzw. thermo-elektrische Pyrometer für Stichproben und Ver-

suche bewährt. Der Einbau der Temperaturmeßinstrumente bedarf einer besonderen Sorgfalt, da sich sonst leicht Meßfehler ergeben. Hervorgerufen wird die Falschanzeige durch Wärmefortnahme oder Abgabe des Instrumentenkörpers von und nach benachbarten Flächen anderer Temperaturen. Ein wirksames Mittel zur Kompensierung der Strahlungsverluste ist in dem Absaugepyrometer gegeben, das aber infolge seiner verwickelten Bauart bisher nur für Versuche verwendet wurde.

8. Bei der ortsfesten Anbringung der Temperaturmeßeinrichtungen ist zu beachten, daß die Meßeinrichtung in den wärmsten Temperaturbereich zu bringen ist, bei Rohrleitungen in die Mitte des Rohrquerschnittes, in Gaszügen an die Stelle der stärksten Strömung. In toten Ecken, Krümmungen und Stellen des Richtungswechsels erhält man leicht unrichtige Angaben.

9. Zug- und Unterdruckmesser. Der Zugmesser soll Aufschluß geben über den Zugverlust im Kessel, über die Rauchgasmenge, die die Feuerung entwickelt und über die zuzuführende Verbrennungsluftmenge. Das einfachste und sicherste Instrument ist das geneigte Glasrohr. Die Nullstellung läßt sich jederzeit nachprüfen. Eine Fehlmessung ist bei richtig eingestelltem Nullpunkt unmöglich. Weniger zuverlässig, aber in mancher Hinsicht bequemer, sind Röhrenfederinstrumente.

Bei der Verwendung der einfachen Differenzzugmesser ist zu beachten, daß größere Schwankungen der Rauchgastemperaturen am Kesselende insofern auf die Anzeigen des Zugmessers von Einfluß sind, als sich die Zugstärke mit der Rauchgastemperatur im Schornstein ändert. Außerdem können bei dieser Messung Fehler durch Verschmutzung des Kessels und Undichtigkeiten im Mauerwerk entstehen. Um von dieser Ungenauigkeit freizukommen, kann man statt des Zuges die Rauchgasmenge selbst erfassen, indem man durch den Druckunterschied vor und hinter einem im Abgaskanal angebrachten Staurand die Rauchgasmenge mißt. Die Messung wird hauptsächlich bei Anlagen, die mit künstlichem Zug arbeiten, angewandt.

10. In Anlagen, die mit Lufterhitzern ausgerüstet sind, kann die Verbrennungsluftmenge selbst gemessen werden. Um die Meßfehler infolge Temperaturschwankungen zu vermeiden, mißt man die kalte Luft vor ihrem Eintritt in die Lufterhitzer. Die Messung der primären Verbrennungsluftmenge, die bei Kohlen-

staubfeuerungen zum Einblasen des Staubes in die Brennkammer nötig ist, kann wegfallen, da sie stets einen bestimmt eingestellten Prozentsatz der genannten Verbrennungsluftmenge darstellt.

Bei Rostfeuerungen mit Unterwind werden Verbund-Differenz-Zugmesser eingebaut, welche die Pressung unter dem Rost und den Unterdruck über dem Rost auf einem gemeinsamen Anzeigement anzeihen.

11. Zugmesser werden so installiert, daß die Instrumente unmittelbar durch je eine Leitung mit dem Meßraum verbunden werden. Leitungsverzweigungen oder Umschaltmöglichkeiten geben Anlaß zu Fehlanzeigen.

12. Automatische Feuerungsregler. Die automatische Regulierung der Feuerung hat namentlich in Anlagen mit mechanischer Rostbeschickung, mechanischer Zuanlage und Kohlenstaubfeuerungen steigende Verbreitung gefunden. Man verwendet mechanische oder elektromechanische Regler, welche die Brennstoffzufuhr in die Feuerung, die Brennleistung des Rostes, die Zufuhr der jeweils erforderlichen Luftmenge in Abhängigkeit von der Dampfantnahme bzw. vom Kesseldruck den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend selbsttätig beeinflussen.

Die Apparate finden bereits Anwendung, sowohl für einzelne der genannten Regelungen, als auch für die gesamte Feuerungsregelung. Ihre Anwendung steigert die Wirtschaftlichkeit der Feuerungsanlage und macht den Betrieb unabhängiger von der Befähigung des Kesselwärters.

Versuche haben gezeigt, daß bei Rohbraunkohlenfeuerungen die völlige Automatisierung des Betriebes z. Zt. kaum wirtschaftlich ist, da nur eine Regelung der Verbrennungsluftzufuhr mit einfacheren Mitteln möglich ist, jedoch die Regelung der Brennstoffzufuhr auf zu große Schwierigkeiten stößt. (Schwankende Beschaffenheit der Kohle, Schichthöhenschieber, Einzelantrieb der Rostbahnen usw.) Auch bei Unterwindbetrieb wird die Regelung der Verbrennungsluftzufuhr schwierig.

13. In Betrieben, in welchen sich eine vollautomatische Regelung als unwirtschaftlich erweist, ist möglicherweise eine teilweise Mechanisierung der Feuerungsanlagen anzuraten, derart, daß jeweils ein Teil der Kesselanlage dauernd mit günstigster Belastung betrieben wird, während der restliche Teil der Kessel die Belastungsschwankungen durch Leistungsregulierung aufzunehmen hat.

14. Eine andere Regulierungsart der Leistungsänderung hat man durch die Anwendung von Zusatzfeuerungen an Kesseln zu erreichen versucht.

Ist die Feuerraumgröße der Zusatzfeuerung angepaßt, so lassen sich hiermit erhebliche Zusatzleistungen mit geringwertigem Brennmaterial vorteilhaft erzielen.

15. Die zentrale Zugregulierung ganzer Kesselanlagen oder mehrerer Kesselhäuser ist in einzelnen Fällen wirtschaftlich empfehlenswert. Sie erfolgt in der Regel durch elektrisch angetriebene Regulierklappen, welche in die Hauptrauchföhse zwischen Kesselanlage und Schornstein eingebaut werden.

Zu beachten ist hierbei, daß bei derart eingerichteten Anlagen auch die Brennstoffzufuhr dem jeweiligen Leistungsbedarf durch mechanische Regelung oder entsprechende Handregulierung angepaßt wird.

16. Schreib- und Registriereinrichtungen. Eine größere Zuverlässigkeit als periodische Ablesungen durch das Bedienungspersonal bieten laufende Aufschreibungen durch Registrierinstrumente, wenn die erforderliche Behandlungszeit aufgewendet und die Ergebnisse planmäßig ausgewertet werden. An Schreibinstrumenten sind in den Kesselanlagen in

Benutzung:

Rauchgasprüfer für Kohlensäure- und Kohlenoxydmessung,

Thermometer für Abgastemperatur am Vorwärmerende,

Thermometer für Speisewassertemperatur vor und hinter dem Vorwärmer,

Thermometer für Temperatur des überhitzten Dampfes,

Mengenmesser für Speisewasser oder Dampf,

Manometer für Dampfdruck.

Elektrische Mehrfarbenschreiber sind bequemer als Einzelschreiber. Die Bestimmung der Brennstoffmenge kann durch Wägevorrückungen erfolgen, die in die Kohlenförderanlagen eingebaut sind. Bei Rohbraunkohle sind je nach Beschaffenheit des Brennstoffes (Wassergehalt) Schwierigkeiten bei derartigen Wägevorrückungen aufgetreten. Es erfolgt in solchen Fällen, insbesondere dann, wenn die Zufuhr der Kohle aus der Grube in geschlossenen Zügen geschieht, die Mengenbestimmung durch Wägung der einzelnen Transportwagen und Abzug des jeweiligen Bunkerinhaltes von der Gesamtbrennstoffförderung.

17. Um den Kesselwärtern ihre Aufgabe zu erleichtern, bringt man die wichtigsten Kesselbetriebsinstrumente für Leistung, Druck, Zug, Überhitzung und Speisung auf einer gemeinsamen Tafel an, welche sich im Gesichtskreis des Kesselwärters befindet.

b) Instrumente und Apparate für die Erhöhung der Betriebssicherheit.

18. Speisung. Es werden periodisch speisende Regler für Großwasserraumkessel mit Speicherraum, gleichmäßig speisende für Hochleistungskessel angewendet. Mit Verzögerung speisende Regler, die bei hoher Leistung einen niedrigen Wasserstand und bei niedriger Leistung einen hohen Wasserstand im Kessel einhalten und solche, die bei steigendem Kesseldruck und steigender Dampfentnahme verstärkt speisen, sind ebenfalls eingeführt. Die weitaus größte Verbreitung hat der Regler „Direkt“ gefunden. Für große Leistungen wird ein zweiseitiges Speiseventil empfohlen.

19. Da es wichtig ist, dem Heizer an seinem Standort den Wasserstand bequem sichtbar zu machen, wird gern von dem Wasserstandsfernanzeiger „Reubold“ Gebrauch gemacht, dessen Regler eine Signallampe betätigt, die während der Speisung aufleuchtet.

Zur Sichtbarmachung des Wasserspiegels im Wasserstandsregler werden Reflexionsgläser verwendet, bei welchen Dampf und Wasser sich verschiedenfarbig abheben.

Für Steilrohr- oder andere sehr hohe Kessel werden beleuchtete Schaugläser oder heruntergezogene Hilfswasserstände ausgeführt.

20. Als Sicherheitsapparate gegen zu hohen Kesseldruck werden Sicherheitsventile mit Alarmvorrichtung ausgerüstet, die vor Erreichung des Höchstdruckes ein Signal gibt.

Gegen Wassermangel schützt man sich durch Anbringung einer Alarmpfeife mit Schmelzpfropfen oder mit Schwimmer-einrichtung, die beide bei zu niedrigem Wasserstand eine Pfeife in Tätigkeit setzen. Letztere Einrichtung kann auch zur Anzeige des Überspeisens verwendet werden. Bei Kesseln, deren niedrigster Wasserstand sehr nahe an der höchsten Feuerlinie liegt (Flammrohr- und Feuerbüchskessel, eingemauerte Oberkessel), wird diese Einrichtung heute vielfach benutzt. Der Eintritt von Wassermangel und das Überspeisen kann auch durch eine elektrische Alarmvorrichtung dem Bedienungspersonal angezeigt

werden. Mechanische Zeigereinrichtungen haben sich dagegen nicht bewährt.

21. Bei Kesseln größerer Leistung kommt die Anordnung zweier voneinander unabhängiger Speiseventile samt Absperrventilen in Frage, wovon ein Ventilsatz direkt an die Reservespeiseleitung (Hilfsleitung), der andere an die Hauptspeiseleitung angeschlossen wird.

22. Die Speisewasserbehälter werden so reichlich bemessen, daß das Wechseln von Kesselwasser während des Betriebes vorgenommen und sonstige Wasserverluste ohne Wassermangel ersetzt werden können.

Dasselbe trifft auch für die Leistungsfähigkeit der Speisewasserzusatzeinrichtung (Wasserenthärtungsanlagen) zu.

Um für alle Notfälle gedeckt zu sein, sieht man ferner einen Anschluß der Frischwasserleitung für die Reinwasserbehälter vor, welcher jedoch gegen mißbräuchliche Benützung plombiert wird. Die Behälter werden mit elektrisch, pneumatisch oder mechanisch betätigten Wasserstandsanzeigern (Schwimmern) versehen, welche die jeweilige Füllung der Behälter leicht erkennen lassen. Diese Wasserstandsanzeiger können mit einer Licht- oder Sirensignalanlage verbunden werden.

23. Feuerung. Die für den Antrieb von Ventilatoren, Pumpen, Rosten, Kohlen-, Öl- und Staubtransporteinrichtungen erforderlichen elektrischen Schalter und Anlasser sind in der Nähe des Standortes des Kesselwärters angeordnet. Um bei elektrischen Störungen in der Zuleitung zu den Motoren oder Schaltanlagen den Betrieb aufrechtzuerhalten, schließt man vielfach die wichtigsten Einrichtungen an zwei voneinander getrennte Stromkreise an.

24. Bei mechanischen Rosten entstehen Brüche in den Antriebseinrichtungen, wenn Verklemmungen durch Erhitzen auftreten, oder wenn Eisenteile, Roststäbe und Steine zwischen bewegte Teile geraten. Zum Schutze der Gestänge und Getriebe werden daher Sicherheitskuppelungen in die Antriebsteile eingebaut.

Bei Kohlenstaubfeuerungen mit Lufterhitzerbetrieb werden in den Warmluftleitungen, die vom Lufterhitzer nach der Brennkammer führen, besondere Klappen vorgesehen, die beim plötzlichen Ausfall des Lufterhitzers sofort geöffnet werden, um der Kammer Frischluft als Verbrennungsluft zuzuführen.

25. Kohlenbunker. Bei der Anlage von Kohlenbunkern wird heute auf steile Rutschwinkel besonders geachtet. Ins-

besondere erfordern Rohbraunkohlen wegen ihrer Feuchtigkeit und Haftfestigkeit einen sehr steilen Neigungswinkel (etwa 60°). Unterteilung der Bunker in Einzeltaschen ist beliebt, desgleichen eine Entleerungseinrichtung an jedem Bunkerauslauf, welche den völligen Abzug des Bunkerinhalts außer Betrieb befindlicher Kessel ermöglicht.

Bei eisernen Bunkern ist ebenso wie bei Kesselarbeiten die Verwendung von Niedervolt-Handlampen für den Einstieg in die Bunker zum Schutz des Personals notwendig. Die Kohlenstaubbunker werden mit Füllungsstandanzeigern versehen. Es kommen hierfür Schwimmereinrichtungen in Frage, mit denen die Schichthöhe des Staubes abgetastet wird. Andere Meßeinrichtungen benutzen für die Anzeige der Schichthöhe eine elektrische Kontaktschaltung.

Bei Trichterbildungen ist die Anzeige nicht mehr richtig. Man verhindert solche Kraterbildungen durch Bewegungen eingehängter Platten oder Ketten. Wenn möglich, sollte mindestens eine der Bunkerwände vertikal angeordnet werden. Man vermeidet Steigeisen und andere Vorsprünge an den Bunkerwänden, da sie Anlaß zum Hängenbleiben des Brennmaterials geben. Beim Befahren der Bunker gibt man dem Arbeiter einen Begleitmann mit. Beide sind mit Leibgürtel, Seilsicherung, explosions sicheren Lampen und sonstigen Sicherheitsapparaten ausgerüstet.

26. Kohlenbrände. Die Staubbildung beim Entladen, Fördern und Bunkern kann zu Kohlenbränden Veranlassung geben. Man vermeidet sie gegebenenfalls durch Entstaubungs- und Sortierungsanlagen. Die Durchmischung verschiedener Brennmaterialsorten, besonders deren Staub, beschleunigt die Entzündung. Trockene Rohbraunkohlen, Braunkohlenbriketts und weiche Steinkohlen neigen erfahrungsgemäß bei Lagerung ohne Luftabschluß zur Selbstentzündung.

Um Entzündungen zu verhindern, lagert man solche leicht entzündlichen Kohlen auf offenen Lagerplätzen mit niedriger Schütthöhe und kontrolliert die Erwärmung der Kohlenstapel entweder durch Einsetzen von Thermometern oder durch Einstoßen von Eisenstangen an deren ungleicher Erwärmung zugleich die Lage der heißesten Stellen erkannt werden kann.

Als Löscheinrichtungen bedient man sich je nach Beschaffenheit des Brennstoffes chemischer Hilfsmittel, wie Tetrachlorkohlenstoff, Kohlensäure, Stickstoff und dergleichen. Wirksamer

und einfacher in der Handhabung ist das Einblasen von Dampf in die Nähe der Brandstellen und das Ablöschen mit Wasser.

Die rasche Entfernung sich erwärmender Kohlenstapel, periodische Entleerung und Reinigung der Bunker und rasche Verfeuerung des Inhaltes verhüten in der Regel Selbstentzündungen. Zu beachten ist, daß Kohlenstaub wegen Explosionsgefahr nicht aufgewirbelt werden darf. Glühender Kohlenstaub darf nicht durch Anspritzen mit Wasser abgelöscht werden.

27. Beleuchtungs- und Signaleinrichtung. In weitgehendem Maße finden vom Netz unabhängige Stromquellen für die Beleuchtungseinrichtung Anwendung, um bei Störungen in der Stromerzeugung gesichert zu sein. Verwendung haben gefunden: Hausturbinen, Akkumulatorenbatterien oder andere unabhängige und stets betriebsbereite Stromquellen. Als Handlampen haben sich neben den elektrischen Steckerlampen tragbare Batterielampen bewährt, welche als betriebssicher gelten. Wo größere Entfernungen vorhanden sind, z. B. bei getrennten Kesselhäusern, ausgedehnten Maschinenhäusern, einzelstehenden Kohlenmahl- oder Förderanlagen, sind Betriebstelefonanlagen und Alarmsignalanlagen fast überall eingebaut. Größere Werke richten für diesen Zweck besondere Befehlsstellen, Warte- oder Schalträume ein. Hier werden die Fernanzeigeeinstrumente beobachtet, die Leistungserzeugung und Entnahme überwacht, Betriebsmeldungen entgegengenommen und Betriebsbefehle erteilt. Von der Warte aus wird die Signalanlage für die Kesselhäuser bedient, denen in der Regel der Wechsel der Belastung angezeigt wird.

Die Lichtsignale und Zahlentafeln werden so angeordnet, daß sie von allen Kesselwärtern überblickt werden können.

In gleicher Weise wird der gemeinsame Kesseldruck und die gemeinsame Überhitzungstemperatur angezeigt¹.

¹ Die Ausrüstung der Dampfanlagen mit Meßeinrichtungen in der geschilderten Weise ermöglicht jederzeit den Einblick in die wirtschaftliche Arbeitsweise einzelner Anlageteile und einen raschen Überblick über die Gesamtanlage. Die Ausnützung und Leistung der Betriebsanlagen wird dadurch verbessert und die Betriebssicherheit erhöht. Um die Instrumente und Apparate, von denen manche eine empfindliche und nicht sehr einfache Bauart haben, stets ordnungsmäßig warten, prüfen und erneuern zu können, findet man in verschiedenen Anlagen eigens geschultes Personal (Instrumententechniker), welche gewöhnlich einem besonderen Wärmewirtschaftsingenieur unterstehen.

Sechster Teil.

XXI. Kesseleinmauerung und Isolierung.

1. Die Einmauerung des Kessels und der Feuerung ist erfahrungsgemäß derjenige Teil der Kesselanlage, welcher die kürzeste Lebensdauer hat. Die Betriebe sind daher genötigt, in kürzeren oder längeren Zwischenräumen an der Feuerung und auch an der sonstigen Einmauerung des Kessels Erneuerungsarbeiten vorzunehmen. Zu diesem Zwecke müssen dem Betriebsingenieur die allgemeinen technischen Grundlagen der Herstellung von feuerfestem Mauerwerk bekannt sein. Aus diesem Grunde wird in nachfolgendem Abschnitt über das Baumaterial und seine Bearbeitung ausführlich berichtet.

2. Neben der genauen Kenntnis der Eigenschaften des anzuwendenden Baumaterials ist namentlich das Verhalten der feuerfesten Steine gegenüber den mechanischen und chemischen Einwirkungen der Feuergase, der Feuerraumtemperaturen, der Aschen, Schlacken, Säuren und Dämpfe zu kennen und zu beachten.

Es empfiehlt sich deshalb auch die Einmauerung der Kessel und Feuerungen nur solchen Firmen zu übertragen, welche über die nötigen Spezialkenntnisse und praktischen Erfahrungen verfügen.

a) Herstellung der Einmauerung.

3. Kesselmauerwerk wird in der Regel aus hartgebrannten Ziegelsteinen, die sichtbaren Außenflächen aus glatten Maschinensteinen oder Vorsetzern in verlängertem Zementmörtel hergestellt und im Verband enfugig (etwa 5 mm Fugen) gemauert.

Die Außenseiten werden mit Zementmörtel verfugt, die Innenseiten mit Chamottemörtel glatt überrieben.

4. Das feuerfeste Mauerwerk wird mit dem gewöhnlichen Mauerwerk in Verband gemauert, derart, daß ersteres nach je 10 oder 12 Schichten in der Hintermauerung eingebunden wird.

Für die Bindung des feuerfesten Mauerwerks nimmt man denjenigen Chamottemörtel, der in seiner chemischen Zusammensetzung dem verwendeten Stein entspricht. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die feuerfeste Ausmauerung senkrechter Feuerungswände durch eine leicht auswechselbare Steinschicht zu schützen, damit die Hauptausmauerung bei Reparaturen nicht in Mitleidenschaft gezogen wird.

5. Gewölbebogen führt man aus Keilsteinen mit starken Widerlagersteinen, die sich auf die Mauerwerksverankerung abstützen, aus, wobei die Scheitelhöhe der Gewölbebogen (Stich) 10 bis 15% der lichten Weite (Sehne) des Bogens beträgt.

An stark beanspruchten Stellen, besonders im Feuerraum, setzt man die Widerlager der Gewölbebogen so tief in die Hintermauerung, daß sich mindestens 12 cm Schutzmauerwerk vor dem Widerlagerstein befindet.

6. Das Kesselmauerwerk verbindet man an den wichtigsten Stellen durch kräftige durchlaufende Ankerschrauben oder kürzere Steinschrauben mit der eisernen Mauerwerksverankerung. Die Ankerschienen läßt man am Mauerwerk glatt und ohne Hohlräume aufliegen. Mauerwerksecken schützt man am besten durch Eckschienen. Verankerungsschienen befestigt man mit Knotenblechen am Traggerüst des Kessels. Durchdringungsstellen von Kesselteilen, Einsteig- und Schautüren verschwächen das Mauerwerk, weshalb solche Stellen gut verankert und abgedichtet werden.

7. Beim Einsetzen von Eisenteilen und belasteten Trägern ins Mauerwerk beachtet man, daß diese auf Mauerwerksschichten und nicht auf Mörtelfugen aufgelegt werden. Gegebenenfalls ist die Anwendung von Unterlagplatten zur Verteilung der Belastung erforderlich. Träger und sonstige Eisenteile werden mit genügend Spielraum für die Längsdehnung ausgeführt und die betreffenden Hohlräume mit Schlackenwolle ausgestopft.

8. Tragsäulen des Kesselgerüsts und belastete Pfeiler werden mit Spielraum eingemauert und vor den Einwirkungen der Hitze durch Hintermauern von Isoliersteinen oder Anordnung von Lufträumen geschützt. Zwischen Kesselmauerwerk und Gebäudemauern oder Gebäude-Tragkonstruktionen wird ein Mindestabstand von 8 bis 10 cm eingehalten.

9. Das Außenmauerwerk kann durch Bogenmauerung gegen Dehnungsrisse verstärkt werden, doch füllt man auch die dahinter

liegende Luftschicht gern mit Isolierstoffen aus, damit nicht Mörtel, Schmutz und dergleichen diesen Hohlraum ausfüllen und damit seine Isolierwirkung aufheben.

10. Um die Wärmebestrahlung des Mauerwerks zu verringern, empfiehlt sich die Einsetzung einer Isolierschicht aus festen Isoliersteinen zwischen dem inneren und äußeren Mauerwerk.

Wo heiße Kesselteile und Mauerwerk sich berühren, erwies es sich als zweckmäßig, ebenfalls Isoliersteine gegen Wärmeableitung anzuwenden.

Die dampfberührten Oberkesselhälften werden am besten mit einer Rollschicht aus Isoliersteinen abgedeckt.

Hohlräume im Kesselmauerwerk, hauptsächlich unter Kesseldecken, werden mit Isoliersteinen oder mit Isoliermasse angefüllt; hierbei vermeidet man staubförmige Materialien, da sich diese zusammensetzen und durch Risse dringen.

11. Eine gute Haltbarkeit der Einmauerung wird erzielt bei Anwendung einer etwa 12 cm starken Isoliersteinschicht auf die Außenseiten des Mauerwerks und Schutz derselben mit abnehmbaren Blechmänteln, welche mit der Mauerwerksverankerung verbunden sind. Der Blechmantel schützt sowohl gegen Eindringen falscher Außenluft in die Heizgaszüge, als auch gegen mechanische Beschädigungen des Mauerwerks, während die Isoliersteinschicht die Wärmeabstrahlung des Mauerwerks und die Abkühlungsverluste vermindert. Die Mauern können in solchen Fällen schwächer ausgeführt werden.

12. Als erstrebenswert gilt die Vermeidung großer Mauerwerksmassen, Ersatz derselben durch feste Kühlrohrwandungen und Isoliermäntel. Der Kessel wird dadurch unempfindlicher gegen Temperaturwechsel und kann rascher an- und abgeheizt werden.

b) Behandlung der Einmauerung während des Betriebes.

13. Es ist zu beachten, daß frisches Mauerwerk, das bei Erneuerung oder Instandsetzung einer Feuerung hergestellt ist, im Kesselhause nicht ohne Anwärmung austrocknet.

Die Austrocknung erstreckt sich mindestens auf 8 Tage, je nach der Jahreszeit einige Tage länger und erfährt bei Nacht keine Unterbrechung. Die Mauerwerksverankerung wird nicht fest angezogen, damit sich das Mauerwerk ausdehnen kann.

Der Kessel wird mit Wasser gefüllt, bleibt jedoch während der Trocknungszeit offen, damit kein Druck in ihm erzeugt wird.

14. Zum Austrocknen verwendet man ein schwaches Holzfeuer auf der vorderen Rosthälfte. Der Rauchschieber wird leicht geöffnet, die Feuertüren leicht geschlossen gehalten.

Vom 4. Tage ab kann ein leichtes Kohlenfeuer unterhalten werden, wobei der Zug etwas verstärkt wird, vom 6. Tag ab wird das Feuer auf dem Rost verteilt und die Mauerung wird jetzt langsam so durchheizt, bis dieselbe gleichmäßig durchgewärmt ist.

Während der ganzen Dauer der Austrocknung wird darauf geachtet, daß das Mauerwerk der Feuerung nicht zum Glühen gebracht wird.

Bei Kesseln, welche längere Zeit nicht mehr betrieben wurden, empfiehlt sich das gleiche Verfahren mit etwas kürzerer Dauer.

15. Neue Schornsteine aus Beton oder Ziegelmauerwerk heizt man unter Beachtung der gleichen Gesichtspunkte zweckmäßig mit Koks aus, indem Koks Körbe im Schornsteinfuß zur Aufstellung gelangen; Vorsicht vor Kohlenoxydgas-Vergiftung ist geboten.

Die Dauer der Austrocknung erstreckt sich auf mindestens 8 Tage, wenn der Schornstein bei gutem Wetter im Sommer erbaut wurde und mindestens 2 Wochen, wenn das Bauwerk im Winter oder Herbst hergestellt wurde.

Bei der erstmaligen Inbetriebnahme eines neuen Schornsteins nach erfolgter Austrocknung ist zu beachten, daß er nur allmählich im Zeitraum von mehreren Tagen auf Volleistung gebracht werden kann.

16. Treten nach der Inbetriebnahme des Kessels oder Schornsteines Dehnungsrisse am Bauwerk auf, so forscht man ihren Ursachen nach; ein Wiederverputzen solcher Risse genügt in der Regel nicht.

Zur Beurteilung der Ursachen und Beratung der Abhilfemaßnahmen wird, wenn erforderlich, ein Sachverständiger hinzugezogen.

17. Ein einfaches Mittel zur Feststellung von Undichtheiten im Mauerwerk ist das Ableuchten von Rissen, Fugen und Durchdringungsstellen mit Kerzenlicht. An undichten Stellen wird die Flamme in das Mauerwerk eingesogen.

Die fortschreitende Vergrößerung oder Erweiterung von Rissen kann durch Gipsmarken (Gipsbänder) oder Glasstreifen festgestellt werden, welche man über den Untersuchungsstellen anordnet.

18. Zur Feststellung von undichten Stellen kann auch der Kohlensäuremesser benutzt werden, der einmal auf den Feuerraum und dann sofort auf das Kesselende geschaltet wird. Die gleichzeitige Entnahme zweier Gasproben mit zwei einzelnen Orsatapparaten erfüllt den gleichen Zweck. Zeigen sich große Unterschiede im Kohlensäuregehalt der Rauchgase, so ist auf Undichtigkeiten mit ziemlicher Sicherheit zu schließen.

19. Bei jeder Reinigung des Kessels wird sein Mauerwerk untersucht. Dabei lenkt man das Augenmerk besonders auf den Zustand des Feuerraums, auf schadhafte Stellen, Risse, erweiterte Fugen, beschädigte Gewölbe, schadhafte Feuerzugsanschlüsse, schadhafte Kammerwände und bessert diese Schäden, auch wenn sie noch gering sein sollten, aus, um weitergehende Zerstörung zu vermeiden.

20. Bei Steilrohrkesseln mit Untertrommeln achtet man darauf, ob die Abmauerung zum Schutze der Nietnaht nicht beschädigt, die Hohlräume zur Ausdehnung der Trommeln nicht mit harten Flugaschekrusten verlegt und die Abdichtungsschnüre oder andere Dichtungsstellen ordnungsmäßig hergestellt sind.

21. Die gleiche Sorgfalt verwendet man auf die Nachprüfung der Unversehrtheit der Abmauerung von Wasserkammer-Umlaufblechen, Böden und Schweißnähten (siehe Dritter Teil, Abschnitt IX, Absatz 14).

22. Schlackenansätze an den Seitenwänden der Feuerung nächst der Rostbahn werden, wenn erforderlich, vorsichtig beseitigt, um das feuerfeste Mauerwerk nicht zu beschädigen.

Glasurartiger Schlackenüberzug an Seitenwänden und Gewölben wird möglichst geschont, da er einen Schutz des Mauerwerks gegen mechanischen und chemischen Angriff darstellt.

23. Man vermeidet es, neu einzusetzende Steine auf verschlackte oder glasierte Stellen aufzubringen, um die gute Bindung nicht zu gefährden. Es werden dafür die alten Steine so weit abgespitzt, bis das Material wie ein neuer Bruch aussieht, worauf der neue Stein aufgebracht wird. Die Fugen im feuerfesten Mauerwerk werden so klein wie möglich gehalten, im Höchstfalle 2 mm.

Der Mörtel wird in seiner Zusammensetzung möglichst den feuerfesten Steinen angepaßt, was am besten durch gemeinsamen Bezug erreicht wird.

24. Schutzanstriche haben sich in Einzelfällen gut bewährt, während dieselbe Masse an anderen Stellen versagt hat. Der Grund hierfür liegt in dem ganz verschiedenartigen chemischen Verhalten der Schlacken verschiedener Brennstoffe.

25. Vorzeitige Beschädigungen der Ausmauerung von Feuerräumen treten ein, wenn die Kesselanlage unter Zugmangel leidet oder wenn die Abmessungen der Feuerräume für die maximale Verbrennungsleistung zu gering sind. In beiden Fällen ist mit einem Abplatzen der feuerberührten Steinflächen und hoher mechanischer Abnutzung infolge Temperaturschwankungen zu rechnen.

26. Von Bedeutung für die geringe Haltbarkeit feuerfesten Mauerwerks kann auch ein schroffer Temperaturwechsel infolge plötzlicher Abkühlung hochoberhitzter Mauern und Gewölbe oder zu rascher Temperaturanstieg sein. Man achtet daher auf möglichste Abhaltung kalter Außenluft von der Feuerung während des Betriebes, besonders aber beim Anheizen und Abstellen der Kessel. Die Abkühlung selbst wird durch Zugeinschränkung auf einem Mindestmaß gehalten.

Der starke Verschleiß des feuerfesten Mauerwerks an Einsteigöffnungen und Schautüren kann eine Folge des Zutritts kalter Außenluft sein, weshalb man solchen Öffnungen Beachtung schenkt.

27. Die Empfindlichkeit der feuerfesten Steine gegen Temperaturveränderungen (Rissigwerden und Abplatzen der Steinflächen) ist zwischen 600 und 800° C am stärksten, da der Stein bei diesen Temperaturen ein hohes Ausdehnungsbestreben besitzt. Diesem Umstand schenkt man bei der Bedienung der Feuerung Beachtung.

28. Die Abnutzung des feuerfesten Mauerwerks ist bei Kesselfeuerungen weniger auf die Einwirkungen hoher Heizgastemperaturen, sondern vielmehr auf chemische Einwirkungen flüssiger Brennstoffaschen und Schlacken, Salze, Säuren und Dämpfe, die bei der Verbrennung entwickelt werden und die Bestandteile des feuerfesten Materials mehr oder weniger rasch angreifen und zerstören, zurückzuführen. Da bei Kesselfeuerungen durch Leistungs-

änderungen in der Regel erhebliche Temperaturschwankungen im Feuerraum eintreten, ist die Ausmauerung dazu noch Dehnungsspannungen unterworfen.

29. Die Auswahl und Abnahme geeigneten feuerfesten Materials ist von ebenso großer Wichtigkeit, wie die sachgemäße Mauerung selbst, die sich dann wiederum nach der Eigenart der verwendeten Steine und Bindemittel, sowie nach der Art der Kohle und deren Schlacke richtet. Ausführliche Anleitung für die Bestellung und Abnahme von feuerfestem Material werden im Anhang Anlage 3 dieses Buches mitgeteilt.

XXII. Isolierungen von Kesseln und Rohrleitungen.

1. Selbst in Anlagen, welche infolge Anwendung eines billigen Brennstoffes geringe Wärmeerzeugungskosten haben, wird doch die Isolierung wärmeführender Einrichtungsteile der betrieblichen Erschwernisse halber (Abstrahlung und Kondensation) angewendet. In den meisten Anlagen, deren Dampferzeugungskosten sich in normalen Grenzen bewegen, ergibt die Anwendung hochwertiger Isolierung selbst bei relativ hohen Anlagekosten entsprechende Ersparnisse.

2. Vor Ausführung der Isolierungsarbeiten wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung angestellt, deren Einhaltung der Lieferant zu garantieren hat.

Der stündliche Wärmeverlust je Quadratmeter eines nicht isolierten Dampfröhres gegenüber Luft in gedecktem Raum beträgt bei einem Temperaturgefälle zwischen Dampf und Luft:

Temperaturgefälle °C	100	150	200	250	300	350
Wärmeverlust/m ² -Rohrfläche						
stdl. etwa WE.	1550	2200	3400	4500	5700	7500

Bei Umhüllung der Rohrleitungen mit Wärmeschutzmitteln beträgt die Ersparnis je nach Güte und Isolierstärke in vorstehendem Temperaturbereich etwa 70 bis 82%, wenn die Flanschen nicht umhüllt sind; sie erhöht sich bis etwa 90%, wenn die Flanschverbindungen und Formstücke ebenfalls isoliert werden. Die Ersparnis wächst mit der Stärke der Isolierung. Über eine gewisse Isolierstärke hinaus wird die Ersparnis geringer, weil sich infolge der höheren Kosten der Isolierung kein wirtschaftlicher Vorteil mehr ergibt.

3. Bei der Beurteilung des anzuwendenden Isoliermaterials ist zu unterscheiden zwischen der Wandungstemperatur des isolierten Körpers und der mittleren Temperatur der Isolierung. Der ungefähre Zusammenhang ist in folgender Zahlenreihe gegenübergestellt:

Ungefähre Temperatur der zu isolierenden					
Wandung °C	100	200	300	400	500
Mittlere Temperatur der Isolierung °C	60	125	180	240	300

Die physikalischen Eigenschaften der Isolierfähigkeit eines Isoliermaterials werden an der Wärmeleitzahl (in $\text{kg}/\text{mh}^\circ\text{C}$) gemessen, daneben ist auch noch das Raumgewicht (in kg/m^3) von Einfluß.

Da aus technischen Gründen geringe Schwankungen dieser physikalischen Größen unvermeidlich sind, so ist bei Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Isolierung die untere Grenze der Toleranz für die Abweichungen vom Mittelwert von Bedeutung.

4. Für mittlere Temperaturen der Isolierung unter 100°C kommen Kieselgur-Anstrichmassen, Korkschalen oder Asbestschnüre in Frage; für solche über 100°C werden in der Regel gebrannte Kieselgur- oder Magnesiaschalen (Dia), Glasgespinst, Schlackenwolle, Magnesiafüllung (Prioform mit Drahtgeflecht oder Eisenblechmantel), sowie Asbestmagnesiaschalen (Λ) angewendet.

Für sehr hohe Temperaturen können gebrannte Kieselgurschalen nicht mehr angewendet werden, da sich das Gefüge bei hoher Erwärmung verändert.

5. Die Fabrikation und Montage von Isolierungen erfordert eine hohe physikalische und technische Sachkenntnis, weshalb die Ausführung solcher Arbeiten nur bewährten Firmen übertragen werden sollte.

6. Der Nachweis über den Wirkungsgrad von Isolierungen wird durch Messung des Wärmedurchganges durch die fertige Isolierung erbracht. Man bedient sich hierzu in der Praxis des sogenannten Wärmeflußmessers nach Dr. Schmidt (Meßeinrichtung mit Thermo-Elementen).

7. Gute Isolierungen müssen neben dem Höchstmaß an Wärmeersparnis folgenden Betriebsanforderungen genügen:

Sie sollen eine erhebliche Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beschädigungen und Erschütterungen aufweisen, gegen

Dampfschwaden oder Sickerwasser unempfindlich und während des Betriebes oder nach erfolgter Abkühlung rissefrei sein.

Das Isoliermaterial soll auf der zu schützenden Wandung festhaften und sich im kalten oder warmen Zustand von der Unterlage nicht lösen.

Stopf- und Füllmassen dürfen während des Betriebes nicht zusammensacken oder aus dem Schutzmantel hervorquellen.

Ventile und Formstücke werden mit abnehmbaren Kappen oder einer leicht entfernbarer Verkleidung umhüllt und mit einer Tropfwasseröffnung versehen. Die Enden der Rohrisolierung schließt man mit Blechmanschetten und rückt so weit von der Flanschverbindung ab, daß die Schrauben herausgezogen werden können.

Das Isoliermaterial sollte nach einer etwaigen Abnahme von der Wandung für Isolierzwecke wieder verwendbar sein.

Einsteigöffnungen schützt man mit Blechmanschetten gegen Beschädigungen.

XXIII. Kontrolle der Ersatzteile.

1. Um die volle Leistungsfähigkeit der vorhandenen Dampfanlage ausnützen zu können, ist die Anschaffung von Reserveteilen für die wichtigsten Betriebseinrichtungen unerlässlich.

Es handelt sich in der Regel um Rost- und Economiserbestandteile, Antriebsteile, Armaturteile, elektrische Ausrüstungsteile, Dichtungsmaterial und Baustoffe.

2. Der Umfang des Reservelagers, insbesondere des sogenannten eisernen Bestandes, richtet sich nach der Güte und Lebensdauer der einzelnen Anlageteile. Der Betrieb wird bestrebt sein, durch scharfe Lieferungsvorschriften und sorgfältige Abnahme der Teile den Umfang des Reservelagers von Jahr zu Jahr zu verringern.

Je ein Stück des eisernen Bestandes dient als Kontrollmuster zum Vergleich der Abmessungen oder für Nachbestellungen und wird nicht aufgebraucht.

3. Die Muster werden durch eine Mustermarke kenntlich gemacht. Der Bestand des Lagers ist im Lagerbuch bzw. in der Lagerkarte eingetragen, desgleichen die jeweiligen Zu- und Abgänge.

Jedes im Lager liegende Reserveteil erhält eine Lagerkarte mit der Lager- oder Regalnummer, wodurch Verwechslungen vermieden werden und eine rasche Auffindung ermöglicht wird.

4. Einlaufende Reserveteile werden an Hand des Reserve-musters auf richtige Lieferung, Maßgenauigkeit und Fehlerfreiheit geprüft.

Bei allen Teilen, welche mit Abnahmebescheinigung geliefert werden, wird das Vorhandensein des Stempels des Abnahmebeamten festgestellt.

5. Das Reservelager wird zweckmäßig der technischen Betriebsabteilung angegliedert, durch welche alle technischen Bestellungen herausgegeben und geprüft werden. Größeren Betriebslagern wird in der Regel ein technischer Aufsichtsbeamter zugeweiht, wodurch Fehlbestellungen, Rückfragen und Betriebserschwer-nisse mancherlei Art vermieden werden.

Anhang.

Anlage 1.

Verzeichnis

a) der Metalloxyde und Säurereste im Rohwasser

(siehe IV. Teil, Abschnitt XI, a) 2.)

1. Aluminium Al
Aluminiumoxyd Al_2O_3 (Tonerde)
2. Eisen Fe
Eisenoxyd Fe_2O_3
Eisenoxydul FeO
Eisenhydroxyd $\text{Fe}(\text{OH})_3$
3. Kalzium Ca
Kalziumoxyd CaO (Kalk)
Kalziumbikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (doppelkohlensaurer Kalk)
Kalziumsulfat CaSO_4 (schwefelsaurer Kalk)
Kalziumchlorid CaCl_2 (Chlorkalzium)
Kalziumnitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (salpetersaurer Kalk)
Kalziummonosilikat $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (einfach kieselsaurer Kalk)
(CaSiO_3)
Kalziumdisilikat $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ (doppelkieselsaurer Kalk)
(CaSi_2O_5)
4. Magnesium Mg
Magnesiumoxyd MgO
Magnesiumbikarbonat $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (doppelkohlensaure Magnesia)
Magnesiumsulfat MgSO_4 (Bittersalz, schwefelsaure Magnesia)
Magnesiumchlorid MgCl_2 (Chlormagnesium)
Magnesiumnitrat $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (salpetersaure Magnesia)
Magnesiummonosilikat $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ (einfach kieselsaure Magnesia) MgSiO_3
Magnesiumdisilikat $\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ (doppelkieselsaure Magnesia)
 MgSi_2O_5

5. Natrium Na
 Natriumoxyd Na_2O (Natron)
 Natriumbikarbonat NaHCO_3 (doppelkohlensaures Natron)
 Natriumsulfat Na_2SO_4 (schwefelsaures Natron, gen. Glaubersalz)
 Natriumchlorid NaCl (Chlornatrium, gen. Kochsalz)
 Natriumnitrat NaNO_3 (salpetersaures Natron — Natronsalpeter)
6. Siliziumdioxyd SiO_2 (Kieselsäure, ...-Silikat)
7. Ammoniak NH_3
8. Sauerstoff O_2
9. Kohlendioxyd CO_2 (Kohlensäure, ...-Karbonat)
10. Schwefelsäureanhydrid SO_3 (Schwefelsäure, ...-Sulfat)
11. Chlor Cl (Chlorid)
12. Salpetersäureanhydrid N_2O_5 (Salpetersäure, ...-Nitrat)
13. Salpetrigsäureanhydrid N_2O_3 (salpetrige Säure, ...-Nitrit)
14. Kaliumpermanganatverbrauch KMnO_4 (als Maß für die Oxydierbarkeit der organischen Substanz);

b) der Metalloxyde und Säurereste im gereinigten Wasser und Kesselinhalt

(siehe IV. Teil, Abschnitt XI, c) 14.)

15. Kalziumhydroxyd $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ätzkalk, gelöschter Kalk)
 Kalziumkarbonat CaCO_3 (kohlensaurer Kalk)
16. Magnesiumhydroxyd $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Magnesiahydrat)
 Magnesiumkarbonat MgCO_3 (kohlensaure Magnesia)
17. Aluminiumhydroxyd $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Tonerdehydrat)
 Aluminiumsulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (schwefelsaure Tonerde)
18. Barium Ba
 Bariumoxyd BaO (Baryt)
 Bariumhydroxyd $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (Ätzbaryt)
 Bariumkarbonat BaCO_3 (kohlensaures Barium)
 Bariumchlorid BaCl_2 (Chlorbarium)
 Bariumaluminat BaAl_2O_4
19. Natriumhydroxyd NaOH (Ätznatron — Natronlauge)
 Natriumkarbonat Na_2CO_3 (kohlensaures Natron — Soda)
20. Chlorwasserstoffsäure HCl (Salzsäure)
21. $^{\circ}$ Bé Grad Beaume (als Maß für die Konzentration an gelösten Salzen, d. h. als Maß für die Dichte des Wassers).

Außerdem sind noch zu berücksichtigen:

c) der behandelten chemischen Elemente, Salze, Säuren und Gase.

Wasser	= H ₂ O
Sauerstoff	= O ₂
Wasserstoff	= H ₂
Stickstoff	= N
Chlor	= Cl
Schwefel.	= S
Kohlenstoff	= C
Eisen	= Fe
Kalziumoxyd	= CaO
Eisenoxyd	= Fe ₂ O ₃
Aluminiumoxyd (Tonerde)	= Al ₂ O ₃
Kupferoxyd	= CuO
Kohlenoxyd	= CO
Kohlendioxyd (Kohlensäure)	= CO ₂
Schwefeldioxyd (Schweflige Säure)	= SO ₂
Titandioxyd (Titansäure)	= TiO ₂
Silizium	= Si
Kalium	= K
Kalzium	= Ca
Natrium	= Na
Magnesium	= Mg
Barium	= Ba
Aluminium	= Al
Kupfer	= Cu
Kohlensaurer Kalk (Kalziumkarbonat)	= CaCO ₃
Kohlensaure Magnesia (Magnesiumkarbonat)	= MgCO ₃
Kohlensaures Barium (Bariumkarbonat)	= BaCO ₃
Soda (Natriumkarbonat)	= Na ₂ CO ₃
Natriumbikarbonat	= NaHCO ₃
Kalziumbikarbonat	= Ca(HCO ₃) ₂
Magnesiumbikarbonat	= Mg(HCO ₃) ₂
Kupferchlorür	= CuCl
Salzsäure	= HCl
Chlornatrium (Kochsalz)	= NaCl
Magnesiumchlorid (Chlormag.)	= MgCl ₂

Kalziumchlorid	= CaCl_2
Bariumchlorid	= BaCl_2
Ammoniumchlorid	= NH_4Cl
Salpetrige Säure	= HNO_2
Salpetersäure	= HNO_3
Kalziumnitrat	= $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Magnesiumnitrat	= $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
Natriumnitrat (Natronsalpeter).	= NaNO_3
Kieselsäure	= SiO_2
Natriumsilikat (Wasserglas)	= Na_2SiO_3
Schwefelwasserstoff	= H_2S
Kohlenwasserstoff (Methan)	= CH_4
Ammoniak	= NH_3
Silbernitrat.	= AgNO_3
Schwefelsäure, freie	= H_2SO_4
Schwefelsaurer Kalk (Gips)	= CaSO_4
Magnesiumsulfat (Bittersalz)	= MgSO_4
Natriumsulfat (Glaubersalz)	= Na_2SO_4
Natriumsulfit	= Na_2SO_3
Bariumsulfat (Schwerspat)	= BaSO_4
Natriumthiosulfat	= $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
Jodkalium	= KJ
Kalziumsilikat	= CaSiO_3
Ätznatron	= NaOH
Magnesiumhydroxyd	= $\text{Mg}(\text{OH})_2$
Kalziumhydroxyd (Ätzkalk)	= $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Bariumhydroxyd	= $\text{Ba}(\text{OH})_2$
Ätzkali	= KOH
Kaliumpermanganat	= KMnO_4
Manganchlorür	= $\text{MnCl}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
Kaliumchromat	= K_2CrO_4
Pyrogallussaures Kali	
Pyrogallussäure	
Kaliumpalmitat	
Methylorange	
Phenolphthalein	

Anlage 2.

Untersuchungsmethoden für Kesselspeisewasser.

Inhalt:

1. Härte der Roh-, Rein- und Kesselwässer nach Blacher-Splittgerber.
2. Alkalität des gereinigten Zusatzwassers.
3. Gesamthärte mit Seifenlösung nach Clark oder Boutron & Boudet.
4. Magnesiagehalt.
5. Chloridgehalt.
6. Sauerstoffgehalt.
7. Freie Kohlensäure.
8. Dichte des Kesselwassers.
9. Ölgehalt im Kondenswasser.
10. Wertbestimmung von Ätzkalk und Soda.
11. Die chemischen Gleichungen der bei den Enthärtungsverfahren auftretenden Umsetzungen und die Berechnung der Enthärtungszusätze.
12. Herstellung verschiedener Lösungen.
13. Zusammenstellung der erforderlichen Chemikalien und Geräte.

1. Härte der Roh-, Rein- und Kesselwässer nach Blacher-Splittgerber.

Erforderliche Chemikalien:

Methylorange (0,5%ige Lösung in Wasser),

$\frac{1}{10}$ n-Salzsäure,

Phenolphthalein (1%ige Lösung in Alkohol),

$\frac{1}{10}$ n-Natronlauge,

$\frac{1}{10}$ n-Kaliumpalmitatlösung.

100 cm³ Wasser werden mit 2 Tropfen Methylorange versetzt und mit $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure (bei stark alkalischem Kesselwasser unter Umständen anstatt der $\frac{1}{10}$ n-Säure mit Normalsäure) bis zum Farbumschlag in gelbbraun titriert. Darauf bläst man

zur Vertreibung der durch diese Titration in Freiheit gesetzten Kohlensäure 1 bis 2 Minuten lang Luft durch die Flüssigkeit und setzt, falls sich eine hellgelbe Färbung zurückgebildet hat, nochmals Salzsäure bis zum Wiedererscheinen des Umschlages zu. Das Lufteinblasen kann auch durch ein 10 Minuten lang andauerndes Kochen ersetzt werden. Der Gesamtsäureverbrauch zeigt bei Rohwasser die Karbonathärte an. Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur gibt man 5 bis 10 Tropfen Phenolphthaleinlösung und so viel $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge zu, bis die Flüssigkeit auf dem Wege über Hellgelb ganz schwach rosa gefärbt wird. Hierauf titriert man sofort (das ist wichtig) mit der $\frac{1}{10}$ n-Kaliumpalmitatlösung bis zur bleibenden karminroten Färbung, darf aber nicht so weit gehen, daß ein rotvioletter Farbton erscheinen würde. Sollte man sich in der Erkennung dieses karminroten Farbtönen unsicher fühlen, so kann man sich dadurch helfen, daß man bis zum leicht erkennbaren Auftreten des rosa Farbtönen titriert und zu dem abgelesenen Palmitatverbrauch 0,3 ccm $\frac{1}{10}$ n-Palmitat hinzuzählt.

Berechnung.

1 cm³ verbrauchte $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure bzw. Palmitatlösung entspricht 2,8^o deutsche Karbonat- bzw. Gesamthärte.

2. Alkalität des gereinigten Zusatzwassers.

Erforderliche Chemikalien:

Phenolphthalein (1%ige Lösung in Alkohol),

$\frac{1}{10}$ n-Salzsäure,

Methylorange (0,5 %ige Lösung in Wasser).

100 cm³ gereinigtes Speisewasser werden im Erlenmeyer-Kolben oder Becherglas mit einigen Tropfen Phenolphthalein als Indikator versetzt. Dann wird tropfenweise aus einer Bürette unter Schütteln oder Rühren des Wasser $\frac{1}{10}$ n-HCl ($\frac{1}{10}$ n-Salzsäure) zugesetzt, bis die vorher rote Färbung in farblos umschlägt. Die verbrauchten cm³ $\frac{1}{10}$ n-HCl werden nach dem Stand in der Bürette abgelesen und als Phenolphthaleinwert p eingetragen (Titration mit Phenolphthalein). Nachdem derselben Wasserprobe 2 bis 3 Tropfen Methylorange als Indikator zugesetzt worden sind (Färbung gelb), wird wieder tropfenweise mit $\frac{1}{10}$ n-HCl weiter titriert, bis die gelbe Färbung orange wird (Titration mit Methylorange). Die jetzt verbrauchten cm³ $\frac{1}{10}$ n-HCl, vermehrt um die

mit Phenolphthalein verbrauchten cm^3 , also die insgesamt verbrauchten cm^3 , sind der Methylorangewert m . Diese beiden Werte charakterisieren den Gehalt des Wassers an Alkalien genügend. Wenn es wünschenswert erscheint, erhält man aus p und m durch Multiplikation mit 2,8 die (von Blacher vorgeschlagenen) Werte P und M , die den Phenolphthalein- und Methylorangewert in deutschen Graden angeben. Multipliziert man die für m erhaltene Zahl mit 53, so erhält man die Gesamtalkalität des Wassers, ausgedrückt als mg/l Soda (Na_2CO_3).

Will man aus den Werten die im Wasser tatsächlich vorhandene Natronlauge und Soda errechnen, was mehr den praktischen Bedürfnissen entspricht, so verfährt man nach folgenden Formeln:

$$p - (m - p) \cdot 40 = (2p - m) \cdot 40 = \text{mg/l NaOH (Ätznatron)},$$

$$(m - p) \cdot 2 \cdot 53 = (m - p) \cdot 106 = \text{mg/l Na}_2\text{CO}_3 \text{ (Soda)}.$$

Sollte m größer sein als $2p$, so bedeutet das, daß im Wasser kein Ätznatron vorhanden ist, sondern daß ein Teil oder die gesamte Soda durch freie Kohlensäure (CO_2) in Natriumbikarbonat (NaHCO_3) verwandelt wurde. In diesem Falle kann neben dem Bikarbonat nur noch Soda, kein Ätznatron vorhanden sein; die Berechnung richtet sich dann nach folgenden Formeln:

$$2p \cdot 53 = 106p = \text{mg/l Na}_2\text{CO}_3 \text{ (Soda)},$$

$$(m - 2p) \cdot 84 = \text{mg/l NaHCO}_3 \text{ (Natriumbikarbonat)}.$$

Sollte $p = 0$ sein, so gilt nur die letzte Formel zur Berechnung des Bikarbonats.

Alkalität des Kesselwassers.

Man verwendet nur 10 cm^3 Kesselwasser und multipliziert die nach obigen Formeln erhaltenen Zahlen sämtlich mit 10.

8. Gesamthärte mit Seifenlösung nach Clark oder Boutron & Boudet.

Die Bestimmung der Gesamthärte mit Seifenlösung nach Clark oder Boutron & Boudet genügt für bescheidene Ansprüche.

Man füllt 40 cm^3 des zu untersuchenden Wassers in eine in cm^3 eingeteilte Meßflasche und fügt mit Hilfe einer in Grade eingeteilten Glasröhre (Pipette) so viel Tropfen Seifenlösung dem Wasser im Meßglas zu, bis nach kräftigem Umschütteln der Flasche ein bleibender Schaum entsteht.

Der an dem Meßrohre abgelesene Verbrauch an Seifenlösung ergibt die Härtegrade. (Über die Herstellung der Seifenlösung siehe Ziffer 12 dieses Abschnittes.)

4. Magnesiagehalt.

Man kann zwar den Magnesiawert erhalten durch Subtraktion des maßanalytisch bestimmbaren (hier nicht mitgeteilt) und als Kalkhärte ausgedrückten Kalkgehaltes von der Gesamthärte. Die Differenz ergibt dann direkt die Magnesiahärte oder nach Multiplikation mit 7,19 die mg/l MgO oder nach Multiplikation mit 4,34 die mg/l Mg. Diese Mg-Werte sind ungenau, da der unvermeidliche Analysenfehler bei der Kalkbestimmung voll auf die meist in weit geringerer Menge im Wasser vorhandene Magnesia entfällt, so daß der prozentuale Fehler für den Magnesiawert außerordentlich groß sein kann.

Es wird daher folgendes Verfahren empfohlen.

Erforderliche Chemikalien:

- $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure,
- Methylorange (0,5%ige Lösung in Wasser),
- Natriumoxalatlösung (5%ig),
- $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge,
- $\frac{1}{10}$ n-Kaliumpalmitatlösung,
- Phenolphthaleinlösung (1%ige Lösung in Alkohol).

100 bis 200 cm³ Wasser (je nach Mg-Gehalt) werden mit $\frac{1}{10}$ n-HCl unter Beigabe von Methylorange bis zur deutlichen Rotfärbung versetzt und 10 Minuten zur Entfernung der Kohlensäure gekocht. Dann werden 5 cm³ einer 5%igen Natriumoxalatlösung zugefügt und noch 1 bis 2 Minuten weiter gekocht. Nach dem Abkühlen setzt man 8 bis 10 Tropfen Phenolphthaleinlösung hinzu und stellt durch Zusatz von $\frac{1}{10}$ n-NaOH auf ganz schwach rosa ein. Nach Beseitigung der schwachen Rosafärbung durch einen Tropfen $\frac{1}{10}$ n-HCl wird sofort mit $\frac{1}{10}$ n-Kaliumpalmitatlösung bis zur karminroten Färbung titriert, wie dies bei der Blacherschen Methode zur Bestimmung der Gesamthärte näher beschrieben worden ist. (Vgl. S. 91—92.)

Durch Multiplikation des Palmitatverbrauches mit 2,8 (für 100 cm³) oder 1,4 (für 200 cm³) erhält man die Magnesiahärte in deutschen Graden,

mit 2,02 bzw. 1,01 bzw. 20,2 die mg MgO für 100 bzw. 200 cm³ bzw. 1 Liter Wasser,

mit 1,22 bzw. 0,61 bzw. 12,2 die mg Mg für 100 bzw. 200 cm³ bzw. 1 Liter Wasser.

Bei dieser Magnesiabestimmung ist der Umschlag nicht so scharf wie bei der Bestimmung der Gesamthärte. Die Rötung verschwindet wieder langsam, so daß man zunächst im Zweifel sein kann, ob die Bestimmung schon beendet ist. Diese Unsicherheit verliert sich aber, wenn man zur Übung eine Anzahl von Bestimmungen an Wässern mit bekanntem Magnesiagehalt ausgeführt hat.

Wichtig ist die Abwesenheit von Ammonsalzen, weshalb auch die vorhergehende Ausfällung des Kalkes nicht durch Ammoniumoxalat geschehen darf.

5. Chloridgehalt.

Erforderliche Chemikalien:

Kaliumchromatlösung (10%ig),

Silbernitratlösung, von welcher 1 cm³ = 1 mg Chlor entspricht,

festes reinstes Natriumchlorid (Kochsalz),

festes Natriumbikarbonat,

festes Magnesiumoxyd (= gebrannte Magnesia = Magnesia usta),

$\frac{1}{10}$ n-Natronlauge,

$\frac{1}{10}$ n-Schwefelsäure,

Phenolphthaleinlösung (1% ige Lösung in Alkohol),

Methylorange (0,5% ige Lösung in Wasser),

festes Zinkoxyd, chlorfrei.

100 cm³ Rohwasser werden in einem Becherglas mit 1 cm³ 10% iger Kaliumchromatlösung (nicht weniger) versetzt und unter dauerndem Rühren mit einem vorn mit etwas Gummischlauch überzogenen Glasstab mit Silbernitratlösung durch tropfenweises Zusetzen bis zum bleibenden Farbumschlag ins Rötliche titriert. Es ist unbedingt erforderlich, auf die allererste, eben bemerkbare dunklere Färbung zu titrieren, da sonst die Ergebnisse zu hoch ausfallen.

Um bei niedrigen Chloridgehalten ganz sicher zu gehen, wiederholt man die Titration unter Benutzung einer Vergleichslösung. Man setzt zu der ersten, fertig titrierten Lösung eine Spur festen

Kochsalzes, wodurch die Färbung wieder in hellgelb umschlägt. Darauf mißt man nochmals 100 cm^3 Wasser ab und titriert jetzt nur so weit, bis die zweite Flüssigkeit eine Spur dunkler geworden ist als die erste. Ohne Vergleichslösung läßt sich der Umschlag in solcher Schärfe nicht erkennen.

Bei Chloridgehalten unter 7 mg/l versagt auch dieses Verfahren; man muß in solchen Fällen das Wasser durch Eindampfen konzentrieren, um eine entsprechend chloridreichere Lösung zur Untersuchung zu bringen.

Ohne Einfluß auf die Bestimmung ist die Anwesenheit von Bikarbonaten, freier Kohlensäure, Sulfaten, Phosphaten, Borax, Mangan und organischen Substanzen; stark störend aber wirken Säuren, Alkalien und Eisensalze.

Die Nachteile einer sauren Reaktion kann man durch Neutralisation mit chlorfreiem Natriumbikarbonat oder Magnesiumoxyd beseitigen; auch direkte Titration des Wassers mit $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge bei Gegenwart von Methylorange bis zum Umschlag des letzteren auf gelb ist brauchbar, da die gelbe Farbe des Methylorange bei der Titration mit Kaliumchromat + Silberlösung nicht stört.

Alkalische Wässer, z. B. chemisch enthärtete Wässer und Kesselwässer, von welchen letzteren man zwecks sparsamen Verbrauchs an teurem Silbernitrat nur 10 cm^3 Wasser anwendet, müssen vor der Titration neutralisiert werden, natürlich nicht mit Salzsäure, sondern mit chloridfreier Schwefelsäure oder Salpetersäure oder Phosphorsäure. Diese Neutralisation muß bis zum Verschwinden der nach Phenolphthaleinzusatz eingetretenen Rotfärbung gehen.

Zur Entfernung des störenden Eisens gibt man zu einer größeren Wasserprobe (etwa 150 cm^3) entweder Zinkoxyd (chlorfrei) oder Natriumbikarbonat, schüttelt um und gießt durch ein Filter.

Berechnung.

1 cm^3 Silbernitratlösung = 1 mg Cl . Eintragung als mg/l , so daß die gefundenen cm^3 mit 10 (bei Roh- und Reinwasser) oder 100 (bei Kesselwasser) zu multiplizieren sind.

6. Sauerstoffgehalt.

Erforderliche Chemikalien:

Manganchlorürlösung,
jodkaliumhaltige Natronlauge,

konzentrierte Salzsäure,
Jodkaliumlösung (10% ige Lösung),
 $\frac{1}{100}$ n-Natriumthiosulfatlösung.

Für diese hauptsächlich für Kondenswasser in Frage kommende Untersuchung leitet man das zu prüfende Wasser mittels eines auf den Zapfhahn aufgezogenen Gummischlauches bis auf den Boden der Sauerstoffflasche, läßt das Wasser in der Flasche langsam aufsteigen und mehrere Minuten lang aus dem Flaschenhalse überlaufen. Nachdem man darauf ohne Unterbrechung des Wasserzuflusses den Schlauch langsam aus der Flasche herausgezogen hat, setzt man vorsichtig den schräg abgeflachten Einschlifftopfen auf. Im Laboratorium läßt man nach dem Öffnen der Flasche mittels besonderer Sauerstoffpipetten 3 cm^3 Manganchlorürlösung und darauf (Reihenfolge beachten) 3 cm^3 jodkaliumhaltige Natronlauge bis auf den Boden der gefüllten Flasche zufließen, ungeachtet des Überlaufens von Wasser aus der Flasche. Die konzentrierten Lösungen sinken in der Flasche rasch zu Boden. Nach der Zugabe der Lösungen verschließt man vorsichtig mit dem Glasstopfen, ohne das hierbei abermals erfolgte Austreten von Wasser aus dem Flaschenhals zu beachten.

Durch sorgsames Mischen entsteht eine bei Abwesenheit von Sauerstoff weiße, bei Gegenwart von Sauerstoff je nach der Menge mehr oder minder gelbbraun gefärbte Ausfällung.

Durch Vergleich des Farbgrades des Flascheninhaltes mit einer im Handel erhältlichen Farbenskala der Firma Paul Altmann, Berlin NW 6, Luisenstr. 47, kann man oberflächlich schon den Gehalt des Wassers an Sauerstoff feststellen.

Für genauere Untersuchung muß man nach dem Absitzenlassen des Niederschlages (mindestens eine Viertelstunde bei Lichtabschluß stehen lassen) 5 cm^3 konzentrierte Salzsäure in die Flasche eingießen. Man setzt vorsichtig den Glasstopfen wieder auf, ohne auch diesmal das seitliche Heraustreten von Wasser zu berücksichtigen, und mischt durch häufiges Umschwenken. Der Niederschlag löst sich meist leicht; sollte ein Rest ungelöst bleiben, ist noch etwas Salzsäure hinzuzugeben.

Nach erfolgter Auflösung bringt man den Inhalt des Gefäßes unter Nachspülen mit destilliertem Wasser ohne Verlust in einen Erlenmeyer-Kolben von 600 cm^3 Inhalt und titriert unter Zusatz

von Jodzinkstärkelösung und 1 cm³ Jodkaliumlösung mit 1/100 n-Natriumthiosulfatlösung.

Die Temperatur des betreffenden Wassers ist stets zu messen, da mit steigender Temperatur die Lösungsfähigkeit der Gase im Wasser abnimmt. Bei der Berechnung der Analyse sind von dem Gesamthalt der Flasche stets die durch den Reagenzzusatz verdrängten 6 cm³ Wasser abzuziehen.

1 cm³ 1/100 n-Thiosulfat = 0,08 mg oder 0,0559 cm³ Sauerstoff.

Zur Herbeiführung einer Übereinstimmung mit den Angaben der amtlichen Untersuchungsstellen wird die Vermeidung der Berechnung als cm³ und die Angabe als mg/l empfohlen. Bezeichnet man die für die Titration verbrauchten cm³ 1/100 n-Thiosulfat mit n , den Inhalt der Flasche nach Abzug der 6 cm³ für die zugesetzten Reagenzien mit V , so ist der Sauerstoffgehalt, ausgedrückt als

$$\text{mg/l} = \frac{n \cdot 0,08 \cdot 1000}{V} \quad \text{oder} \quad \frac{80n}{V}$$

oder ausgedrückt in

$$\text{cm}^3/\text{l} = \frac{n \cdot 0,0559 \cdot 1000}{V} = \frac{55,9n}{V}.$$

Hat man derartige Untersuchungen häufig auszuführen, so legt man zweckmäßig in besonderen Tabellen den Wert $\frac{80}{V}$ bzw. $\frac{55,9}{V}$ als Konstante für die zur Benutzung kommenden Flaschen ein für allemal fest. Man hat dann nur nötig, diesen Faktor mit n zu multiplizieren.

7. Freie Kohlensäure (CO₂).

Erforderliche Chemikalien:

Phenolphthalein (1% ige Lösung im Alkohol),

Natriumkarbonatlösung, 1/10 n-(Sodalösung),

Seignettesalzlösung (bei Eisengehalt).

(Herstellung siehe S. 114.)

Man wählt einen mit Glasstöpsel verschließbaren Meßkolben von 100 cm³, dessen Marke sich möglichst tief unten am Halse befindet, und füllt diesen, indem man das zu untersuchende Wasser längere Zeit durchleitet, damit das anfänglich mit der Luft in Berührung gewesene, durch Gasaustausch kohlendioxidärmer gewordene Wasser verdrängt werde. Nachdem man das über der Marke stehende Wasser entfernt, fügt man genau

3 Tropfen von der alkoholischen 1%igen Phenolphthaleinlösung hinzu, dann träufelt man in die Flasche unter behutsamem Umschwenken, so daß das Wasser in der Flasche in drehende Bewegung kommt, so viel von der Natriumkarbonatlösung, bis die Flüssigkeit eine auch nach 5 Minuten langem Stehen nicht mehr verblassende, schwache, aber entschieden sichtbare rosenrote Färbung angenommen hat.

Man kann auch zweckmäßig eine zweite Bestimmung vornehmen, wobei man gleich beim Beginn des Titrierens fast die ganze Menge der Natriumkarbonatlösung, welche bei dem ersten Versuche verbraucht wurde, auf einmal zur Wasserprobe hinzufügt und die Bestimmung durch Hinzuträufeln von einigen weiteren Tropfen Natriumkarbonatlösung beendet. Die zweite Bestimmung ist die bessere, da man bei der ersten Bestimmung einen geringen Kohlensäureverlust (etwa 5%) erleidet. Eisenhaltiges oder an Karbonathärte sehr reiches Wasser wird vor der Ausführung der Bestimmung mit 1 bis 2 cm³ gesättigter Seignettesalzlösung versetzt.

Die verbrauchte Natriumkarbonatlösung zeigt aber noch nicht den richtigen Kohlensäuregehalt des Untersuchungswassers an, vielmehr muß diese, der hier angegebenen Tafel entsprechend, verbessert werden.

Karbonathärte	Verbrauch Na ₂ CO ₃ -Lösung und Verbesserungswerte		
	1 cm ³	3 cm ³	5 cm ³
0°	+ 0,1 cm ³	+ 0,2 cm ³	+ 0,3 cm ³
10°	+ 0,2 „	+ 0,3 „	+ 0,4 „
15°	+ 0,4 „	+ 0,5 „	+ 0,6 „
20°	+ 0,5 „	+ 0,6 „	+ 0,7 „
25°	+ 0,6 „	+ 0,7 „	+ 0,8 „
30°	+ 0,8 „	+ 0,9 „	+ 1,0 „
35°	+ 0,9 „	+ 1,0 „	+ 1,1 „
40°	+ 1,0 „	+ 1,1 „	+ 1,2 „

Jedes cm³ $\frac{1}{10}$ n-Na₂CO₃ Lösung entspricht 2,2 mg CO₂ bzw. bei Anwendung von 100 cm³ Wasser 22 mg/l CO₂; zwecks Verwertung der Ergebnisse bei der Berechnung der Enthärtungszusätze (vgl. S. 106 ff.) gibt man die mg/l freier Kohlensäure durch Multiplikation mit 0,127 als Härtegrade an; die gleichen Härtegrade erhält man direkt aus den für 100 cm³ Wasser verbrauchten cm³ Sodalösung durch Multiplikation mit 2,8.

Empfohlen wird als abgekürzte Bezeichnung für dieses Härteäquivalent das Zeichen c in deutschen Buchstaben nach einem alten Vorschlag von Hundeshagen.

Für die Berechnung der Enthärtungszusätze kann man jedoch in den allermeisten Fällen den Gehalt des Wassers an freier Kohlensäure unberücksichtigt lassen, da bei der warmen Enthärtung nicht nur die freie, sondern auch ein Teil der gebundenen Kohlensäure (der Karbonathärte) durch die Erwärmung des Wassers auf mehr als 70° ausgetrieben wird. Nur bei kalter Enthärtung kann der Gehalt an freier Kohlensäure Bedeutung gewinnen.

8. Dichte des Kesselwassers.

Die Kesselwasserprobe wird in einem Standzylinder möglichst genau auf 15°C abgekühlt und die Dichte durch Einhängen eines geeichten Aräometers, das nach Graden Beaumé oder nach dem spezifischen Gewicht eingeteilt ist, gemessen. Die Eintragung nach $^\circ\text{Bé}$ ist wohl die gebräuchlichste. Zum Vergleich beider Aräometereinteilungen diene folgende Tabelle:

Bé	Spezifisches Gewicht	Bé	Spezifisches Gewicht
0° 1,000	2° 1,014
	1		15
	2		16
	3		17
	4		18
	5		19
	6		1,020
1° 7	3° 21
	8		22
	9		23
	1,010		24
	11		25
	12		26
	13		27
		4° 28
			29
			1,030

9. Ölgehalt im Kondenswasser.

1. Qualitativer Nachweis. Erforderliche Chemikalien:

Kampfer,
Metaphenyldiamin,
Paraphenyldiamin.

Fett- oder ölhaltige Wässer sehen, besonders bei niedriger Temperatur, mehr oder weniger opalisierend aus; häufig schimmert auch die Oberfläche bläulichrot. Ein äußerst empfindlicher qualitativer Nachweis von Spuren Öl im Wasser ist die Prüfung mittels Kampfer oder Metaphenyldiamin oder Paraphenyldiamin.

Kleinste Stückchen dieser Reagenzien, auf ölfreies Wasser geworfen, zeigen lebhafte kreisende Bewegung; diese unterbleibt, sobald das Wasser auch nur Spuren Öl enthält.

2. Bei der quantitativen Bestimmung des Öles gibt die direkte Ausätherung im allgemeinen dieselben Ergebnisse wie die Fällungsmethode.

Erforderliche Chemikalien:

Äther,

Chlorkalzium (wasserfrei — fest).

Bei der direkten Ausätherung werden größere Mengen Wasser portionsweise in einem Scheidetrichter mit Äther (etwa $\frac{1}{5}$ der angewandten Wassermenge) ausgeschüttelt.

Nach der Trennung der Mischung in 2 Flüssigkeiten wird die unten befindliche schwerere Wasserschicht durch Öffnen des Hahnes abgelassen; die verbleibende Ätherschicht wird durch Umkehren des Scheidetrichters aus der oberen Öffnung in einen Erlenmeyer-Kolben gegossen. In die vereinigten Äthermengen wird wasserfreies festes Chlorkalzium (etwa 5 g) gegeben, worauf nach mehrstündigem Stehenlassen die Ätherlösung durch ein kleines Papierfilter filtriert und in einer vorher gewogenen kleinen Porzellanschale verdunstet wird. Nach dem Verdunsten des Äthers wird die Porzellanschale mit ihrem vielfach kaum sichtbaren geringen Inhalt im Trockenschrank kurz getrocknet und nach dem Erkalten gewogen.

3. Bei sehr geringen Ölmengen (etwa 1 mg/l) ist die folgende Fällungsmethode vorzuziehen:

Erforderliche Chemikalien:

Aluminiumsulfatlösung (2% ige Lösung in Wasser);

Ammoniak,

Äther.

Zu 1 bis 2 Liter Wasser gibt man 10 cm³ Aluminiumsulfatlösung, erhitzt bis nahe zum Sieden, setzt so viel Ammoniak hinzu, daß Lackmuspapier gebläut wird, kocht noch einige Minuten,

filtriert den Niederschlag, der sämtliches Öl enthält, nach kurzem Absitzenlassen durch ein mit Äther ausgewaschenes Filter ab, wäscht 3 bis 4mal mit heißem Wasser, trocknet das Filter mit Niederschlag und extrahiert es dann im Soxhletapparat mittels Äther.

10. Wertbestimmung von Ätzkalk und Soda.

a) **Untersuchung des rohen Kalkes auf Ätzkalkgehalt.** 100 g des Durchschnittsmusters werden abgewogen, abgelöscht und mittels Trichter und Nachspülen mit destilliertem Wasser in einen 500 cm³ Meßkolben gebracht. Nach dem Abkühlen, Auffüllen und Umschütteln werden 100 cm³ in einen zweiten 500-cm³-Meßkolben gebracht und aufgefüllt. Nach gutem Durchmischen werden 25 cm³ entsprechend 1 g der Probe nach Zugabe von Phenolphthalein mit n-Salzsäure bis zum Verschwinden der Rotfärbung titriert. Der Umschlag tritt ein, wenn der ganze freie Kalk gesättigt, der kohlen saure Kalk noch nicht angegriffen ist. 1 cm³ n-Salzsäure = 0,028 g gebrannter Kalk (CaO).

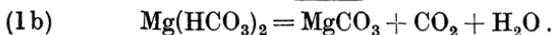
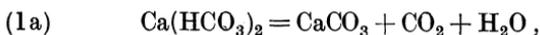
b) **Untersuchung der Soda auf Reingehalt.** Man löst 1 g Soda in 25 bis 50 cm³ Wasser und titriert mit Salzsäure unter Verwendung von Methylorange als Indikator. 1 cm³ n-Salzsäure = 0,053 g Soda (Na₂CO₃).

11. Die chemischen Gleichungen der bei den Enthärtungsverfahren auftretenden Umsetzungen und Berechnung der Enthärtungszusätze.

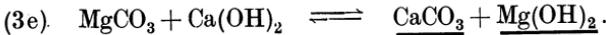
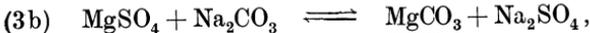
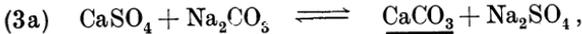
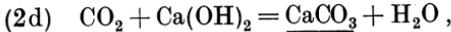
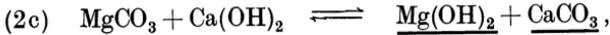
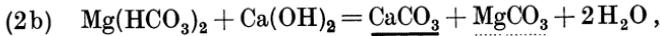
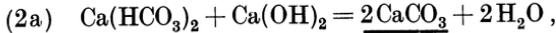
Im nachstehenden sind die wasserunlöslichen Salze durch einen ———, die teilweise wasserlöslichen durch bezeichnet.

a) **Kalk-Soda-Enthärtung.** Das Kalk-Soda-Verfahren scheidet bekanntlich die Karbonathärte durch Kalk, die Nichtkarbonathärte durch Soda aus.

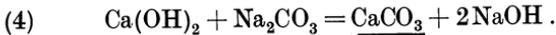
Schon durch die Vorwärmung im eigentlichen Reiniger auf 50 bis 60° spaltet sich je nach Zeitdauer ein gewisser Teil (höchstens aber 40 bis 50%) der gelösten doppeltkohlen sauren Salze des Kalziums und Magnesiums (Erdalkalibikarbonate) in Karbonate und freie Kohlensäure nach der Formel:



Die weiteren Umsetzungen sind dann, abgesehen von unvermeidlichen Nebenreaktionen, folgende:



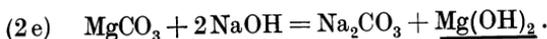
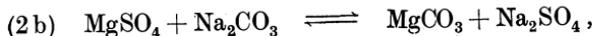
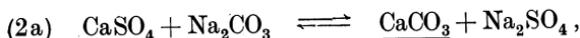
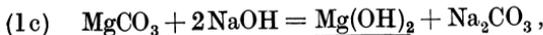
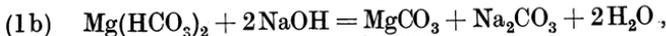
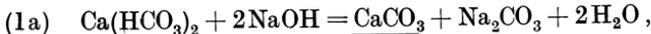
Überschüssig zugesetzter Ätzkalk wird durch überschüssige Soda als kohlenaurer Kalk ausgefällt nach der Gleichung



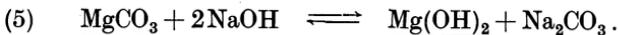
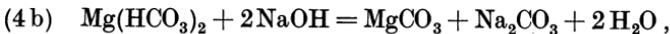
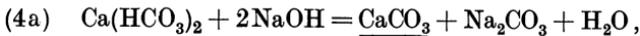
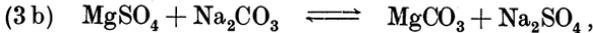
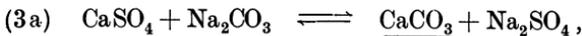
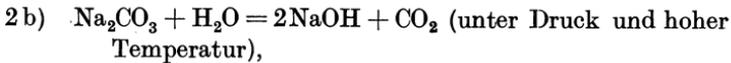
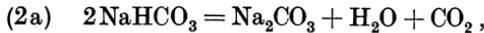
Sämtliche Kalksalze des Wassers fallen als wasserunlösliches Karbonat, sämtliche Magnesiumsalze als wasserunlösliches Hydroxyd zu Boden.

Wichtig ist bei der Gleichung 3a, 3b und 3e die Umkehrbarkeit, so daß diese Reaktion zum möglichst quantitativen Verlauf in der Richtung von links nach rechts einen gewissen Sodaüberschuß bedingt.

b) Ätznatron-Soda-Verfahren. Die chemischen Umsetzungen sind bei diesem Verfahren prinzipiell die gleichen wie beim Kalk-Soda-Verfahren.



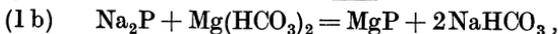
c) **Soda-Enthärtung.** Die Wasserreinigung bei der Soda-enthärtung verläuft, abgesehen von den Nebenreaktionen, nach folgenden Gleichungen:



Die Gleichungen (1a), (1b), (3a), (3b) und (5) sind umkehrbar, so daß eine gute Enthärtung nur bei einem erheblichen Überschuß an Soda möglich ist.

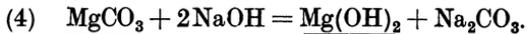
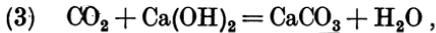
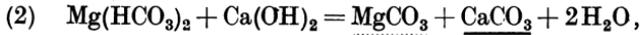
In Übereinstimmung mit dem Kalk-Soda-Verfahren fallen auch hier alle Kalksalze als wasserunlöslicher kohlensaurer Kalk, alle Magnesiumsalze als wasserunlösliches Hydroxyd zu Boden, jedoch treten im Gegensatz zum Kalk-Soda-Verfahren an die Stelle der Karbonathärte lösliche Alkalisalze; das Wasser wird also salzreicher als das nach dem Kalk-Soda-Verfahren enthärtete Wasser.

d) **Permutit-Enthärtungsverfahren.** Die praktische Wasserenthärtung erfolgt durch einfaches Filtrieren nach den Gleichungen (P = Permutitrest):



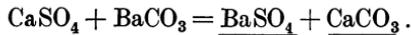
Die Filtration erfolgt von oben nach unten mit Geschwindigkeiten von 2 bis 10 m in der Stunde, je nach der Härte des Wassers.

e) Kalk-Ätznatron-Verfahren.



Die in Gleichung (4) entstandene Soda wirkt in der bekannten Weise dann weiter auf die Sulfate und Chloride ein.

f) Baryt-Verfahren. Bei den chemischen Umsetzungen werden im Gegensatz zum Soda-Verfahren die Sulfate nicht in wasserlösliche und infolgedessen im Kesselwasser verbleibende Natronsalze (Glaubersalz) umgewandelt, sondern als völlig wasserunlösliches Bariumsulfat ganz aus dem Wasser entfernt.



Aus den vorstehend behandelten stöchiometrischen Gleichungen lassen sich die zum Weichmachen des Wassers erforderlichen Mengen an Kalk und Soda nach verschiedenen Methoden berechnen.

α) Für eine Kalk-Soda-Enthärtung. Die Rechnung erfolgt zweckmäßig nach den etwas abgeänderten Formeln von Hundeshagen¹, in welchen bedeutet:

Ca (in deutschen Buchstaben) die Kalkhärte,
Mg („ „ „) die Magnesiahärte,
K („ „ „) die Karbonathärte,
N („ „ „) die Nichtkarbonathärte,
c („ „ „) das Härteäquivalent der freien Kohlensäure (vgl. S. 99/100).

a) Ätzkalk (g/cbm) = 10,0 (K + Mg + c).

b) Soda (g/cbm) = 18,9 N.

¹ Vgl. Hundeshagen, Dr. F., Stuttgart: „Vorschläge zu einer praktischeren Fassung der Ergebnisse von technischen Wasseranalysen und rationelle Formeln zur Bestimmung und Berechnung des jeweils zweckmäßigsten Verfahrens für die technische Reinigung der Betriebswässer.“ Vortrag, gehalten auf der 12. ordentlichen Hauptversammlung des Verbandes selbständiger öffentlicher Chemiker Deutschlands am 19.—22. September 1907 in Goslar (Harz). Zeitschrift für öffentliche Chemie Bd. 13, H. 23. 1907.

Nehmen wir ein Beispiel:

In 1 Liter Wasser sind enthalten:

$$\begin{array}{l} \text{CaO} = 300 \text{ mg/l} = 30,0^{\circ} \text{ Härte} \\ \text{MgO} = 70 \text{ ,,} = 9,8^{\circ} \text{ ,,} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{CaO} \\ \text{MgO} \end{array}} \right\} 39,8^{\circ} = 10,7 \left. \vphantom{39,8^{\circ}} \right\} \begin{array}{l} 14,2 \text{ cm}^3/\text{l n-Lösung oder} \\ \text{Milligramm-Äquivalente} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Gebundene CO}_2 = 80 \text{ mg/l} = 10,0^{\circ} \text{ Härte} \\ \text{Freie CO}_2 = 14 \text{ ,,} = 1,8^{\circ} \text{ ,,} \\ \text{SO}_3 = 351 \text{ ,,} = 24,6^{\circ} \text{ ,,} \\ \text{Cl} = 66 \text{ ,,} = 5,2^{\circ} \text{ ,,} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Gebundene CO}_2 \\ \text{Freie CO}_2 \\ \text{SO}_3 \\ \text{Cl} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} = 3,57 \\ = 0,64 \\ 39,8^{\circ} = 8,77 \\ + 1,8^{\circ} \\ = 1,86 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} = 3,57 \\ = 0,64 \\ 39,8^{\circ} \\ + 1,8^{\circ} \\ = 1,86 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 14,2 + 0,64 \\ \text{cm}^3/\text{l} \\ \text{n-Lösung oder} \\ \text{Milligramm-} \\ \text{Äquivalente.} \end{array}$$

Nach den Hundeshagenschen Formeln läßt sich der Zusatz an Ätzkalk (100%) zu $10,0 (10,0 + 9,8 + 1,8) = 216 \text{ g/cbm}$, an Soda (100% ig) zu $18,9 \cdot 29,8 = 563 \text{ g/cbm}$ berechnen. Man vgl. jedoch hierzu die Bemerkungen auf S. 100 über den minimalen Einfluß der freien Kohlensäure bei warmer Enthärtung; läßt man den Wert für freie Kohlensäure daher unberücksichtigt, so erhält man als erforderlichen Ätzkalkzusatz $10,0 \cdot (10,0 + 9,8 + 0) = 198 \text{ g/cbm}$.

Diese Berechnungsweise kann man auch folgendermaßen entwickeln: Ein Wasser, das einen deutschen Härtegrad aufweist, ist bekanntlich ein solches, das auf 100000 Teile Wasser 1 Teil CaO oder in 1 Liter 10 mg CaO enthält. Gegenüber der (genauer) Kalkhärte genannten Zahl entspricht die nach chemisch-stöchiometrischen Gesetzen berechnete Menge MgO, nämlich $7,84 \text{ mg/l}$, 1° Magnesiaihärte. Setzt man bei den Säureresten auch jedesmal die den 10 mg CaO äquivalenten Mengen ein, so bekommt man die entsprechenden Karbonat-, Sulfat-, Chloridhärten.

1 deutscher Härtegrad wird bedingt durch:

10,0 mg Kalziumoxyd (CaO)	10,7 ,, Karbonat (CO ₃)
7,14 ,, Kalzium (Ca)	12,7 mg Chlor (Cl)
7,14 ,, Magnesiumoxyd (MgO)	17,9 ,, Kalziumkarbonat (CaCO ₃)
4,28 ,, Magnesium (Mg)	24,3 ,, Kalziumsulfat (CaSO ₄)
14,3 ,, Schwefelsäureanhydrid (SO ₃)	19,8 ,, Kalziumchlorid (CaCl ₂)
	15,0 ,, Magnesiumkarbonat (MgCO ₃)
17,1 ,, Sulfat (SO ₄)	21,4 ,, Magnesiumsulfat (MgSO ₄)
7,9 ,, Kohlensäure (CO ₂)	17,0 ,, Magnesiumchlorid (MgCl ₂)

Anstatt zur Härteberechnung die Anzahl der gefundenen mg/l durch die soeben angegebenen Faktoren zu dividieren, kann man zweckmäßiger mit den entsprechenden reziproken Zahlen multiplizieren, nämlich mit den Faktoren:

0,1	für	Kalziumoxyd (CaO)
0,14	„	Kalzium (Ca)
0,14	„	Magnesiumoxyd (MgO)
0,23	„	Magnesium (Mg)
0,07	„	Schwefelsäureanhydrid (SO ₃)
0,059	„	Sulfat (SO ₄)
0,127	„	Kohlensäure (CO ₂)
0,093	„	Karbonat (CO ₃)
0,079	„	Chlor (Cl)
0,056	„	Kalziumkarbonat (CaCO ₃)
0,041	„	Kalziumsulfat (CaSO ₄)
0,05	„	Kalziumchlorid (CaCl ₂)
0,067	„	Magnesiumkarbonat (MgCO ₃)
0,047	„	Magnesiumsulfat (MgSO ₄)
0,059	„	Magnesiumchlorid (MgCl ₂)

In dem auf S. 106 angegebenen Zahlenbeispiel ist die Rechnung auch in dieser Weise durchgeführt worden und zeigt den Vorteil, daß die Summe der Härtegrade von Kalk und Magnesia, also die Gesamthärte, gleich ist der Summe der Härtegrade für die gebundenen Säurereste (ohne die freie Kohlensäure), was bei der Berechnung nach mg/l nicht zu ersehen ist. Man hat daher durch diese Ausrechnung zugleich eine Kontrolle der Analyse selbst. Natürlich gelten diese Ausführungen nur mit einer gewissen Einschränkung, da auch noch die, im Verhältnis zu den Härtebildnern Kalk und Magnesia allerdings weit geringeren, meist sogar zu vernachlässigenden Mengen von Eisen, Mangan, Tonerde, Alkalien an Säurereste gebunden sein können, so daß strenggenommen in solchen Fällen die Summe der auf Härtegrade bezogenen Metalloxydzahlen erst nach Berücksichtigung von Eisen, Mangan usw. mit der Summe der auf Härtegrade berechneten Säurereste übereinstimmen würde.

Die Berechnung aller Analysenwerte auf Härtegrade gibt nun die Möglichkeit, leicht die Enthärtungszusätze zu ermitteln. Nach den vorherigen Ausführungen werden bei der Enthärtung die an Bikarbonat gebundenen Mengen von Magnesia und Kalk durch Zusatz von Ätzkalk, die an Sulfat, Nitrat und gegebenenfalls an Chlorid gebundenen Mengen der Härtebildner durch Soda ausgeschieden. Dabei bildet sich zunächst der praktisch vollständig wasserunlösliche kohlensaure Kalk und die nur teilweise wasserunlösliche kohlensaure Magnesia. Um das gebildete Magnesiumkarbonat in eine völlig wasserunlösliche Form überzuführen,

gibt man ihm durch weiteren Zusatz von Ätzkalk Gelegenheit, in das unlösliche Magnesiumhydroxyd überzugehen. Nach stöchiometrischen Gesetzen braucht man zu dieser letzten Umsetzung die gleiche Äquivalentmenge, die man schon vorher zur Umwandlung der Magnesiumsalze in Magnesiumkarbonat benötigt hat.

In unserem Beispiel braucht man unter Nichtberücksichtigung der freien Kohlensäure zur Ausfällung der Sulfathärte $24,6^{\circ}$ Soda und beseitigt dadurch gleichzeitig $24,6^{\circ}$ Kalkhärte. Für die Entfernung der Chloridhärte brauchen wir $5,2^{\circ}$ Soda und beseitigen nochmals $5,2^{\circ}$ Kalkhärte; insgesamt sind also $29,8^{\circ}$ Kalkhärte, und zwar als Sulfat- und Chloridhärte, also Nichtkarbonathärte, durch Zugabe von $29,8^{\circ}$ Soda verschwunden. $29,8^{\circ}$ Soda lassen sich sehr leicht in mg/l oder g/cbm umrechnen, wenn man durch den zehnten Teil des Äquivalentgewichtes von Kalk dividiert und mit dem Äquivalentgewicht von Soda multipliziert, also mit dem Quotienten $\frac{53}{2,8} = 18,9$ multipliziert. Das ist also wieder die Zahl der Hundeshagenschen Sodaformel. Übrig bleibt noch $0,2^{\circ}$ Kalkhärte + $9,8^{\circ}$ Magnesiahärte auf der einen Seite und $10,0^{\circ}$ Karbonathärte auf der anderen Seite.

Zur Ausfällung der $10,0^{\circ}$ Härte braucht man nun zunächst zwecks Erzeugung von Kalziumkarbonat und Magnesiumkarbonat insgesamt $10,0^{\circ}$ Ätzkalk, ferner aber zur Umwandlung der aus $9,8^{\circ}$ Magnesiahärte entstandenen kohlensauren Magnesia in Magnesiumhydroxyd nochmals $9,8^{\circ}$, zusammen $19,8^{\circ}$ Ätzkalk. Die verzehnfachte letzte Zahl gibt naturgemäß sofort die mg/l bzw. g/cbm Ätzkalkzusatz an.

Die Zahlen stimmen demnach mit den nach der Hundeshagenschen Formel berechneten Zahlen überein, wenn c nicht berücksichtigt wird.

Eine noch etwas größere Vereinfachung gibt die Berechnung auf Milligrammäquivalente bzw. Millival, denn diese sind es ja, die man unter Benutzung der Tritationsmethoden mittels der auf Milligrammäquivalente eingestellten Normallösungen findet. Die vorher erwähnten Härtegrade werden ja auch erst durch Multiplikation mit dem zehnten Teil des Äquivalentgewichtes von Kalk (= 2,8) aus den Milligrammäquivalenten (= dem Verbrauch an cm^3 Normallösung für 1 Liter Wasser), berechnet. Im übrigen gilt alles vorher Gesagte auch hier.

Die entsprechenden Zahlen sind in unserem Beispiel mit angeführt. Gebraucht werden also unter Berücksichtigung aller vorherigen Auseinandersetzungen 10,63 Milligrammäquivalente oder $10,63 \cdot 53 = 563$ g/cbm Soda und $(3,57 + 3,50) \cdot 28 = 198$ g/cbm Ätzkalk.

Selbstverständlich ist bei der nun folgenden praktischen Dosierung der Zusatzmaterialien zu berücksichtigen, daß der Ätzkalk meist nur 85% ig, die Soda etwa 98% ig ist. Im allgemeinen gibt man die Soda als 10% ige Lösung, den Ätzkalk in Form gesättigten Kalkwassers zu. Bei der verhältnismäßig geringen Löslichkeit von Ätzkalk in Wasser (praktisch etwa 1 kg/cbm) würde aber die Anwendung von Kalkwasser den Einbau außerordentlich geräumiger Kalksättiger bedingen, sobald es sich um große Kesselanlagen handelt. Da solche Abmessungen im Großbetrieb bei stündlichen Leistungen von z. B. mehr als 100 cbm viel zu unhandlich werden, sieht man in der Großindustrie vielfach von besonderen Kalkwasserbereitern ab und verwendet direkt 10 bis 12% ige Kalkmilch.

Die bisherigen Darlegungen lassen erkennen, daß zur rechnerischen Ermittlung der Enthärtungszusätze eine Analyse des Rohwassers auf Gesamthärte, Karbonathärte, Nichtkarbonathärte und Magnesiaihärte unerlässlich ist; eine Aufteilung der Nichtkarbonathärte in Chlorid-, Sulfat- und Nitrathärte ist nicht erforderlich.

β) Für eine Ätznatron-Soda-Enthärtung. Unter Beibehaltung des vorher gegebenen Zahlenbeispiels braucht man zur Berechnung der erforderlichen Ätznatronmenge die Milligramm-äquivalente anstatt mit 28 mit 40 zu multiplizieren und erhält dann $7,07 \cdot 40 = 283$ mg pro Liter oder g/cbm Ätznatron (NaOH).

Unter Beibehaltung der Berechnung aller Analysenwerte auf Härtegrade dagegen benötigt man anstatt der 19,8⁰ Ätzkalk die äquivalente Menge Ätznatron, die man durch Multiplikation mit $\frac{40 \cdot 10}{28}$ oder $\frac{100}{7}$ oder 14,3 bzw. durch Division durch $\frac{7}{100}$ oder durch 0,07 als mg/l oder als g/cbm erhält; das sind also $19,8 \cdot 14,3 = 283$ g/cbm bzw. $19,8 : 0,07 = 283$ g/cbm NaOH.

Die in entsprechender Weise umgeformte allgemeine Hundes-hagensche Gleichung a würde dann lauten:

$$(a_1) \text{ Ätznatron (g/cbm) } = \frac{10,0 (\mathfrak{R} + \mathfrak{Mg} + c)}{0,7} \quad \text{oder} \quad 14,3 (\mathfrak{R} + \mathfrak{Mg} + c) \quad \text{oder in Zahlen } 14,3 (10,0 + 9,8 + 1,8) = 14,3 \cdot 21,6$$

= 309. Bei Nichtberücksichtigung der freien Kohlensäure (vgl. (S. 100) erhält man $14,3 (10,0 + 9,8) = 14,3 \cdot 19,8 = 283$.

Wie weiterhin aus den chemischen Formeln hervorgeht, entsteht bei diesen Enthärtungsverfahren durch die Umsetzung des Kalziumbikarbonats, Magnesiumbikarbonats, Magnesiumkarbonats und der freien Kohlensäure mit dem Ätznatron auf je ein Molekül der Bikarbonate bzw. Karbonate ein Molekül Soda, die als neu entstandene Soda ebenso reaktionsfähig ist, wie die künstlich eingebrachte Soda. Die Menge der letzteren kann daher um die Menge der ersteren vermindert werden. Die Menge der entstandenen Soda läßt sich daher durch Äquivalenzrechnungen aus der Menge der Bikarbonat- bzw. Karbonatkohlensäure errechnen, indem man in unserem Zahlenbeispiel $3,57$ (-bikarbonate) + $3,5$ (Magnesiumkarbonat) + $0,64$ (freie Kohlensäure) oder $7,71$ Milligrammäquivalente mit 53 multipliziert, wobei man 409 mg/l oder g/cbm Soda erhält, die durch das zugesetzte Ätznatron entstehen und an der für die Beseitigung der Nichtkarbonathärte errechneten Sodamenge gespart werden können. Man braucht also zur Ausfällung der Härtebildner mittels Soda in diesem Falle nur $10,63 - 7,71 = 2,92$ Milligrammäquivalente, entsprechend $2,92 \cdot 53 = 154$ mg/l Soda; zu demselben Ergebnis kommt man auch durch folgende Differenzbildung:

$$10,63 \cdot 53 - 7,71 \cdot 53 = 563 - 409 = 154.$$

Unter Vernachlässigung der freien Kohlensäure ergibt sich folgende Rechnung: $(3,57 + 3,5) \cdot 53 = 7,07 \cdot 53 = 375$ g/cbm Soda entstehen neu. Folglich sind zuzusetzen $10,63 - 7,07 = 3,56$ Milligrammäquivalente entsprechend $3,56 \cdot 53 = 188$ g/cbm Soda. Zu demselben Ergebnis führt uns die Rechnung $10,63 \cdot 53 - 7,07 \cdot 53 = 563 - 375 = 188$.

Hätte man die Zahlenwerte in Härtegraden ausgedrückt, so ergibt sich folgende Rechnung:

Man subtrahiert von den $29,8^0$, die insgesamt durch die Soda beseitigt werden sollen, die 10^0 Karbonathärte + $9,8^0$ Magnesia-härte + $1,8^0$ Härteäquivalent der freien Kohlensäure, also zusammen $21,6^0$, erhält auf diese Weise $8,2^0$ und drückt diese Zahl durch Multiplikation mit dem Quotienten $53 : 2,8 = 18,9$ in mg/l bzw. g/cbm Soda aus; es ergibt sich auch in diesem Falle $8,2 \cdot 18,9 = 154$.

Die hiernach abgeänderte Hundeshagensche Formel (b) würde dann lauten:

(b₁) Soda (g/cbm) = 18,9 ($\mathfrak{N} - \mathfrak{K} - \mathfrak{Mg} - c$) oder in Zahlen 18,9 (29,8 - 10,0 - 9,8 - 1,8) = 18,9 · 8,2 = 154.

Da man \mathfrak{N} auch als die Differenz der Gesamthärte minus Karbonathärte oder als $\mathfrak{Ca} + \mathfrak{Mg} - \mathfrak{K}$ ausdrücken kann, so kann man der Formel auch folgendes Aussehen geben:

(b₁) Soda (g/cbm) = 18,9 ($\mathfrak{Ca} + \mathfrak{Mg} - \mathfrak{K} - \mathfrak{K} - \mathfrak{Mg} - c$)
oder

(b₁) Soda (g/cbm) = 18,9 ($\mathfrak{Ca} - 2 \mathfrak{K} - c$).

Dadurch ist der Wert für \mathfrak{Mg} fortgefallen; man muß dafür aber den neu aufgetauchten Wert für \mathfrak{Ca} kennen, der der Differenz zwischen Gesamthärte und Magnesiahärte entspricht.

Das Zahlenbeispiel ergibt dann: 18,9 (30,0 - 2 · 10,0 - 1,8) = 18,9 · 8,2 = 154.

Gibt man dieser letzten allgemeinen Formel eine noch etwas andere Form, nämlich

(b₁) Soda (g/cbm) = 18,9 ($\mathfrak{Ca} - [2 \mathfrak{K} + c]$), so zeigt sich, daß Sodazugabe unnötig wird, wenn \mathfrak{Ca} gleich oder kleiner ist als ($2 \mathfrak{K} + c$); in diesem Falle kann das Wasser durch ausschließlichen Zusatz von Ätznatron enthärtet werden.

γ) Für eine Soda-Enthärtung mit Rückführung. Die Umsetzung zwischen Soda und der Nichtkarbonathärte des Wassers ist dieselbe wie bei der Kalksoda-Enthärtung (vgl. die Hundeshagensche Formel (α b) (S. 105).

Diese Folgerung läßt sich folgendermaßen ableiten:

Um bei dem Sodaverfahren mit Rückführung des Kesselwassers und mit alleinigem Zusatz von Soda zum Wasserreiniger eine vollständige Abscheidung der Magnesia im Reiniger zu erzielen, ist es bekanntlich nötig, den Betrieb so zu führen, daß das rückgeführte Kesselwasser eine hinreichende Menge frisch im Kessel gebildeten Ätznatrons enthält, um die Karbonathärte, die freie Kohlensäure und das als Zwischenprodukt entstandene Magnesiumkarbonat vollständig auszufällen und außerdem noch als kleiner Überschuß in Erscheinung zu treten. Nach den Gleichungen braucht man zwar theoretisch Ätznatron nur für die Umwandlung des Magnesiumkarbonats in das Hydroxyd; in Wirklichkeit besteht aber durchaus keine Gewähr dafür, daß der

Gehalt des rückgeführten Wassers an Ätznatron nicht in erster Linie zur Abscheidung der Kalkkarbonathärte verbraucht wird, so daß für das Magnesiumkarbonat kein Ätznatron mehr zur Verfügung steht.

Die Vorgänge bei der Umsetzung sind soweit die gleichen wie bei dem unter β (S. 109) beschriebenen Verfahren der Enthärtung mittels Ätznatron und Soda, d. h. im Wasserreiniger werden verbraucht

$$\begin{aligned}\text{Ätznatron (g/cbm)} &= 14,3 (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c), \\ \text{Soda (g/cbm)} &= 18,9 (\mathfrak{Ca} - 2 \mathfrak{K} - c).\end{aligned}$$

Da aber bei diesem Verfahren das Wasser überhaupt keinen Ätznatronzusatz erhält, dieser vielmehr aus der zugegebenen Soda erst nachträglich gebildet wird, so würde das Wasser, wenn ihm nur die zuletzt berechnete Sodamenge gegeben würde, immer ärmer werden an Soda wie auch an frisch entstehendem Ätznatron.

In den Enthärter muß daher außer dieser soeben erwähnten Sodamenge weiterhin noch so viel Soda eingeführt werden, daß im Kessel bzw. in der rückgeführten Menge Kesselwasser nach Abspaltung der Kohlensäure die zur Beseitigung sämtlicher Karbonathärtebildner einschließlich des zunächst entstehenden Magnesiumkarbonats erforderliche Menge Ätznatron, d. h. $14,3 (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c)$ g/cbm zu reinigenden Wassers gebildet wird.

Zu deren Erzeugung ist unter Annahme 100% iger Spaltung der dafür zur Verfügung stehenden Soda eine dem Ätznatron äquivalente Sodamenge erforderlich:

1 Gewichtsteil NaOH entspricht $53 : 40 = 1,325$ Gewichtsteilen Soda; die Zahl 14,3 der letzterwähnten Formel verwandelt sich in $14,3 \cdot 1,325 = 18,9$.

Dem Wasserreiniger sind daher nachstehend errechnete Sodamengen mindestens zuzusetzen:

$$\begin{aligned}\text{Soda (g/cbm)} &= 18,9 (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c) + 18,9 (\mathfrak{Ca} - 2 \mathfrak{K} - c) \\ &= 18,9 (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c + \mathfrak{Ca} - 2 \mathfrak{K} - c) \\ &= 18,9 (\mathfrak{Ca} + \mathfrak{Mg} - \mathfrak{K}) \\ &= 18,9 \cdot \mathfrak{N}.\end{aligned}$$

In den Zahlen unseres Beispiels macht das einen Mindestsodazusatz von $18,9 \cdot 29,8 = 536$ g/cbm.

Der Beweis für die Richtigkeit des ersten Satzes des Abschnittes γ) (auf S. 111) ist hiermit erbracht.

In Wirklichkeit ist aber erst bei einem Kesseldruck von etwa 50 atü die Spaltung annähernd 100 % ig. Die Bildung von Ätznatron durch Spaltung überschüssiger Soda im Kessel hängt nämlich einzig und allein von dem jeweils im Kessel herrschenden Überdruck ab.

Zur Berechnung der zur Erzeugung des Ätznatrons infolge Spaltung erforderlichen Sodamenge mag hier angeführt werden, daß etwa folgende Mittelwerte angenommen werden dürfen:

3 atü	12 atü	15—16 atü	20 atü	30 atü	50 atü
Spaltungsbeginn	50%	65%	78%	85%	100%

Bei einem Kesseldruck von z. B. 15 atü, der eine Sodaspaltung von rund 65 % verursacht, ist daher eine entsprechende Mehrmenge an Soda zu nehmen, nämlich weitere 35 % derjenigen Sodamenge, die formelgemäß zur Abscheidung der Karbonate nötig ist, also

$$\frac{35}{100} \cdot 18,9 (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c),$$

oder nach Einsetzung der Zahlen unseres Beispiels 143 g/cbm Soda mehr. Die insgesamt zu verwendende Sodamenge beträgt also 563 + 143 = 706 g/cbm.

Bezeichnet man in nachfolgender Gleichung den Prozentgehalt der dem jeweiligen Kesseldruck entsprechenden Sodaspaltung mit \mathfrak{Sp} , gleichfalls in deutschen Buchstaben, so sieht die endgültige allgemeine Gleichung zur Berechnung des gesamten Sodazusatzes bei einer Sodaenthärtung mit Rückführung folgendermaßen aus:

$$\text{Soda (g/cbm)} = 18,9 \cdot \mathfrak{N} + \frac{18,9 (100 - \mathfrak{Sp}) (\mathfrak{K} + \mathfrak{Mg} + c)}{100}.$$

Unser Beispiel ergibt bei Annahme von 65 für \mathfrak{Sp}

$$\begin{aligned} 18,9 \cdot 29,8 + \frac{18,9 (100 - 65) (10,0 + 9,8 + 1,8)}{100} &= \\ = 563 + \frac{18,9 \cdot 35 \cdot 21,6}{100} &= \\ = 563 + 143 = 706. & \end{aligned}$$

Es ist leicht einzusehen, daß bei niedrigeren Kesseldrucken die erforderliche Sodamenge infolge geringerer Sodaspaltung größer wird, z. B. bei 50 % iger Spaltung 563 + 204 = 767 g/cbm erreicht. Andererseits wird bei 100 % iger Spaltung (ca. 50 atü) der hinter dem Pluszeichen stehende Teil der Gleichung = Null, fällt also ganz fort.

Weiter ist es nötig, die zulässige Anreicherung der löslichen Kesselbetrieb.

Salze im Kesselwasser zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich sodann die täglich abzublasende Menge Kesselwasser und die mit diesem verlorengelassene Soda. Diese Sodamenge hängt natürlich ganz von der Wahl der Höchstsalkonzentration im Kessel ab und kann zahlenmäßig nur bei jeweiliger Kenntnis des Kesselinhalts, der abzulassenden Wassermenge, der Salzanreicherung usw. angegeben werden.

Schließlich ist zu beachten, daß bei völliger Entleerung des Kessels der Alkaligehalt ganz verloren geht.

Zu den eben berechneten Sodazusatzmengen von 706 bzw. 767 g/cbm sind daher noch mehr oder minder erhebliche Zusätze zu machen, deren Menge letzten Endes am einfachsten durch die Untersuchung des Wassers aus dem Enthärter nach Vermischung mit dem rückgeführten Wasser zu erkennen ist. Dieses Wasser soll noch etwa 20 bis 50 mg/l Ätznatron (NaOH) aufweisen.

12. Herstellung verschiedener, zum Teil durch den Handel nicht zu beziehender Lösungen.

Seignettesalz. (Für die Prüfung auf freie Kohlensäure.) 100 g chemisch reines kristallisiertes Seignettesalz (Kaliumnatriumtartrat oder Tartarus natronatus) werden mit 200 g destilliertem Wasser gemischt und filtriert. Man läßt einige Tage absetzen, filtriert durch Asbest und bewahrt diese fast farblose Lösung in braunen, gut schließenden Glasstöpselgefäßen auf. Eine bessere Haltbarkeit der Lösung wird erzielt durch Zugabe von einigen Gramm Quecksilber.

Außerdem soll hier Erwähnung finden die Herstellung der
Seifenlösungen

(Clark sowie Boutron und Boudet). Die Seifenlösungen bezieht man am besten von einer Chemikaliengroßhandlung. Vielfach wird sie jedoch auch selbst hergestellt, weshalb es sich empfehlen dürfte, zur Vermeidung unrichtiger Herstellung der Lösung das Herstellungsverfahren hier anzugeben.

150 Teile Bleipflaster (Herstellung siehe S. 116) werden auf dem Wasserbade erweicht und mit 40 Teilen reinen Kaliumkarbonats verrieben, bis eine völlig gleichförmige Masse entstanden ist. Man zieht dieselbe mit starkem Alkohol aus, läßt absetzen, filtriert die Flüssigkeit, wenn sie nicht vollständig klar ist, destilliert aus dem Filtrat den Alkohol ab und trocknet die

in eine Porzellanschale übergespülte Seifenlösung durch Verdampfen des Lösungswassers (Aufsetzen der Schale auf ein kochendes Wasserbad).

Bereitung der titrierten Seifenlösung für die Methode von Clark.

20 Teile der obigen Kaliseife werden in 1000 Teilen verdünnten Alkohols von 56 Vol.-Proz. gelöst.

Darauf bringt man 100 cm³ der unten aufgeführten Bariumchlorid- oder Bariumnitratlösung in das bei der Methode von Clark beschriebene Stöpselglas und läßt aus einer Bürette so lange von der obigen Seifenlösung hinzufließen, bis der charakteristische Schaum entsteht; man wird dazu voraussichtlich weniger als 45 cm³ Seifenlösung gebrauchen. Die, in folgedessen zu konzentrierte, Seifenlösung wird mit Alkohol von 56 Vol.-Proz. verdünnt, bis von der Seifenlösung genau 45 cm³ erforderlich sind, um in 100 cm³ der Bariumnitrat- oder der Bariumchloridlösung die Schaumbildung hervorzurufen.

Angenommen, es seien 15 cm³ der zu starken Seifenlösung zur Schaumbildung nötig gewesen, so werden 15 Raumteile derselben mit 30 Raumteilen Alkohol von 56 Vol.-Proz. verdünnt, was mit Hilfe eines Mischzylinders leicht geschehen kann. Selbstverständlich wird die verdünnte Seifenlösung nochmals geprüft und je nach dem Ausfall dieser Prüfung mit noch etwas Alkohol oder konzentrierter Seifenlösung versetzt, bis 45 cm³ der Seifenlösung genau 100 cm³ der obigen Bariumnitrat- oder Bariumchloridlösung entsprechen.

Bariumnitrat- oder Bariumchloridlösungen zum Einstellen der Seifenlösung.

Man löst 0,559 g bei 100° getrocknetes, reines Bariumnitrat (Ba(NO₃)₂) oder 0,523 g reines, trockenes Bariumchlorid (BaCl₂ + 2 H₂O) in destilliertem Wasser und füllt genau bis zum Liter auf; 100 cm³ dieser Lösungen enthalten eine 12 mg Kalk oder 12 deutschen Härtegraden äquivalente Menge Barium.

Bereitung der titrierten Seifenlösung für die Methode von Boutron und Boudet.

Man löst 10 Teile der obigen Kaliseife in 260 Teilen heißem Alkohol von 56 Vol.-Proz., filtriert die Lösung, sofern das nötig ist, noch

heiß, läßt erkalten und füllt damit das Hydrotimeter bis zum Teilstrich über 0 an. Darauf bringt man 40 cm³ der unten beschriebenen Bariumnitratlösung in das bei der Methode von Boutron und Boudet beschriebene Stöpselglas und setzt von der Seifenlösung bis zur Schaumbildung hinzu. Werden hierzu weniger als 22 auf dem Hydrotimeter verzeichnete (französische) Grade gebraucht, so ist die zu starke Seifenlösung mit Alkohol von 56 Vol.-Proz. zu verdünnen, bis genau 22° der Seifenlösung 40 cm³ der unten beschriebenen Bariumnitratlösung entsprechen.

Eine so konzentrierte Seifenlösung setzt im Winter zuweilen Flocken ab. Dieselben lösen sich leicht, wenn man die zugestöpselte Flasche in warmes Wasser stellt; der Titer der Lösung wird dadurch nicht verändert.

Bariumnitrat- oder Bariumchloridlösungen zum Einstellen dieser Seifenlösung.

Man löst 0,574 g reines, bei 100° getrocknetes Bariumnitrat ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$] oder 0,537 g reines, trockenes Bariumchlorid ($\text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$) in destilliertem Wasser und füllt genau bis zum Liter auf. 100 cm³ dieser Lösung enthalten so viel Barium, wie 22 mg Kalziumkarbonat entspricht, und in 40 cm³ derselben Lösung befindet sich eine 8,8 mg Kalziumkarbonat äquivalente Menge Barium; die Lösung zeigt also eine Härte von 22 französischen Graden.

Herstellung von Bleipflaster¹.

100 Teile Olivenöl werden in einem geräumigen, kupfernen Kessel zunächst mit 40 Teilen guter Bleiglätte und etwas Wasser unter stetem Umrühren auf freiem Feuer so lange gekocht, bis die Masse nahezu weiß geworden ist, alsdann fügt man noch 72 Teile fein gepulvertes, frisch gesiebtes Bleiweiß zu und setzt das Kochen bei Gegenwart einer genügenden Wassermenge — um das Anbrennen zu verhüten — noch bis zur Pflasterkonsistenz fort.

13. Zusammenstellung der erforderlichen Chemikalien und Geräte.

1 Liter	Salzsäure n,
2 „	Salzsäure n/10,
1 „	konzentrierte Salzsäure (spez. Gew. 1,125 = 25% _{ig}),
1 „	Silbernitratlösung, von welcher 1 cm ³ = 1 mg Chlor entspricht (4,791 g Silbernitrat auf 1 Liter dest. Wasser).

¹ Schmidt: Pharmazeutische Chemie Bd. 2, Teil 1, S. 503. 1910.

- 100 g reinstes Natriumchlorid,
 100 g reinstes Natriumbikarbonat chlorfrei,
 100 g Magnesiumoxyd (= gebrannte Magnesia = *Magnesia usta*).
 100 g Zinkoxyd chlorfrei.
 1 Liter Schwefelsäure, n/10,
 1 „ Kaliumpalmitatlösung n/10,
 2 „ Natronlauge n/10,
 1 „ Sodalösung n/10,
 100 g Phenolphthalein (1^o/₁₀ige Lösung in Alkohol),
 100 g Methylorange (0,5^o/₁₀ige Lösung in Wasser),
 1 Liter Seifenlösung,
 100 g Kaliumchromat (10^o/₁₀ige Lösung in Wasser),
 1 Liter Manganchloridlösung,
 1 „ jodkaliumhaltige Natronlauge für die Winklersche Sauerstoffbestimmung,
 1 „ Natriumthiosulfatlösung, n/100,
 1 „ Jodzinkstärkelösung,
 1 „ 10^o/₁₀ige Jodkaliumlösung,
 Destilliertes Wasser
 1 „ verdünnte Schwefelsäure (3 Raumteile Wasser (destilliert)) werden allmählich unter stetem Umrühren mit 1 Raumteil konz. Schwefelsäure versetzt. (Vorsicht! Schutzbrille!),
 200 g Natriumoxalatlösung (5^o/₁₀ig),
 100 ccm Neßlersches Reagens,
 1 Liter Aluminiumsulfatlösung (2^o/₁₀ige Lösung in Wasser),
 5 g gepulverter Kampfer,
 5 g Metaphenylendiamin,
 5 g gepulvertes Paraphenylendiamin,
 1 Liter Äther (Siedepunkt 36^o Vorsicht! Sehr feuergefährlich!),
 1 Paket rotes Lackmuspapier,
 1 Liter Ammoniak 10^o/₁₀ig,
 500 g Tierkohle (Knochenkohle oder Blutkohle),
 500 g gekörntes wasserfreies Chlorkalzium,
 100 aschefreie Filter 9 cm Ø (Schleicher & Schüll),
 1 chemische Wage mit Gewichtssatz,
 1 Bogen Asbestpapier,
 100 g Seignettesalz (Herstellung der Lösung S. 114).

Glasgeräte für vorstehende Wasseruntersuchungen.

- 10 Stück 1—2-Liter-Flaschen mit eingeschliffenen Glasstopfen zur Probenahme,
 1 „ Ärometer 1,000—1,060 spez. Gewicht oder 1 Beauméspondel über 1,0,
 3 „ Tropfflaschen von 50—100 cm³ Inhalt für Indikatoren,
 10 „ Bechergläser von 500 cm³,
 2 „ Standzylinder, 30 cm hoch,
 5 „ Sauerstoffflaschen,

- 2 Stück Sauerstoffpipetten,
- 2 „ Glasstäbe zum Rühren,
- 10 „ Erlenmeyer-Kolben, 300 cm³ Inhalt,
- 5 „ Erlenmeyer-Kolben, 600 cm³ Inhalt,
- 2 „ Pipetten von 100 cm³ Inhalt,
- 2 „ Pipetten von 10 cm³ Inhalt,
- 4 „ Büretten von 50 cm³ Inhalt,
- 5 „ Stative mit Haltern dazu,
- 2 „ Meßkolben von 200 cm³ Inhalt mit eingeschliffenen Stopfen,
- 2 „ Trichter, 8—10 cm Durchmesser,
- 50 „ Faltenfilter, 15 cm Durchmesser,
- 1 „ Spritzflasche für destilliertes Wasser, 500—1000 cm³ Inhalt,
- 3 „ Meßkolben zu 500 cm³,
- 1 „ Meßkolben zu 1 Liter,
- 100 g gereinigter Asbest,
- 5 Stück Porzellanschalen, 150 cm³ Inhalt,
- 1 „ Trockenschrank mit Thermometer bis 200^o,
- 1 „ Scheidetrichter zu 1 Liter,
- 1 „ Scheidetrichter zu 500 cm³,
- 5 „ Porzellantiegel mit Deckel von 10 bis 15 g Gewicht,
- 3 „ Stative,
- 3 „ Drahtnetze,
- 3 „ Bunsenbrenner,
- 6 „ Tondreiecke für Porzellantiegel,
- 1 „ Destillationsvorlage,
- 10 „ Glasstäbe, 20 bis 25 cm lang,
- 10 „ Glasstäbe, 10 cm lang,
- 100 „ Reagensgläser, 160 × 16 mm,
- 5 „ Meßpipetten, 5 cm³ Inhalt,
- 1 „ Reagensglasgestell aus Holz.

Anlage 3.

Richtlinien für die Anforderungen an feuerfestes Material.

a) Eigenschaften des feuerfesten Materials.

1. Der feuerfeste Stein soll einerseits ein dichtes Gefüge gegen das Eindringen der Angriffsstoffe, andererseits aber eine gewisse Nachgiebigkeit gegen Dehnungsbestrebungen beim Temperaturwechsel besitzen. Es eignen sich hierfür sowohl natürliche, aus Quarzschiefer, Klebsand und dergleichen, ohne Brennen hergestellte Bausteine, in der Hauptsache aber künstliche aus tonerdehaltigen Rohstoffen hergestellte Tonsteine von nicht vorgebranntem feuerfesten Ton, oder sogenannte „Chamottesteine“, welche entweder aus vorgebranntem feuerfesten Ton (Chamotte) allein, oder aus vorgebranntem feuerfesten Ton und feuerfestem Ton als Bindemittel durch Brennen bei verschiedenen hohen Temperaturen hergestellt werden. „Quarz-Chamottesteine“ sind in gleicher Weise hergestellt unter Mitverwendung von mineralischer Kieselsäure.

„Silikasteine“ sind hergestellt aus mineralischer Kieselsäure und einem Bindemittel (z. B. Kalk).

„Magnesitsteine“ sind hergestellt aus überwiegend magnesiumoxydhaltigen Ausgangsstoffen; bei anderen feuerfesten Erzeugnissen ist Dolomit, Kohlenstoff, Siliziumkarbid (Karborund), Chromit, Silimanit und Zirkon als Ausgangsstoff verwendet.

„Feuerfester Mörtel“ wird aus obigen feuerfesten Rohstoffen, in körniger oder pulveriger Form hergestellt, welchem ein Bindemittel zugefügt wird, das, mit Wasser angemacht, sein Bindemögen nicht verliert, in der Regel feuerfester Ton.

2. Natürliche feuerfeste Steine kommen für deutsche Anlagen nicht in Frage mangels geeigneter abgemagerter Rohstoffe, mit Ausnahme des Quarzschiefers; von künstlichen Erzeugnissen eignen sich für Kesselfeuerungen erfahrungsgemäß nur ton- und

kalkgebundene Quarzsteine oder die tongebundenen Chamottesteine, sowie Mischungen beider. Die übrigen feuerfesten Erzeugnisse haben infolge ihrer hohen Empfindlichkeit gegen Temperaturwechsel bisher in den meisten Fällen für Kesselfeuerungen versagt.

3. Beruht die Schwerschmelzbarkeit des feuerfesten Materials vorwiegend auf dessen Gehalt an freier Kieselsäure (SiO_2), so wird das Material als „sauer“, bei vorwiegendem Tonerdegehalt (Al_2O_3) als „basisch“ bezeichnet; bei annäherndem Ausgleich der Eigenschaften der Tonerde durch Zusatz von saurem Quarz wird die Mischung „halbsauer“ oder „neutral“ genannt. „Saure Steine“ enthalten etwa 75 bis 97% freie Kieselsäure, „halbsaure Steine“ (Chamotte) enthalten etwa 60 bis 75% freie Kieselsäure und einen niedrigen Tonerdegehalt unter 30%, „basische Steine“ enthalten etwa 30 bis 42% Tonerde, „hochbasische Steine“ enthalten über 42% Tonerde.

4. Als Maßstab für die Schmelzbarkeit dient der Segerkegel. Feuerfest gelten Steine mit einem Segerkegel von mindestens 26 entsprechend 1500°C , als hochfeuerfest gelten solche von Segerkegel 36 bis 42 entsprechend 1790 bis 2000°C .

Die Schmelztemperaturen der Segerkegel betragen:

Für Segerkegel Nr. 26 =	1580 °C
„ „ „ 27 =	1610 „
„ „ „ 28 =	1630 „
„ „ „ 29 =	1650 „
„ „ „ 30 =	1670 „
„ „ „ 31 =	1690 „
„ „ „ 32 =	1710 „
„ „ „ 33 =	1730 „
„ „ „ 34 =	1750 „
„ „ „ 35 =	1770 „
„ „ „ 36 =	1790 „
„ „ „ 37 =	1825 „
„ „ „ 38 =	1850 „
„ „ „ 39 =	1880 „
„ „ „ 40 =	1920 „
„ „ „ 41 =	1960 „
„ „ „ 42 =	2000 „

Wichtiger noch als der Schmelzpunkt ist der „Erweichungsbeginn“ der feuerfesten Steine. Dieser liegt bei sauren Steinen in der Regel höher als bei basischen. Basische Chamottesteine,

deren Schmelzpunkt bei etwa 1670 bis 1750^o liegt, haben ihren Erweichungsbeginn unter Belastung von 1 kg/cm² bei etwa 1200 bis 1300^o C.

Einen bedeutend höheren Erweichungsbeginn als die genannten Chamottesteine weist der Silikastein auf, welcher 93 bis 95 % Kieselsäure enthält. Der Erweichungsbeginn desselben liegt zwischen 1620 bis 1680^o C. Der Stein hat keine genügende Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel in Kesselfeuerungen und wird von basischen Brennstoffaschen leicht angegriffen.

5. Die Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff der Brennstoffaschen ist bei der Auswahl des feuerfesten Materials von besonderer Bedeutung.

Kommen glühende Mauerwerksteile mit Feuergasen, Dämpfen und Flugaschenteilen in Berührung, so treten bei entsprechend hohen Temperaturen zwischen diesen und der Mauerung chemische Reaktionen ein, unter Bildung eines leicht schmelzbaren, glasigen Überzuges auf der Wandungsoberfläche.

Die flüssige Schlacke, Asche und Salze dringen in das mehr oder weniger poröse Gefüge der Steine ein und zerstören deren Bestandteile oder deren Bindemittel. Ganz allgemein gilt die Regel, daß gegen basische Schlacken ein basischer Stein, gegen saure Schlacken ein saurer Stein, gegen neutrale Schlacken ein neutraler Stein zur Verwendung kommen soll, doch haben sich in gewissen Fällen gegen basische Schlacken auch schon rein saure Steine bewährt, indem die basischen Stoffe (Alkalien, Kalk) mit dem sauren Material in Reaktion treten und dabei eine Silikatschutzschicht bilden.

Die Einwirkung basischer Stoffe beschleunigt die Zerstörung, wenn das feuerfeste Material neben Kieselsäure noch größere Mengen Tonerde enthält, andererseits wird die Verschlackung saurer Steine durch basische Schlacke begünstigt, da basische Kohlen Schlacke das Bestreben hat, sich mit der Kieselsäure des sauren Steines zu sättigen und zu neutralisieren, wodurch der Stein zerstört wird.

6. Da nun die Schlacken der üblichen für Kesselfeuerungen angewendeten Brennstoffe vorwiegend basischer bzw. neutraler Natur sind, zieht man in der Regel für Feuergewölbe und Seitenmauern nächst der Feuerung basisches Material vor.

Es ist ein möglichst niedriger Gehalt an Flußmitteln, insbesondere Kalk, Magnesia, Titansäure, Alkalien und Eisenoxyd anzustreben.

Die Eignung des feuerfesten Materials für einen bestimmten Brennstoff wird am besten durch die Aschenschmelzprobe festgestellt. Der Schlackenangriff wird um so geringer ausfallen, je mehr die chemische Zusammensetzung des Steines derjenigen der Kohlschlacke entspricht.

7. Die ungefähre Zusammensetzung der Schlacken einiger deutschen Kohlsorten ist aus folgender Aufstellung ersichtlich.

α) Steinkohlenschlacken.

Herkunft der Kohle	Kiesel- säure %	Tonerde %	Eisen- oxyd %	Kalk %	Magnesia %
Ruhr	49,30	38,80	7,30	2,80	1,80
Oberschlesien . . .	55,40	18,90	16,10	3,20	1,90
Niederschlesien . .	48,86	29,97	11,16	6,48	3,05
Sachsen	45,30	22,50	25,80	2,80	0,50

β) Braunkohlenschlacken.

Herkunft und Bezeichnung der Kohle	Glüh- verlust %	Kiesel- säure %	Tonerde %	Eisen- oxyd %	Kalk %	Magnesia %	Alkalien %	Schwefel- säure- anhydrid %	Schwefel %
Mitteldeutsche Rohbraunkohlen	—	13,89	7,41	12,09	29,45	2,99	0,42	26,97	0,82
Rhein. Rohbraun- kohlen	5,20	2,78	6,47	13,00	61,10	5,88	1,22	3,42	0,22
davon CO ₂	3,85								
Mitteldeutsche Braunk.-Briketts	—	11,00	4,5	11,00	63,00	8,00	0,5	1,0	0,5

8. Die mittlere chemische Zusammensetzung verschiedener feuerfester Steine für Kesselmauerungen ist aus folgenden Analysen ersichtlich:

α) Hochbasisches Material.

Glühverlust	0,05%	0,35%
Kieselsäure	36,10%	52,66%
Tonerde	60,75%	43,79%
Eisenoxyd	1,97%	1,71%
Kalk	0,67%	0,28%
Magnesia	0,14%	0,12%
Rest	0,32%	1,09%

β) Basisches Material.

Glühverlust	0,45 %	0,52 %
Kieselsäure	55,96 %	63,40 %
Tonerde	37,04 %	33,17 %
Eisenoxyd	4,21 %	2,12 %
Kalk	0,52 %	0,20 %
Magnesia	0,30 %	0,30 %
Rest	1,52 %	0,29 %

γ) Schwachbasisches bis neutrales Material.

Glühverlust	0,47 %	0,10 %
Kieselsäure	68,44 %	72,50 %
Tonerde	28,19 %	24,04 %
Eisenoxyd	1,99 %	1,92 %
Kalk	} 0,91 %	0,47 %
Magnesia		0,30 %
Rest		0,67 %

δ) Sauere Quarz-Chamottesteine.

Glühverlust	0,07 %	0,05 %
Kieselsäure	75,00 %	78,28 %
Tonerde	21,50 %	19,40 %
Eisenoxyd	1,30 %	1,62 %
Kalk	0,40 %	0,31 %
Magnesia	0,45 %	0,05 %
Rest	1,28 %	0,29 %

ε) Natürlicher Quarzschiefer. Künstlicher Silikastein.

Glühverlust	0,90 %	0,91 %
Kieselsäure	94,17 %	95,25 %
Tonerde	3,99 %	0,88 %
Eisenoxyd	0,41 %	0,79 %
Kalk	} 0,53 %	1,85 %
Alkalien		0,32 %

9. Die Widerstandsfähigkeit gegen Schlacken steht in engstem Zusammenhang mit der „Porosität“ des Steinmaterials. Je dichter das Gefüge des Steines und seine Oberfläche ist, desto widerstandsfähiger ist er gegen Eindringen geschmolzener Aschen, Schlacken oder Salze.

Dichte Materialien sind andererseits, ebenso wie feinkörnige, gegen schroffen Temperaturwechsel erheblich empfindlicher. Sie wachsen bei hohen Temperaturen leichter als poröse Steine und sind weniger volumenbeständig.

Hierbei spielt die Art der Herstellung des Steines eine erhebliche Rolle. Die gepreßten Steine weisen im allgemeinen eine höhere

Dichte auf als handgeformte und besitzen eine geringere Wasseraufnahmefähigkeit.

Zu beachten ist, daß die wahre Porosität sich auf fein verkleinertes Steinmaterial bezieht, während die scheinbare Porosität sich einschließlich Poren versteht.

10. Dichte und Porosität einiger feuerfester Materialien.

Bezeichnung	Brenn- tempe- ratur	Dichte		Porosität	
		wahre	scheinbare	wahre	scheinbare
		(in Gewichtsprozenten)			
Chamottestein . . .	1050	2,61	1,81	30,8	17,08
Chamottestein . . .	1300	2,5	1,9	24,1	12,1
Quarzstein	1300	2,62	1,50	42,9	28,63

11. Werden die feuerfesten Steine in der Kesselfeuerung höheren Temperaturen ausgesetzt als beim Brennen angewendet wurde, so tritt möglicherweise ein Nachschwinden, besonders bei basischem und hochbasischem Material ein. Dieses Nachschwinden bewirkt größere Fugen im Mauerwerk, wodurch größere Angriffsflächen für die chemischen Angriffe der Schlacken entstehen. Der Zusammenhang der Mauerung wird gelockert, was bei Gewölben meist zum Einsturz führt. Der Silikastein dagegen wächst bei höheren als den Herstellungstemperaturen infolge kristallinischer Umbildung seines Gefüges und muß deshalb mit weiten Fugen gemauert werden.

Der Brand der feuerfesten Steine soll daher möglichst bei Gebrauchstemperaturen erfolgen.

Kesselfeuerungen mit Rohbraunkohlenbetrieb weisen in der Regel Feuerraumtemperaturen bis zu 1200 °C, mit Steinkohlenbetrieb 1300 bis 1500 °C und mit Kohlenstaubbetrieb bis zu 1600 °C auf, je nach der chemischen Zusammensetzung des Brennstoffes und seines Wassergehaltes.

Bei Hängedecken und luft- oder wassergekühlten Wänden von Kohlenstauffeuerungen ist zu beachten, daß zwischen diesen und dem Feuerraum erhebliche Temperaturunterschiede vorhanden sind. Die Ausmauerung ist im Betriebe starkem Temperaturwechsel unterworfen. Die hierdurch ausgelösten Spannungen im Mauerwerk beschleunigen das Abspringen und Abplatzen der Oberflächen der Steine, weshalb ein hierfür unempfindliches Material erforderlich ist.

12. Einen brauchbaren Maßstab für die Eigenschaften des feuerfesten Materials bildet das „spezifische Gewicht“ der Mischung, mit welchem wiederum Dichte, Porosität, Volumenbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel in Zusammenhang stehen. Chamottesteine sollen ein spez. Gewicht von 1,8 bis 2,5 aufweisen; minderwertige Steine haben ein geringeres spez. Gewicht.

Silikasteine, deren spez. Gewicht dem des Quarzes nahekommt (2,60 bis 2,66) neigen zum Wachsen, niedrige Werte von etwa 2,30 deuten bereits auf Umwandlung des Gefüges hin.

13. Da feuerfestes Material von Kesselfeuerungen auch mechanischen Beanspruchungen, sowohl durch die Strömungsenergie der Gase als auch infolge Dehnungsspannungen, Gewölbedruck und Eigengewicht ausgesetzt ist, muß eine entsprechende Druck- und Biegezugfestigkeit bei Gebrauchstemperatur vorhanden sein.

Bauart und Inanspruchnahme der Feuerungen, Brennmaterial und Betriebsweise sind maßgebend bei der Auswahl des feuerfesten Materials; die chemische Zusammensetzung ist der Lieferfirma zu überlassen, welche die Gewähr für die Eignung zu übernehmen hat.

b) Erstklassige Baustoffe für Kesselfeuerungen

müssen folgenden Leistungsanforderungen gerecht werden.

14a) Feuerfeste Steine I. Güte müssen eine dauernde Temperatur von 1750° C ertragen können. Feuerfeste Steine II. Güte müssen eine dauernde Temperatur von 1700° C ertragen können. Feuerfeste Steine III. Güte müssen eine dauernde Temperatur von 1650° C ertragen können.

b) Die chemische Zusammensetzung der feuerfesten Steine und ihr Brand muß den bekanntzugebenden Betriebsbedingungen, Brennmaterial, Eigenschaften der Kohlenschlacken, sowie den höchsten und niedrigsten Feuerraumtemperaturen angepaßt werden.

c) Die feuerfesten Steine müssen bei Betriebstemperatur widerstandsfähig sein gegen chemischen und mechanischen Angriff der Feuergase, Dämpfe, Salze, Aschen und Schlacken. Sie müssen eine glatte Oberfläche besitzen und frei von Rissen, Brandstellen oder Poren sein.

d) Die Steine müssen bis zur völligen Raumbeständigkeit gebrannt sein, mindestens aber bei der Gebrauchstemperatur; sie dürfen nachher weder wachsen noch schwinden. Als Toleranz gilt nach vierstündigem Glühen bei 1400° eine zulässige Volumenänderung des ursprünglichen kalten Steines von $\pm 1\%$.

e) Der Gehalt an Flußmitteln darf folgende Werte nicht überschreiten:

Eisenoxyd	2,00 %	Titansäure	1 %
Kalk	0,35 %	Alkalien	1,5 %
Magnesia	0,35 %		

Die angewendete Untersuchungsmethode ist anzugeben.

f) Die Porosität und Dichte sollen den Dehnungsbestrebungen des Gefüges Rechnung tragen. Die Wasseraufnahme soll im allgemeinen nicht über 15% betragen. Ein möglichst hohes spezifisches Gewicht ist anzustreben.

g) Die Steine müssen unempfindlich gegen schroffen Temperaturwechsel sein. Weder beim raschen Erhitzen noch beim schnellen Abkühlen dürfen Risse, Abplatzen der Oberflächen oder Gefügeermüderung auftreten. Sie müssen bei der Abschreckprobe mit kaltem Wasser mindestens 5 Abschreckungen ohne merkliche Veränderung vertragen.

h) Die Druckfestigkeit in Richtung der späteren Belastung soll in kaltem Zustande mindestens 180 kg/cm² betragen. Der Erweichungsbeginn soll bei Belastung mit 1 kg/cm² 200 bis 300° C über der Wandungstemperatur des Feuerraums liegen.

i) Die Abmessungen der Normalsteine betragen 250 × 122 × 65 mm; Formsteine sind genau nach Zeichnung zu liefern. Abweichungen sind nur bis zu einer Toleranz von $\pm 2\%$ zulässig. Die Steine müssen tadellos geformt, die Kanten scharf und gerade sein. Die Durchbiegung der Ebenen darf bei Normalsteinen nicht mehr als $\frac{1}{2}\%$, bei Formsteinen nicht mehr als 1% der Steinlänge betragen.

k) Das feuerfeste Material für Kesselfeuerungen muß bei vorschriftsmäßiger Behandlung mindestens einer Betriebsdauer von 8000 Stunden standhalten, ohne daß in der Zwischenzeit Teile davon erneuert werden müssen.

l) Die Gütebezeichnung und Firmenangabe ist durch deutliche Einprägung auf jedem Stein kenntlich zu machen.

c) Prüfungsverfahren für feuerfeste Baustoffe.

15. Eine allgemeingültige Regel für die Probeentnahmen und Prüfungsverfahren ist bei der deutschen Industrie in Vorbereitung; bis zu deren Erscheinen gelten folgende Prüfverfahren für Feuerungsmaterial:

Feuerfestigkeit (Schmelztemperatur).

16. Diese wird durch Segerkegel bestimmt.

Die Feststellung der Schmelztemperatur erfolgt in der Weise, daß aus dem zu prüfenden Material Kegel von der Art der Segerkegel evtl. unter Zusatz von etwas Dextrin als Bindemittel geformt und auf Glühscheiben zusammen mit den betr Segerkegeln bis zum Schmelzen erhitzt werden. Das Erhitzen erfolgt in besonderen elektrischen Widerstandsöfen.

Chemische Analyse.

17. Zur Gewinnung der Probe für die Analyse werden von je 1000 Steinen 1 bis 3 Stück entnommen, worauf von jedem entnommenen Stein etwa ein Zehntel des ursprünglichen Steingewichts, mindestens aber 200 und höchstens 1000 g, auf eine Korngröße von etwa 1 mm unter Vermeidung von Verlusten vorzerkleinert werden. Die Außenhaut der Steine, die durch eingebrannte Beimengungen von Sand und dgl. verunreinigt sein kann, ist zu entfernen. Bei größeren Steinen hat die Entnahme der Probe gleichmäßig über die gesamte Bruchfläche zu erfolgen.

Das so gewonnene Probegut aller Steine oder einer zu vereinbarenden Anzahl wird vereinigt, gründlich gemischt und eine Durchschnittsprobe von etwa 200 g gezogen, gegebenenfalls durch mehrfaches Vierteln. Nach Entfernung etwaiger Eisenpartikel aus dem Probegut mittels eines Stabmagneten wird es durch mehrfaches Vierteln auf eine Menge von etwa 20 g gebracht, die zu einem unfehlbar feinen Pulver zerrieben wird. Diesem bei 105° bis 110° bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Pulver wird die Probe für die chemische Analyse entnommen.

Im allgemeinen erfolgt die Vorzerkleinerung im Stahlmörser, die Feinzerkleinerung im Achatmörser.

Die Analyse erstreckt sich auf folgende Bestimmungen:

a) in Silikaerzeugnissen:

Glühverlust, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO .

b) in tonerdehaltigen Erzeugnissen:
 Glühverlust, SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ (Tonerdegehalt im handelsüblichen Sinne),

Fe_2O_3 , auf Wunsch TiO_2 und Al_2O_3 getrennt.

c) in Magnesiterzeugnissen:

Glühverlust, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO .

Die Angaben erfolgen in Gewichtsprozenten der bei 105° bis 110° getrockneten Probe.

Widerstandsfähigkeit gegen Schlackenangriff.

18. Die Prüfungen sind bei der jeweils höchsten Gebrauchstemperatur durchzuführen. Die Verfahren für die Durchführung der Versuche sind verschieden; es empfiehlt sich deshalb, die Prüfung im Laboratorium einer keramischen Forschungsanstalt oder bei der Lieferfirma unter Angabe des Verfahrens ausführen zu lassen. Im wesentlichen wird der Probestein, bzw. der aus dem zu untersuchenden Material herausgearbeitete Probekörper im elektrischen Ofen geglüht und mit der zugehörigen Brennstoffasche und Schlacke in mehrstündig betriebsmäßige Berührung gebracht durch Einfüllen der Schlacken in Vertiefungen des Probesteines oder in Probetiegel aus dem Versuchsmaterial, sowie Aufstreuen von Schlackepulver auf kleine Versuchszylinder (Verfahren Hartmann). Die Prüfung erfolgt in oxydierender Atmosphäre bei zweistündiger Dauer mit Höchstgebrauchstemperatur. Nach dem Abkühlen wird der Probekörper entzwei geschnitten und der Grad des Eindringens der Schlackenschmelze festgestellt.

Das deutsche Verfahren Hartmann, welches den Betriebsbedingungen am nächsten kommt, kann empfohlen werden.

Porosität, Dichte und spezifisches Gewicht.

19. Die Porosität wird in der Regel ausgedrückt in Prozenten des Gewichtsunterschiedes eines mit Wasser durchtränkten Probekörpers und des Gewichtes desselben Probekörpers in trockenem Zustande.

Der Probekörper wird zwecks Entfernung der Luft eine Stunde in Wasser gekocht, hiernach bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und hierauf 24 Stunden lang in destilliertes Wasser gelegt, worauf der prozentuale Gewichtsunterschied festgestellt wird. Das Volumengewicht, der Porenraum und das spezifische Gewicht

wird in ähnlicher Weise mit Hilfe eines geeichten Gefäßes durch die Wasserverdrängung und Gewichtszunahme nach erfolgter Wassersättigung bestimmt.

Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel.

20. Hierfür wird die Vornahme der Abschreckprobe nach Prof. Endell empfohlen.

4 Probesteine werden in einem Rahmengestell mit Handgriffen befestigt und im elektrisch beheizten Ofen bis auf 850°C einseitig erhitzt und 1 Stunde lang mit dieser Temperatur beheizt. Während der Beheizung werden die Probesteine am nichtbeheizten Ende mit Gebläseluft gekühlt.

Die so beheizten Probesteine werden nun rasch in fließendem Wasser von Zimmertemperatur abgeschreckt durch Eintauchen des beheizten Teiles auf ein Drittel der Steinlänge.

Die Anzahl der Abschreckungen, welche die Probesteine vertragen, ohne Risse und Abblätterung oder Zermürbung zu zeigen, ist maßgebend für deren Güte.

Druck- und Standfestigkeit.

21. Es gibt verschiedene Prüfverfahren, von welchen dasjenige mit einer Belastung von 1 kg/cm^2 des Probesteines und seine Erhitzung bis zum Beginn der Erweichung empfohlen wird. Aus dem Probestein werden kleine Probezylinder herausgebohrt, die im elektrischen Ofen innerhalb 4 Stunden auf die Gebrauchstemperatur und darüber hinaus bis zum Beginn des Erweichens erhitzt werden. Die Belastung des Probekörpers erfolgt unter Zuhilfenahme einer Hebelpresse mit Stempel aus Elektrodenkohle und veränderlichen Gewichten.

Raumbeständigkeit (Wachsen und Schwinden).

22. Hierfür sind verschiedene Prüfungsverfahren ausgebildet. Ein auf Maß geschliffener Probekörper wird auf 1200 bis 1500° erhitzt und sein Ausdehnungsbestreben beobachtet. Es können aber auch Mauerungen mit Mörtelverband in den Ofen eingesetzt werden, an welchen dann die entsprechenden Messungen vorgenommen werden.

Anlage 4.

Anweisungen der VGB über die Ausführung der Nietlochprobe.

a) Bearbeitung.

1. Die Entfernung der Nieten hat mit größter Vorsicht zu erfolgen, um eine Beschädigung des Bleches durch Kaltreckung möglichst zu vermeiden. Am besten wird der Kopf vor dem Abschlagen erst zweimal vorsichtig durchkreuzt, damit die Schläge bei der endgültigen Entfernung möglichst schwach sein können. Für die weitere Bearbeitung der Löcher kommt die Handbearbeitung und die maschinelle Bearbeitung in Betracht.

2. Bei Handbearbeitung wird das Loch mit einer runden Vorfeile bearbeitet, bis alle Unebenheiten, Versetzungen der beiden Bleche usw. verschwunden sind. Diese Arbeit kann auch durch Aufreiben des Loches mit einer neuen, scharfen Reibahle ersetzt und dadurch wesentlich beschleunigt werden. Ist die Reibahle aber nicht vollkommen einwandfrei, so werden tiefe Furchen in das Material gerissen, die die Arbeit des nun folgenden Polierens wesentlich erschweren.

3. Ist das Loch mit der Feile bearbeitet worden, so macht sich zunächst ein Schlichten in der bekannten Weise nötig. Nach dem Aufreiben dagegen kann direkt die Bearbeitung mit Schmirgelleinen beginnen. Hierzu bedient man sich am besten eines Holzes, das in seiner Längsrichtung teilweise gespalten ist. In diesem Spalt wird ein Streifen Schmirgelleinen befestigt. Man fängt mit grobem Schmirgel an und verfeinert die Körnung allmählich bis auf 3 null herab.

4. Bei dieser Bearbeitung ist die Bewegungsrichtung aller Werkzeuge naturgemäß immer die Achsenrichtung des Loches. Der letzte feine Strich verläuft daher auch in dieser Richtung. d. h. in der gleichen, in der auch die evtl. Risse verlaufen. Man ist aus diesem Grunde genötigt, den höchsten Grad der Politur

zu erzeugen, der überhaupt erreichbar ist, um nicht die Risse durch restliche Riefen zu verdecken. Die Handbearbeitung erfordert daher sehr viel Sorgfalt und ist sehr zeitraubend.

5. Bei maschineller Bearbeitung wird das Loch mit Hilfe einer Luftbohrmaschine und Reibahle aufgerieben und dann mit einer rasch laufenden elektrischen Bohrmaschine mit Schmirgelleinen poliert. Die Befestigung des Schmirgelleinens an der Maschine kann mit Hilfe eines ähnlichen Holzes erfolgen, wie es auch bei der Handbearbeitung benutzt worden ist. Man muß hier nur dafür sorgen, daß das Holz im Durchmesser nicht zu dick ist, da sonst leicht ein Festklemmen im Nietloch eintritt. Um rasch vorwärts zu kommen, ist es wichtig, nicht zu schnell auf die feinen Körnungen des Schmirgelleinens überzugehen, sondern erst dann, wenn das Material nur noch Riefen enthält, die der Körnung des gerade benutzten Schmirgels entsprechen.

Diese maschinelle Bearbeitung ist im Verhältnis zur Handbearbeitung rasch durchgeführt und hat vor allem den Vorteil, daß der feine übrigbleibende Strich im Umfang der Nietbohrung verläuft, also senkrecht zu der Richtung der evtl. Risse. Hierdurch treten diese bedeutend deutlicher heraus.

b) Das Ätzen.

6. Nach dem Polieren der Löcher sind auf der blanken Metallfläche die sehr groben Risse sichtbar. Damit sich auch die feinen Risse deutlich abheben, ist ein Ätzen erforderlich. Man benutzt hierzu Alkohol, dem 8 bis 10% Salpetersäure zugesetzt sind. Das geschliffene Nietloch wird sorgfältig mit reinem Alkohol ausgewaschen und mit einem weichen Lappen trocken gerieben. Hierauf trägt man die alkoholische Salpetersäure am besten mit einem Wattebausch und einer Zange, wie sie in chemischen Laboratorien in Verwendung sind, auf die Nietlochwandung auf. Man reibt etwa $1\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten mit dem vollkommen getränkten, nicht ausgedrückten Wattebausch gleichmäßig und ganz leicht auf die blanke Fläche. Dann wäscht man mit reinem Wasser nach und wischt das Nietloch mit einem sauberen, weichen Tuch trocken. Das Absuchen auf Risse der auf diese Weise bearbeiteten Nietlöcher erfolgt dann am besten erst nach 24 Stunden, nach welcher Zeit die Ätzflüssigkeit erst richtig gewirkt hat.

Die Ätzflüssigkeit wirkt auf die Risse stärker ein, als auf das blanke Material und macht somit auch die feinsten Haarrisse sichtbar. Außerdem wird die ursprünglich blanke Fläche leicht mattiert, was ebenfalls die Beobachtung erleichtert.

c) Das Absuchen.

7. Zur Beleuchtung verwendet man am besten eine mattierte, elektrische Lampe und bringt diese auf die dem Beobachter abgewendete Seite des Loches, also nach außen, wenn man selbst im Innern des Kessels ist. Zur Unterstützung des Auges benutzt man eine Lupe mit etwa 3 bis 6facher Vergrößerung. Es ist erforderlich, die Lampe zu bewegen, damit nicht einzelne Risse durch Blendwirkung und Überstrahlung verlorengehen. Unterstützt kann die Beobachtung durch Anhauchen des Loches werden, weil sich auf der hierdurch mattierten Fläche beim Verschwinden des Feuchtigkeitsbelages die Risse zuerst als blanke Linien abheben und sich außerdem an den Rissen feine Tröpfchen ansetzen. Man erwirbt sich rasch die notwendige Übung, um die von der Bearbeitung herrührenden Riefen von den eigentlichen Nietlochrissen zu unterscheiden.

Sind die Nietlöcher untersucht, so wäscht man sie mit gesättigtem Kalkwasser aus, damit die Ätzflüssigkeit unschädlich gemacht wird. Um ein Anrosten zu verhindern, werden dann die Nietlöcher mit säurefreier Vaseline eingefettet.

Um die geschliffenen Nietlöcher für spätere Untersuchungen zu erhalten, empfiehlt sich das Einschrauben einer Nietschraube. Diese Nietschraube ersetzt erfahrungsgemäß durchaus einen Niet.

d) Die Darstellung der Risse.

8. Die zeichnerische Darstellung der Risse erfolgt zweckmäßig durch konzentrische Kreise, die ein Bild des Nietlochs geben, wie es sich dem Auge bietet, wenn man in der Achsenrichtung des Loches blickt. Der kleinste Kreis stellt den vom Auge am weitesten entfernten Blechrand dar. Mit einem beliebig gewählten Abstand, so daß man in dem entstehenden Kreisring genügend Platz zum Eintragen der Risse hat, folgt der nächste Kreis, der den folgenden Blechrand wiedergibt usw. 3 Kreise stellen also ein durch 2 Bleche gehendes Nietloch dar. Diese Dar-

stellung hat gegenüber der einfachen Abwicklung den Vorteil, daß man die gegenseitige Lage der Risse in 2 benachbarten Löchern festhalten kann.

e) Die Beurteilung der Rißbilder.

9. Eine Beurteilung der Gefährdung des Kessels aus den erhaltenen Rißbildern kann nur mit großer Vorsicht erfolgen. Im allgemeinen wird man dazu neigen, aus der im Nietloch sichtbaren Breite der Risse auf ihre Tiefe im Blech zu schließen. Doch ist hierbei Vorsicht geboten. Wesentlich ist dagegen die Zahl der erhaltenen Risse und ihre Verteilung in der Nietnaht. Man wird also die zu untersuchenden Löcher so in der Naht verteilen, daß man einen Überblick bekommt, ob die ganze Naht rissig geworden ist oder nur Teile von ihr. Im letzteren Fall wird man durch Untersuchung weiterer Löcher die Ausdehnung des rissig gewordenen Stückes zu bestimmen haben. Hiervon hängt die weitere Beurteilung des Kessels ab. Ferner kann man sich aus der Zahl der in jedem Loch aufgetretenen Risse und der Betriebszeit des Kessels ein Urteil bilden, ob das Blech stark zum Rissigwerden neigt oder nicht. Bei einer größeren Anzahl von Rissen nach einer verhältnismäßig kurzen Betriebszeit ist mit Sicherheit anzunehmen, daß das gesamte Material in der Nietnaht keine vollwertigen Eigenschaften mehr hat.

Es muß aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß alle Schlüsse aus den Rißbildern nur qualitativer Art sind. Und gerade weil jedes quantitative Erfassen der Wirkung der Risse unmöglich ist, und weil durch das Auftreten der Risse ein Unsicherheitsmoment in den Kessel kommt, dessen Folgen nicht zu übersehen sind, ist größte Vorsicht am Platze.

Anlage 5.

Anweisung der VGB über die Untersuchung von Kesselböden auf Krepennrisse.

1. Die bisher im Dampfkesselbau hauptsächlich verwendeten gewölbten Stirnböden ohne Verankerung haben eine Bauart, die den Beanspruchungen, welchen die Böden ausgesetzt sind, nicht genügend Rechnung trägt. Der Meridianschnitt durch einen solchen Stirnboden ist ein nach außen gewölbter Korbbogen mit zu großem Wölbungs- und zu kleinem Krepennhalbmesser. Diese Form ist insofern unzweckmäßig, als hierbei insbesondere die Bodenkrepenn schon durch den normalen Betriebsdruck weit höher als die Wandungen des Dampfkessels beansprucht werden. Die Innenseite der Krempe wird im Meridianschnitt auf Zug und Biegung beansprucht, und gegebenenfalls, d. h. durch das Zusammenwirken einer genügenden Zahl ungünstiger Einflüsse, kann die Beanspruchung so groß werden, daß die Krepenn dann von innen nach außen, senkrecht zum Meridian, also ringförmig anbrechen.

2. Der inneren Oberfläche der Krepenn und der Übergangszone in den gewölbten Teil des Stirnbodens ist daher größte Aufmerksamkeit zu schenken, um die äußeren Merkmale einer ungünstigen Gefügeveränderung rechtzeitig erkennen und abschätzen zu können und damit überraschende Bruchschäden mit ihren schweren Folgen zu verhindern.

Ob die Beanspruchung nun im Einzelfalle so groß wird, daß eine Beschädigung des Materials eintritt, hängt von der jeweiligen Form und den Abmessungen der Stirnböden, dem Genauigkeitsgrad in bezug auf Form und Sitz derselben sowie den vom Zylindermantel auf den Boden übertragenen Biegemomenten, Zug- und Schubkräften, von der Zusammensetzung des Materials, den auftretenden Temperaturen (Funktion von Betriebsdruck, Wasserrumlauf, Speisung usw.) und der Einwirkung des Kesselwassers ab. Außerdem sind von erheblichem Einfluß der Herstellungs-

und Bearbeitungsvorgang der Böden hinsichtlich des Materialgefüges, besondere Betriebsverhältnisse, wie Höhe des Betriebsdruckes, Änderungen und Schwankungen desselben sowie Stöße und Erschütterungen (feuerlose Lokomotiven).

3. Da es nicht durchführbar ist, an eingebauten Stirnböden die Beschaffenheit des Materialgefüges mit Hilfe metallographischer Untersuchungsverfahren zu prüfen, kann man sich nur darauf beschränken, mit einfacheren Mitteln (vermittels Schaben, Schleifen, Polieren und Ätzen, Meißeln und Anbohren) mindestens die Auswirkungen derjenigen ungünstigen Einflüsse, die von Fehlern der Konstruktion, Herstellung und Verarbeitung bedingt sind, sorgfältig zu beobachten.

4. Die Erfahrung lehrt, daß auf gut gesäuberten Krepennflächen gewisse Vorboten beginnender Gefügeveränderung mit bloßem Auge erkannt werden können. Anzeichen dieser Art sind runzelartige schwach in die Oberfläche eingegrabene, aus kurzen, unzusammenhängenden Stücken bestehende Linienzüge, die durch Abspringen von Zunder oder sonstigen Oberflächenteilchen entstehen und sich bei weiterer Einwirkung innerer und äußerer Kräfte, sowie des Kesselwassers zu Anfressungen, Furchen, Spalten, Kerben und Rissen ausbilden können. Mit Rücksicht auf ihre Entstehungsursachen dürfen diese Erscheinungen nicht als harmlose Anfressungen angesehen werden. Daneben können noch Seigerungen oder durch Schlackeneinschlüsse erzeugte Hohlräume die schon an sich geringe Widerstandsfähigkeit der Krepennwandung vermindern. Auch sogenannte Preßfurchen, das sind im Umfang verlaufende Kanteneindrücke, die durch den Preßstempel oder Beilagestücke verursacht sind, können den Ausgangspunkt für Anbrüche und damit den Anlaß zur Rißbildung geben.

5. Begleiterscheinungen der vorgenannten Anzeichen sind häufig auch Kraftwirkungsfiguren, strahlenförmige Linien, die aus der Hohlkehle der Krempe in die Wölbung hineinverlaufen; nur ist hierbei zu unterscheiden zwischen solchen, die schon beim Umbiegen der Krempe entstanden und durch sachgemäßes Ausglühen des Bodens bedeutungslos geworden sind und solchen, die sich erst im Laufe des Betriebes gebildet haben, d. h. auf zu hohe Beanspruchung der Krempe durch die Betriebseinflüsse zurückzuführen sind.

6. Umfang und Tiefe aller dieser Erscheinungen lassen unter Berücksichtigung der Alters- und Betriebsverhältnisse des Kessels in der Regel einen Schluß zu, ob der Zustand des Stirnbodens bereits als gefahrdrohend bezeichnet werden muß oder ob seine weitere Verwendung noch ohne Bedenken möglich ist. Die Entwicklung der äußeren Merkmale beginnender Krepenschäden darf also wohl als eine Funktion der Zeit bezeichnet werden.

Je nach Art und Umfang bereits erkannter Erscheinungen und nach Lage der besonderen Betriebsverhältnisse sind deshalb die entsprechenden Fristen für die weiteren Besichtigungen zur Beobachtung der Stirnbodenkremen von Fall zu Fall zu vereinbaren und festzulegen.

7. Selbst für den Fall, daß noch keine besonderen Erscheinungen festgestellt werden können, macht es schon allein der durch die unzureichende Stirnbodenform bedingte geringe Sicherheitsgrad in der Kreme erforderlich, die Stirnböden einer dauernden Kontrolle zu unterstellen, die über das bisher durch die regelmäßigen Untersuchungen gegebene Maß hinausgeht.

Anlage 6.

Literaturnachweis der von der VGB herausgegebenen Arbeiten.

1. Richtlinien der VGB für die Anforderungen an den Werkstoff und Bau von Hochleistungsdampfkesseln. Ausgabe 1928/29.
2. „Speisewasserpflege.“ Vorträge und Verhandlungen auf der wissenschaftlichen Tagung des Ausschusses für Speisewasserpflege der VGB am 18. und 19. September 1925 in der Technischen Hochschule zu Darmstadt.
3. „Zur Sicherheit des Dampfkesselbetriebes.“ Berichte aus den Arbeiten der VGB-Verhandlungen auf der Technischen Tagung in Cassel 1926 und Forschungen des Arbeitsausschusses für Speisewasserpflege der VGB.
4. „Die Widerstandsfähigkeit von Dampfkesselwandungen.“ Sammlung von wissenschaftlichen Arbeiten deutscher Materialprüfungsanstalten. Band I.
5. Die VGB gibt für ihre Mitglieder „Vertrauliche Mitteilungen“ heraus, in welchen die Ergebnisse der wissenschaftlichen Bearbeitung wichtiger Fragen der Herstellung, des Baues und des Betriebes der Dampfkessel, die Ergebnisse der Untersuchung interessanter Kesselschäden und die in den Betrieben gewonnenen Erfahrungen beim Bau und Betrieb der Dampfkessel bekannt gegeben werden. Die Mitteilungen sind nur für die Mitglieder zum vertraulichen Gebrauch bestimmt und werden an andere Interessenten nicht abgegeben.