



Inhaltsverzeichnis: Dr.-Ing. e. h. Fr. Schulte: Neuzeitliche Dampfkessel, S. 207 / Dipl.-Ing. K. Wartenberg: Betriebserfahrungen an Feuerungen für asche- und wasserreiche Brennstoffe, S. 212 / R. Schnabbe: Über die Verwendung hochwertiger Stahlsorten im Kesselbau, ihre Schweißung und deren Wärmebehandlung, S. 215 / P. Landers: Das Kühlwasser im Dampfkraftbetrieb und seine Aufbereitung, S. 218.

## Neuzeitliche Dampfkessel

Von Dr. Ing. e. h. Friedr. Schulte VDI, Essen

### Großwasserraumkessel

Auf den Großwasserraumkessel und seinen Hauptvertreter, den Flammrohrkessel, deren technische Entwicklung abgeschlossen ist und die für neuzeitliche Kesselanlagen nicht mehr in Frage kommen, näher einzugehen, erübrigt sich. Zwar spielen sie für Heizungsanlagen und Anlagen mit sehr stark schwankendem Dampfverbrauch und solche kleinerer und mittlerer Größe auch heute noch eine bevorzugte Rolle, für Großanlagen kommen sie nicht mehr in Frage. Durch Fortfall der Ausmauerung, d. h. durch Beschränkung der Heizfläche der Flammrohrkessel auf die Flammrohre selbst und Nachschaltung einer wirksameren Berührungsheizfläche suchte man den Flammrohrkessel den neuen Anschauungen über den Wärmedurchgang anzupassen, was auch gelang. Die Kessel dieser Bauart haben jedoch den Nachteil, daß sehr große Temperaturunterschiede des Wasserinhaltes beim Anheizen und daher auch große Spannungen im Kesselkörper auftreten.

### Wasserrohrkessel

Die Entwicklung der Neuzeit geht im Kesselbau auf große Leistungen, hohe Drücke und Temperaturen bei geringstem Platzbedarf. Nach dem Jahresbericht 1939 der VDDA-Verbände ist die Steigerung der garantierten maximalen Dauerleistungen der in den genannten Jahren bestellten Wasserrohrkessel wie folgt:

1927 . . . . .	42 kg/m <sup>2</sup> h
1934 . . . . .	58 "
1937 . . . . .	85 "
1938 . . . . .	100 "

Die spezifischen Leistungen haben sich daher in elf Jahren auf ungefähr das 2½fache erhöht.

Der Maßstab für die Größe der Kessel war bisher allein die Heizfläche, für die Leistung die spezifische Leistung. Die Heizfläche wird auch in Zukunft immer noch ein Maßstab bleiben, zumal sie in den Genehmigungsurkunden festgelegt ist. Dagegen gilt beim Verkauf der Kessel heute allgemein die Leistung in t/h Dampf als Maßstab. Hierfür ist die höchste Dauerleistung genormt. Nach dem erwähnten Jahresbericht der VDDA beträgt die höchste Dauerleistung der in den letzten 12 Jahren bestellten Wasserrohrkessel 80 000 t/h. Davon entfallen auf die letzten drei Jahre 45 600 t/h, auf das letzte Jahr allein 21 700 t/h. Auf die drei Hauptkesselbauarten verteilt sich diese Leistung wie folgt:

Steilrohrkessel . . . . .	55 %
Schrägrohrkessel . . . . .	22,5 %
Sonderkessel . . . . .	22,5 %

Nach der Anzahl ist die Verteilung jedoch eine andere, nämlich:

Schrägrohrkessel . . . . .	40 %
Steilrohrkessel . . . . .	34 %
Sonderkessel . . . . .	26 %

In kleinen und mittleren Größen wird also der Schrägrohrkessel noch immer bevorzugt.

### Anforderungen an neuzeitliche Kessel

Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit verlangte den Uebergang zu hoher Leistung, hohem Druck und hoher Temperatur. Die Forderungen nach Betriebssicherheit verlangen einfache schmiegsame Bauart mit eindeutigen Wasserumlauf, einfache Rauchgasführung, leichte Reinigung und gute Speisewasserpflege.

Die wirtschaftlichen Vorteile des Hochdruckdampfbetriebes sollen im Rahmen dieser Abhandlung nicht behandelt werden; sie sind aus Lehrbüchern und Fachzeitschriften bekannt. Seit der Einführung des Hochdruckdampfes sind eine Reihe von Jahren verstrichen, so daß hinreichende Erfahrungen vorliegen. Auf Grund dieser kann festgestellt werden, daß Hochdruckdampfkessel heute mit der gleichen Betriebssicherheit hergestellt werden können wie Mitteldruckdampfkessel. Auch die Betriebsführung ist so einfach wie die der Mitteldruckkessel. Die Befürchtung, daß der Hochdruckdampfkessel teurer werde, trifft nicht zu, da sich durch den Hochdruck die Heizflächen verlagern. Die Kesselheizfläche wird kleiner, die Nachschaltheizfläche (Vorwärmer und Überhitzer) größer. Da die letztere billiger als erste ist, so wird hierdurch die Verteuerung des Hochdruckdampfkessels wenn nicht ganz, so doch zum Teil verhindert.

Hochdruckdampf lohnt sich jedoch nur für Großanlagen, da erst hierbei die wirtschaftlichen Vorteile in Erscheinung treten. Zum Teil liegt dies am schlechten Wirkungsgrad der Hochdruck-Kleinturbinen.

Die praktische Höchstgrenze des Druckes ist vorläufig etwa 110 at an der Turbine, 125 at am Kessel, entsprechend 150 at Genehmigungsdruck. Höhere Drücke kommen jedoch vor beim Erstkessel des Schmidtkessels und bei Versuchskesseln.

### Überhitzung

Die praktische Höchstgrenze für die Überhitzung ist heute etwa 475° an der Turbine, 500° am Überhitzeraustritt. Es kommen jedoch auch höhere Überhitzungen

vor, bis etwa 530°. Das ist vorläufig die äußerste Grenze mit Rücksicht auf den Werkstoff.

### Leistung

Die Steigerung der spezifischen Dampfleistung wurde bereits oben behandelt. Die Einzelleistung des Kessels stieg von etwa 2 t Stundendampf des Flammrohrkessels von 100 m<sup>2</sup> Heizfläche auf etwa 150 t Stundendampf des Kessels der Großkraftwerke.

### Preise

Die Vereinfachung der Kessel, die Normung der Einzelteile und die Erhöhung der Leistung haben natürlich auch eine entsprechende Senkung der Herstellungskosten herbeigeführt. Weitere Senkungen sind möglich durch Verzicht auf Trommeln. Diese Senkung der Herstellungskosten wirkt sich zur Zeit allerdings im Anschaffungspreis der Kessel nicht aus, weil die Verkaufspreise der Kessel vor der Machtergreifung anerkanntermaßen wegen der traurigen Wirtschaftslage zu niedrig waren und die Selbstkosten nicht deckten. Als roher Anhalt für den Preis neuzeitlicher Großkesselanlagen gilt 10 000—15 000 RM. je t Stundendampf.

### Einfachheit

Der Kesselbesteller sollte auf größte Einfachheit der Bauart, auf Verwendung genormter Teile, auf Verzicht schwer herzustellender und umfangreicher Kesselteile größten Wert legen. Auch soll man Wasserkammern mit unzähligen Stehbolzen mit den zu Kesselschäden neigenden Verbindungsstücken vermeiden. Ein richtig durchgebildeter Kessel ist von selbst einfach. Wie in allen Dingen ist auch im Kesselbau das Einfache immer das Beste.

### Schmiegsamkeit

Man hat erkannt, daß starre Bauformen der Hauptgrund für die Kesselschäden sind. Man sollte sie daher vermeiden. Dazu gehören Wasserkammern, gerade Rohre, Stützen usw. Bei Teilkammern sind natürlich gerade Rohre nicht zu vermeiden. Bei ihnen gewähren aber die Teilkammern ungehinderte Ausdehnungsmöglichkeit in der Längsrichtung der geraden Rohre. Das gebogene Rohr bildet heute im Kesselbau die Regel, zumal bei guter Wasserreinigung eine Reinigung des Rohrrinnens nicht mehr erforderlich ist.

### Umlauf

Die Gesetze des Wasserumlaufs sind heute Allgemeingut der Kesselerbauer geworden. Ungeklärt sind bisher noch einige Fragen der Wasserverteilung in Sammlern und Verteilungskästen. Es ist daher im allgemeinen nicht schwer, einen Kessel mit bestimmtem Wasserumlauf durchzubilden. Auch die wenigen noch ungeklärten Fragen werden voraussichtlich schon bald geklärt sein.

Wie bekannt, ist dem Wasserumlauf bei Hochdruckkesseln erhöhte Bedeutung beizumessen, weil der Auftrieb in den Steigrohren der Hochdruckkessel geringer ist als in denen der Niederdruck- und Mitteldruckkessel. Der Grund liegt in dem geringeren Unterschied des spezifischen Gewichtes des Dampfwassergemisches in den Steigrohren gegenüber dem des Wassers in den Fallrohren. Beheizte Fallrohre sind daher in Hochdruckkesseln unter allen Umständen zu vermeiden. Die Strahlungsheizflächen des Feuerraums erhalten zweckmäßig gesonderten Wasserumlauf. Auf gleichmäßige Bestrahlung der Steigrohre ist zu achten, desgleichen auf richtige Wasserverteilung in Sammlern und richtige Einführung der Fallrohre in diese.

### Rauchgasführung

Sie soll so einfach wie möglich sein. Dieser Forderung wird der Einzugsessel am besten gerecht, der aller-

dings eine große Bauhöhe erreicht. Daher wählt man zweckmäßig den Zweizugsessel, mit dem man bei neueren Bauarten immer auskommt. Weitgehende Anwendung der Strahlungsheizfläche, d. h. die Auskleidung des Feuerraumes mit Kühlflächen, hat zur Vereinfachung der Rauchgasführung wesentlich beigetragen, da im Feuerraum nunmehr schon ein wesentlicher Teil der erzeugten Wärme durch die Heizfläche gebunden wird, so daß die Berührungheizfläche des Kessels entsprechend einfacher und kleiner gestaltet werden kann.

Eine verwickelte Rauchgasführung ist in der Regel verantwortlich für schlechten Zug. Bei einfacher Rauchgasführung kommt man mit natürlichem Schornsteinzug aus. Für sehr hohe Leistungen nimmt man in Großkraftwerken noch Zugverstärker zu Hilfe. Die aerodynamischen Gesetze werden bei der Gestaltung der Züge weitgehend angewandt. Grobe Fehler kommen kaum noch vor.

### Reinigung

Der Übergang zum Hochdruckdampf bildete den stärksten Anstoß für die Verbesserung der Speisewasserpflege. Neuzeitliche Hochleistungs- und Hochdruckkessel sind ohne sorgfältige Speisewasserpflege nicht mehr sicher zu betreiben. Sie gewährleistet allerdings auch Steinfreiheit der inneren Kesselwandungen, so daß die Reinigung auf der Wasserseite nicht mehr erforderlich ist. Dagegen ist die Reinigung auf der Feuerseite immer noch notwendig, damit der Kessel seine gute Ausnutzung und Leistung behält.

Zur regelmäßigen Reinigung im Betriebe dienen Heißdampfstrahler, die von den Kesselfirmen stets mitgeliefert werden. Auch die Nachschaltheizflächen werden auf diese Weise regelmäßig gereinigt. Diese Reinigung genügt jedoch in den meisten Fällen nicht. Vielmehr muß von Zeit zu Zeit durch Abschaben und Klopfen, oder einfacher durch Sand- und Kiesstrahlgebläse gereinigt werden. Bei der Bestellung des Kessels ist darauf zu achten, daß die Heizflächen für diese Art der Reinigung überall zugänglich sind. Ein so gebauter Kessel wird auch leichter auszubessern sein.

### Speisewasserpflege

Hochdruck und Leistungssteigerung haben die Speisewasserschwierigkeiten wesentlich erhöht. Es ist jedoch gelungen, der Schwierigkeiten durch unermüdete Forschungsarbeit und Erfahrungsaustausch Herr zu werden, so daß störungsfreier Betrieb auch bei Hochdruck- und Hochleistungskesseln möglich ist. Voraussetzung ist allerdings die Einrichtung einer sorgfältigen Speisewasserpflege mit besonders geschultem Personal.

Nach obigen Ausführungen können für neuzeitliche Hochdruck-Hochleistungskessel folgende Grundsätze aufgestellt werden:

1. Einfache Bauart, einfacher Zusammenbau von Feuerung, Kessel und Nachschaltheizfläche, einfache Ausmauerung und Fundamente, einfache Aufstellung. Geringster Grundflächen- und Raumbedarf.
2. Verwendung genormter Kesselteile und Reihenherstellung, Vermeidung von ebenen Wänden, Stehbolzen, schwierigen Schmiedestücken und Stützen.
3. Elastischer Aufbau, Vermeidung von Nietungen, doppelten und dreifachen Blechstellen, geraden Rohren (außer bei Teilkammerkesseln).
4. Sicherer Wasserumlauf:  
Vermeidung zahlreicher und scharfer Krümmungen und Verengungen, überflüssiger Einwalzstellen, beheizter Fallrohre.  
Einführung der Hauptverdampferrohre in den Dampfraum der Obertrommel.

Genügend große Ausdampfoberfläche und großer Ausdampfraum zur Erzielung trockenen Dampfes. Getrennter Wasserumlauf für Kühlrohrguppen. Richtige Einführung und Verteilung des Wasserzulaufs.

5. Einfache Zugführung:

Vermeidung unnötiger Züge, scharfer Richtungswechsel, Querschnittsverengungen toter Räume.

6. Gute Zugänglichkeit aller Kesselräume und Teile zwecks leichter und einfacher Reinigung.

Unterbringung von Reinigungsklappen und -öffnungen und Reinigungsvorrichtungen.

7. Sorgfältigste Speisewasserpflege.

8. Höchste Wirtschaftlichkeit, Anpassungsfähigkeit an schwankenden Betrieb, einfachste Bedienung.

9. Verwendung von Werkstoffen, die den hohen Drücken und Temperaturen und der hohen spezifischen Belastung gewachsen sind.

Nachstehend seien einige Beispiele neuzeitlicher Dampfkesselbauarten angegeben, an denen die gestellten Forderungen weitgehend erfüllt sind.

Die erwähnten Kessel sind nur eine Auswahl aus der großen Zahl der von den deutschen Kesselfirmen hergestellten. Örtliche Verhältnisse können Abweichungen von obigen Bauarten bedingen. In allen Fällen steht der Verein seinen Mitgliedern bei der Bestellung von Kesseln gern mit Rat und Tat zur Seite.

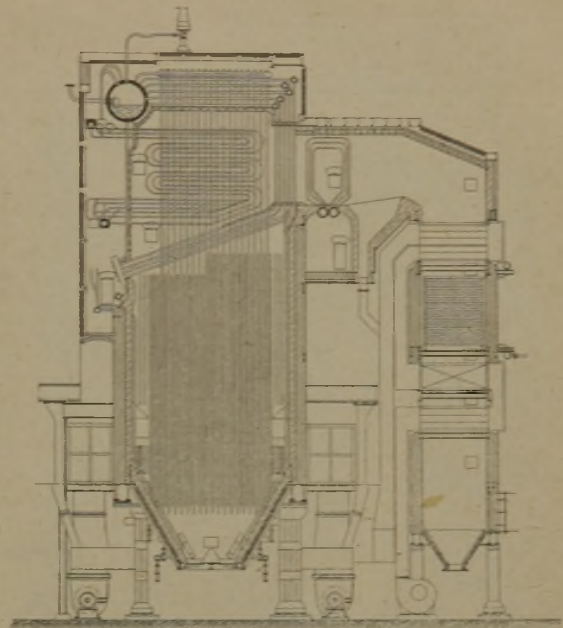


Abb. 2: Steinmüller - Teilkammer - Eintrommel - Zweizug - Strahlungskessel. 40/50 t/h, 125 at, 485° C, 570 m<sup>2</sup>. Allseitig gekühlter Feuerraum. Gekühlte Aschenrichterwände, Rückwandkühlrohre und nach oben aufgebogenes Schrägrohrbündel als Berührungsheizfläche zwischen Oberhitzer und Zwischenüberhitzer. Dampfüberströmröhre der Teilkammern waagerecht zur besseren Vorabscheidung von Wasser und Dampf. Zwischen Kessel- und Nachschallheizfläche entwässerbarer Zwischenüberhitzer 90 m<sup>2</sup> zur Zwischenüberhitzung des bei 20 atü angezapften Dampfes auf 350° C. Gußeiserner Taschenluftvorwärmer. Schlangenrohrvorwärmer und Gußeisen-Taschenlufterhitzer. Aschenrichter hinter dem Zwischenüberhitzer zur Entladung des Raumes zwischen 1. und 2. Zug. Krämer-Mühlenfeuerung, Bauart Steinmüller, als Eckenfeuerung zur Verfeuerung von mitteldeutscher Rohbraunkohle.

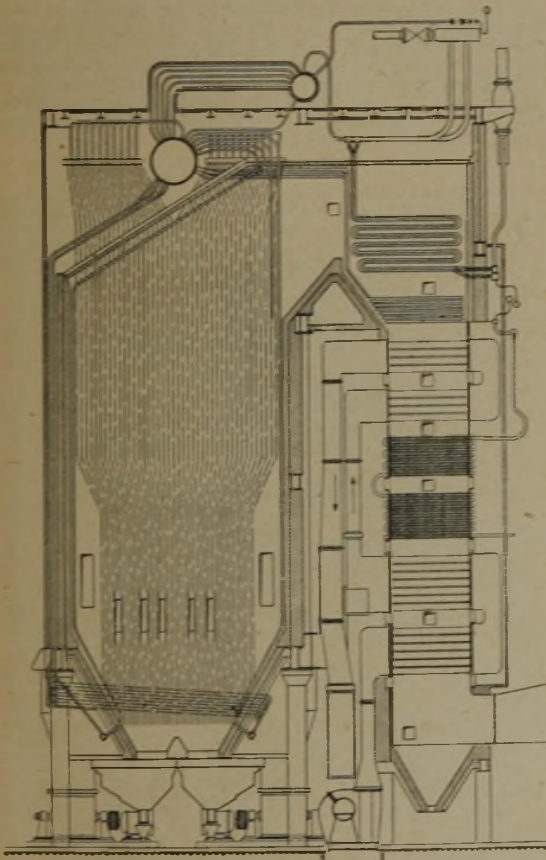


Abb. 1: Babcock-Eintrommel-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel. 140/160 t/h, 67 at, 500° C. Lagerung der querliegenden Trommel in der Mitte des Kessels innerhalb des Mauerwerks, jedoch oberhalb der Feuerraumdecke. Entmischungstrommel. Nur Strahlungsheizfläche. Feuerraumabdeckung durch die vorderen Kühlrohre. Einmündung der vorderen und hinteren Kühlrohre unmittelbar in die Trommel, der Seilenkühlrohre in Sammelkästen, im absteigenden Zug untereinander angeordnet: Zweislufiger Oberhitzer mit Heißdampfkuhler, Schlangenrohr-Eko, gußeiserner Luvo 1, Sonderguck-Eko und Gußeisen-Luvo II. Krämer-Mühlenfeuerung mit Eckenbrennern (erstmalig). Nachverbrennungsrost. Einfacher Aufbau, gute Raumausnutzung. Gesamthöhe 27,8 m vom Kellerflur bis obere Abdeckung. Tiefe 16,9 m von Vorderkante bis Hinterkante Mauerwerk.

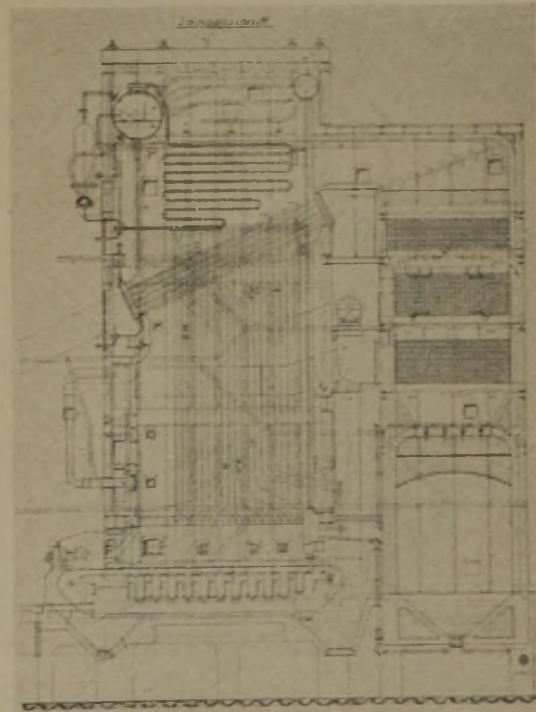


Abb. 3: VKW-Teilkammer-Eintrommel-Zweizug-Strahlungskessel mit Ober-trommel und Entmischungstrommel für schwankenden Zechenbetrieb. 70 t/h, 32 atü, 425° C. Dreiseitig gekühlter Feuerraum. Einfacher Oberhitzer mit nachgeschaltetem Oberflächen-Heißdampfkuhler. Stahlrippenrohr-Vorverdampfer. Guß-Speisewasservorwärmer und Guß-Rippenrohr-Lufterhitzer. Vielzonenwanderrost zur Verfeuerung von Mittelprodukt und Koksgrus. Kohlenstaubzusatzfeuerung mit 4 Wirbelstaubbrennern in der Stirnwand über dem Rost. Flugkoksrückführung in der Rückwand des Feuerraumes. Natürlicher Schornsteinzug. Gut zugängliche Heizflächen.

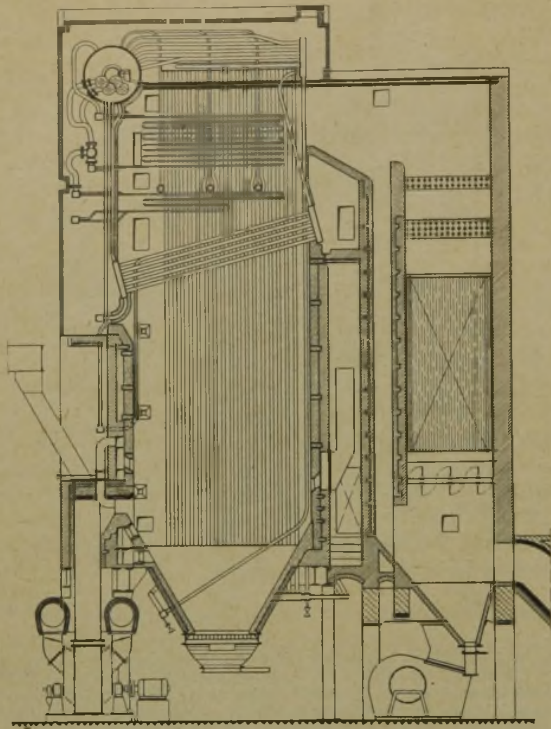


Abb. 4: Babcock-Einzug-Teilkammerkessel mit vorn liegender Trommel. 40/48/52 t/h, 40 at, 450° C. Der Kessel ist ausgerüstet mit Stahl-Rippenrohr-Eko, Sonderguß-Rippen-Eko, Röhren-Luvo und Mühlenfeuerung. Verfeuert werden Grudekoks (6000 kcal/kg) und Rohbraunkohle (2400 kcal/kg). Die Vorderwandkühlrohre sind als oberste Rohrreihe in das Schrägrohrbündel eingeführt (Wärmeentlastung). Die Steigrohre sowie sämtliche Brennkammerkühlrohre münden in unbeheizte senkrechte Verteilerkammern. Von diesen führen unbeheizte waagerechte und über der Wasserlinie liegende Überströmrohre zur Kesseltrommel. Hierdurch gleichmäßige Verteilung des Dampfwassergemisches und Entmischung. Zweistufiger Gegenstromüberhitzer mit zwischengeschaltetem Heißdampfkühler. Die Teilkammern des Berührungsrohrbündels sind gut zugänglich. Die hinteren Steigrohre von den Verteilerkammern sind seitlich abgekröpft zum Durchtritt der hinteren Kühlrohre. Leerzug vorhanden.

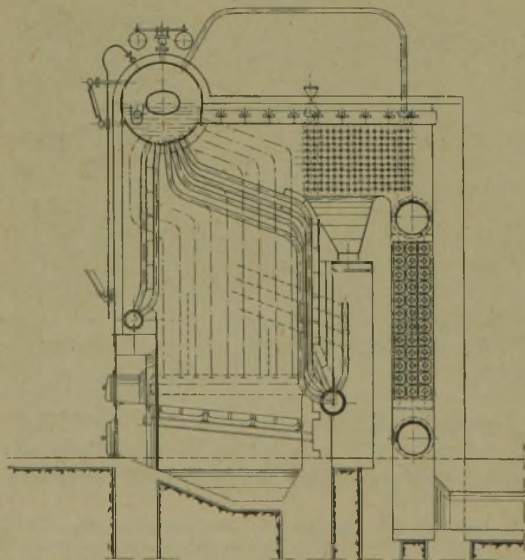


Abb. 5: Walther-Eintrommel-Strahlungs-Kleinkessel. 2/2,5 t/h, 60 m<sup>2</sup>, 15 atü, 350° C. Allseitig gekühlter Feuerraum. Überhitzer zwischen 1. und 2. Zug. Flugaschenkammer, Rippenrohrvorwärmer, Planrost mit Handfeuerung. Bemerkenswert ist die geringe Grundfläche von rd. 12 m<sup>2</sup>, entsprechend ungefähr 5 m<sup>2</sup>/t/h, gegenüber 20 m<sup>2</sup>/t/h beim Flammrohrkessel.

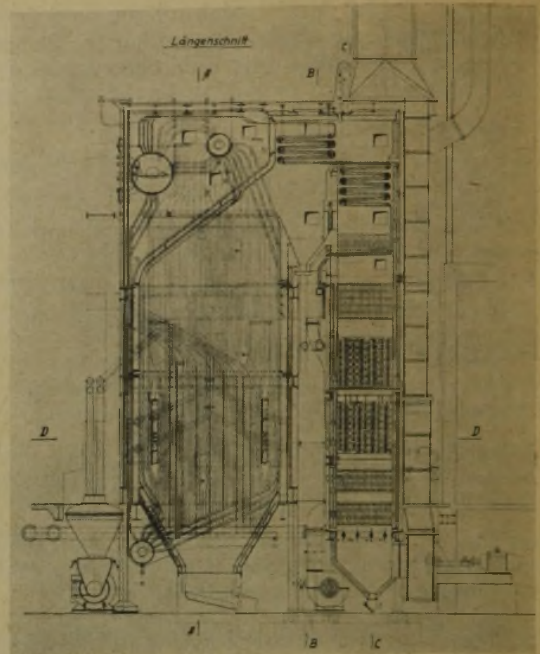


Abb. 6: VKW-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel mit Obertrommel, Entmischungstrommel und großer Untertrommel. 60 t/h, 40 atü, 425° C. Allseitig gekühlter Feuerraum. Kühlrostdeckenkühlung. Rückwandkühlrohre oben als aufgelockertes Röhrenbündel vor dem zweiten Zug. Vorkammer zur Flugaschenabscheidung vor dem Überhitzer. Durgängiger Überhitzer. Stahlrippenrohr-Vorverdampfer. Schlangrohr-Speisewasservorwärmer zwischen den Luffterhitzerflächen. Kohlenstaubfeuerung mit KSG-Eckenbrennern. Brenner in 2 Höhenlagen mit je einer Einblasmühle, so daß bei Ausfall einer Mühle nur eine Brennerlage ausfällt. Mühlen und Brenner so bemessen, daß eine Brennerlage 45 t/h Dampf erzeugt. Rauchgasschieber zur Regelung der Heißdampf Temperatur seitlich der Flugaschenrichters unter dem Vorüberhitzer, Saugzug und Kalllüfter auf Aschenkellerflur. „Honigmann“-Naßfilter, „Rothstein“-Aschenspülanlage.

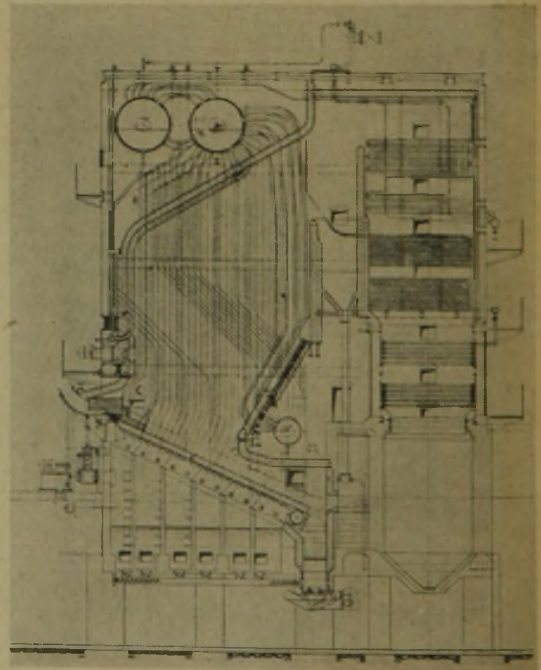


Abb. 7: VKW-Zweitrommel-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel. 40/50 t/h, 40 atü, 450° C, mit großer Obertrommel und Speichertrommel für stark schwankenden Zechenbetrieb, allseitig gekühltem, verhältnismäßig niedrigem Feuerraum, Deckenkühlung. Röhrenbündel aufgelockert. Kleine Untertrommel. Vorraum zur Flugaschenabscheidung vor dem Überhitzer. Zweiteiliger Überhitzer mit Heißdampfkühler zwischen Vor- und Nachüberhitzer, Schlangrohr-Vorverdampfer. Nachgeschalteter gußeisener Rippenrohr-Luffterhitzer mit Marlin-Rückschubrost zur Verfeuerung von Mittelprodukt. Kohlenstaubzusatzfeuerung für Sichterstaub mit 2 Wirbelbrennern in der Stirnwand über dem Rost. Flugkoksrückführung von der Rückseite. Marlin-Entschlacker mit Brecher, Förderwagenentladung.

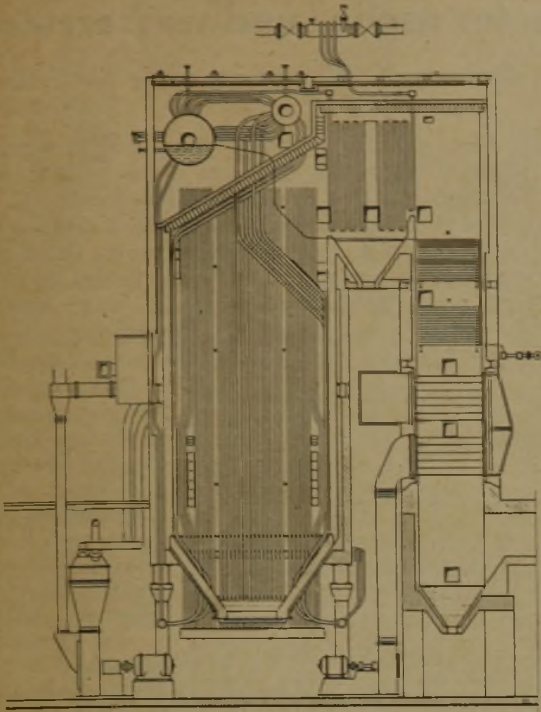


Abb. 8: Dürr-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel mit Oberstrommel und Entmischungstrommel. 40/50/54 t/h, 36 atü, 430° C. Allseitig gekühlter Feuerraum. Gekühlte Aschenrichterwände. Deckenkühlung. Rückwandkühlung in dem oberen Feuerraum als aufgelockertes Röhrenbündel vorgezogen, zwecks besserer Mischung der Feuergase, gleichmäßiger Beanspruchung und Schutz des Oberhitzers. Hängender Oberhitzer zwischen 1. und 2. Zug mit Aschenrichter. Vorverdampfer, Speisewasservorwärmer, Nadelluftwärmer, Kohlenstaubeckenfeuerung mit Zweifluftzuführung und HS-Kohlenmühle zur Verarbeitung von Sichterstaub. Gaskohle.

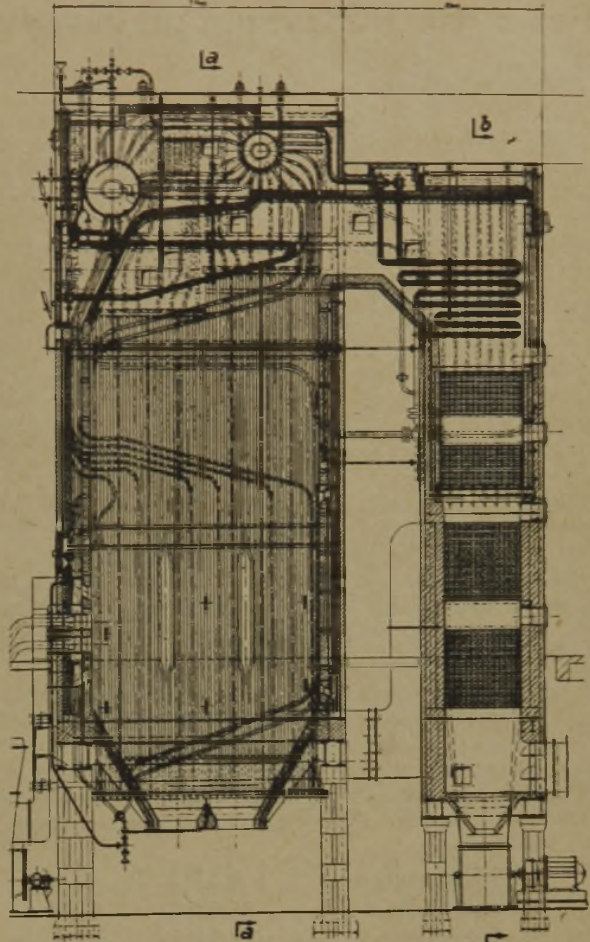


Abb. 10: Babcock-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel. 75/90 t/h, 80 at, 510° C. Allseitig gekühlter Feuerraum. Wandkühlung mit Kurzschlußrohren. Kühlrost. Deckenkühlung. Entmischungstrommel. Oberhitzer im 2. Zug. Heißdampf temperaturregler als Oberflächenregler, daher unabhängig von der Güte des Einspritzkondensats. Stahlrippenrohrvorwärmer. Nachheizflächen mehrfach unterteilt zwecks besserer Zugänglichkeit. Kohlenstaubeckenfeuerung mit HS-Mühle und aufgeteilten Brennern in der Stirnwand. Weitgehende Unterteilung der Zweifluft.

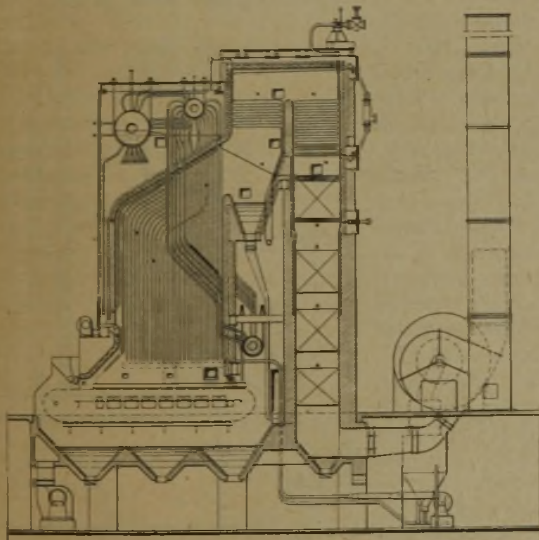


Abb. 9: Dürr-Steilrohr-Zweizug-Strahlungskessel mit großer Ober- und Untertrommel und Entmischungstrommel. 32/40/43,2 t/h, 64 atü, 485° C. Allseitig gekühlter Feuerraum. Deckenkühlung. Rückwandkühlrohre tief als aufgelockertes Röhrenbündel in den Feuerraum vorgezogen zum Schutz des Oberhitzers vor Verschlickung und zur besseren Mischung der Rauchgase. Vorüberhitzer zwischen 1. und 2. Zug mit Flugaschenkammern, Nachüberhitzer im 2. Zug. Vorverdampfer. Luftwärmer. Unterwind-Wanderrost. Zweifluftzuführung. Flugkoks rückführung. Saugzugentstaubung.

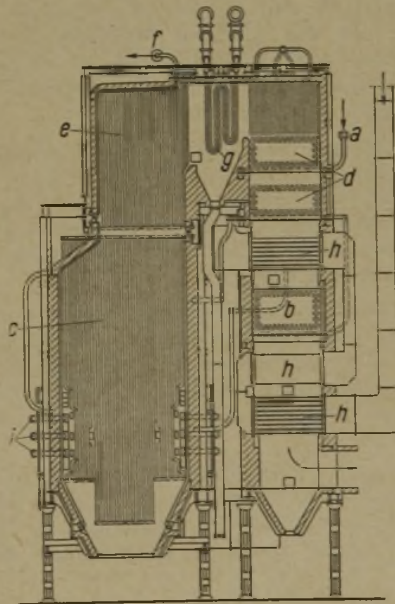


Abb. 11: Dürr-Siemens-Benson-Zweizug-Kessel. 100/125/135 t/h, 130 atü, 500° C. Allseitig gekühlter Feuerraum durch Strahlungsteil. Gekühlte Aschenrichterwände und Decken. Strahlungsüberhitzer im oberen Feuerraum. Hängender Zwischenüberhitzer. Übergangsteile (Verdampferteil) im zweiten Zug. Speisewasservorwärmer. Luftvorwärmer. KSG-Kohlenstaubeckenfeuerung zur Verfeuerung einer Mischung von Gas- und Magerkohle mit 24% II. B. Zentralmahlanlage.

Werde Mitglied der NSV.

# Betriebserfahrungen an Feuerungen für asche- und wasserreiche Brennstoffe

Von Obering. Dipl.-Ing. K. Wartenberg VDI, T.Ü.V. Essen

Durch die Aufbereitung der Steinkohle ergibt sich zwangsläufig ein bestimmter Prozentsatz unverkäuflicher Produkte, um deren weitest gehende Ausnutzung die Feuerungstechnik sich seit langem stark bemüht. Dieses unverkäufliche Gut ist das Mittelprodukt, Staub und Schlamm. Die Asche- und Wassergehalte dieses Gutes liegen beim Mittelprodukt zwischen 30—40% Asche und etwa 8—12% Wasser, bei Schlamm zwischen 15 und 20% Asche und 20—25% Wasser und bei Staub zwischen 15—20% Asche und 4—5% Wasser. Es ist selbstverständlich, daß die großen Asche- und Wassergehalte dieses Brennstoffes hohe Anforderungen an die Feuerung stellen und von dieser neben ihrer eigentlichen Aufgabe der Wärmeentbindung noch eine weitgehende Vorbereitung und Anpassung an die Zünd- und Brenneigenschaften fordern. Durch die Schaffung von Feuerungen, die diesen Forderungen gerecht werden, ist man in der Lage, auch mit asche- und wasserreichen Brennstoffen Ausnutzungsgrade zu erzielen, die den mit hochwertigen Produkten erreichten Werten kaum nachstehen.

Im folgenden sollen Ergebnisse und Betriebserfahrungen besprochen werden, die aus Feuerungsversuchen mit aschereichen Brennstoffen verschiedenen Charakters gewonnen wurden. Bei einer Versuchsreihe an drei verschiedenen Anlagen kam ein Brennstoff mit Fettkohlencharakter etwa folgender Zusammensetzung zur Verfeuerung:

Wassergehalt	8,03%
Aschegehalt	36,98%
Brennbares	54,99%
Oberer Heizwert	4322 kcal/kg
Unterer Heizwert	4128 kcal/kg

Die für die Untersuchungen zur Verfügung stehenden Feuerungen waren: 1 Martin-Rückschubrost, 1 Wanderrost mit Staubzusatzfeuerung und 1 Staubfeuerung. Die drei ausgewählten Feuerungen waren für etwa gleiche Leistung gebaut, und die Regulierfähigkeit der Luftverteilung bot die gleichen Möglichkeiten. In den Feuerräumen der drei Kessel waren die beiden Seitenwände und die Rückwand mit Kühlflächen ausgelegt, die Stirnwand war dagegen unberohrt.

Die Versuche gestatten somit, Verhalten, Zündung und Ausbrand ein und desselben Brennstoffes in verschiedenen Feuerungssystemen zu beurteilen. Hier sei aber schon bemerkt, daß die Gegenüberstellung nicht zu einem Vergleich über die Güte der einzelnen Feuerungssysteme verleiten soll.

Der untersuchte Martin-Rückschubrost ist unter einem Krupp-Kessel mit Büttner-Saugzugentstaubungsanlage eingebaut. Die Heizfläche des Kessels war 620 m<sup>2</sup>. Der Rost hatte bei einer totalen Rosfläche von etwa 40,7 m<sup>2</sup> eine Breite von 6,9 m und eine Länge von 5,9 m.

Der Rostantrieb erfolgt durch einen Elektromotor über ein Schaltgetriebe, welches die Gangart des Rostes in 5 Stufen von 1/2 bis 2 1/2 Hübe/min zu regeln erlaubt. Die Neigung des Rostes gegen die Waagerechte beträgt 25°.

Mit dem Versuchsbrennstoff wurde eine Last von 20—25 t gefahren.

Die Feuerführung war so gehalten, daß der Versuch eine gute Beurteilung des Feuerbildes ermöglichte. Bei einer Schichthöhe von etwa 500 mm, einer spez. Rostbelastung von 150 kg/m<sup>2</sup>h war die Zündung gut, das

Feuer klar und der Abbrand gleichmäßig. Niedrige Schichthöhe störte den Abbrand durch Kraterbildung im Feuerbett, so daß der Kohlensäuregehalt der Abgase infolge der durch das Brennstoffbett eintretenden Falschluff erheblich beeinträchtigt wurde. Die Feuer- raumtemperatur betrug oberhalb des Rostes im Mittel 1200° C, der Kohlensäuregehalt in den Abgasen wurde zu 10,0% festgestellt. Die Untersuchung der anfallenden Schlacke ergab 16,6% brennbare Bestandteile. Um das

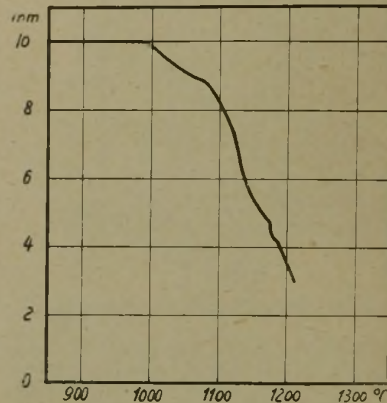


Abb. 1

Ascheverhalten bei größeren Rostleistungen beurteilen zu können, ist die Aschenschmelzkurve nach Bunte-Baum bestimmt worden. Die Abb. 1 zeigt den Verlauf der Aschenschmelzkurve mit einem Sinterungsbeginn bei 945° C, einer mittleren Schmelztemperatur bei 140° C und dem Fließpunkt bei 1210° C.

Der zweite Versuch galt den gleichen Feststellungen an einem Wanderrost. Es handelte sich um einen Unterwind-Zonenwanderrost in Verbindung mit einer Staubzusatzfeuerung. Die totale Rosfläche betrug 30,8 m<sup>2</sup> bei einer Breite von 4,8 m und einer Länge von 6,4 m. Die Verbrennungsluft wird in dem nachgeschalteten Luvo

auf etwa 100° C erhitzt. Die Abb. 2 zeigt die Anordnung der vier als Zusatzfeuerung dienenden Kohlenstaubbrenner in der Feuerraumstirnwand. Während des Versuchs betrug die mittlere Dampfleistung des Kessels 21,4 t/h. Davon sind etwa 80% der Leistung auf die Rost- und ca. 20% auf die Staubfeuerung zu verrechnen. Die spez. Rosflächenbelastung wurde zu 105 kg/m<sup>2</sup>h ermittelt. Der Brennstoff zeigte in diesem Feuerungssystem außerordentlich gute Brenneigenschaften. Bei einwandfreier Zündung und klarem Feuer betrug die Feuerraumtemperatur unmittelbar hinter dem Schichtregler 1220° C, in der Rostmitte 1250° C und am Rostende 1000° C. Die Brennstoffschicht war dabei auf eine Höhe von 105 mm eingestellt bei einem Rostvorschub von 150 mm/min. In dieser Einstellung war der Abbrand gleichmäßig und der Ausbrand schon an der vierten Zone beendet. Die Untersuchung der Schlacke ergab einen Gehalt an

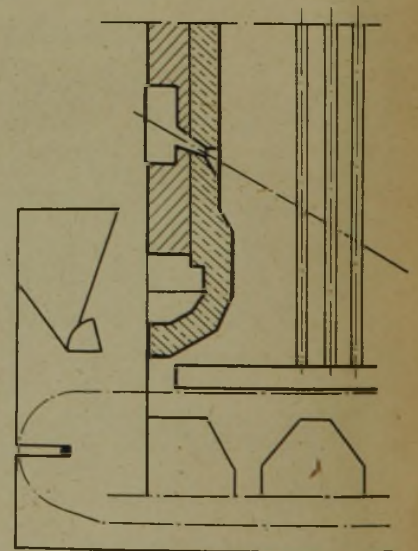


Abb. 2

Die Untersuchung der Schlacke ergab einen Gehalt an

brennbaren Bestandteilen von 5,06%. Um die Möglichkeit einer Leistungssteigerung durch Ausnutzung der in der vorerwähnten Rostfahrweise vorhandenen Reserve nachzuweisen, wurde die Leistung des Kessels entsprechend einer spez. Rostbelastung von 205 kg/m<sup>2</sup>h gesteigert. Bei gleichbleibender Schichthöhe war der Vorschub auf 290 mm/min erhöht. Zündung, Abbrand und Ausbrand blieben nach wie vor gut. In diesem Zusammenhange war es naturgemäß interessant, zu wissen, welchen Einfluß die Kohlenstaubzusatzfeuerung auf das Feuerbild hat. Die Staubzuführung wurde daher unterbrochen mit dem Erfolg, daß sich der Feuerzustand verschlechterte und der Versuch nach kurzer Zeit abgebrochen werden mußte, da ein Abreißen der Zündung zu befürchten war. Die Staubzusatzfeuerung ist damit als gutes Hilfsmittel zur Sicherstellung der Zündung bei der Verfeuerung asche- und wasserreicher Brennstoffe geringerer Zündwilligkeit auf Wanderrosten gekennzeichnet. Wieweit sich die zusätzlich verfeuerte Staubmenge noch drosseln läßt, wurde nicht untersucht, doch dürfte die zur Aufrechterhaltung des gleichen Effektes notwendige Leistung der Zusatzfeuerung im wesentlichen vom Heizwert und der Zündwilligkeit des Staubes im Zusammenhang mit der Regelbarkeit des Unterwindes abhängig sein.

Der dritte Regelversuch mit der Staubfeuerung wurde mit der HS-Mühlenfeuerung der Firma Babcock durchgeführt. Der Aufbau der Anlage war etwa folgender: Der Staub wird durch drei an der Stirnwand angeordnete Brenner in den Feuerraum eingeblasen, von denen der mittlere Brenner an einer Zentralmahlanlage angeschlossen ist und die beiden äußeren an einer HS-Mühle angeschlossen sind und von dieser durch einen besonderen Kohlenbunker unabhängig mit Brennstoff versorgt werden. Diese Schaltung war für den Versuch außerordentlich günstig, da sie große Freiheit in der Feuerführung erlaubte. Es war geplant, daß nach Abschalten des mittleren Brenners die beiden seitlichen von der HS-Mühle mit der Versuchskohle beschickten Brenner die Last übernehmen sollten. Das Ergebnis war folgendes: Obwohl die Feuerraumtemperatur mit Rücksicht auf die geringe Zündwilligkeit des Brennstoffes durch längeren Betrieb aller drei Brenner hochgetrieben war, rissen die Flammen der äußeren Brenner sofort nach Abschalten des mittleren Brenners ab. Es zeigte sich, daß die Einblasegeschwindigkeit im Brennermaul im Verhältnis zu den schlechten Zünd-eigenschaften zu groß war und die im Staub dem Feuerraum zugeführte Wärmemenge zu klein, um die zur Sicherstellung der Zündung notwendige hohe Feuerraumtemperatur aufrechtzuerhalten.

Zahlentafel I

Kesselbauart	Steilrohrkessel	Sektionalkessel	Steilrohrkessel
Heizfläche	500	500	620
Feuerung	Marlin-Rückschubrost	Zonen-Wanderrost	Staubfeuerung
Rostfläche	40,7	30,8	—
Länge	5,9	6,4	—
Breite	6,9	4,8	—
Feuerraumtemp.	1200	1250	—
Brennstoff Hu	4128	4249	3980
Asche	36,98	36,44	40,99
Wasser	8,03	7,82	6,39
Flüchtige	—	21,00	20,5
CO <sub>2</sub> -Gehalt	10,0	10,6	—
O <sub>2</sub> "	9,8	9,1	—
Brennb. i. Schlacke	16,27	5,05	—

Zahlenwerte der Feuerungsversuche

In der Zahlentafel 1 sind die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung zusammengestellt. Die Versuche gestatten bei ihrer Gegenüberstellung einen guten Überblick über die Eignung der einzelnen Feuerungssysteme für die Verarbeitung eines Brennstoffes der eingangs genannten Zusammensetzung, und die Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß sich von den drei Feuerungen vor allem der Wanderrost in Verbindung mit einer Staubzusatzfeuerung sehr gut zur Verfeuerung des Versuchs Brennstoffes eignet und die sich aus dieser Verbindung ergebenden Feuerungsbedingungen zweckmäßig dem Brennstoffcharakter angepaßt werden können. Aus dem Ergebnis soll aber keineswegs allgemein geschlossen werden, daß Schürrost und Staubfeuerung dem Wanderrost bei der Verarbeitung wasser- und aschereicher Produkte nachstehen. Ein solch weitgehender Rückschluß wäre schon aus dem Grunde ungerechtfertigt, da alle für einen dergleichen Vergleich zugrunde zu legenden Ähnlichkeitsbedingungen, Strömung der Rauchgase durch den Feuerraum, Zündung des Brennstoffes, Verbrennung und Wärmeübertragung usw., in keinem Falle zutreffen. Das Ergebnis ist jedoch in anderer Beziehung bemerkenswert. Der Wanderrost hat gezeigt, daß auch er, insbesondere in Verbindung mit einer Staubzusatzfeuerung, in der Lage ist, über die schwierigsten Brennstoffverhältnisse Herr zu werden und sich wohl neben Feuerungen mit Schürwirkung behaupten kann. Es muß außerdem zugegeben werden, daß man mit dieser Feuerungsart das umfangreichste Brennstoffprogramm beherrscht und damit der Forderung nach einer Feuerung für breiteste Brennstoffbasis gerecht werden kann.

Das Bestreben, asche- und wasserreiche Brennstoffe auch in Feuerungen für große Kesseleinheiten zu verarbeiten, zwingt dazu, diese durch Trocknen, Mahlen und Sichten für die Verbrennung vorzubereiten und aufzuschließen. Hierfür kommen ausschließlich die Kohlenstaubfeuerungen und heute vor allem ihre Abarten, die Krämer-Mühlenfeuerung und die KSG-Nafz-Kohlenfeuerung in Frage, und zwar hat sich das Prinzip der direkten Einblasung fast allgemein durchgesetzt. Lediglich bei schwer mahlbaren Brennstoffen verbleibt man bei dem System der halbdirekten Vermahlung. In der modernen Einblasemühle wird die Kohle so weit aufbereitet, daß alle von der Mühle ausgetragenen Kohleteilchen in der Schwebe verbrennen können und auf Nachverbrennungsroste ganz verzichtet werden kann. Mit dieser Forderung nach Feinstvermahlung ergibt sich nach bereits vorliegenden Erfahrungen die Möglichkeit höherer Brennräumbelastungen, ohne daß die Verluste durch Flugkoks unzulässig hoch werden. Wenn bisher für Feuerungen mit Einblasemühlen niedrige Brennräumbelastungen verlangt wurden, so lag der Grund in erster Linie darin, daß man der größeren Ausmahlung dieser Mühlen gerecht zu werden versuchte und auch für das grobe Korn durch längere Aufenthaltszeit im Brennräum einen vollständigen Ausbrand erreichen wollte. Durch diese Art der Vermahlung sollten außerdem die Mahlkosten herabgesetzt werden, die einen nicht geringen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Staubfeuerung haben. Bei der Entscheidung über die Wahl des einen oder anderen Weges dürfte jedoch zur Erzielung größtmöglicher Gesamtwirtschaftlichkeit der Kohlencharakter von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Die im folgenden zu besprechenden Versuche ergeben ein anschauliches Bild von dem hohen Entwicklungsstand und der Leistungsfähigkeit einer Krämer-Mühlenfeuerung.

Der zur Untersuchung stehende Kessel für eine Leistung von 100 t/h ist mit drei Krämer-Kohlenstaub-

mühlen ausgerüstet. Der Brennstoff wird den Mühlen durch eine Erko-Bandbekohlungsanlage zugeführt. In den Mühlenmälern sind Gasbrenner eingebaut, die als Zündbrenner und Zusatzfeuerung dienen. Bei den durchgeführten Versuchen kam ein Brennstoffgemisch, bestehend aus zwei Drittel Filterschlamm und ein Drittel Mittelprodukt, zur Verfeuerung. Die zur Trocknung und Sichtung des Mahlgutes notwendige Luftmenge wird den Mühlen mit einer Temperatur von 350°C zugeführt. Der vorgetrocknete Kohlenstaub hatte vor Eintritt in den Feuerraum noch einen Wassergehalt von 2%. An dieser Stelle sei gleichzeitig auf den Erfolg der Mahltrocknung hingewiesen. Die am Brennermaul entnommenen Kohlenproben sind ebenfalls untersucht worden, und die Zahlentafel 2 gibt eine Gegenüberstellung der Brennstoffdaten vor und nach der Mahltrocknung. Ebenso wesentlich wie eine genügende Trocknung ist der Einfluß der Ausmahlung auf die Zün-

Zahntafel II

Versuch No.	1		2		3	
	normal		max. dauernd		Spitze	
<i>Aufbereitung i. Mühle</i>	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Wassergehalt %	19,53	1,26	20,49	2,41	22,31	2,44
Aschegehalt %	19,68	22,43	20,04	22,19	18,50	24,12
Brennbares %	60,79	76,31	59,47	75,40	59,19	73,44
Flüchtige Bestandteile o. W. %	15,60	17,63	14,94	17,80	13,62	17,69
Oberer Heizwert Kcal/kg	5058	6405	4934	6332	4916	6128
Unterer Heizwert Kcal/kg	4793	6207	4665	6130	4641	5932
Verbesserung d. Heizwertes durch die Mahltrocknung %	29,5		31,4		27,8	

Zusammensetzung und Heizwert des Brennstoffes vor und nach der Aufbereitung in der Krämermühle

dung und den Ausbrand. Zur Sicherstellung der notwendigen feinen Ausmahlung waren die Sichterschächte der Mühlen mit zweckentsprechenden Einbauten versehen, die in Verbindung mit günstiger Sichterluftzuteilung den Grad der Ausmahlung über den gesamten Belastungsbereich konstant halten. Die Abb. 3 zeigt den Verlauf der Körnungskennlinien. Innerhalb der

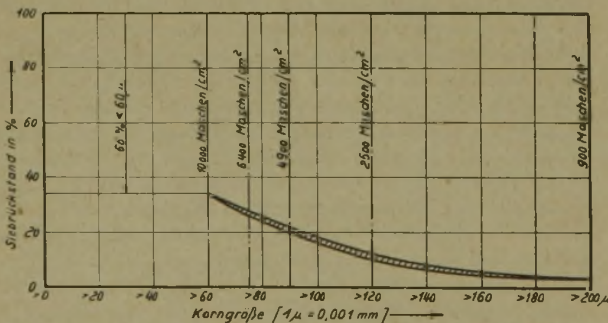


Abb. 3

schraffierten Fläche liegen die Kennlinien der in dem Belastungsbereich zwischen 50 und 100 t/h entnommenen Proben. Die Unterschiede in den Körnungen der einzelnen Proben sind so gering, daß von einer Belastungsabhängigkeit der Ausmahlung nicht mehr gesprochen werden kann. Die im gesamten Belastungs-

bereich gleichmäßig feine Ausmahlung wirkte sich auf den Ausbrand günstig aus. Um diesen Einfluß zu erfassen, wurden unter dem zweiten Zug an der Stelle, an der die Rauchgase aus dem abwärts gerichteten Strom in den Fuchskanal umkehren, mittels Ejektor und Zyklon laufend Flugkoksproben abgezogen. Von gleicher Wichtigkeit für den mit einer Feuerung erreichbaren Ausnutzungsgrad ist neben weitgehender Trocknung und großer Mahlfeinheit ein guter Flammenausbrand im Feuerraum. Die Flammenwirbelung ist hierzu als wirksamstes Mittel erkannt, wobei die Durchwirbelung unmittelbar durch zweckmäßige Gestaltung der Luftzuführung im Brenner oder durch Zweitluftzuführung an geeigneter Stelle erreicht wird. Im vorliegenden Falle sollte die Flammenwirbelung durch in der Feuerraumrückwand angeordnete Zweitluftdüsen erfolgen. In der Abb. 4 ist der Verlauf der Feuerraumtemperatur über der Feuerraumhöhe aufgetragen, und zwar für Versuch 1 ohne Zweitluft und für Versuch 2 und 3 mit Zweitluft. Der Temperaturverlauf läßt die Lage der Flammen im Feuerraum gut erkennen. Ohne Zweitluft ist der Flammenkern langgestreckt und reicht bis in den oberen Teil des Feuerraumes; mit Zweitluft liegt der Flammenkern vorwiegend in Höhe der Brennerhöhe. Die Zahlentafel 3 enthält die Versuchsergebnisse bei drei verschiedenen Kessellasten. Die hohen Ausnutzungsgrade sind das Ergebnis zielbewußter Forschung und Entwicklungsarbeit an dieser Feuerungsart.

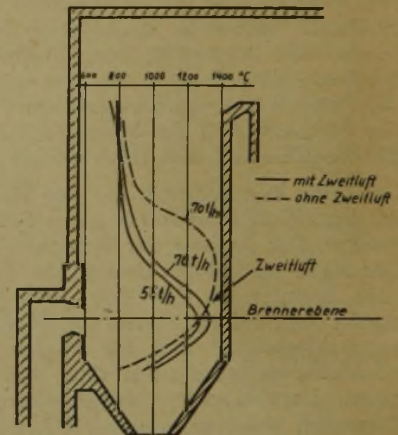


Abb. 4

Zahntafel III

Kessellast . . . . . t/h	56,5	70,5	96,4
Verdampfung . . . . . kg/kg	5,7	5,6	5,3
Wirkungsgrad . . . . . %	83,0	84,5	80,5

Ergebnisse der Verdampfungsversuche

Asche- und wasserreiche Brennstoffe werden allgemein als minderwertig bezeichnet, und zwar nicht zuletzt wegen der erheblichen Schwierigkeiten, die sich einer wirtschaftlichen Verfeuerung entgegenstellen. An Hand der vorstehend wiedergegebenen Versuchsergebnisse wurde gezeigt, daß der erzielbare Ausnutzungsgrad eines Brennstoffes weniger durch den Gehalt an Verbrenlichem bedingt, sondern in hohem Maße von der Anpassungsfähigkeit einer Feuerung und der Art der Vorbereitung der Kohle für die Verbrennung abhängig ist.

Ein bei der Verfeuerung aschereicher Brennstoffe noch ungelöstes Problem ist die Verschmutzung der Kesselheizflächen, und zwar sowohl der Strahlungsheizflächen der Feuerräume als auch der nachgeschalteten Berührungsheizflächen. Durch eine Reihe von Maßnahmen, die sich als mehr oder weniger geeignet erwiesen haben, hat man versucht, die Verschmutzung der Heizflächen zu verhindern bzw. auf ein erträgliches Maß zu beschränken. Der Betrieb zeigt jedoch, daß diese Frage noch der Lösung harret.



# Ueber die Verwendung hochwertiger Stahlsorten im Kesselbau, ihre Schweißung und deren Wärmebehandlung\*)

Von Rudolf Schnabbe VdEh, Essen

Maßgebend für die Entwicklung und Verwendung hochwertiger Stähle im Dampfkesselbau waren Forderungen nach erhöhten mechanischen Eigenschaften. Der steigende Druck und die steigende Temperatur stellten zu ihrer Beherrschung besondere Anforderungen an den Werkstoff hinsichtlich seiner höheren Festigkeit und Streckgrenze sowohl bei Raumtemperatur als auch in der Wärme und beim Übergang in das Gebiet hoch überhitzten Dampfes auch an die Dauerstandfestigkeit. Zwangsläufig verbunden mit dem Einsatz hochwertiger mechanischer Eigenschaften ist die Ersparnis an Gewicht und Werkstoff.

Man darf jedoch diese Entwicklung nicht allein von der werkstofflichen Seite betrachten. Es muß berücksichtigt werden, daß, abgesehen von dem Wunsch nach Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, die Entwicklung auf dem Gebiet der Kesselbaustoffe auch von der Frage der Verarbeitung beeinflusst worden ist. Zu erwähnen sind hier zum Beispiel Fortschritte in der Herstellung von Kesseltrommeln, Rohren u. a. m., vor allem aber die Fortschritte auf dem Gebiet der Schweißtechnik, ohne die der moderne Kesselbau nicht zum heutigen Stand seiner Leistung hätte emporwachsen können.

Wenn man von den Kesselzubehörteilen, die naturgemäß hinsichtlich werkstofftechnischer Fragen nicht weniger bedeutend sind, absieht, und nur die Kesselwandungsteile, in der Hauptsache also Trommeln, Rohre und Vierkantkästen, betrachtet, so schält sich als hervorragendste Eigenschaft die Frage der Verschweißbarkeit bei der Verwendung hochwertiger oder legierter Werkstoffe heraus.

In der Literatur über Kesselbaustähle findet sich eine große Anzahl von Zusammenstellungen, u. a. die sehr ausführlichen von Prof. Ulrich (Stuttgart), in der er eine Übersicht über Stahlsorten, Lieferwerke, Stahlbezeichnungen, chemische Zusammensetzung, physikalische Kalt- und Warmwerte, geordnet nach Gewährs- und Abnahmewerten, gebracht hat, so daß sich eine Wiederholung erübrigt.

Die erste Entwicklung auf dem Gebiet z. B. der Trommelwerkstoffe zwecks Erreichung gesteigerter Festigkeiten spielte sich in der Gruppe der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen ab. Der Kohlenstoff wirkt bekanntlich in zweifacher Hinsicht festigkeitssteigernd, einmal durch Vermehrung des Anteils an Zementit, zum andern bei der Wärmebehandlung im Sinne einer besseren Härbarkeit und Vergütbarkeit. Leider können diese einfachen, auch für die Rohstofffrage so günstigen Stähle nicht allen Anforderungen gerecht werden. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt bleibt die Steigerung der Streckgrenze erheblich hinter der Steigerung der Festigkeit zurück, so daß auch hinsichtlich einer erhöhten Warmstreckgrenze nicht viel gewonnen wird, da ja die Warmstreckgrenze in den in Frage kommenden Temperaturbereichen wesentlich von der Lage der Kaltstreckgrenze abhängig ist. Die übrigen kennzeichnenden Eigenschaften wie Dehnung, Einschnürung und Kerbzähigkeit nehmen unverhältnismäßig stark mit steigendem Kohlenstoffgehalt ab, so daß allein schon aus diesen Gründen eine Steigerung des Kohlenstoffgehaltes über die Grenze des Kessel-

blechwerkstoffes M IV hinaus nicht ratsam erscheint. Der ausschlaggebende Gesichtspunkt liegt jedoch auf dem Gebiet der Schweißtechnik, deren Anwendung, wie schon erwähnt, den heutigen Kesselbau beherrscht. Der ungünstige Einfluß hohen Kohlenstoffgehaltes beim Schweißen durch Härtings- und Versprödungserscheinungen und damit verbundener Rißgefahr ist hinreichend bekannt. Diese Erscheinung hat dazu geführt, in den Bestimmungen der neuen Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel das Verbot von Schweißarbeiten an Teilen auszusprechen, deren Kohlenstoffgehalt 0,25 v. H. übersteigt. In Abb. 1 ist ein solcher Schweißriß dargestellt, wie er beim Verschweißen härterer Stähle auftritt.



Abb. 1: Schweißspannungsriß in einer Rohrverbindung

Unter Anwendung besonderer Kunstgriffe beim Schweißen ist es natürlich möglich, auch Stähle mit höheren Kohlenstoffgehalten einigermaßen betriebssicher zu schweißen. So wurde z. B. in einem Benson-Kessel beim Anschweißen der Fallrohre an die Sammelkästen mit 0,3 bis 0,4% Kohlenstoffgehalt eine rißfreie Schweißung dadurch erreicht, daß man erst etwa 200 mm lange Vorschweißstücke aus Th-30-Rohren an die Kammernippel anschweißte, so daß auf der Baustelle lediglich die sicher beherrschte Schweißung Rohr gegen Rohr gleichen Werkstoffes auszuführen war. Bei den Schweißungen der Vorschweißstücke an die Kammern wurden zylindrische Einlegeringe verwendet. Mit Hilfe eines zweiten Brenners wurden während des ganzen Schweißvorganges der Kammernippel und das Vorschweißstück auf einer Temperatur von rd. 800° gehalten. Spannungsrisse, die sich trotz dieser Schweißmethode noch bildeten, konnten nach Ausbohren des Einlegeringes durch magnetische Durchflutung aufgefunden und durch Ausschleifen entfernt werden, sofern die Wandstärke des Rohres hierbei nicht unter das erforderliche Mindestmaß sank. Es ist jedoch einleuchtend, daß nicht in allen Fällen gleiche oder ähnliche Arbeitsmethoden angewandt werden können. Wenn daher aus konstruktiven Gründen Kesselbaustoffe mit hoher Warmfestigkeit verlangt werden, müssen molybdän- oder chrom-molybdän-legierte Stähle angewandt werden.

Über diese im Gegensatz zum einfach legierten Kohlenstoffstahl unter dem Sammelbegriff „legierte Stähle“ im Kesselbau angeführten Stähle und insbesondere über die Wirkungsweise der einzelnen Legierungselemente ist ein umfangreiches Schrifttum entstanden. Zeitlich gesehen muß hervorgehoben werden, daß die Entwicklung zunächst sprunghaft vom Kohlenstoffstahl zum höher legierten 1- bis 5%igen Nickelstahl überging, weil die ausgezeichneten Warmfestigkeitseigenschaften, die Alterungsbeständigkeit und seine metallurgische Beherrschung bereits aus anderen Konstruktionsgebieten bekannt waren. Die größeren Schwierigkeiten ergaben sich erst mit der Anwendung der Schweißtechnik. So wurde nicht zuletzt von der Schweißtechnik der Weg vorgeschrieben, den die Ent-

\*) Vorgelesen in der Beiratssitzung am 27. April 1940 im Institut für Werkstoffkunde an der Technischen Hochschule Hannover, Prof. Dr.-Ing. habil. A. Matting.

wicklung zu den heute gebräuchlichen niedrig legierten Kesselbaustoffen nahm und auch noch nimmt, denn da wir durch die uns aufgezwingenen Verhältnisse Chrom und Molybdän einsparen müssen, stehen wir noch mitten in der Entwicklung neuer warmfester Kesselbaustähle, die voraussichtlich auf der Grundlage Mangan und Silizium für die Temperaturbereiche bis 400° zur Anwendung kommen werden.

Die zunehmende Berücksichtigung der Warmstreckgrenze bei der Berechnung von Kesselkörpern hat in den neuen Werkstoff- und Bauvorschriften eine Verankerung gefunden. Bei Temperaturen über 300° darf mit 1,5facher Sicherheit gegen nachgewiesene Warmstreckgrenze des vollen Werkstoffes gerechnet werden. Bei Schweißverbindungen erhöht sich der Faktor auf 1,6, wobei die Streckgrenze der Schweißverbindung in die Rechnung einzusetzen ist. Die Schweißverbindung besteht aus dem Blechwerkstoff, dem Schweißgut und dem dazwischen liegenden Übergangsgebiet. Es können daher verschiedene Streckgrenzen auftreten, von denen die niedrigste für die Berechnung maßgebend ist. Die Bestimmung der Streckgrenze sowohl des Blechwerkstoffes als auch des Schweißgutes an einem Stab in Längsrichtung aus der Naht macht keine Schwierigkeiten. Wie umfangreiche Härteprüfungen ergeben haben, besitzt das Uebergangsgefüge infolge der Vergütungswirkung beim Schweißvorgang größere Härte, so daß die Streckgrenze dieses Teiles der Schweißverbindung höher liegt als die des Blechwerkstoffes. Sie braucht daher nicht besonders ermittelt zu werden.

Der in den Vorschriften angegebene Zerreißstab quer zur Schweißnaht läßt aus verschiedenen Gründen keine einwandfreie Ermittlung der Streckgrenze zu. Es treten meist zu den Zugbeanspruchungen zusätzlich Biegebeanspruchungen, die die Anzeige der Streckgrenze überlagern. Da die Walzhaut zumindest auf einer Seite erhalten bleiben soll, lassen sich unter diesen Umständen Biegebeanspruchungen nur vermeiden, wenn die beiden gegeneinander verschweißten Platten mathematisch genau in einer Ebene liegen, d. h. mit anderen Worten, daß zur Vermeidung von Biegebeanspruchungen die Stäbe allseitig bearbeitet sein müssen. Bei der Wahl des Querschnittes wäre zu beachten, daß die Anteile des Schweißgutes und des Blechwerkstoffes an der Meßlänge zueinander abgestimmt sein müßten. Zu kurze Anteile im Verhältnis zum Querschnitt können Formänderungsbehinderungen verursachen. Ferner ist zu beachten, daß bei kurzen Meßlängen sich die Ableseschwierigkeiten sowohl bei Diagrammaufnahmen als auch bei Feinmessungen erhöhen, da die Formänderungen in einem entsprechend kürzeren Bereich erfolgen. Es ist dies nur ein kleiner des Erwährens werter Ausschnitt von Schwierigkeiten. Solange die Bestimmung der Warmstreckgrenze an einer Schweißverbindung keine einheitliche Lösung gefunden hat, wird es dem Konstrukteur nicht möglich sein, die in den neuen Werkstoff- und Bauvorschriften enthaltene Erleichterung gegenüber der alten Berechnungsweise voll auszunutzen. Es dürfte also im Sinne einer Werkstoffersparnis eine sich lohnende Aufgabe sein, hierüber eine einheitliche Vereinbarung herbeizuführen. Im übrigen stellt die einwandfreie Ermittlung der mechanischen Eigenschaften aller Schweißnahtverbindungsarten noch manche Schwierigkeiten dar, die der Klärung bedürfen. Besondere Aufmerksamkeit verdient hierbei eben die Elektroschmelzschweißung, da sie immer mehr gegenüber den anderen Schweißverbindungsarten in den Vordergrund tritt.

Der Wassergasschweißung sind durch Analyse und Wandstärke verhältnismäßig enge Grenzen gesetzt,

so daß sie im Hinblick auf die Verwendung hochwertiger legierter Stähle im Hochdrucktrommelbau gegenüber den nahtlosen und elektroschmelz-



Abb. 2: Dickwandschweißung, 150 mm Blechstärke

geschweißten das Feld mehr und mehr räumen muß. Wie auch aus der in jüngster Zeit abgeschlossenen Arbeit von Theis & Zeyden<sup>1)</sup> hervorgeht, werden bei der Gasschmelzschweißung einwandfreie Ergebnisse an unlegierten Stählen nur bis 15 mm Blechstärke erreicht. Bei der Elektroschmelzschweißung sind hinsichtlich Wandstärke praktisch keine Grenzen gesetzt. Die Abb. 2 zeigt hierzu das Makrobild der Schweißnaht eines Hochdruckkessels aus 150 mm Wandstärke.

Der derzeitige Mangel an Schweißern rückt auch die elektrische maschinelle Schweißung in den Vordergrund. Zu erwähnen sind in der Hauptsache die halbautomatische Schweißung mit dem Kjellberg-Kopf und das vollautomatische Union-Melt-Schweißverfahren, das in Deutschland durch die Lizenznehmerin, die Gesellschaft für Lindes Eismaschinen, unter der Bezeichnung Ellira-Schweißverfahren Eingang gefunden hat. Dieses Verfahren verspricht gerade auf dem Gebiet der legierten Stähle besondere Aussichten. Wie aus bereits vorliegenden Versuchsergebnissen hervorgeht, werden durch den Luftabschluß beim Schweißvorgang Abbrände von Legierungsbestandteilen so weitgehend vermieden, daß Schweißungen, die nach den bisherigen Schweißverfahren Schwierigkeiten boten, nunmehr beherrscht werden können.

Bei der Wassergas- und Gasschmelzschweißung wird das normalisierende Glühen nach dem Schweißen als notwendige Verbesserung der Schweißverbindung angesehen. Bei der Elektroschmelzschweißung waren die Ansichten hierüber verschieden. Bislang war in den gesetzlichen Vorschriften ein Normalglühen der Schweißung vorgeschrieben. Durch einen im März dieses Jahres erschienenen Erlaß wurde bei den Blechsorten I bis III unter bestimmten Voraussetzungen einschließlich hoher Nahtbewertungen auch nur ein Spannungs-

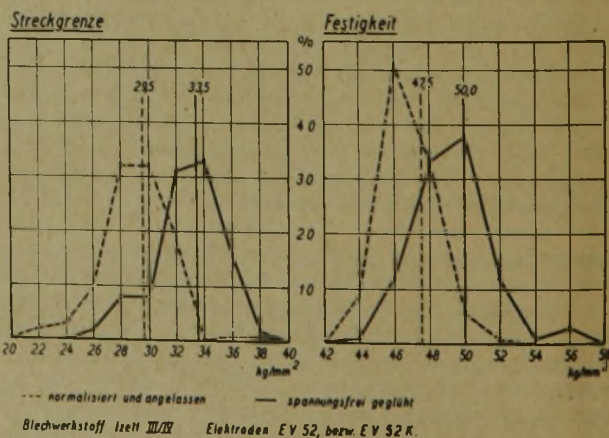


Abb. 3: Arbeitsprüfungen an Schweißungen (Festigkeit)

<sup>1)</sup> Technische Mitteilungen Krupp, Forschungsberichte, Heft 3 März 1940, Seite 49.

freiglühen zugelassen. Hieraus ergeben sich insbesondere für die Herstellung von großen oder dünnwandigen oder sperrigen Werkstücken, die entweder nicht in Öfen passen oder beim Normalglühen ihre Form verlieren würden, erhebliche Vorteile. Der Erlaß gründet sich auf eine Vielzahl von Versuchsergebnissen, die bewiesen haben, daß auch nur spannungsfrei geglühte Schweißungen gute mechanische Eigenschaften besitzen. Auch noch bei härteren Flußstahlarten, z. B. M IV, werden gute Ergebnisse erzielt. In den Schaubildern 3 bis 5 sind Ergebnisse von span-

nungsfrei geglühten und von normalisierten Schweißungen der Blechsorten III und IV gegenüber und zur besseren Übersicht in Abb. 6 die Werte in einem Schaubild zusammengestellt.

Zum Aufbau der Häufigkeitskurven ist zu sagen, daß in waagerechter Richtung die Meßwerte aufgetragen sind, und zwar die Streckgrenze und die Festigkeit in  $\text{kg/mm}^2$ , die Dehnung in  $\%$ -Werten und die Kerbzähigkeit in  $\text{mkg/cm}^2$ . Zur Auswertung von etwa 170 Arbeitsprüfungen wurde auf ganze Zahlen auf- und abgerundet. Außerdem wurden zur Ausschaltung von Meßungenauigkeiten und zur Erreichung einer guten Übersichtlichkeit bei der Streckgrenze und Festigkeit gerade und ungerade Zahlen zusammengefaßt und bei der Dehnung jeweils fünf aufeinander folgende Werte. In senkrechter Richtung sind über den Meßwerten die prozentualen Häufigkeiten aufgetragen. In jede Häufigkeitskurve ist der Mittelwert eingezeichnet.

Beim Zerreißversuch wurde nur die erste an der Skala der Maschine bzw. im Zerreißdiagramm auftretende Streckgrenze notiert. Die angegebenen Streckgrenzenwerte stellen daher jeweils die Streckgrenze des weichsten Teiles der Schweißverbindung dar. Einzelne Streckgrenzenangaben fehlen, da wegen der Zerreißlänge und der vorgeschilderten Schwierigkeiten bei dem vorgeschriebenen Zerreißstab nicht alle Streckgrenzen eindeutig aufgetreten sind. Beim Vergleich der normalisierten und der spannungsfrei geglühten Schweißungen ist als beachtenswert festzuhalten, daß die normalisierten keine besseren Ergebnisse lieferten als die spannungsfrei geglühten. Die Streckgrenzen und Festigkeiten liegen bei den normalisierten durchschnittlich drei Einheiten unter denjenigen der spannungsfrei geglühten.

Bei der Darstellung der Dehnung des Schweißgutes wurde unterschieden, ob der Bruch innerhalb oder außerhalb des Schweißgutes erfolgt ist. Im ersteren Fall ist naturgemäß die Dehnung größer, da die Einschnürung innerhalb der Meßlänge liegt. Die durchschnittlich erreichten Dehnungswerte liegen bei den normalisierten Proben entsprechend der geringeren Festigkeit höher als bei den spannungsfrei geglühten, was aber mit Rücksicht auf die Absolutwerte ohne Bedeutung ist. Die starke Streuung ist auf die Form des Probestabes und auf die verhältnismäßig kurze Meßlänge von nur 20 mm zurückzuführen.

Die angegebenen Biegedehnungen stellen keine erzielbaren Höchstwerte dar, da die Biegeproben nicht bis zum Bruch gebogen wurden. Sie geben jedoch darüber Aufschluß, welche Werte bei einem vorgeschriebenen Verhältnis von Dordurchmesser zu Blechstärke zu erzielen sind.

Die Kerbzähigkeitswerte sind bei beiden Glühbehandlungsarten gleich groß. Ebenso ist die Streuung dieselbe. Die Gleichheit der Werte mag zunächst überraschen, da man gewohnt ist, den normalisierten als den besten Zustand zu betrachten und daher hierbei auch die besten Werte zu erhalten glaubt. Bei der Mehrlagenschweißung, wie sie im Elektroschmelzschweißverfahren von Hand immer angewandt wird, werden die einzelnen Lagen durch die Schweißhitze der nachfolgenden, falls die Lagen nicht zu dick gewählt werden, umkristallisierend geglüht, so daß die Gußstruktur nur noch in den äußersten Raupen erhalten bleibt, wo sie bei der Kerbzähigkeitsprüfung nicht erfaßt wurde, und deshalb auch keinen Einfluß auf die Werte nehmen konnte.

Es sind nun für die Frage, ob auch bei der Festigkeitsgruppe IV ein Spannungsfreiglühen genügt, außer Betrachtungen über die üblichen mechanischen Kennziffern noch andere Überlegungen maßgebend. So ist z. B. zu untersuchen, ob beim kaltgerollten Schuf

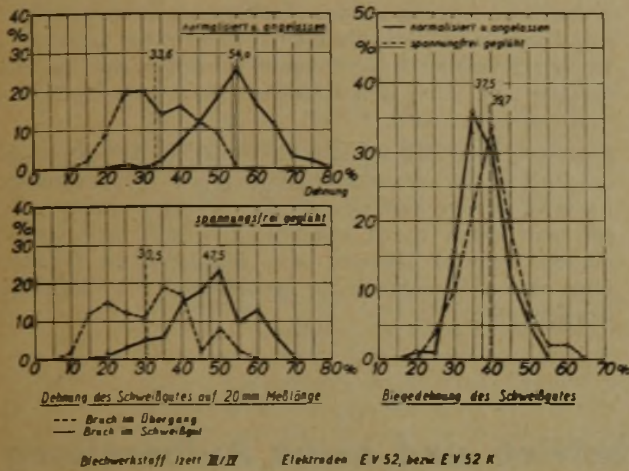


Abb. 4: Arbeitsprüfungen an Schweißungen (Dehnung)

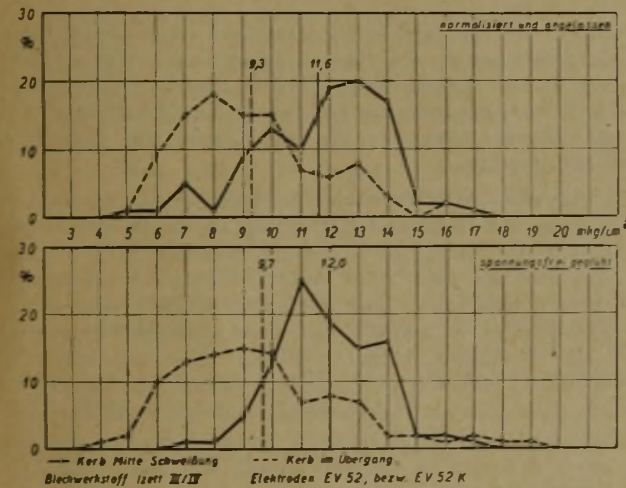


Abb. 5: Arbeitsprüfungen an Schweißungen (Kerbzähigkeit D. V. M. R.)

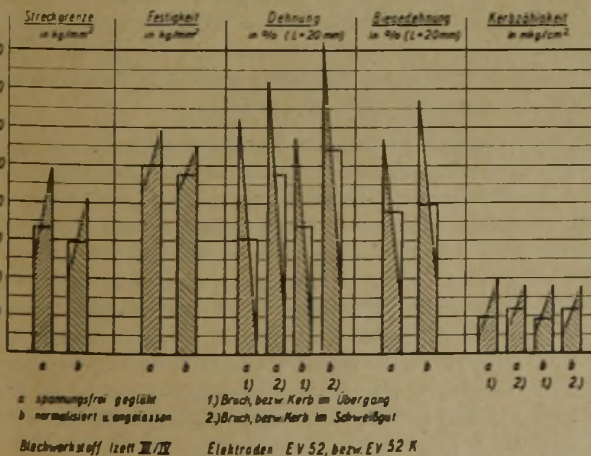


Abb. 6: Arbeitsprüfungen an Schweißungen. Vergleich der Festigkeitswerte

in der Einflußzone der Schweißung ungünstige Rekristallisations- und Alterungserscheinungen auftreten, denn die einzelnen Blechzonen können ja in Abhängigkeit von Schufddurchmesser und Blechdicke bis zur kritischen Verformung durch das Runden beansprucht werden. Nun werden bei den höher gekohlten und legierten Stählen die Alterungs- und Rekristallisationserscheinungen nicht die Rolle spielen wie bei den niederen Flußeisensorten.

Zur Stützung des oben angeführten Erlasses über das nur Spannungsfreiglühen höher bewerteter Schweißnähte an Kesseltrommeln sind Versuche in dieser Richtung unternommen worden, indem die an die Schweißnaht angrenzenden Zonen mit Kerbschlagproben ausgelegt wurden. Die Versuche zeigten, daß bei spannungsfrei geglühten Schweißnähten eine wesentliche Beeinflussung der durch die Schweißwärme beeinträchtigten Zonen nicht stattfindet. Somit konnte nachgewiesen werden, daß ein Spannungsfreiglühen vollkommen ausreichend ist, um die Versprödungserscheinungen, die in Zonen kritischer Verformung und kritischer Wärme sowie in Zonen der Grobkornbildung durch Rekristallisation vorhanden sind, zu beseitigen.

Die Versuche bedürfen der Ergänzung, wenn man im Zuge der Entwicklung dazu übergehen will, auf jegliche Wärmebehandlung der Schweißnähte an Kesseltrommeln zu verzichten, insbesondere weil sich dann die innerkristallinen Spannungen mit dem Formgebungs- und Schweißspannungen addieren werden. Auch wird hierbei die Frage der Spannungskorrosion durch die Gegenwart des Kesselwassers zu untersuchen sein. Eine Frage, die unter Berücksichtigung wechselnder Druck- und Temperaturbeanspruchungen nur schwierig im Laboratorium zu behandeln ist, so daß eine endgültige Lösung dieses Problems Großversuchen überlassen sein wird, die man z. B. an einer ungeglühten geschweißten Kesseltrommel ausführen könnte, die längere Zeit unter den schärfsten Bedingungen in Betrieb gehalten wird.

Soweit sich für die sicherheitstechnischen Erfordernisse hinsichtlich der Wärmebehandlung von geschweißten Kesseltrommeln Beiträge zu Einzelfragen liefern lassen und diese durch Laboratoriumsprüfungen untermauert werden können, sind Versuche im Gange, über deren Ergebnisse zu gegebener Zeit berichtet werden wird.

## Das Kühlwasser im Dampfkraftbetrieb und seine Aufbereitung

Von P. Landers, Technischer Ueberwachungs-Verein, Essen

Die Wirtschaftlichkeit einer Kondensationsanlage hängt zu einem großen Teil von der Reinhaltung der Kühlflächen ab. Verschmutzte Kühlflächen erfordern erhöhten Dampfverbrauch, bedingen Betriebsausfälle und hohe Reinigungskosten. In vielen Fällen gelingt es, durch eine zweckmäßige Wasserführung die Versteinerungen und Verschmutzungen weitgehend zu vermindern. Bei Rückkühlanlagen, wo eine starke Salzanreicherung des Kühlwassers erfolgt, ist eine Wasseraufbereitung angebracht und wirtschaftlich tragbar. Nach kurzen allgemeinen Darlegungen wird die Aufbereitung des Wassers besprochen und es werden neuartige Erkenntnisse in der Kühlwasseraufbereitung vermittelt.

### Allgemeines

Als Kühlwasser für die Einspritzkondensation kommt nur Rohwasser zur Anwendung. Die Verwendung von unaufbereitetem Rohwasser als Einspritzwasser bedingt bei Weiterverwendung des anfallenden Mischkondensates als Kesselspeisewasser, daß dieses in einer Wasserenthärtungsanlage in geeigneter Weise aufbereitet wird.

Im allgemeinen wird heute die Oberflächenkondensation im Dampfkraftbetrieb zumeist angewandt. Das anfallende Kondensat ist hierbei vollständig ölfrei und bei dichten Kondensatoren kann dieses zur Kesselspeisung ohne weiteres verwendet werden. Die Wirtschaftlichkeit einer Oberflächenkondensationsanlage ist im wesentlichen abhängig von der Reinhaltung der Kühlflächen. Eine Versteinung derselben verhindert den Wärmeübergang. Temperaturunterschiede von jeweils 2° C zwischen Kondensationstemperatur und Kühlwasseraustrittstemperatur ergeben eine Vakuumverschlechterung von etwa 1% und einen Dampfverbrauch von rd. 1,5%. In neueren Kondensationsturbinen wird zur Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie etwa 4—5 kg Dampf benötigt (Gegendruckmaschinen erfordern etwa das 2—3fache).

Dabei müssen für 1 kWh etwa 4—5 Liter eingedicktes Kühlturmwasser aus dem Kühlwasserkreislauf entfernt und durch frisches Wasser ersetzt werden<sup>1)</sup>. Die erforderliche Kühlwassermenge beträgt für Oberflächenkondensatoren etwa das 60- bis 70fache der erzeugten Dampfmenge.

Unter den im allgemeinen vorkommenden Bedingungen scheiden sich, begünstigt durch die thermische Einwirkung, hauptsächlich die Karbonate des Kalziums aus, die sich als Stein oder Schlamm in den Kühlrohren ablagern. Der Hauptbestandteil des „Kondensatorsteines“ besteht aus dem einfachkohlen-sauren Kalk (Kalziumkarbonat  $\text{CaCO}_3$ ), der bei der Erwärmung des Kondensatorkühlwassers auf 40—50° C aus dem löslichen doppeltkohlen-sauren Kalk (Kalziumbikarbonat  $(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)$ ) unter Austreibung von Kohlensäure entsteht. In gleicher Weise tritt auch eine Zersetzung des Magnesiumbikarbonats ein, jedoch ist die Löslichkeit von Magnesiumkarbonat so hoch, daß mit ihrer Ausscheidung im Kühlwasser kaum zu rechnen ist. Eine Ausscheidung der Nichtkarbonathärte, die im wesentlichen als Gips-härte vorliegt, ist bei den hier in Frage kommenden Anwärmungen und Salzkonzentrationen ebenfalls nicht zu erwarten.

Erfahrungsgemäß werden bei Temperaturen von 80 bis 90° C etwa 30% der Karbonathärte gespalten. Eine erheblich weiter gehende Karbonathärtezersetzung wird erst bei Siedetemperaturen erreicht. Bei der Erwärmung des Kondensatorkühlwassers auf 40—50° C ist demnach mit einer Karbonathärtezersetzung zu rechnen, die unter 30% liegt. Beim Ruhrwasser, das eine Gesamthärte von 8° d im Mittel bei anteilmäßig gleicher Karbonathärte enthält, würde unter Voraussetzung einer 30%igen Karbonathärtespaltung ca. 1,2° d abgespalten, die gemäß der Löslichkeitstabelle der Härtebildner in Lösung bleiben würden.

<sup>1)</sup> Handbuch der Lebensmittelchemie, Wasser und Luft, Erster Teil: Technologie des Wassers, S. 696.

## Löslichkeit der Härtebildner

Härteverbindung	Temperatur ° C	Löslichkeit	
		g/l	d
Kalziumbikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	15	1,89	65
	20	0,058	3,2
	40	0,039	2,1
	60	0,027	1,5
Magnesiumkarbonat $\text{MgCO}_3$	20	0,084	5,6
Kalziumsulfat $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	18	2,02	66
Magnesiumsulfat $\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	20	338	7 700
Kalziumchlorid $\text{CaCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	20	610	15 700
Magnesiumchlorid $\text{MgCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	20	470	12 900

Bei Rückkühlanlagen findet naturgemäß durch die Verdampfung eine Anreicherung des Salzgehaltes statt, so daß schon bei ganz geringer Eindickung die Löslichkeitsgrenze des Kalziumkarbonats überschritten wird und dieses Salz zur Ausscheidung kommt. In der Regel bilden die ausfallenden Karbonate Schlamm. Harte Karbonatsteinansätze werden in den Kondensatorkühlrohren fast immer nur in den obersten Kühlrohren festgestellt.

### Kondensatorreinigung

Nur in den seltensten Fällen gelingt es bei Verwendung von nichtaufbereitetem Kühlwasser durch Spülung der Kondensatorrohre nach dem Hülsmann-Verfahren oder auch durch Ausspritzen in kürzeren Zeitabständen saubere Kühlflächen zu erhalten. Stets muß je nach der Zusammensetzung des Wassers in längeren oder kürzeren Betriebszeiten der Kondensator ausgebohrt oder chemisch gereinigt werden.

Jede Reinigung von Kondensatoren, Zwischenkühlern usw. bedingt hohe Kosten und Betriebsausfälle. Jede Reinigungsart, ob chemisch oder mechanisch, verursacht eine mehr oder weniger starke Beanspruchung des Rohrmaterials. Selbst eine fachmännisch ausgeführte chemische Reinigung unter Zuhilfenahme eines Schutzkolloides ist mit der Zeit dem Rohrmaterial nicht zuträglich. Nach öfterer chemischer Reinigung ist immer wieder zu beobachten, daß eine Beizbrüchigkeit des Materials vorliegt. Besonders in der jetzigen Kriegszeit muß Wert darauf gelegt werden, einen störungsfreien Betrieb bei bester Dampfausnutzung unter möglichster Schonung des Materials durch günstige Kühlwasserhältnisse zu schaffen. Bei erforderlicher Neuberohrung des Kondensators kann in den seltensten Fällen die Ausnahmegenehmigung für die Verwendung von Messingrohren erhalten werden.

### Kühlwasservergütung durch zweckmäßige Wasserführung

Durch weitgehende Verminderung der Härteanreicherung im Kreislaufwasser läßt sich die Karbonatstein-ausscheidung in hohem Maße verhindern. Vielfach besteht die Möglichkeit, Kühlturmwater an anderen Stellen des Betriebes, wo sonst Frischwasser gebraucht wird, einzusetzen. Zechenbetriebe z. B. mit Kohlenwaschanlagen, Kokereien (Kokslöschwasser), Badekauen usw. sind sehr starke Frischwasserverbraucher. Hier liegen fast immer Wasserhältnisse vor, die eine Kühlwasserentnahme für diese Zwecke ohne weiteres gestatten. Auch genügt schon in vielen Fällen eine Entnahme des Kesselspeisezusatzwassers aus dem Kühlkreislauf, um eine weitgehende Niedrighaltung der Härtebildner im Kreislaufwasser zu erreichen. Der Mehrverbrauch an Chemikalien für die Aufbereitung des Zusatzwassers ist in diesem Falle nicht als maßgeblich einzusetzen. Wichtig ist, daß es gelingt, durch eine einzige Wasseraufbereitungsanlage zwei Wassersysteme steinfrei zu erhalten. Je nach dem Frischwasserzusatz können wasserchemisch Wasserhältnisse eingestellt werden, die fast saubere Kondensato-

ren erwarten lassen, besonders, wenn zusätzlich noch die später beschriebene Behandlung des Zusatzwassers durch Phosphatimpfung oder Gerbsäurezusatz angewandt wird. Bemerkenswert sei auch, daß durch die dauernde Abnahme von Kühlturmwater eine teilweise Entfernung der im Wasser vorhandenen Schwebstoffe eintritt. Neben diesen Vorteilen wird durch den größeren Frischwasserzusatz im Kühlkreislauf eine niedrige Kühlwassertemperatur erhalten, die sich günstig auf die bei stein- und schlammfreien Kühlrohren erreichbare Luftleere auswirkt. Praktische Ergebnisse der erreichbaren Luftleere bei 60facher Kühlwassermenge in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur zeigt die in Abb. 1 wiedergegebene Kurve<sup>2)</sup>. Zur Nutzbarmachung der im Frischwasser vorhandenen freien Kohlensäure ist die Einführung des Frischwassers in die Saugleitung und nicht in den Kühlturm empfehlenswert. Es wird dadurch erreicht, daß die freie Kohlensäure nicht ausgetrieben wird und der Rekarbonisierung entgegenwirkt. Eine weitere Möglichkeit, der Rekarboni-

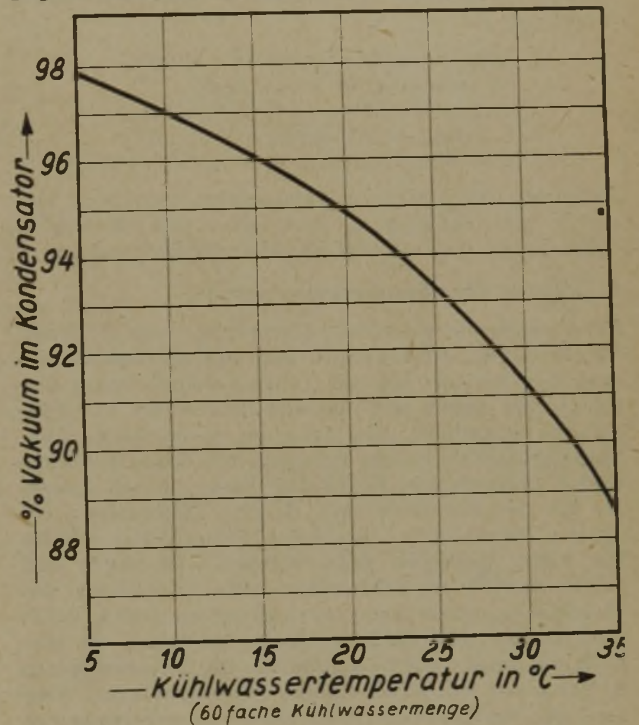


Abb. 1

sierung entgegenzuwirken, besteht in der geeigneten Einführung von gereinigten Verbrennungsgasen in den Kühlwasserkreislauf.

### Kühlwasservergütung durch Kesselabschlammwasser

In diesem Zusammenhang sei auf eine Kühlwasservergütung durch Kesselabschlammwasser hingewiesen. Durch Zusatz von gekühltem Kesselabschlammwasser, besonders von Hochdruckanlagen, die meistens mit einer sehr geringen Dichte des Kesselwassers gefahren werden, gelingt es, das Kühlturmwater vielfach derart zu beeinflussen, daß eine Karbonatstein-ausscheidung im Kondensator tunlichst vermieden wird. Zu diesem Zweck wird das Kesselabschlammwasser zusammen mit dem Zusatzwasser in die Rücklaufleitung eingeführt. Durch das härtefreie Kesselwasser findet eine Verdünnung der Härte des Kühlturmwaters statt. Die Überschusschemikalien (Ätznatron, Soda, Trinatriumphosphat, Natriumsilikat) treten mit dem Anteil der thermisch und chemisch leicht ausfällbaren Karbonathärte in Reaktion und bringen diese zur Ausscheidung. Der Kühlturm

<sup>2)</sup> Dr. Balcke „Die Wärme“ 1928, S. 313.

wirkt in diesem Falle als Reaktor. Die gelösten Neutralsalze stören nicht, da diese weitgehend gelöst bleiben. Eine störende Einwirkung der alkalischen Salze auf die Entzinkung des Messings durch Bildung von Zinkaten ist nicht zu befürchten, da nie der Schwellenwert eintreten wird, der dazu Veranlassung geben kann. Ein vermehrter Schlammanfall in dem Kühlbassin durch die Ausfällung der Härtebildner tritt zwar ein. Dieser ist hier aber zuträglich und leichter zu entfernen als die sonst eintretende Karbonatsteinbildung in den Kühlrohren.

### Kühlwasser-Aufbereitungsverfahren

Die Aufbereitung des Kühlwassers ist in den meisten Fällen, wo nicht genügend Frischwasser zugesetzt werden kann und eine erhöhte Salzanreicherung im Kreislaufwasser eintritt, angebracht und wirtschaftlich tragbar. Für die Kühlwasseraufbereitung kommt grundsätzlich nur ein Verfahren in Frage, das bei niedrigen Temperaturen durchführbar ist. Allgemein bekannt sind die Verfahren:

1. Filtration über Basenaustauschstoffe,
2. Entkarbonisieren mit Ätzkalk,
3. Impfen mit Säure (z. B. Salzsäure),
4. Zugabe von Gerbsäure (Tannin),
5. Schwellenbehandlung (Phosphatimpfung).

Besonders die beiden letztgenannten Verfahren vermitteln ganz neuartige Erkenntnisse in der Kühlwasseraufbereitung und werden eingehender besprochen.

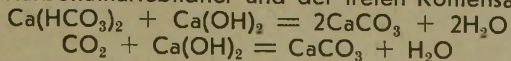
#### 1. Filtration über Basenaustauschstoffe

Mittels Basenaustauschstoffe (Permutite, Invertite, Wofatite, Neckarite, Alusite) wird eine vollständige Enthärtung des Wassers erreicht. Diese Behandlung ist eindeutig die beste und hat sich besonders in Großanlagen eingeführt. Nie ganz zu vermeidende Kondensatorundichtigkeiten bringen mit Basenaustauschstoffen behandeltem Kühlwasser keine großen Gefahren für das Kondensat mit, da das Kühlwasser wohl gelöste Neutralsalze, aber keine Härtebildner enthält. Die früher gehegten Befürchtungen, daß durch den hohen Gehalt an Alkalisalzen eine Entzinkung des Messings eintreten kann, hat sich in der Praxis, wenn eine Dichte des Kühlturmwassers unter  $0,5^\circ$  Be eingehalten wird, nicht bewahrheitet. Der Basenaustausch ist besonders bei einem höheren Gipsgehalt des Wassers, der die Eindickung des Kühlwassers herabsetzen würde (s. Löslichkeitstabelle), zu empfehlen.

In vielen Zechenbetrieben, wo stark salzhaltige Grubensole anfällt, kann diese an Stelle des Regeneriersalzes Verwendung finden<sup>3)</sup>, wodurch Chemikalienkosten für die Aufbereitung des Kühlwassers entfallen. Auch ist die Grubensole zur Auflockerung der Basenaustauschstoffe anwendbar, wodurch die Spülwasserverluste verringert werden. Bei den neueren Basenaustauschstoffen auf Harz- oder Kohlengrundlage wird ein hoher Austauschereffekt und geringer Spülwasserbedarf erreicht. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Kühlwasseraufbereitung durch Basenaustausch liegt auch darin, daß bei Fehlen von Härtebildnern Algen, die sonst in starkem Maße auftreten und wachsen, wodurch empfindliche Störungen auftreten können, nicht oder nur in geringer Menge zu beobachten sind.

#### 2. Entkarbonisieren mit Ätzkalk

Die Kalkhydratbehandlung beruht auf der Ausfällung der Karbonathärtebildner und der freien Kohlensäure:



<sup>3)</sup> G. Ammer: „Die Verwertung von Grubenwasser im Tagesbetrieb“, Ztschr. Glückauf, 73, S. 424 (1937).

Das sich bildende Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ist bis auf geringe Reste wasserunlöslich. Über die Kalkhydratbehandlung des Kühlwassers hat Ammer<sup>4)</sup> ausführlich berichtet. Die Entkarbonisierung durch Zugabe von gesättigtem Kalkwasser erreicht eine Verminderung der Karbonathärte auf  $2^\circ$  Resthärte und darunter, je nach dem Vorhandensein von Magnesiumbikarbonat in dem Rohwasser. Da, wie schon erwähnt, für Kühlwasser nur die Entfernung der Kalkkarbonathärte wichtig ist, genügt ein Kalkzusatz, der so eingestellt wird, daß nur die Kalkkarbonathärte zur Ausfällung kommt. Neuerdings wird durch Einführung von Katalysatoren die Reaktionszeit stark vermindert und die Entkarbonisierung weitgehend durchgeführt.

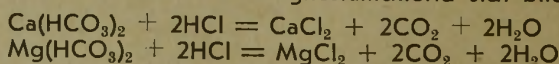
Wichtig ist, daß das gesamte Rohwasser über die Entkarbonisierungsanlage geleitet wird. Ist dies nicht der Fall, dann kann die Entkarbonisierung eines Teilstromes des Zusatzwassers oder auch des Kühlturmwassers immer noch zu Schwierigkeiten durch Steinansätze führen. Es kommt nicht darauf an, eine bestimmte Höhe der Karbonathärte im Wasser einzuhalten, sondern daß der Anteil an thermisch sowie chemisch leicht ausfällbarer Karbonathärte voll erfaßt wird. Der Vorschlag von Ammer<sup>4)</sup>, zur Verbesserung des umlaufenden Kühlwassers bei periodischer oder schwächerer Belastung des Reinigers einen Teilstrom des umlaufenden Kühlwassers durch die Aufbereitungsanlage zu schicken, ist sehr brauchbar. Neben der Herabsetzung der Karbonathärte wird dadurch eine Teilfiltration des Umlaufwassers und damit verbunden eine teilweise Entfernung der im Kühlwasser befindlichen Schwebestoffe erreicht.

Die Gips Härte des Kühlwassers darf nicht wesentlich über  $60^\circ$  d angereichert werden, da sonst die Gefahr besteht, daß die Löslichkeitsgrenze von Gips (s. Löslichkeitstabelle) überschritten wird und sich Gipsstein absetzt.

Bei Großanlagen verwendet man aus Wirtschaftlichkeitsgründen als Enthärtungschemikal am besten Stückkalk, der in Löschgruben abgelöscht wird. Man achte darauf, daß der Kalk nicht zu kalt gelöscht wird. In kleineren Anlagen wird vorteilhaft Kalkhydrat (gelöschter Kalk)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  verwendet.

#### 3. Impfen mit Säure (Salzsäure)

Die Impfung von Kühlwasser nach dem Bonsel-Verfahren wurde vor vielen Jahren durch die Maschinenfabrik Balcke in Bochum in die Wasserreinigungspraxis eingeführt; sie wird heute noch vielfach angewandt. Die Wirkungsweise des Verfahrens besteht darin, daß die Karbonathärte des Wassers zersetzt wird und leicht lösliches Kalzium- und Magnesiumchlorid sich bildet:



In vielen Fällen haben sich aber durch die Säureimpfung schon nachteilige Folgen gezeigt. Neuanlagen werden jetzt weniger ausgeführt. Die hauptsächlichsten Gefahren der Säureimpfung liegen darin, daß es selbst bei gleichbleibender Härte des Rohwassers außerordentlich schwierig ist, dauernd eine gleichmäßige Ausimpfung zu erhalten. Zu leicht tritt eine Übersäuerung ein, wodurch starke Korrosionen hervorgerufen werden. Kommt übersäuertes Wasser mit Gußeisen in Berührung, dann beobachtet man stets, daß unter mehr oder weniger völliger Auflösung des Eisens ein aus Graphit bestehendes Gerippe übrigbleibt, das mit einem Messer zerschnitten werden kann. Eine zweckmäßige Abänderung des Impfverfahrens besteht darin,

<sup>4)</sup> G. Ammer: „Über die Kalkhydratbehandlung des Kühlwassers von Oberflächenkondensatoren in Dampfkraftbetrieben“ Vom Wasser, Band X, S. 290—305.

daß zunächst die im Kreislaufwasser befindliche Karbonathärte bis auf etwa 5°d herabgesetzt wird<sup>1)</sup>. Das neu hinzukommende Zusatzwasser wird bis zur vollständigen Karbonathärteentfernung ausgeimpft, bevor dieses dem Kreislaufwasser zugesetzt wird. Tritt einmal eine geringe unbeabsichtigte Übersäuerung des Wassers auf, dann wird diese durch den vorhandenen Puffer von 5°d Karbonathärte abgestumpft. Bei vorhandenen Impfanlagen, deren Zuflußrohr bis zum Vermischen mit dem Kreislaufwasser aus Gußeisen besteht, wird zweckmäßig durch säurebeständigen Werkstoff ausgewechselt. Die starke Chloridanreicherung im Kühlwasser bei Salzsäureimpfung begünstigt eine elektrolytische Zerstörung der Rohre. Diese Gefahr ist besonders in Stillstandszeiten des Kondensators groß, wenn z. B., was auf Zechenbetrieben nie zu verhindern ist, auch Kohleteilchen sich im Kühlwasser befinden, die mit dem Zink des Messings ein Kohlezinkelement bilden. Feinste punktförmige Anfrassungen liegen dann meistens vor.

#### 4. Zugabe von Gerbsäure (Tannin)

Die Wasseraufbereitung mittels Gerbsäure in Verbindung mit Kesselwasserrückführung wurde früher für Kessel niederen Druckes öfter durchgeführt<sup>2)</sup>. Im allgemeinen wird dieses Verfahren für Kesselspeisewasser nicht mehr angewandt. Die Eigenschaft der Gerbsäure (Kolloide), die Ausfällung der Härtebildner zu verzögern und den Kristallisationsprozeß zu beeinflussen, kann aber für die Kühlwasseraufbereitung nützlich angewandt werden. Das auf einigen Kühlwasseranlagen im Überwachungsbezirk des TÜV-Essen eingeführte Gerbsäureverfahren benutzt in geeigneter Weise hergestellte Gerbsäure, die sich in Wasser vollständig löst<sup>3)</sup>. Die in einen Glaszylinder eingegossenen Gerbstoffe werden in einem Behälter untergebracht und mittels eines von der Rohwasserleitung abzweigenden Wasserstromes durch einen feinen Wasserstrahl einer Brausevorrichtung allmählich herausgelöst. Je nach dem Rohwasserzusatz sind hierfür mehrere Glaszylinder erforderlich. Die dünne Gerbsäurelösung wird an einer geeigneten Stelle dem Zusatzwasser zugesetzt. Bei Einhaltung einer Karbonathärte im Kühlturmwater von etwa 12—15°d, was bei Ruhrwasser mit einer Karbonathärte von etwa 4°d im Mittel einer etwa dreifachen Anreicherung des Kühlturmwaters entspricht, konnten in der Praxis zufriedenstellende Ergebnisse in der Reinhaltung der Kühlflächen erhalten werden. In einem Fall, wo die Härteanreicherung über dieses Maß gesteigert wurde, zeigte der Gerbsäurezusatz auf die Steinverhütung keine Wirkung. Wichtig ist fernerhin, daß die Gerbsäurelösung mit dem gesamten Zusatzwasser vor seiner Verwendung als Kühlwasser innig gemischt wird. Desgleichen muß die Gerbsäurelösung dem Zusatzwasser gleichmäßig und nicht nur zeitweise zugegeben werden. Eine geeignete Zugabestelle der Gerbsäurelösung ist maßgeblich für den Erfolg der Gerbsäurebehandlung. Sind die angeführten Voraussetzungen gegeben, dann ist ein Gerbsäurezusatz zu empfehlen und wird auch erfolgreich sein.

#### 5. Schwellenbehandlung (Phosphatimpfung)

Dieses neue Verfahren der Wasserbehandlung ist vor etwa 2 Jahren in Amerika bekannt geworden. Die englische Bezeichnung des Verfahrens, „Threshold-Treatment“ ins Deutsche übersetzt „Schwellenbehandlung“, soll sinngemäß zum Ausdruck bringen, daß in dem Zu-

satz eine äußerst geringe Menge Metaphosphat, der gerade noch an der „Schwelle“ des analytisch Nachweisbaren liegt, die Wirkungsweise des Verfahrens begründet ist.

Gelegentlich der Einführung des Verfahrens in die Praxis konnte festgestellt werden, daß die deutsche Bezeichnung des Verfahrens nicht immer eindeutig verstanden wird. Auf Grund der durch die Zusatzart (in Form verdünnter Salzlösung) gegebenen Analogie mit der Impfung eines Wassers mit Säure schlägt Dr. Schönaich<sup>7)</sup> vor, die deutsche Bezeichnung des Verfahrens „Phosphatimpfung“ der amerikanischen Bezeichnung vorzuziehen.

Zum ersten Male beobachtete Rosenstein<sup>8)</sup>, daß durch Zusatz weniger Gramm Natriumhexametaphosphat das Absetzen von Kalk aus Berieselungswasser verhindert wurde. Hall und seine Mitarbeiter<sup>9)</sup> haben systematische Untersuchungen durchgeführt, welche der phosphorsauren Salze (Meta-, Pyro-, Orthophosphate) am günstigsten wirken und welche Konzentrationen die besten Ergebnisse zeigen. Nach diesen Versuchen und den Angaben von Rudy<sup>10)</sup> kann das Natriumhexametaphosphat als das bisher bestbewährte phosphorsaure Salz bezeichnet werden. Nach Auffassung der amerikanischen Forscher entsteht durch das Natriumhexametaphosphat eine oberflächenaktive Wirkung. Die in der übersättigten Lösung zusammenstreichenden Moleküle von  $\text{CaCO}_3$  werden im Augenblick des Entstehens als kleinste Keime eingehüllt und im Wachstum behindert (immunisiert), so daß es zu einem Anwachsen der  $\text{CaCO}_3$ -Teilchen bis zur kolloidalen und mikroskopisch sichtbaren Größenordnung gar nicht kommt. Der beste Wirkungsgrad des Zusatzes wurde bei einem Maximalwert von 2 g/m<sup>3</sup> erhalten. Im Laboratorium des TÜV Essen durchgeführte Versuche bestätigten die letzteren Angaben. Die in Abbildung 2 und 3 wiedergegebenen Kurven<sup>11)</sup> lassen erkennen, daß mit zunehmender Temperatur die Kalziumkarbonatausfällung früher einsetzt und die Wirkung des Metaphosphates nachläßt.

Die einfache Durchführung der Phosphatimpfung läßt die Anwendung dieses Verfahrens besonders an An-

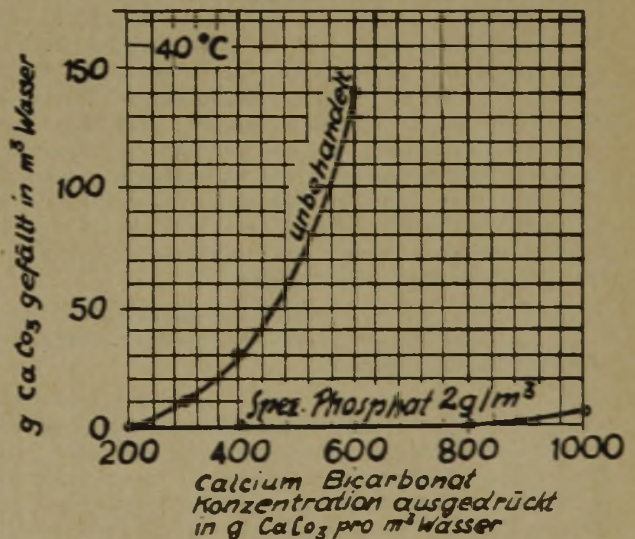


Abb. 2

7) Persönliche Mitteilung an den Verfasser.

8) L. Rosenstein: „U. S. Pat. 2 038 316 vom 21. 4. 1936.“  
U. S. Pat. Re. 20 754 vom 7. 6. 1938.

9) Hartung: Water Works Sew., Februar 1939.

10) Rudy, Schloesser u. Watzel: Über die Kalziumkomplexe von Natriumhexameta- und -tripolyphosphat. Ang. Chem. 53 (1940) S. 525.

11) Die Kurven wurden dem Verfasser von der Fa. Joh. Bendkiser, GmbH., Ludwigshafen, zur Verfügung gestellt, die sich um die Einführung und wissenschaftliche Ausarbeitung des Verfahrens sehr bemüht.

1) K. Hofer: „Untersuchung eines neuartigen Gerbstoff-Wasseraufbereitungsverfahrens mit Kesselwasserrückführung“, Ztschr. Glückauf Nr. 16, 1929.

2) „Reschke-Verfahren“ der Firma Bruno Reschke, Essen; „Gerbsäure-Verfahren“ der Firma Paul Brand, Dortmund.

lagen, wo jegliche Wasseraufbereitung fehlt, günstig erscheinen. Die apparativen Erfordernisse sind sehr gering.

Das Metaphosphat soll dem Kühlwasser in einer Menge von 0,5—2 g/m<sup>3</sup> zugesetzt werden. Eine größere Zu-

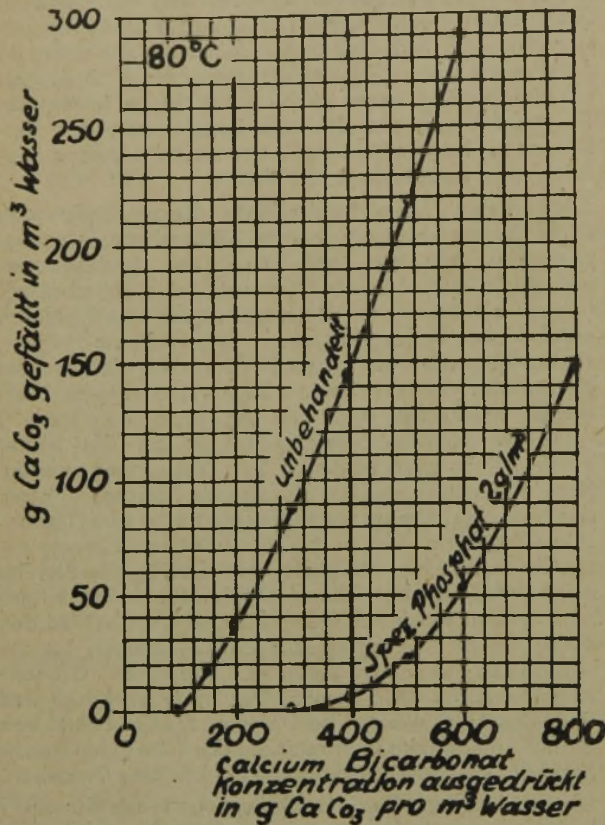


Abb. 3

satzmenge ist erfahrungsgemäß nicht erforderlich und auch nicht erwünscht. Die Zugabe erfolgt zweckmäßig in dünner Lösung. Als Lösungsgefäße eignen sich einfache Behälter, an denen ein Wasserstandsglas mit Skaleneinteilung angebracht ist. Von einer guten Durchmischung des Phosphates mit dem zugesetzten Rohwasser und von einem stets gleichmäßigen Zusatz ist der Erfolg des Verfahrens weitgehend abhängig. Bewährt haben sich auch die Gehre-Dosierungspumpen<sup>12)</sup>, die die Phosphatlösung in die Rohwasserdruckleitung einführen. Das geimpfte Rohwasser wird durch die Öl- und Luftkühler geleitet, wo einmal eine gute Durchmischung stattfindet und gleichzeitig diese Kühler auch steinfrei gehalten werden.

Im Laufe des letzten Jahres wurde die Phosphatimpfung bei 9 Kühlwasseranlagen im Überwachungsbezirk des TÜV Essen eingeführt.

Es hat sich ergeben, daß selbst durch die geringen Mengen im Wasser befindlicher Metaphosphate alter Wasserstein zersetzt und schalenförmig abgelöst wird. Das Ablösen dieser Steinansätze ist kein rein chemischer Vorgang, sondern kann nur durch das gleichzeitige Zusammenwirken mit physikalischen Vorgängen erklärt werden. Durch die Bildung anderer Phosphate und Volumenänderung im Steingefüge bilden sich Kapi-

<sup>12)</sup> Hersteller: Emil Fischer, Essen.

larrisse in den festen Steinansätzen. In diese eintretendes Wasser, das in stärker erwärmte Zonen vordringen kann, wird durch auftretende erhöhte Dampfspannung und durch die verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten von Metall und Stein die Steinablösung durch Absprengung hervorrufen.

In einem Fall traten schon nach sehr kurzer Einführungszeit starke Steinablösungen ein, so daß ganze Schalenpakete teilweise den Wasserdurchgang durch die Rohre vollständig sperrten. Zu bemerken ist, daß diese Steinschalen bei früherer chemischer Reinigung mit Säure nicht entfernt wurden. Nach weiteren vier Wochen wurde wieder eine stärkere Temperatursteigerung zwischen Kondensationstemperatur und Kühlwasseraustrittstemperatur festgestellt. Die Öffnung des Kondensators ließ eine starke Verschlammung erkennen. Der Schlamm konnte aber mühelos durch Ausspritzen entfernt werden. Inzwischen sind wieder 4 Wochen nach der letzten Öffnung verstrichen. Bis jetzt ist eine über die normale Grenze gehende Temperatursteigerung nicht beobachtet worden. Dieser Fall läßt klar erkennen, daß bei Vorliegen von versteineten und verschmutzten Kondensatoren, Leitungen, Schiebern und dergl. eine längere Einlaufzeit des Phosphatimpfverfahrens erforderlich ist. Auf einer weiteren Anlage ist das Verfahren seit ungefähr einem Jahr eingeführt. Hier wird durch günstige Verwendung von Kühlwasser eine Gesamthärte im Kühlkreislauf zwischen 18 und 20° d eingehalten. Es konnten bis jetzt einwandfrei saubere Kühlflächen erhalten werden bei einem Phosphatzusatz von etwa 2 g/m<sup>3</sup> Zusatzwasser. Auf einer anderen Anlage wird eine Kühlwasserhärte von etwa 20 bis 22° d eingehalten. Vor Einführung des Verfahrens waren die Schieber der Kühlwasserleitung z. T. nicht mehr gängig. Nach rund 3 Monaten waren die Schieber frei von Steinansätzen und wieder gängig. Gemäß den in Amerika gesammelten Erfahrungen können Rohwasser bis zu 33° d Karbonathärte nach ihrer Behandlung mit Metaphosphat zu Kühlzwecken herangezogen werden. Im Laboratorium des TÜV Essen durchgeführte Versuche ergaben, daß dieses nur der Fall ist, wenn keine Eindampfung des Wassers eintritt. Bei Oberflächenkondensation mit Rückkühlanlagen konnte nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen dieser Wert, ohne daß Karbonatsteinausscheidungen stattfanden, nicht erreicht werden. Erfahrungsgemäß soll bei Rohwasser eine Karbonathärteanreicherung im Kühlturmwasser unter 15° d eingehalten werden. Läßt sich dieses durch wirtschaftliche Verwertung des abzuführenden Wassers erreichen, dann ist das Verfahren nach den bisherigen Erfahrungen gut anwendbar und erfolgreich. Die Chemikalienkosten betragen für 1 m<sup>3</sup> Zusatzwasser 0,2 bis 0,25 Rpf. Eine Abschreibung ist kaum einzusetzen, da selbst, wenn die Dosierung mit einer Pumpe durchgeführt wird, die Kosten hierfür einschließlich der benötigten Leitungen, Behälter und Montage RM. 2000,— nicht überschreiten dürften.

Die Wassersteinbeseitigung unter Anwendung von verdünnter Säure ist in einer kleinen Werbeschrift der Firma M. D. Baumann behandelt<sup>13)</sup>. Eingehend über die Kesselsteinlösemittel hat Ammer<sup>14)</sup> berichtet.

<sup>13)</sup> M. D. Baumann, Gesellschaft für Wasserchemie, Düsseldorf-Unterrath, Kurfürstenstraße 108/112.

<sup>14)</sup> G. Ammer: „Chemische Kessel- und Wassersteinbeseitigung, ihre Mittel und Verfahren“ Vom Wasser, Band VIII, Teil II, Seite 77/92.

