



Inhaltsverzeichnis: Direktor Dr.-Ing. e. h. Friedr. Schulte: 20 Jahre Dampfkesselbau, S. 21 / Dipl.-Ing. R. Schnabbe: Über die Anwendung bewährter korrosionsbeständiger Stähle im Dampffäß- und -behälterbau, S. 32 / Obering. Dipl.-Ing. G. Brehm: Elektrische Steuer- und Regeltechnik in Hochdruckkraftwerken der Industrie, S. 35

## 20 Jahre Dampfkesselbau

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

Geschäftsführer des Technischen Ueberwachungs-Vereins Essen

### Einfluß des Krieges

Der Krieg gibt Veranlassung, einen Rückblick zu werfen auf die Entwicklung des Dampfkesselwesens zwischen den zwei Kriegen 1914-18 und 1939/40, also über einen Zeitraum von etwa 20 Jahren. Bekanntlich wurde während des Weltkrieges im Dampfkesselwesen keine Entwicklungsarbeit geleistet, obwohl riesenhafte Kesselanlagen neu erstanden, beispielsweise für den sprunghaften Ausbau der Elektrizitätswerke und für die neu zu schaffenden kriegswichtigen Betriebe, wie Stickstoffwerke, Sprengstoffwerke usw. Da jedoch während des Weltkrieges Ingenieure, Techniker und Arbeiter der Dampfkesselfabriken, wie in allen anderen Industrien, zum Heeresdienst eingezogen wurden, so fehlten die notwendigen Arbeitskräfte für die Verbesserung der Bauarten und für die gründliche Durcharbeitung der Neubauten. Man half sich daher so, daß man vorhandene Zeichnungen benutzte und die Größe der Anlagen durch Vervielfachung erreichte. — Wenn auch ähnliche Verhältnisse im jetzigen Krieg wegen geringerer Anspannung für den Heeresdienst und wegen Freistellung von Arbeitskräften für die unbedingt notwendige Aufrechterhaltung des Wirtschaftslebens nicht zu befürchten sind, so zeigte sich doch schon vor dem Kriege 1939 wegen der Verknappung der Arbeitskräfte eine Verlangsamung in der Entwicklungsarbeit, die sich ferner durch den vorläufigen Abschluß wichtiger Forschungsaufgaben von selbst ergab. So entsteht ein natürlich abgegrenzter und durch zwei Kriege bedingter Zeitraum für unsere Betrachtungen zwischen den Jahrzehnten 1920 und 1940.

### Behandlungsbereich

Im folgenden sollen nur Wasserrohrkessel behandelt werden, die für die Entwicklung der letzten 20 Jahre ausschlaggebend waren. Die Entwicklung des Flammrohrkessels und seiner Abarten war schon vor dem Weltkrieg zu einem gewissen Abschluß gelangt, der bedingt war durch erreichbare Drücke und Temperaturen, Leistungsfähigkeit und Preis. Der Vorschlag, unter Verzicht auf die Seitenzüge die ausfallende Heizfläche durch Nachschaltheizfläche zu ersetzen, konnte sich nicht durchsetzen, wenn letztere auch manche Vorteile für sich hat. Die Entwicklung der

Kleinkessel, wie stehende und liegende Feuerbuchskessel, Rauchrohrkessel, Lokomobilkessel, war ebenfalls schon vor dem Weltkriege zum Abschluß gelangt. Die neueste Entwicklung hat leider auch den Lokomotivkessel noch nicht erfaßt, obwohl dort die Entwicklung zweifellos auch zum Hochdruck, zu hoher Temperatur und zur Erhöhung der Leistung drängt.

### Rückblick

Zur Beurteilung der Entwicklung sei ein kurzer Rückblick auf die um das Jahr 1920 vorherrschenden Kesselbauarten gegeben. Wir unterscheiden bei den Wasserrohrkesseln im wesentlichen Schrägrohr- und Steilrohrkessel.

### Schrägrohrkessel

Die meisten deutschen Dampfkesselfabriken bauten als Schrägrohrkessel den **Kammerkessel** mit Abarten (Abb. 1), bestehend aus einem gradrohrigen Wasserrohrbündel mit einer oder zwei Wasserkammern zur Aufnahme der Wasserrohre, der oder den Obertrommeln und den Verbindungsstücken zwischen Wasserkammern und Trommeln. In der Regel waren die Wasserkammern ausgehalst und starr mit den Trommeln verbunden. Diese starren Verbindungen waren der Hauptnachteil dieser Kessel, der zu vielen Kesselschäden Veranlassung gab. Sie verhinderten oder erschwerten den Ausgleich der Spannungen innerhalb des Kesselkörpers, verursacht durch Wärmedehnungen, und brachten so zusätzliche Beanspruchungen in den Kessel, die Risse und andere Schäden verursachten. Weitere Nachteile waren die schwierige Herstellung der Kammern, die zahlreichen Stehbolzen und die umfangreichen und schwer herzustellenden Schmiedestücke, die Erzeugung nassen Dampfes, die langen Wasserwege des Dampf-Wassergemisches, die hohe zu überwindende Wassersäule über den Hauptverdampferrohren, die verhältnismäßig geringe Leistung und die große Zahl der Züge (vier), die einen großen Zugverlust verursachten. Für Hochdruck war der Kessel ungeeignet und mußte schon aus diesem Grunde der neuen Entwicklung weichen. Der Kammerkessel mit einer Kammer war zwar elastisch, jedoch war seine Leistung noch geringer als die des Zweikammerkessels; er paßte daher auch nicht in die neue Entwicklung.

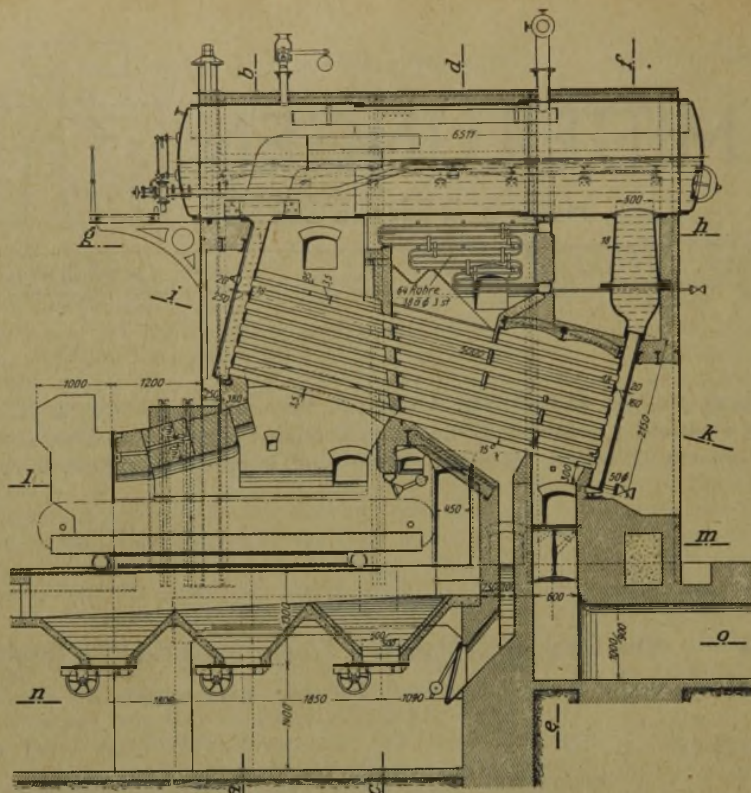


Abb. 1: Schrägrohr-Kammerkessel

Beide Kessel litten ferner unter dem Nachteil, daß ihre Hauptbauteile bis auf die Rohre nicht genormt werden konnten und daher von Fall zu Fall besonders hergestellt werden mußten. Sie werden daher nur noch selten gebaut.

Der Teilkammerkessel (Abb. 2) vermeidet die meisten Nachteile des Kammerkessels, indem er die großen Wasserkammern durch viele Teilkammern, die starren Verbindungen zwischen Wasserkammern und Kessel durch Einzelrohre ersetzt. Die Bauart ist elastisch, seine Einzelteile sind genormt. Für Hochdruck ist er ohne weiteres geeignet. Durch Vervielfachung der Einzelteile kann er auch als Großkessel ausgebaut werden. Er hat sich daher in die neueste Zeit hingerechttet und wird auch weiterhin seine Berechtigung haben, zumal er es verstanden hat, durch geschickte Abwandlung der ursprünglichen Bauart sich allen Forderungen der Neuzeit anzupassen. Bei der Schaffung der Einheitskessel ist er allerdings vorläufig nicht berücksichtigt worden. Welche Gründe hierfür maßgebend waren, ist nicht klar; an sich wäre er auch als Einheitskessel durchaus geeignet.

### Stielrohrkessel (Abb. 3)

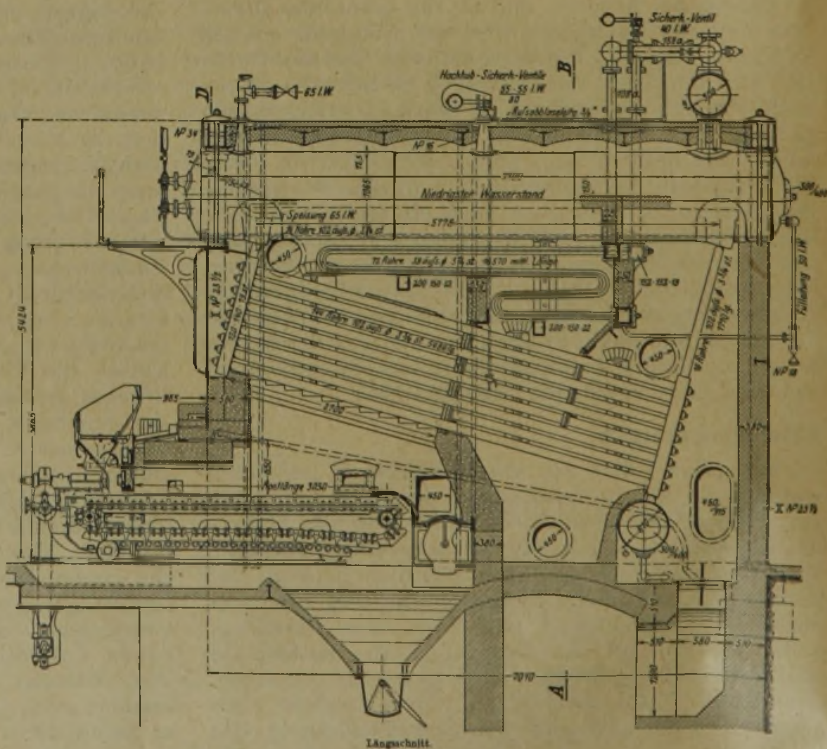
Der Garbekessel besteht aus zwei oder vier Trommeln, von denen je zwei durch gerade Verdampferrohre miteinander verbunden sind. Bei vier Trommeln sind außerdem die zwei Obertrommeln und die zwei Untertrommeln unter sich durch Stützen oder Rohre verbunden. Die geraden Verdampferrohre sind in Buckelplatten eingesetzt, um ein

gerades Einwalzen zu ermöglichen. In der Übernahme des geraden Rohres vom Schrägrohrkessel erblickte man seinerzeit einen Vorteil; in Wirklichkeit war es ein großer Nachteil. Er zwang zur Schaffung eines schwierig herzustellenden starren Schmiedestückes, nämlich der Buckelplatte, wodurch der Kessel starr und unelastisch wurde. Auch der Viertrommelkessel bildete mit seinen Verbindungsstützen, mit seinen Ober- und Untertrommeln ein starres Ganzes, bis man den Nachteil der Verbindungsstützen erkannte und sie durch elastische Rohre ersetzte. Es blieb dann noch als baulicher Nachteil bei den ersten Ausführungen die verschiedene Wandstärke der Buckelplatte und des übrigen Kesselmantels, die verschiedene Gassenbreiten zwischen den Rohren, die Notwendigkeit der Mantelrundnaht bei Kesseln größerer Breite. Hinzu kam der unsichere Wassenumlauf, der sich zwar in den Einbündelkesseln mit zwei Trommeln eindeutig einstellte, aber auch da den Nachteil beheizter Fallrohre mit sich brachte, während bei den Zweibündelkesseln der Wassenumlauf durchaus unbestimmt war. Einige Nachteile konnte man beseitigen, die beiden Hauptnachteile der Starrheit und des unsicheren Wassenumlaufes blieben jedoch bestehen. Der Kessel war für hohe Drücke und hohe Leistungen ungeeignet und

mußte daher der Entwicklung weichen. Er wird nicht mehr gebaut.

Stirlingkessel und Abarten (Abb. 4). Er vermeidet die geraden Rohre und setzt an deren Stelle gekrümmte, wodurch der Hauptnachteil des Garbekessels, die Starrheit, wegfällt, und bildete vielleicht auch gerade durch die gekrümmten Rohre den kräftigen Anstoß für die Einführung verbesserter Speisewasserpflanze, um die lästige Reinigung der Rohre

Abb. 2: Schrägrohr-Teilkammerkessel



mittels Werkzeugen an biegsamen Wellen überflüssig zu machen. Der Kessel besteht im wesentlichen aus drei bis fünf Trommeln mit zwei bis vier Rohrbündeln zwischen diesen und gegebenenfalls dem Dampfsammler. Die Trommeln sind unter sich wiederum durch gekrümmte Rohre verbunden; hier sind also auch schon die starren Verbindungsstutzen des Garbekessels vermieden.

Der Hauptnachteil des Kessels ist der unbestimmte Wasserumlauf, der sich sowohl in einem Bündel getrennt als auch in mehreren Bündeln und von Trommel zu Trommel gemeinsam einstellen kann. Hierbei können beheizte Rohre zu Fallrohren werden, auf deren Nachteile später noch eingegangen wird. Der Kessel hat auch unnötig viele Walzstellen und Verbindungsrohre, die hemmend auf den Wasserumlauf

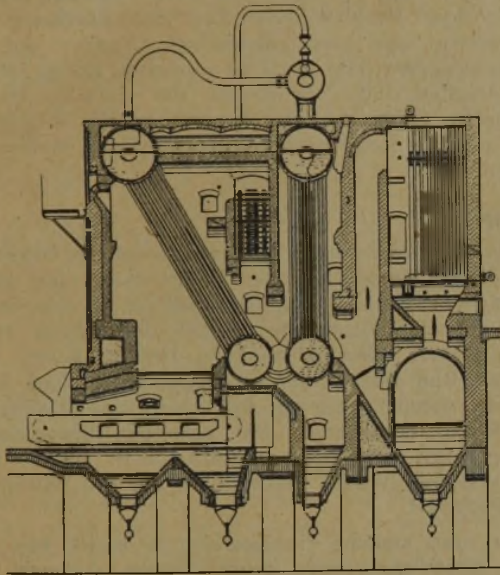


Abb. 3: Garbekessel

wirken. Auch hat er in der Regel vier oder noch mehr Züge mit Rauchgasumlenkungen um  $180^\circ$  und entsprechenden Zugverlust. Die spezifische Leistung war gering, der Preis unnötig hoch. Besser war schon der Einbündel-Zweitrommel-Steilrohrkessel, der viele Nachteile des Stirlingkessels vermied. Die guten Grundgedanken des Stirlingkessels sind auch bei neueren Kesselbauarten noch wirksam.

Mac-Nicol-Kessel (Abb. 5). Er entstand aus dem Bestreben, die Vorteile des Großwasserraumkessels mit denen des Schrägrohrkessels zu verbinden. Dementsprechend bestand er aus einem vorgeschalteten Schrägrohrkammerkessel mit einem Oberkessel von doppelter Länge und nachgeschaltetem Unterkessel mit oder ohne Verbindung zur hinteren Wasserkammer. Der Kessel verbindet aber nicht nur die Vorteile, sondern auch die Nachteile der Großwasserraumkessel und der Schrägrohrkessel miteinander. Die spezifische Leistung wird dadurch gering, der Kessel sehr teuer. Der Wasserumlauf ist nur im Wasserrohrbündel bestimmt, im Walzenkessel unbestimmt und träge. Die

Abb. 5: Mac-Nicol-Kessel

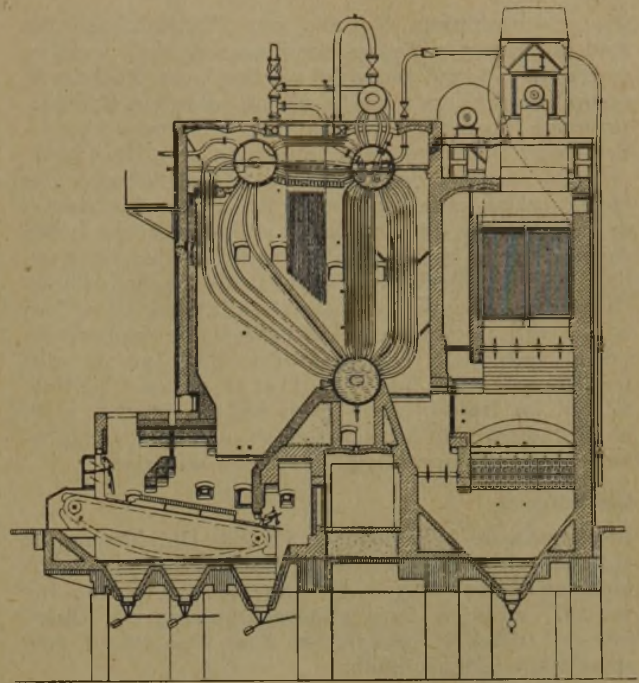
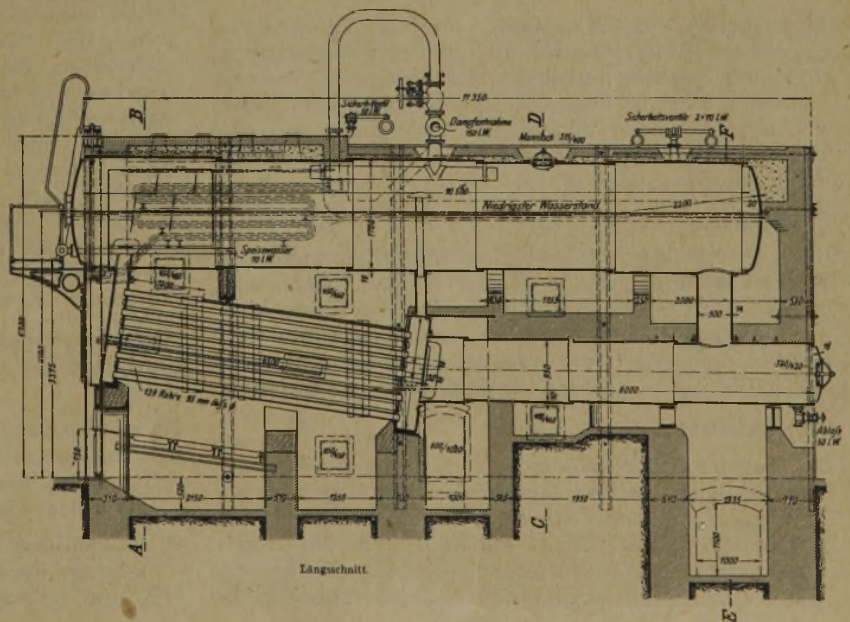


Abb. 4: Stirlingkessel

Zugzahl und der Zugverlust sind übermäßig hoch. Der Kessel ist für Hochdruck ungeeignet und wird daher nicht mehr gebaut.

#### Anforderungen an neuzeitliche Kessel

Die Steigerung der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit war die Forderung der Neuzeit. Daraus ergeben sich alle anderen Forderungen und Bedingungen. Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit verlangte den Übergang zum Hochdruck, zu hoher Überhitzung und Leistung und zu möglichst niedrigen Kesselpreisen. Die Forderung nach Betriebssicherheit verlangte einfache, elastische Bauart mit eindeutigem Wasserumlauf, einfacher Rauchgasführung, leichter Reinigung und gute Speisewasserpflege.

## Hochdruck

Die wirtschaftlichen Vorteile des Hochdruckdampfes sind oft genug in Fachzeitschriften dargelegt worden, so daß hier darauf verzichtet werden kann. Hochdruckdampfkessel können heute mit der gleichen Betriebssicherheit hergestellt werden wie Niederdruckkessel. Es liegen hinreichende Erfahrungen mit Hochdruckanlagen vor, so daß auch die Betriebsführung der Hochdruckkessel fast so einfach ist wie die der Niederdruckkessel. Für den Erbauer ist wichtig, daß durch den Hochdruck die Heizflächen verlagert werden, so zwar, daß die Kesselheizfläche kleiner, die Nachschaltheizfläche größer wird. Da die letztere billiger als erstere ist, so wird hierdurch die Verteuerung der Hochdruckkessel verhindert. Die praktische Höchstgrenze des Druckes ist vorläufig etwa 110 at an der Turbine, 125 at im Kessel, wenn auch höhere Drücke, z. B. im Erstkessel des Schmidt-Kessels und bei Versuchskesseln der Benson-Kessel in Anwendung sind.

## Überhitzung

Die praktische Höchstgrenze für die Überhitzung ist zur Zeit etwa 500° am Überhitzeraustritt, wenn auch einzelne Kesselanlagen mit höherer Überhitzung bis zu 530° arbeiten. Eine weitere Erhöhung der Überhitzung scheidet vorläufig an dem Mangel an entsprechenden Werkstoffen.

## Leistung

Die spezifische Leistung der Kesselheizfläche ist mit den neuen Kesselbauarten wesentlich gesteigert worden als Folge der höheren Verbrennungstemperatur, der verstärkten Anwendung der Flammenstrahlung, der höheren Leistung der Feuerung und der Verlagerung der Heizflächen. Sie wurde auf 50, ja sogar bis über 100 kg/m<sup>2</sup>h gesteigert. Aber auch die absolute Leistung der Kessel ist wesentlich gesteigert. Von der Leistung eines einzelnen Flammrohrkessels in Höhe von 2 t Stundendampf ist man allmählich auf Leistungen von 100 t und darüber gelangt.

## Preise

Die Vereinfachung der Kessel, die Normung der Kesselteile und die Erhöhung der Leistung haben natürlich auch eine entsprechende Preissenkung herbeigeführt. Weitere Preissenkungen sind möglich durch Verzicht auf Trommeln, Einführung von Einheitskesseln und dergleichen.

## Einfachheit

ist zu erzielen durch einfachen Aufbau, Verwendung genormter Teile, Verzicht auf schwer herzustellende und umfangreiche Kesselteile, auf Trommeln, Wasserkammern, Verbindungsstücke, Stehbolzen, Verschlüsse und dergleichen. Im allgemeinen kann man sagen, daß ein Kessel von selbst einfach wird, wenn er technisch richtig durchgebildet ist.

## Elastizität

wird erreicht durch Vermeidung starrer Formen, wie Wasserkammern, gerade Rohre (außer Teilkammerkessel), Stützen und dergleichen. Gerade Rohre können natürlich nach wie vor im Kesselbau angewandt werden, wenn sie ungehinderte Ausdehnungsmöglichkeit haben; sonst sind gekrümmte Rohre vorzuziehen.

## Wasserumlauf

Die Gesetze des Wasserumlaufes sind durch zahlreiche Forscher in den letzten Jahren einwandfrei geklärt, so daß es nicht mehr schwerfällt, einen Kessel mit bestimmtem Wasserumlauf durchzubilden. Bei Hochdruckkesseln ist dem Wasserumlauf erhöhte Bedeutung beizumessen, weil wegen des geringen spezifischen

Gewichtes des Dampfwassergemisches, das den Wassserumlauf erzeugt, der Auftrieb in Hochdruckkesseln geringer ist. Bei diesen sind daher beheizte Fallrohre unter allen Umständen zu vermeiden. Außerhalb des eigentlichen Wasserrohrbündels liegende Heizflächen erhalten zweckmäßig getrennten Wasserzulauf. Bei Sammel- und Verteilungskammern ist wegen der richtigen Wasserverteilung auf richtige Einführung des Wassers zu achten.

## Rauchgasführung

Sie soll so einfach wie möglich sein. Das Ideal ist der Einzugkessel, der allerdings eine sehr große Bauhöhe ergibt. Daher wählt man meistens den Zweizugkessel, mit dem man bei neueren Bauarten immer auskommt. Hierbei genügt auch für verhältnismäßig hohe Leistungen der natürliche Schornsteinzug wegen der geringen Verluste durch Rauchgasumlenkung. Die Anwendung der aerodynamischen Gesetze auf die Rauchgasführung läßt noch zu wünschen übrig, jedoch sind Ansätze dafür vorhanden, die erwarten lassen, daß grobe Fehler bei der Gestaltung der Rauchgaszüge und der Rauchgasführung in Zukunft vermieden werden.

## Reinigung

Wegen der verbesserten Speisewasserpflge brauchen neuzeitliche Kessel auf der Wasserseite nicht mehr gereinigt zu werden. Um so wichtiger ist die Reinigung auf der Feuerseite, damit der Kessel seine Leistung und seine Ausnutzung behält. Außer den üblichen Rußbläsern werden auch Sand- und Kiesgebläse, insbesondere zur Reinigung der Strahlungsheizflächen, angewandt. Bei gewissen Brennstoffen werden auch die Nachschaltheizflächen oft in sehr unangenehmer Weise verschmutzt, die die Reinigung sehr erschwert.

Es wird noch manche Pionierarbeit zu leisten sein, um solche Verschmutzungen durch richtige Auswahl des Brennstoffes und geeignete Feuerführung zu vermeiden. Bei der Bauart des Kessels muß auf leichte Reinigungsmöglichkeit besondere Rücksicht genommen werden. Ein leicht zu reinigender Kessel wird im allgemeinen auch in allen Teilen leicht zugänglich und auszubessern sein.

## Speisewasserpflge

Die Steigerung des Druckes, der Temperatur und der spezifischen Leistung haben die Speisewasserschwierigkeiten wesentlich erhöht. Der Speisewasserpflge ist daher bei Hochdruckkesseln ganz besondere Beachtung zu schenken. Dank des Einsatzes zahlreicher Forscher und der unermüdlichen Arbeit der Speisewasserreinigungsfirmer ist es in den letzten Jahren gelungen, aller Speisewasserschwierigkeiten im allgemeinen Herr zu werden. Als Grundsatz ist jedoch aufzustellen, daß ein neuzeitlicher Hochdruck-Hochleistungskessel ohne dauernde Überwachung der Speisewasseranlagen nicht mehr auskommt. Dieses vorausgesetzt, läßt sich jedoch ein störungsfreier Betrieb auch mit solchen Kesseln erzielen.

Nach dem Gesagten kann man für neuzeitliche Hochdruck-Hochleistungskessel folgende Grundsätze aufstellen:

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 Kühlrohrgruppen. Richtige Einführung und Verteilung des Wasserzulaufes.
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 Reinigungsclappen 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.

## Entwicklungsrichtung

### Schrägrohrkessel

Nach obigen Anforderungen mußten die Kammer- und Mac-Nicol-Kessel verschwinden. Der Teilkammerkessel behauptete allein das Feld. Auch er mußte sich zahlreiche Verbesserungen und Änderungen gefallen lassen. Die Sattelstücke am Oberkessel und die starren Stützen zwischen diesen und den Teilkammern fielen fort und wurden durch elastische Rohre ersetzt. Ebenso wurden die Verbindungen zwischen der Trommel und dem Dampfsammler aus elastischen Rohren gebildet. Zwecks einfacherer Verbindung zwischen sehr breiten Teilkammerreihen wurde der bisher längs liegende Oberkessel quer gelegt. Die Verbindung mit den vorderen Teilkammern wurde durch Überströmrohre gebildet. Die hauptdampf führenden Rohre mündeten in den Dampfraum der Obertrommel, um diesen und die Ausdampfoberfläche zu entlasten und den Wasserwiderstand zu verringern. Die Trommeln werden nicht mehr genietet, sondern geschweißt oder, bei Hochdruckanlagen, nahtlos hergestellt. Von der Einwirkung der Heizgase wird die Trommel durch feuerfeste Steine oder Masse geschützt. Bei schlammhaltigem Kesselwasser brachte man eine Schlammkammer unter den hinteren Teilkammern an. Der Überhitzer wurde bei einigen Bauarten zwischen das Wasserrohrbündel gelegt. Dies machte eine Unterbrechung der Teilkammern notwendig, die sich baulich leicht lösen ließ und die Schmiegsamkeit der Bauart erhöhte. Grundsätzlich wurde aber später beim Übergang zum Hochdruck die Zahl der Wasserrohrreihen verringert, wodurch ebenfalls eine bessere Schmiegsamkeit erreicht und der Kessel einfacher wurde. Die Feuerraumwände wurden durch Kühlrohre geschützt, bei Kohlenstaubfeuerungen wurde außerdem ein Kühlrost eingeführt. Den Zulauf zu den Kühlrohrgruppen sichern kalte Fallrohre. Der letzte Teil des Vorwärmers wird als Vorverdampfer ausgebildet, der schon teilweise mit zur Verdampfung herangezogen wird. So wurde

eine wesentliche Erhöhung der Strahlungsheizfläche erreicht, die bei den hohen Feuerräumen zur Schonung des Mauerwerks und aus wirtschaftlichen Gründen notwendig ist. Die Zahl der Feuerzüge nahm von vier allmählich auf zwei ab. Feuerung und Kessel passen sich immer mehr aneinander an und werden einfacher und zugänglicher.

Beispiele:

Abb. 6 zeigt einen Teilkammerkessel, bei dem obige Grundsätze bereits zum Teil durchgeführt sind. Die Obertrommel liegt quer. Die Verbindungen von ihr zu den hinteren Teilkammern und zum Dampfsammler

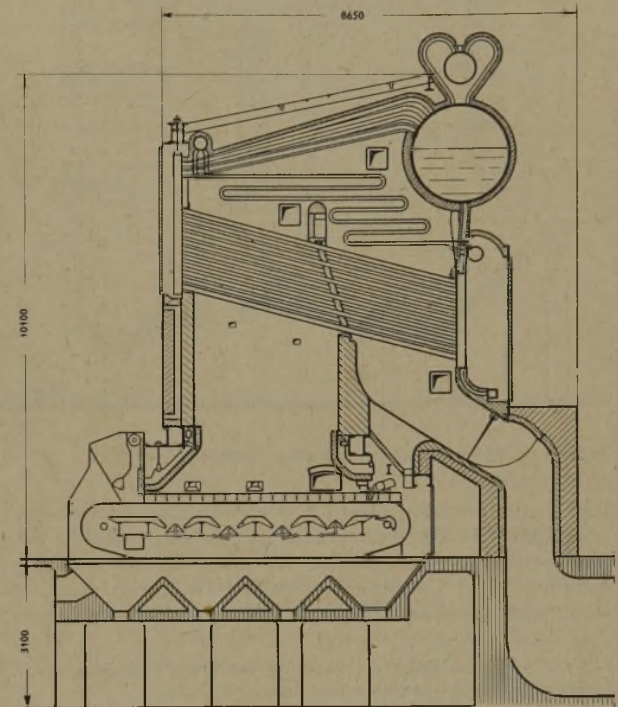


Abb. 6: Teilkammerkessel mit querliegender Obertrommel

sind elastisch. Die Überströmrohre münden in den Dampfraum der Obertrommel. Die Zahl der Züge ist von vier auf zwei verringert. Die Zahl der Rohrreihen ist jedoch noch verhältnismäßig hoch (elf). Der Feuerraum ist noch nicht gekühlt.

Abb. 7 zeigt einen weiteren Fortschritt. Der Überhitzer liegt zwischen dem Wasserrohrbündel. Die Seitenflächen des Feuerraums sind gekühlt. Der Kessel hat eine große Nachschaltheizfläche.

Abb. 8. Der Kessel hat nur noch einen Zug. Die Zahl der Rohrreihen im Bündel ist auf sechs verringert. Alle Überströmrohre münden in den Dampfraum. Zwischen Überströmrohren und hinteren Teilkammern sind Entmischungskammern geschaltet, die mit den Teilkammern elastisch verbunden sind. Die Trommel liegt außerhalb des Mauerwerks. Der Feuerraum ist dreiseitig gekühlt. Die Nachschaltheizfläche besteht aus Überhitzer, Vorverdampfer, Vorwärmer und Lufterhitzer. Die drei letzteren liegen im zweiten Zug. Die Fallrohre sind unbeheizt. Alle Teile des Kessels sind gut zugänglich.

Abb. 9 zeigt einen Hochleistungs-Teilkammerkessel in Einzugsbauart mit Vorverdampfer, Luftvorwärmer und Saugzug. Alle Heizflächen sind übereinander angeordnet. Die beiden Überhitzer teile liegen über den Wasserrohrbündeln. Diesen ist eine Strahlungsheiz-

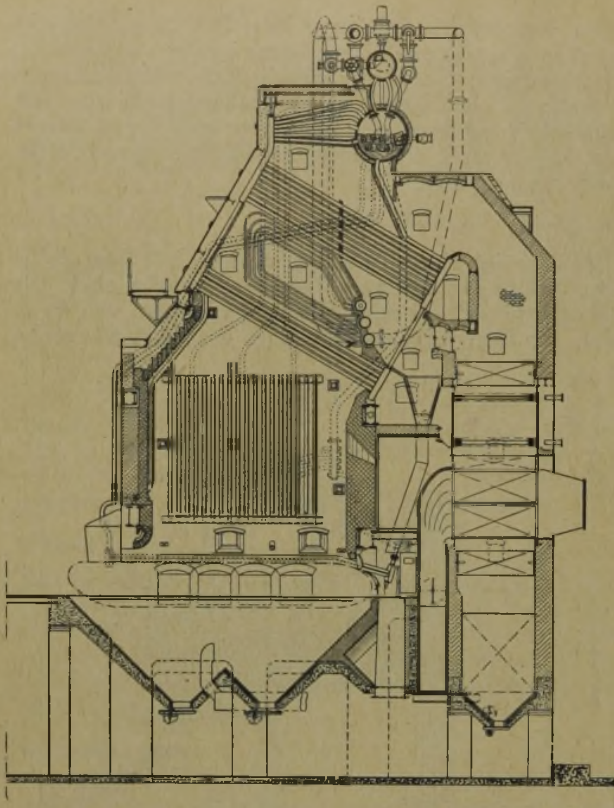
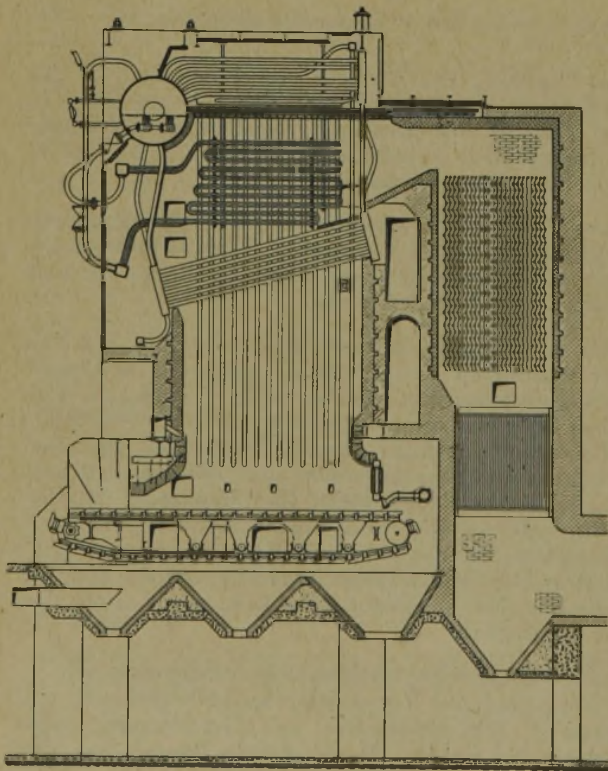


Abb. 7: Teilkammerkessel mit gekühlten Seitenwänden

fläche aus umgebogenen Kühlrohren der Vorderwand vorgeschaltet. Der Feuerraum ist allseitig gekühlt. Alle Verdampferrohre münden in den Dampfraum der Trommel. Der Grundflächenbedarf ist gleich dem der Rostfläche. Äußerst geringe Mauerwerksmasse. Durch

Abb. 8: Teilkammerkessel mit dreiseitig gekühltem Feuerraum und außenliegender Obertrommel

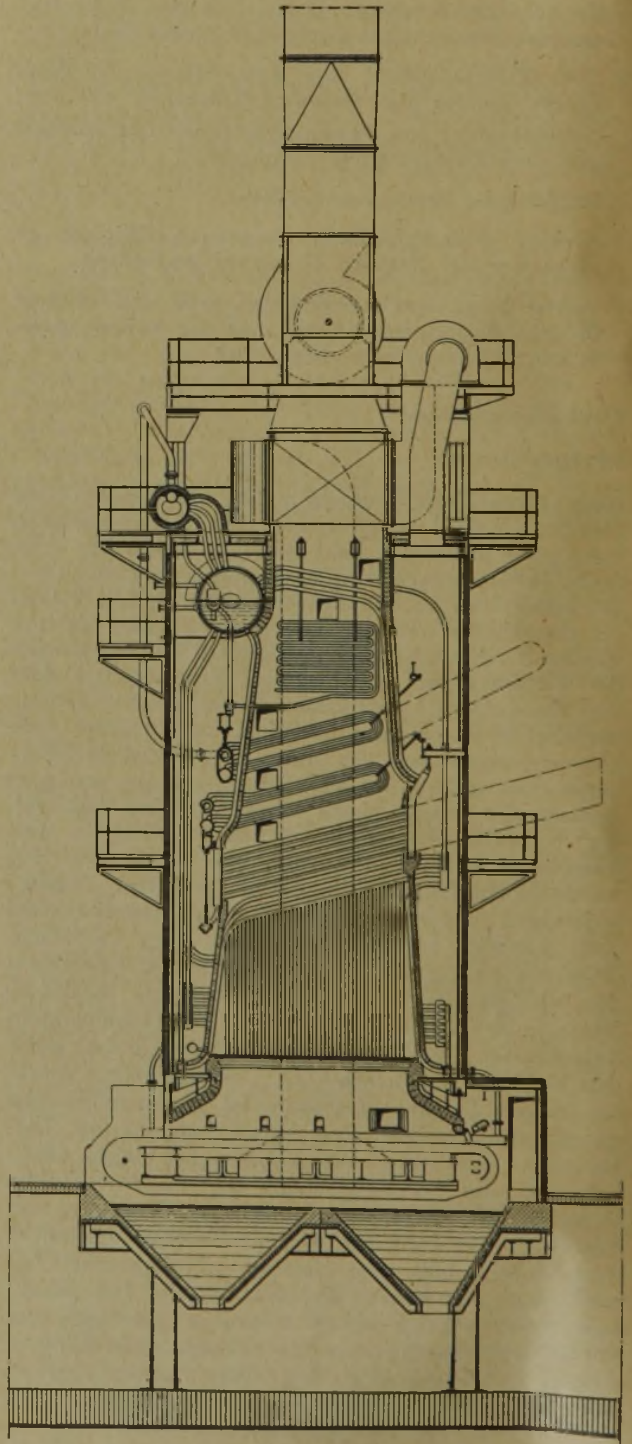


die doppelte Ummantelung wird der Strahlungsverlust zur Erwärmung der Verbrennungsluft ausgenutzt.

### Steilrohrkessel

Die Entwicklung bedingte auch hier die Ausscheidung des Garbe- und des Stirlingkessels, jedoch sind viele Bauteile des Stirling- und des Teilkammerkessels übernommen. Die Steilrohrkessel haben steilgestellte, stark gekrümmte, elastische Rohre von engerem Durchmesser als die Teilkammerkessel. Die Zahl der Trommeln ist zwei, höchstens drei. Sie werden nicht mehr genietet, sondern geschweißt oder sind bei hohen

Abb. 9: Hochleistungsteilkammerkessel in Einzugsbauart



Drücken nahtlos und werden gegen Flammeneinwirkung durch feuerfeste Steine oder Mörtel geschützt. Alle Überström- und Verbindungsrohre sind ebenfalls gekrümmt und elastisch. Die Hauptdampfrohre münden in den Dampfraum der Trommeln. Die Zahl der Rohrreihen des Bündels hat sich immer mehr verringert, um unbestimmten Wasserumlauf zu vermeiden. Die Fallrohre sind gekühlt. Der Feuerraum wird, wie bei den Teilkammerkesseln, durch Ummantelung mit Wasserrohren gekühlt; bei Staubfeuerungen auch der Boden durch einen Kühlrost. Das Rohrbündel dient manchmal als Abschluß des Feuerraumes. Bei verschiedenen Bauarten werden auch eine oder mehrere Rohrreihen des Bündels in dem Feuerraum zur Wandkühlung mit herangezogen. Der Überhitzer ist hängend oder liegend zwischen oder hinter dem Bündel angeordnet. Die liegende Bauart wird bevorzugt. Ein Teil der Vorwärmerheizfläche wird als Vorverdampfer mit zur Verdampfung herangezogen. Die Zahl der Züge ist auf zwei verringert, wobei der erste Zug die Strahlungs- und Berührungsheizfläche des Bündels, der zweite Zug die Nachschaltheizfläche enthält. Der Luffterhitzer liegt meist an letzter Stelle. Auf Einfachheit und Zugänglichkeit ist größter Wert gelegt.

Die Entwicklung zeigt mehrere Stufen. Die erste Stufe war der Ersatz beider oder dreier Obertrommeln durch einen längs liegenden Oberkessel (Humboldt-Steilrohrkessel), um die Überströmverluste zwischen den oberen

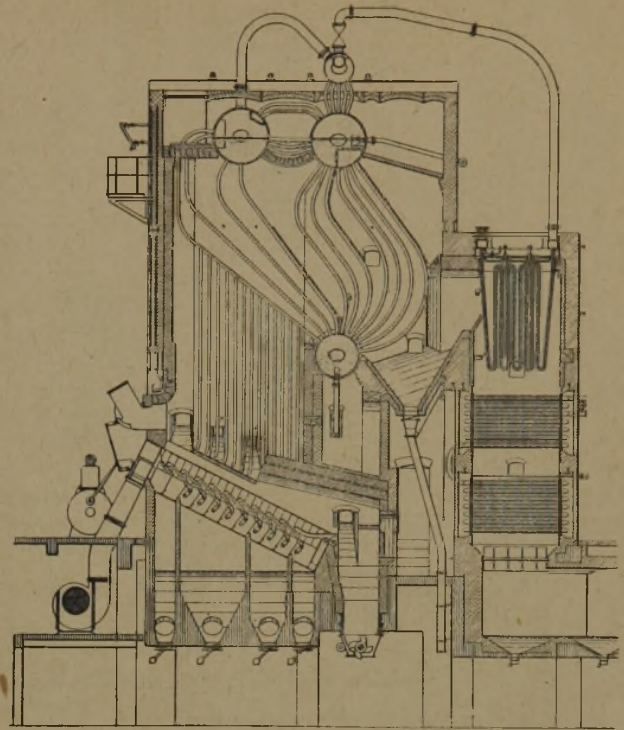
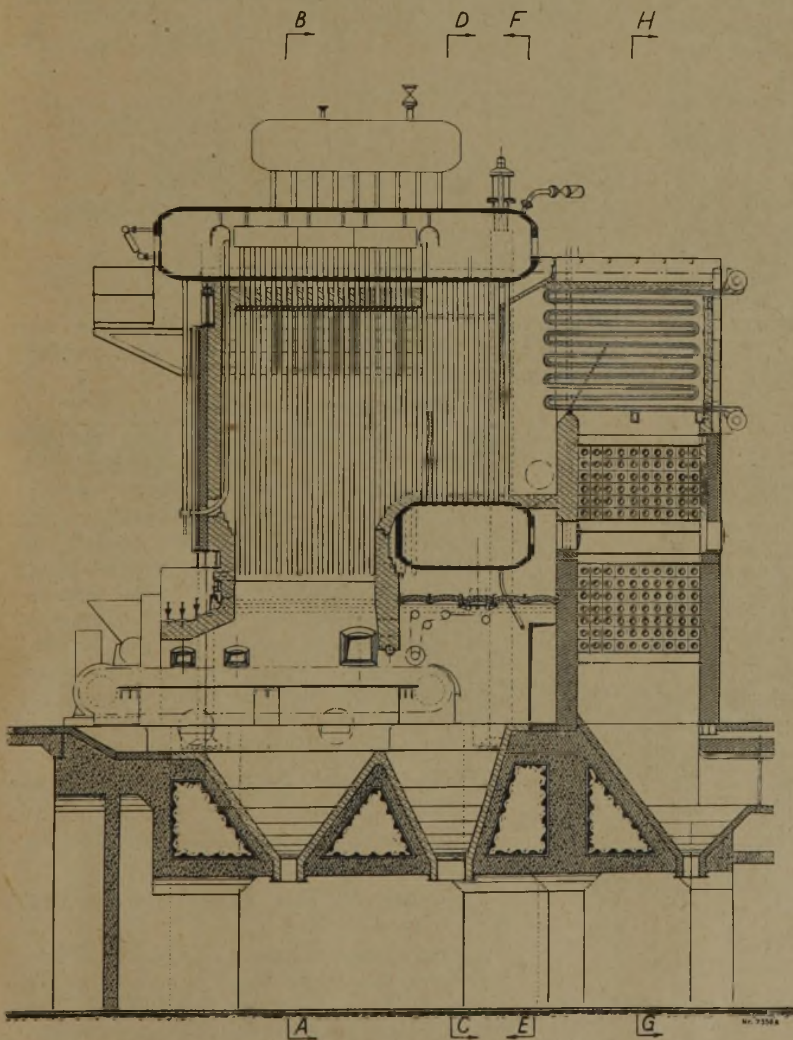


Abb. 11.: Dreitrommel-Steilrohrkessel

Abb. 10: Schneiderkessel



Trommeln zu verringern und den Wasserumlauf eindeutiger zu gestalten. Die Bauart bedingte zahlreiche verschiedenartig in drei Ebenen gekrümmte Wasserrohre, deren Lagerhaltung und Auswechslung schwierig war. Die Bauart wurde daher wieder verlassen.

Eine weitere Stufe war der Schneiderkessel mit einer langen Ober- und einer kurzen Untertrommel (Abb. 10). Der Kessel hatte schon allseitig gekühlten Feuerraum und kühl liegende bzw. teilweise abgeschirmte Fallrohre.

Abb. 11 zeigt einen Steilrohrkessel mit noch drei Trommeln, jedoch sehr elastischen Rohren, so daß er für sehr hohe spezifische Leistungen geeignet ist. Die Fallrohre sind teilweise abgeschirmt. Der Feuerraum ist zweiseitig gekühlt. Die Zahl der Züge ist auf drei verringert.

Abb. 12. Bei diesem Kessel ist die Hälfte der Bündelrohre als Sonderbündel in den Feuerraum hineingezogen. Der Feuerraum ist dreiseitig gekühlt. Die stufenweise Seitenkühlung paßt sich der schrägen Kesseldecke an, die eine geringe Gesamtbauhöhe ermöglicht. Die Kesseldecke ist ebenfalls gekühlt. Die Hauptverdampferrohre münden in den Dampfraum der Obertrommel. Der Überhitzer liegt zwischen Sonderbündel und Hauptbündel. Der untere Teil der Kühlrohre im Feuerraum ist mit Rücksicht auf den mageren Brennstoff verkleidet. An Stelle des Dampfsammlers hat der Kessel eine Speichertrommel, deren Wasserspiegel ganz abgesenkt werden kann ohne Gefährdung der Betriebssicherheit. Über dem Rostende befindet sich ein Bedienungsgang, vor

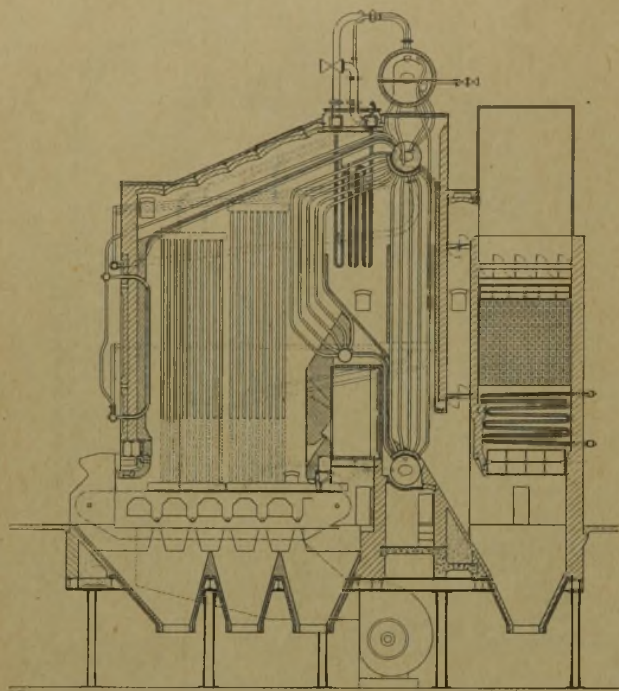


Abb. 12: Zweibündel-Großfeuerraum-Steilrohrkessel

dem Vorwärmer ein großer Flugaschenabscheiderraum. Alle Teile des Kessels sind gut zugänglich.

Abb. 13 zeigt den ersten Hochdruckkessel für 120 atü Betriebsdruck mit zwei Trommeln und stark gekrümmten hochelastischen Rohren und kühl liegenden Fallrohren. Wegen der Braunkohlenfeuerung ist der Feuerraum nicht gekühlt. Große Nachschaltheizfläche.

Die letzte Entwicklung zeigen die Einheitskessel (Abb. 14).

Der Kessel hat kein Rohrbündel im üblichen Sinne mehr, sondern nur noch Kühlrohrheizfläche. Die Kühlrohre der Rückwand dienen gleichzeitig als Abschluß des Feuerraumes gegen den Überhitzer. Der Haupttrommel ist eine Enmischungstrommel vorgeschaltet, in die alle dampfführenden Rohre münden. Die Zahl

Abb. 13: Zweitrommel-Höchstdruckkessel

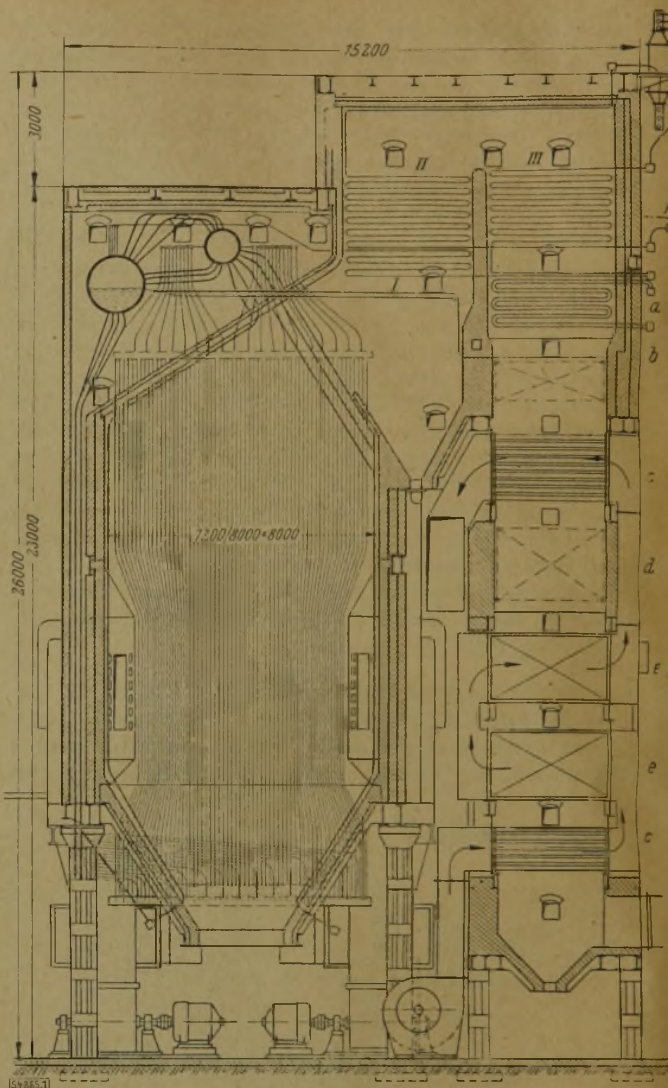
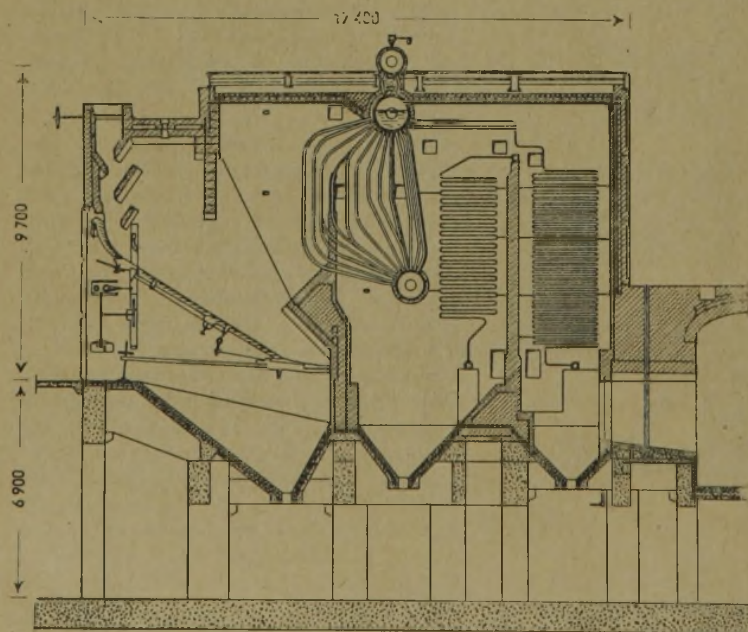


Abb. 14: Einheits-Steilrohrkessel

der Züge ist nur noch zwei. Den ersten Zug bildet der Feuerraum mit der Strahlungsheizfläche, den zweiten die Nachschaltheizfläche.

#### Sonderbauarten

Sie entstanden aus der Absicht, die bei Hochdruck-Schräg- und -Steilrohrkesseln auftretenden Schwierigkeiten zu vermeiden. Diese Schwierigkeiten bezogen sich hauptsächlich auf den Wasserumlauf, die Speisewasserpfege und die Verwendung der Trommeln. Wenn auch diese Schwierigkeiten für Schräg- und Steilrohrkessel behoben sind, so hat der Bau von Sonderkesseln doch viele neue Gesichtspunkte gebracht, die für die Weiterentwicklung der Kessel von großem Wert waren.

- Die Sonderkessel werden eingeteilt in
- Kessel mit natürlichem Wasserumlauf (Schmidt-Kessel),
  - Kessel mit Zwangsumlauf (Löffler-, La-Mont-, Velox-Kessel),
  - Kessel mit Zwangsdurchlauf (Benson-, Sulzer-Kessel).

Außer diesen Kesseln sind noch andere vorgeschlagen und gebaut, auf die es sich wegen ihrer geringen Bedeutung nicht lohnt, einzugehen.



### Kessel mit natürlichem Wasserumlauf

Der Schmidt-Kessel (Abb. 15) ist ein mittelbar wirkender Hochdruckkessel, der auch mit chemisch aufbereitetem Wasser betrieben werden kann und sich für höchste Drücke billig und betriebssicher herstellen läßt. In dem feuerbestrahlten Erstkessel wird der als Heizmittel dienende Saittdampf in zwei Stufen (Vorwärmung und Verdampfung) erzeugt. Der außerhalb der Feuerung liegende Zwischenbehälter trennt Wasser von Dampf. Das Wasser fließt durch kaltliegende Fallrohre in den unteren Sammler zurück. Der Heizdampf gibt seine Verdampfungswärme mittels

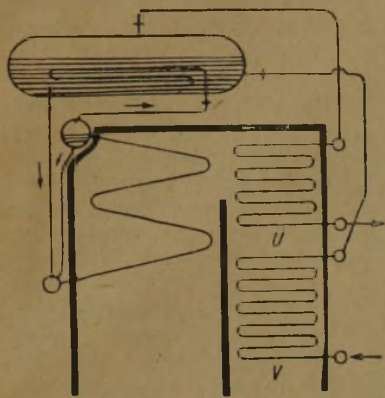


Abb. 15: Schema-Zeichnung des Schmidt-Kessels

Rohrschlangen an den Wasserinhalt der Betriebsdampftrommel ab. Das Heizkondensat durchströmt einen Wärmeaustauscher, wärmt so das Speisewasser auf 80 bis 100° vor und gelangt dann über den Vorwärmer in den unteren Sammler zur Wiederholung des Kreislaufes. Der erzeugte Dampf wird durch den Überhitzer den Verbrauchsstellen zugeführt. Durch die Rückkühlung des Kondensates wird

der Wasserumlauf im Erstkessel sehr lebhaft. Der Druck im Erstkessel ist je nach dem Zustand der Heizfläche 30 bis 60 at höher als der Betriebsdruck in der Trommel. Die Heizfläche der Rohrschlange in der Betriebs-trommel ist wegen des sehr guten Wärmeübergangs verhältnismäßig klein. Die Heizflächenleistung beträgt bis 200 kg/m<sup>2</sup>h. Der Wasservorrat der Betriebs-trommel läßt die Belastungsspitzen leicht überwinden. Der Kessel läßt sich in mehrere selbständige Gruppen unterteilen.

Als Vorteile des Kessels sind zu nennen: Der Erstkessel führt nur salzfreies Wasser ohne Kesselsteinbildner und kann daher nicht verschmutzen oder rosten. Sämtliche Dichtstellen liegen außerhalb des Feuers. Kesselstein kann sich nur auf den Rohrschlangen der Betriebsdampftrommel absetzen, wo er leicht zu entfernen ist.

Abb. 16 zeigt einen Schmidt-Kessel, der im Aufbau einem Steilrohrkessel gleicht und auch nur zwei Züge hat. Im ersten Zug ist die Erstkesselheizfläche untergebracht, im zweiten die Nachschaltheizfläche.

Als Vorteile des Kessels sind zu nennen: Der Erstkessel führt nur salzfreies Wasser ohne Kesselsteinbildner und kann daher nicht verschmutzen oder rosten. Sämtliche Dichtstellen liegen außerhalb des Feuers. Kesselstein kann sich nur auf den Rohrschlangen der Betriebsdampftrommel absetzen, wo er leicht zu entfernen ist.

### Kessel mit Zwangsumlauf

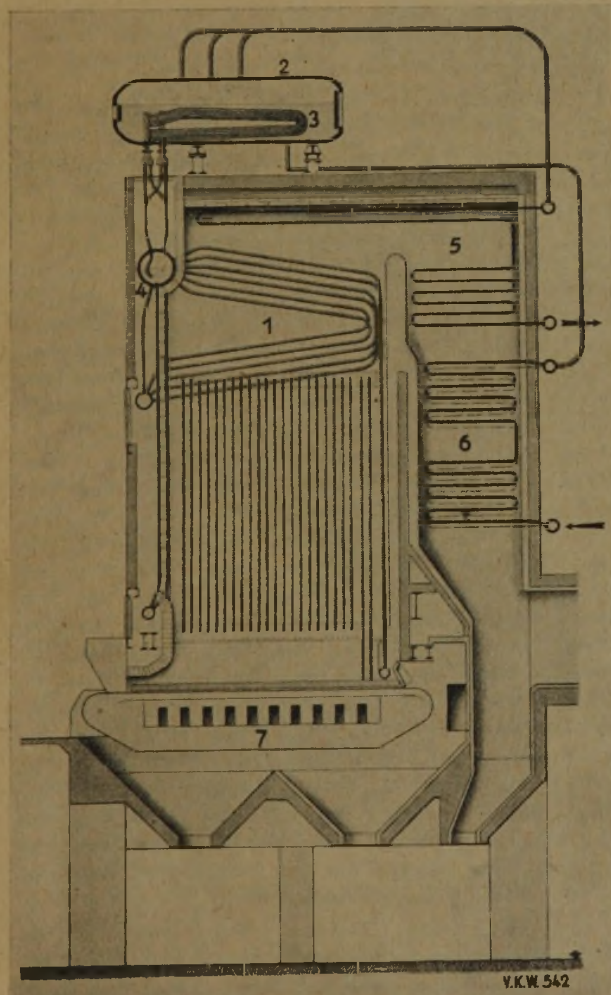
Der La-Mont-Kessel (Abb. 17) unterscheidet sich vom Steilrohrkessel mit natürlichem Wasserumlauf durch Zwangsumlauf mittels besonderer Umwälzpumpe. Dadurch wird der Wasserumlauf unabhängig von den Auftriebskräften des Dampfes und von der baulichen Gestaltung des Kessels. Die richtige Verteilung des Wassers auf alle Rohre bedingt allerdings den Einbau von Drosselblenden vor den einzelnen Rohrsträngen, um auch bei hohen Wasser- und Feuertemperaturen eine unzulässige Erhöhung der Rohrwandtemperatur zu verhindern. Der Kessel hat nur Rohre von 32 mm äußerem Durchmesser, die bei 3 mm Wandstärke noch für 100 at ausreichen, so daß auf legierte Rohre verzichtet werden kann. Bei enger Rohrteilung wird die Wärmeaufnahme verbessert, Werkstoffaufwand und Raumbedarf werden verringert.

Die Abbildung zeigt einen Hochdruck-La-Mont-Kessel mit außenliegender Trommel, der im Aufbau einem Steilrohrkessel gleicht, nur mit dem Unterschied, daß die Rohre unabhängig vom Wasserumlauf beliebig auf und ab, kreuz und quer geführt werden können. Der Kessel hat auch nur zwei Züge. Der erste Zug besteht aus dem mit Kühlrohren verkleideten Feuerraum, der zweite aus der Nachschaltheizfläche.

Löffler-Kessel (Abb. 18). Die Heizgase durchströmen den Feuerraum, den Nachüberhitzer, den Rauchgasvorwärmer, Luftvorwärmer, die Entstaubungsanlage und werden dann durch einen Saugzug in den Schlot gedrückt. Die Umwälzpumpe saugt Saittdampf aus der Verdampfertrommel und drückt ihn durch die Heizfläche der Brennkammer, den Nachüberhitzer zur Verwendungsstelle. Wasserberührte Heizflächen hat der Kessel nicht, sondern nur dampfberührte. Hierin wird ein Hauptvorteil des Kessels erblickt. Man vermutete, daß aus diesem Grunde der Kessel auch bei Hochdruckbetrieb und starker Dampfentnahme für Koch- und Heizzwecke mit chemisch aufbereitetem Wasser betrieben werden konnte. Das ist jedoch nur schwer zu erreichen. Vielmehr empfiehlt es sich, für diesen Kessel auch das Speisewasser in Verdampfern oder Umformern zu gewinnen. Es verbleibt dann als Nachteil der hohe Kraftverbrauch der Umwälzpumpe. Der Kessel ist daher in den letzten Jahren mehr und mehr in den Hintergrund getreten.

Der Velox-Kessel (Abb. 19) entstand aus dem Bestreben, für besondere Zwecke bei geringstem Raumbedarf einen Kessel höchster Leistung zu schaffen. Dies war möglich durch die Anwendung der Druckfeuerung und hoher Gasgeschwindigkeiten. Die

Abb. 16: Schmidt-Kessel



V.K.W. 542

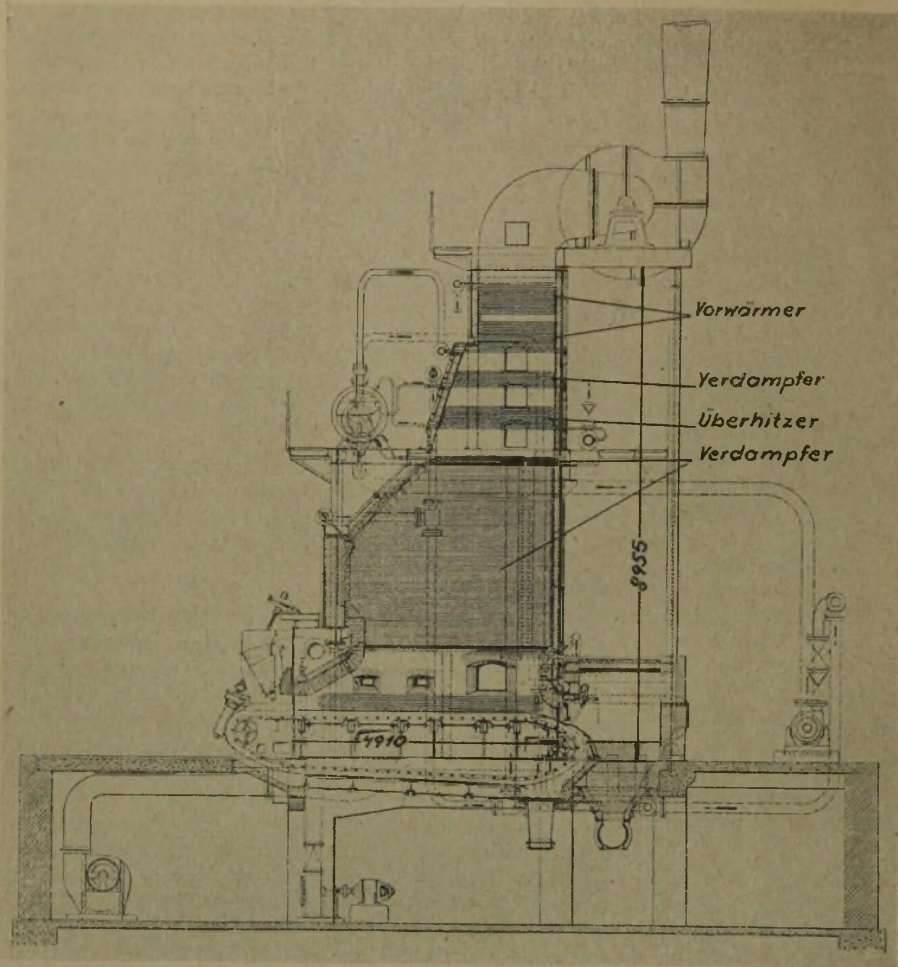


Abb. 17: La-Mont-Kessel

Druckfeuerung setzte 5 bis 8 Millionen kcal/m<sup>3</sup>h in der Brennkammer bei Ölfeuerung um; bei Hochofengas wird die Hälfte dieser Werte erreicht. Man kommt auch bei großen Kesseln bis 80 t/h mit einer Brenndüse aus. Der Brennkammerdurchmesser ist 1 bis 2 m. Die Geschwindigkeiten der Heizgase innerhalb der Heizrohre des Verdampferteils bewegen sich um 200 m/s und ermöglichen Heizflächenleistungen von 250 000 bis 350 000 kcal/m<sup>2</sup>h, entsprechend 500 bis 750 kg Dampf/m<sup>2</sup>h. Natürlich verlangt der Kessel bei solchen Leistungen reines Speisewasser.

Die Abbildung läßt den Weg des Wassers und Dampfes sowie der Heizgase erkennen. Die Heizgase durchströmen den Mischer 1, den Brenner 2, die Brennkammer A, die Heizrohre 3, den Gassammler 4, den Überhitzer C und geben die dann noch überschüssige Energie in der Gasturbine D an die Verdichter für Luft und Gas E<sub>1</sub> und E<sub>2</sub> ab.

Das Speisewasser strömt aus dem Speisewasserbehälter in die Speisepumpe 9,

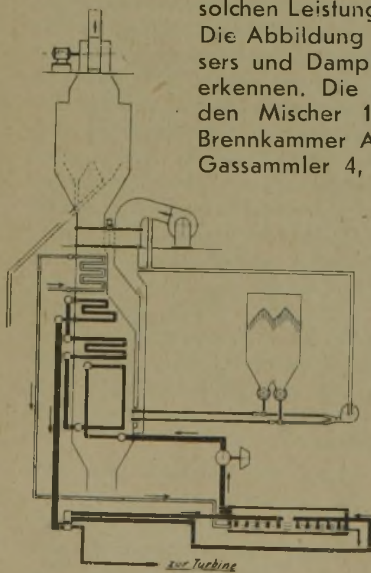


Abb. 18: Löffler-Kessel

von da in den Vorwärmer F, durch das Speisewasserregelventil 11, den Speisewasser-eintritt 10 in das Verdampfer-element B, in den Abscheider 8, wo Wasser und Dampf sich trennen. Der Dampf strömt von da in den Überhitzer C und zur Verwendungsstelle, während das ausgeschleuderte Wasser aus dem Abscheider 8 durch Umwälzpumpen 5 in die untere Wasserkammer 6 zurückgedrückt wird. Durch die Ausnutzung der Abgase in der Kessel sehr hohe Wirkungsgrade. Er ist dank seines geringen Raumbedarfes, Gewichtes und seiner hohen Leistung in erster Linie für Schiffe mit Ölfeuerung geeignet, außerdem aber auch für Gasteuerungen da, wo billiges Überschußgas zur Verfügung steht, z. B. auf Hochofenwerken. Für Kohlenstaubfeuerung ist der Kessel nicht geeignet.

#### Kessel mit Zwangsdurchlauf

Der Benson-Kessel (Abb. 20) hat keine Trommel, besteht also nur aus Rohren, deren Strahlungsteil zur Kühlung des Feuerraumes dient, während die Berührungsheizfläche im zweiten Zug untergebracht ist. Die Heizgase durchströ-

men zunächst den Feuerraum, dann den zweiten Zug mit Überhitzer, Vorwärmer und Luftvorwärmer. Das Speisewasser durchströmt zunächst den Vorwärmer, dann den Strahlungsteil, den Verdampfer, der zur größeren Schonung des Rohrbündels in dem schwach beheizten Raum zwischen Überhitzer und Vorwärmer untergebracht ist. Der entwickelte Dampf durchströmt den Überhitzer und gelangt dann zur Verwendungsstelle. Überhitzer, Vorwärmer und Luftvorwärmer können je nach den geforderten Temperaturen unterteilt und beliebig im Gasstrom gelagert werden. Da der Kessel Zwangswasserdurchlauf hat, so kann in den Heizflächen vor dem Verdampfer die Wasserströmung auch von oben nach unten gerichtet sein. Der Überhitzer liegt in der heißesten Zone des Rauchgasstromes. Die Speisepumpe führt immer nur so viel Wasser zu, wie gerade verdampft wird. Dem Kessel fehlt die ausgleichende Wirkung des Wasservorrates der Trommelkessel mit weiten Rohren. Speisung, Brennstoffzufuhr und Dampfentnahme müssen daher durch schnell und sicher wirkende Regler aufeinander abgestimmt werden. Als Speisewasser kommt nur Kondensat in Frage. Das m Wasser mitgeführte Salz scheidet sich im Übergangsteil (Verdampfer) ab, dessen Rohrgruppen zeitweise durchgespült werden müssen. Die Rohre haben 38 mm Durchmesser. Alle Verbindungen sind geschweißt. Der Kessel kann mit beliebigem Druck gefahren werden, in der Regel mit 80 bis 125 atü.

Abb. 21 zeigt einen Benson-Kessel von 100 t Stundenleistung mit Kohlenstaubfeuerung.

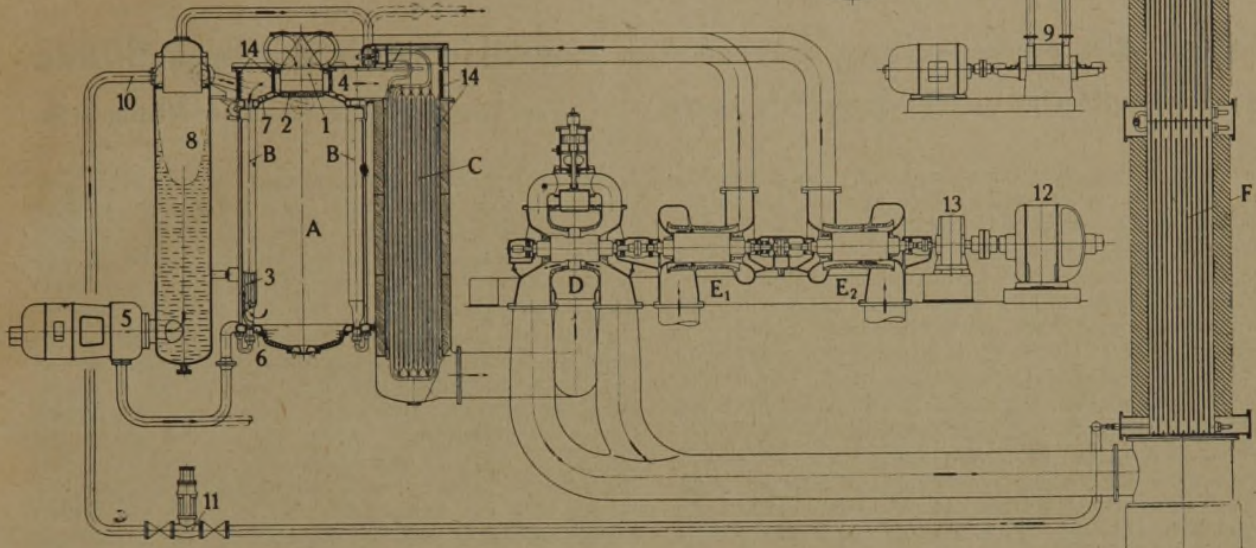
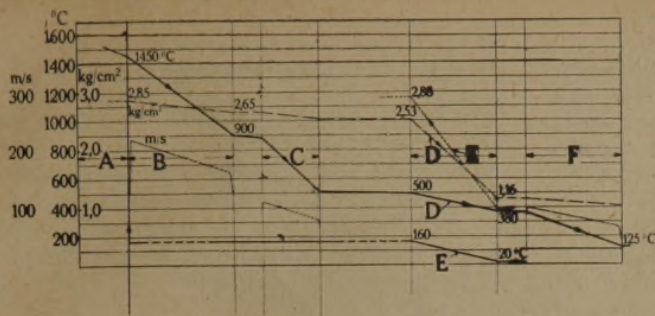


Abb. 19: Allgemeine Anordnung sowie ungefährer Druck-, Temperatur- und Geschwindigkeitsverlauf eines Velox für Hochofengas (Beispiel eines Velox mit „getrenntem“ Ueberhitzer A = Brennkammer, B = Verdampferelement, C = Ueberhitzer, D = Gasturbine, E<sub>1</sub> = Verdichter für Luft, E<sub>2</sub> = Verdichter für Gas, F = Vorwärmer, 1 = Mischer, 2 = Bren-

ner, 3 = Heizrohre (Vielrohrelemente), 4 = Gassammler, 5 = Umwälzpumpe, 6 = untere Wasserkammer, 7 = obere Wasserkammer, 8 = Abscheider, 9 = Speisepumpe, 10 = Speisewassereintritt, 11 = Speisewasser-Regelventil, 12 = Anlauf- und Regelmotor, 13 = Getriebe, 14 = Wandauskleidungen.

Sulzer-Kessel (Abb. 22). Er arbeitet wie der Benson-Kessel mit Zwangsdurchlauf, jedoch mit dem

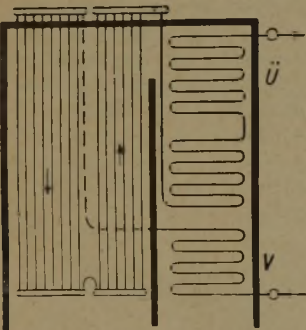


Abb. 20: Schema-Zeichnung des Benson-Kessels

Unterschied, daß der Dampferzeuger nur aus einem einzigen Rohr großer Länge besteht, in dem das Wasser beim Durchfluß vorgewärmt, verdampft und

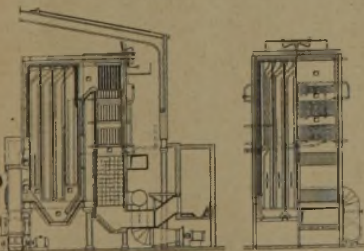


Abb. 21: Benson-Kessel

überhitzt wird. Hierbei wird die Strömungsgeschwindigkeit so gesteigert, daß die Heizflächen genügend gekühlt werden. Auf die Regelung des Kessels

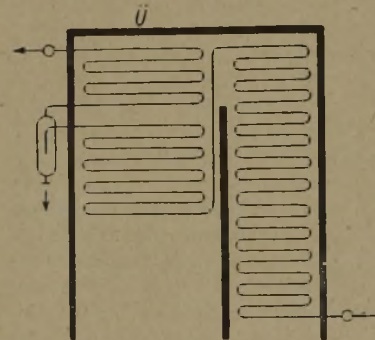


Abb. 22: Schema-Zeichnung des Sulzer-Kessels

gewonnenes Speisewasser enthält, ist zwischen Verdampfer und Überhitzer eine Entsalzungsflasche eingefügt. Dieser fließt der Wasserrest als eingedickte Lauge zu,

ist größte Sorgfalt verwandt. Die Leistung eines Einrohrkessels ist auf 8 bis 10 t Stundenampf beschränkt; bei größeren Leistungen muß die Zahl der Einrohre entsprechend vermehrt werden. Sie stehen beim Wassereintritt und Heißdampfaustritt miteinander in Verbindung. Zur Ausscheidung des Salzes, das in geringen Mengen auch durch Verdampfer

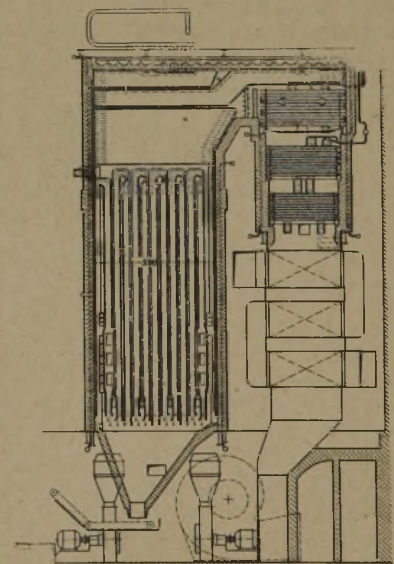


Abb. 23: Sulzer-Einrohr-Kessel

die laufend abgelassen werden kann. Der Verdampfer bildet den Strahlungsteil des Kessels. Die Heizgase durchströmen zunächst diesen, dann den Überhitzer, Vorwärmer und Luftvorwärmer. Das Speisewasser durchströmt zunächst den Vorwärmer, dann den Verdampfer, die Entsalzungsflasche und den Überhitzer.

Abb. 23 zeigt einen Sulzer-Einrohrkessel für 75 t Stundenleistung, 120 atü und 520° mit Kohlenstaubfeuerung.

## Zusammenfassung

Nach einem kurzen Rückblick auf den Stand der Dampfkesseltechnik bei Beendigung des Weltkrieges werden die Gesichtspunkte und Forderungen für den Bau neuzeitlicher Dampfkessel entwickelt und erläutert und die Weiterentwicklung an Hand von Beispielen bis zum heutigen Stande gezeigt. Zum Schluß werden die Sonderkessel behandelt.

# Ueber die Anwendung bewährter korrosionsbeständiger Stähle im Dampffaß- und -behälterbau

Von Dipl.-Ing. R. Schnabbe, VDEh, Essen

Der Ausbau der chemischen Industrie zur Erstellung und Verwendung heimischer Rohstoffe brachte es mit sich, daß im Dampffaß- und -behälterbau in steigendem Maße als Baustoff legierte Stähle zur Anwendung kommen. Die Entwicklung geht nach zwei Richtungen, deren erste durch die Anforderungen bedingt ist, die durch Druck- und Temperatursteigerung ähnlich der Entwicklung der Hoch- und Höchstdruckdampfkessel an den Werkstoff gestellt werden. Zum zweiten ist die Verwendung von Sonderstählen bedingt durch die Forderung nach Korrosionsbeständigkeit des Baustoffes. Eine große Zahl chemischer Prozesse, besonders der für die Landesverteidigung so überaus wichtigen Zellstoff- und Fettsäureindustrie, wäre undenkbar, wenn man ihr nicht das Hilfsmittel eines korrosionsbeständigen Stahles als Baustoff für ihre Gefäße und Apparate an die Hand geben könnte.

Die Forderung nach Warmfestigkeit einerseits und nach Korrosionsbeständigkeit andererseits sind vom normalen Kohlenstoffstahl erst zu erfüllen, wenn ihm bestimmte Mengen anderer Metalle zulegiert werden. Träger der Warmfestigkeit sind in der Hauptsache die Elemente Chrom und Molybdän, wobei letzteres Element je nach den zu erfüllenden Sondereigenschaften noch ersetzt oder ergänzt werden kann durch die Elemente Aluminium, Wolfram und Vanadium; während beim Zulegierelemente Chrom und Nickel die Forderung nach Korrosionsbeständigkeit des Stahles erfüllt wird. Da die Warmfestigkeitseigenschaften der Sonderstähle eng mit dem neuzeitlichen Dampfkesselbau verknüpft sind und ein ausreichendes Schrifttum über Hochdruckdampf und seine Stähle vorliegt, soll hier darauf nicht näher eingegangen werden. Die nachfolgenden Ausführungen behandeln deshalb nur nichtrostende Stähle.

Ein Hauptverdienst an der Entwicklung der säurebeständigen Stähle gebührt in Deutschland der Forschungsanstalt der Firma Krupp, ihr gelang vor allem die praktische Nutzenanwendung und Verwertung der rostfreien und säurebeständigen Stähle. Die ersten Patente auf diese Stähle wurden der Firma Krupp schon im Jahre 1912 erteilt.

Die große Gruppe dieser Stähle läßt sich je nach ihrem Gefügestand in drei Untergruppen einteilen:

1. Martensitische Stähle,
2. Ferritische Stähle,
3. Austenitische Stähle.

Die Gruppe, die für den Dampffaß- und Apparatebau am meisten interessiert, ist die dritte Gruppe der austenitischen Stähle.

Der Name „Austenitische Stähle“ ist der Bezeichnung der Gefügestand dieser Sonderstähle entnommen. Bekanntlich besitzt das Element Eisen mit seinem Hauptlegierungsbestandteil Kohlenstoff innerhalb seiner

festen Lösung bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Gefügestände. Bei steigender Temperatur wandelt sich reines Eisen bei 910° aus dem Alpha- in den Gammazustand und bei 1400° in den Deltazustand. Rein gefügemäßig spricht man beim Alpha- und Deltazustand von Ferrit, beim Gammazustand von Austenit. Es ist beim reinen Eisen nicht möglich, durch noch so schroffes Abschrecken weder den Delta- noch den Gammazustand bei Raumtemperatur festzuhalten. Erst durch Zulegierelemente von Nickel, Chrom und Kohlenstoff gelingt es, bei der Abkühlung aus hohen Temperaturgraden den austenitischen Zustand bis zu tiefsten Temperaturen beizubehalten. Die Menge des zur Erzeugung von Austenit verlangten Nickels schwankt mit der Menge des im Stahl vorhandenen Chroms. Das Schaubild nach Strauß und Maurer (Abb. 1) zeigt das für die Erzeugung eines austenitischen Stahles notwendige Verhältnis von Nickel zu Chrom. Wenn die Gehalte an Nickel und Chrom über der obersten Linie liegen, bildet sich beim Erkalten dieser Stähle an der Luft Austenit, d. h. also ein Gefügestand, bei dem der Gehalt an Kohlenstoff in fester Lösung bleibt und sich nicht wie bei den normalen Stählen als Perlit und Zementit vom Ferrit abscheidet. Die nächste Linie im Schaubild gibt diejenigen Nickel- und Chromgehalte an, die noch erforderlich sind, um Austenit bei der Abschreckung von hohen Temperaturen zu erhalten. Die meisten im Dampffaßbau bisher zur Anwendung kommenden nichtrostenden Stähle liegen oberhalb der obersten Linie, so daß im folgenden auch nur von diesen Stählen die Rede sein soll.

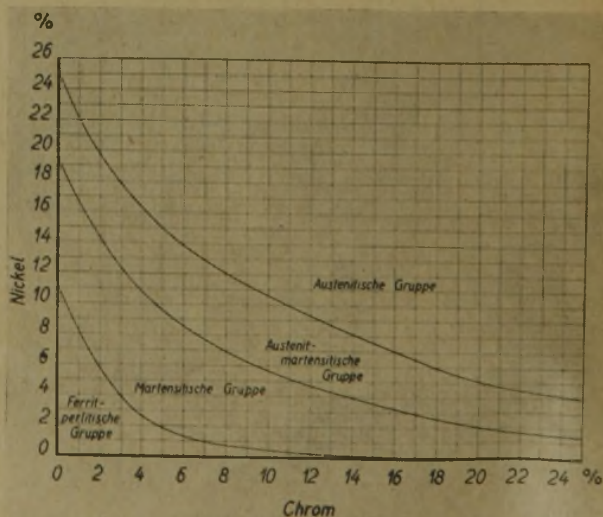


Abb. 1: Diagramm der qualitativen Chromnickelstähle (nach Strauß und Maurer)

Als Ergebnis der langjährigen Untersuchungen hat sich herausgestellt, daß eine Legierung auf der Basis von etwa 18 v. H. Chrom und 8 v. H. Nickel die beste allgumfassende Vereinigung der gewünschten Eigenschaften darstellt. Eine solche Legierung würde also der bekannten Kruppschen Bezeichnung V 2 A - Normal entsprechen. Mit Ablauf der Grundpatente sind naturgemäß auch andere Stahlwerke zur Herstellung korrosionsbeständiger Stähle übergegangen, jedoch gründen die meisten, soweit sie austenitisch sind, auf der Basis Chrom und Nickel.

Die Verschiedenheit des nichtrostenden Stahles in seiner chemischen Zusammensetzung gegenüber dem Kohlenstoffstahl macht sich auch beim Vergleich der mechanischen Eigenschaften bemerkbar. Abb. 2 zeigt die Gegenüberstellung zweier Zerreißproben gleicher Abmessungen. Die Streckgrenze ergibt sich bei dem Stab aus Flußstahl I zu etwa 70 v. H. und bei dem Stab aus V 2 A - Normal zu nur 50 v. H. der Festigkeit. Grundverschieden verhält sich auch die Dehnung. Obwohl die Einschnürung nur unwesentlich voneinander abweicht, liegt die Dehnung bei dem Werkstoff V 2 A - Normal doppelt so hoch wie bei Flußstahl I, als Zeichen dafür, daß die Dehnung sich auf die ganze Länge des Probestabes gleichmäßig verteilt, während nur ein verhältnismäßig geringer Teil auf die örtliche Dehnung an der Einschnürungsstelle entfällt. Die zugehörige Kerbzähigkeit liegt bei etwa 40 mkg/cm<sup>2</sup>. Der normale nichtrostende Stahl stellt also einen Werkstoff dar, der bei hoher Festigkeit eine ausgezeichnete Verformbarkeit besitzt.

Es hat verhältnismäßig langer Zeit bedurft, bis den Sondereigenschaften der nichtrostenden Stähle in der Konstruktion Rechnung getragen werden konnte. Erst mit Erlaß des Preussischen Ministers für Wirtschaft und Arbeit vom 5. 4. 1934 wurden erstmalig für eine bestimmte Gruppe von Stählen die bis dahin geltenden mehr allgemein gehaltenen Bestimmungen, daß der Werkstoff für Dampffässer aus legierten Stählen mindestens die gleichen Eigenschaften haben müsse wie normaler Flußstahl, abgeändert. Als besondere Erleichterung in diesen für die Konstruktion und Überwachung nunmehr gesetzlichen Bestimmungen verdient unter anderem hervorgehoben zu werden, daß die Wandstärke bis herunter zu 3 mm (früher 7 mm) be-

tragen darf, und daß für die Berechnungsfestigkeit ein Wert eingesetzt werden kann, der in Abweichung von den bekannten vier Festigkeitsgruppen das Doppelte beträgt von der durch Versuche ermittelten Streckgrenze. Naturgemäß müssen bei höheren Temperaturen auch für diese Stähle die Warmfestigkeitswerte und ab 400° aufwärts die Dauerstandfestigkeit in die Berechnung eingesetzt werden.

Gleichlaufend mit der Entwicklung der korrosionsbeständigen Stähle ging die Entwicklung der Schweißverbindung mit artgleichen Elektroden. Die Notwendigkeit, beim Dampffäßbau aus nichtrostenden Stählen zur Schweißverbindung zu greifen, ergab sich zwangsläufig daraus, daß das Nieten wegen seines die korrosionsbeständigen Eigenschaften des Werkstoffes schädigenden Einflusses nicht angewandt werden konnte. Außerdem muß die Forderung gestellt werden, daß die Schweißnaht die gleichen hochwertigen Eigenschaften wie der Grundwerkstoff besitzt.

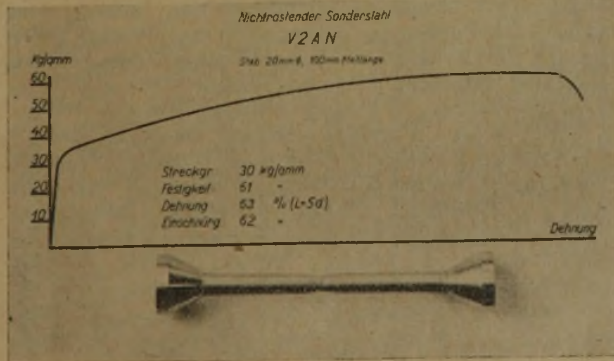
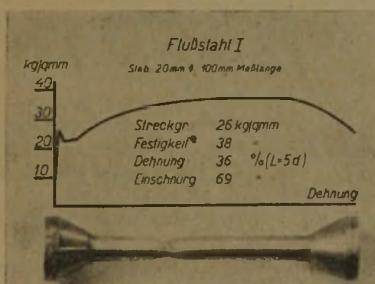
Mit dem Nieten sind Verformungen und Temperaturbereiche in der Nietnaht verbunden, gegen die der nichtrostende Stahl sehr empfindlich ist, und zwar weniger bezüglich seiner Festigkeitseigenschaften, wie das vom normalen Flußstahl her bekannt ist, sondern hinsichtlich seiner Korrosionsunempfindlichkeit. Unter dem Einfluß der Verformung hat der durch Zusatz von Chrom und Nickel erzeugte austenitische Zustand bei Temperaturen etwa unter 900° die unangenehme Eigenschaft, zu zerfallen. Es tritt dabei ein Kornzerfall ein, der an den Korngrenzen zur Ausscheidung von Kohlenstoff in Form von Karbiden führt. Der Stahl verliert seine Säurebeständigkeit, er korrodiert entlang dieser Korngrenzenausscheidungen. Diese interkristalline Korrosion kann sich praktisch in Rosterscheinungen, Rissen, Brüchen und sogar in einem vollständigen Zerbröckeln des Werkstoffes äußern.

Die gleiche Erscheinung ist beim Schweißen zu erwarten, da die Schweißnaht selbst und die benachbarten Teile allen Temperaturen von Raumtemperatur bis zur Schmelztemperatur unterworfen sind. Erfahrungsgemäß neigen gerade die Zonen, die eine Erwärmung von etwa 600 bis 750° erfahren haben, also in einem gewissen Abstand von der Naht, zu stärkster Korrosion.

Der interkristallinen Korrosion kann man durch Nachbehandeln des Stahles nach seiner endgültigen Formgebung entgegenzutreten. Der Stahl muß hierbei auf etwa 1100° erwärmt und dann abgeschreckt werden, wodurch die Korngrenzenkarbide wieder in Lösung gebracht und an erneuter Ausscheidung verhindert werden. Es liegt nun auf der Hand, daß meist aus konstruktiven Gründen diese Arbeitsweise am fertigen Stück häufig nicht anwendbar ist. In solchen Fällen muß auf chemischem Wege der Kohlenstoff an seiner Ausscheidung verhindert werden. Dies gelingt z. B. durch Zulegieren von geringen Mengen Molybdän und Titan, wodurch der Kohlenstoff in fester Lösung bleibt. Bei Gefäßen, die dann mit artgleichen Elektroden geschweißt sind, erübrigt sich eine Nachbehandlung, da weder Schweißnaht noch Grundwerkstoff verbessert zu werden brauchen.

In allen Erlassen, die sich in Abänderung der früheren Bestimmungen der Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel sowie auch in den neuen Schweißvorschriften, die sich mit der Bewertung besonderer Eigenschaften der Schweißverbindungen befassen, werden Arbeitsprüfungen an den Schweißnähten verlangt. Hierbei werden meist im Zuge einer Längsnaht eines Behälterschusses angeheftete Probebleche mitgeschweißt, die dann durch Entnahme von Zerreiß-, Biege-, Kerbschlag- und Schlifffproben geprüft werden,

Abb. 2: Zerreißstäbe (Rundproben) aus Flußstahl I und aus V 2 A normal



um auf diese Weise eine Rückschlufmöglichkeit auf die Güte der Behälternaht zu ergeben. Die somit erhaltenen Werte der mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht im Zusammenhang mit der zerstörungsfreien Prüfung der Behälternaht durch Röntgenfilmaufnahmen, die über etwa vorhandene Bindungs- und Rißfehler Aufschluß gibt, lassen eine sichere Beurteilung der Schweißverbindung zu.

Zahlentafel I  
Mittelwerte aus Arbeitsprüfungen

Werkstoff	Streckgrenze kg/qmm	Festigkeit kg/qmm	Dehnung v. H.	Kerbzähigkeit	
				VGB mkg/qcm	DVMR
<i>Volles Blech</i>					
I	31,8	60,6	87,4	36,6	24,0
II	32,8	63,5	75,9	31,3	25,4
III	29,3	61,7	70,0	34,4	—
IV	39,5	64,4	77,1	—	23,0
<i>Schweißnaht</i>					
I	32,7	60,5	63,9	29,3	16,8
II	41,4	65,3	55,1	18,7	11,8
III	31,1	62,8	56,3	28,1	—
IV	46,1	68,6	33,5	—	11,9

In Zahlentafel I sind die Mittelwerte aus Ergebnissen mechanischer Proben aus Schweißnahtprüfungen von vier verschiedenen austenitischen Werkstoffen zusammengestellt. Vergleicht man die Mittelwerte der Festigkeit des vollen Bleches mit denen der Schweißzerreiþproben, so ist festzustellen, daß Grundwerkstoff und Schweißgut praktisch die gleiche Festigkeit besitzen. Die Streckgrenze liegt bei den Schweißproben wenig höher. Auffallend hoch liegen die Dehnungswerte, jedoch ist dies aus der Probeform zu erklären (Abb. 3). Für die Vollblechvergleichsproben und die

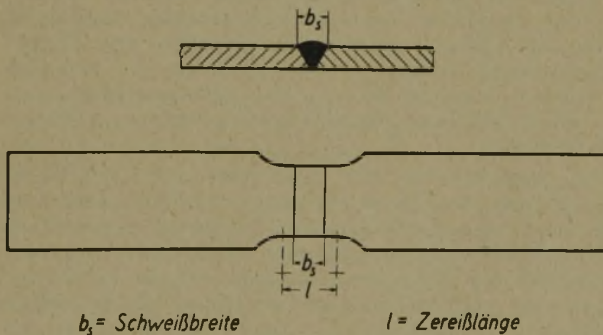


Abb. 3: Schweißzerreiþstab (Schemakizze)

Schweißproben wird ein Kurzstab verwandt, der auf verhältnismäßig kurzer Meßlänge von wenig mehr als Schweißnahtbreite mit seitlichen Aussparungen versehen ist, um bei einer Schweißzerreiþprobe den Bruch in oder dicht neben der Schweißnaht entstehen zu lassen. Bei der Messung der Dehnung an den stark verformungsfähigen Stählen auf einer Meßlänge von nur 20 bis 30 mm erhält man dann Werte von 70 bis

80 v. H. Da sehr viele Proben außerhalb der Schweißnaht reifen, ergibt sich für die auf Schweißbreite gemessene Dehnung eine starke Streuung. Die Kerbzähigkeit sinkt nur wenig ab, und zwar bei den VGB-Proben (Querschn. 2,25 qcm) um etwa 60 bis 80 v. H. und bei den DVMR-Proben (Querschn. 0,70 qcm) um etwa 50 bis 70 v. H.

Zur besseren Veranschaulichung sind in Zahlentafel II die Versuchswerte der Schweißnaht zu denen des vollen Bleches ins Verhältnis gesetzt, woraus hervorgeht, daß die Schweißnaht als Festigkeitselement dem vollen Blechwerkstoff nicht nachsteht.

Zahlentafel II  
Verhältnismerte der Schweißnaht in v.-H.-Werten des vollen Bleches

Werkstoff	Streckgrenze	Festigkeit	Dehnung	Kerbzähigkeit	
				VGB	DVMR
I	1,03	1,00	0,73	0,80	0,70
II	1,26	1,03	0,73	0,59	0,46
III	1,06	1,02	0,80	0,82	—
IV	1,17	1,07	0,44	—	0,52

Der angezogene Erlaß vom 5. April 1934 sah nur eine Schweißnahtbewertung bis zu 70 v. H. der Berechnungsfestigkeit des vollen Bleches vor. Die Ergebnisse der Arbeitsprüfungen berechtigten jedoch zu der Forderung, auch bei den korrosionsbeständigen Stählen eine Schweißnahtbewertung von 90 v. H. zuzulassen, wie dies bereits bei einer großen Zahl von Schweißverfahren an Kohlenstoffstählen der Fall ist. Ein ergänzender Erlaß aus dem Jahre 1937 trug dieser Forderung erstmalig Rechnung, womit außerdem auch eine erhebliche Ersparnis an dem hochnickelhaltigen Werkstoff erzielt wurde. Eine weitere Ersparnis des devisenbelasteten Werkstoffs wurde durch gleichzeitige Einschränkung der Probenzahl bei den Arbeitsprüfungen und der Probenbewertung bei der Blechabnahme erzielt. Die ursprüngliche Forderung, daß die Dehnungswerte mindestens 40 bzw. 45 v. H. erreichen mußten, wurde fallengelassen und dahin abgeändert, daß mindestens die Dehnungen zu erreichen seien, wie die bei Kohlenstoffstählen gleicher Festigkeitsgruppe vorgeschrieben. Das hat seinen Grund darin, daß die Walzplatten nur noch mit ganz geringem Übermaß abgewalzt werden können, um den Abfall auf ein Mindestmaß zu beschränken. Hierbei sind dann an den Proben aus den äußersten Blechrändern nicht mehr in allen Fällen die hohen Dehnungswerte zu erreichen, wie sie dem vollwertigen Blechwerkstoff eigen sind.

Aus der Fülle der mit der Erstellung, Behandlung und Verwendung von korrosionsbeständigen Stählen im Dampf- und -behälterbau sich ergebenden Fragen wurden einige die Allgemeinheit der Technik interessierende Punkte herausgegriffen und diese, soweit sie für die Belange der einschlägigen Industrie zum Abschluß gebracht sind, besprochen.

# Elektrische Steuer- und Regeltechnik in Hochdruckkraftwerken der Industrie\*)

Von Obering. Dipl.-Ing. G. Brehm, Berlin

Die elektrische Steuer- und Regeltechnik spielt heute in den Hochdruckkraftwerken der Industrie, für die der Gegendruckbetrieb das Charakteristische ist, eine wesentliche Rolle. Die großen Dampfmen gen, die der Fabrikbetrieb benötigt, werden erst durch vorgeschaltete Turbinen geleitet, um dort elektrische Energie zu erzeugen, bevor sie in das Fabriknetz strömen. Dampf- und Stromabgabe stehen bei Gegendruckbetrieb in engstem Verhältnis zueinander. Ein vollkommener Ausgleich ist in einem Betrieb praktisch nicht möglich. Es müssen daher Stromüberschüsse anderweitig untergebracht werden, bzw. was häufiger der Fall ist, es muß die noch fehlende elektrische Energie aus zusätzlichen Kondensationsmaschinen gewonnen oder aus fremden Netzen bezogen werden. Vielfach werden auch mehrere Industriekraftwerke eines Konzerns zusammengeschlossen, um so einen möglichst wirtschaftlichen Leistungsausgleich zu erzielen, wobei man sich für die Energieübertragung teils eigener Netze bedient, teils die Strombeförderung über die Leitungen großer Elektrizitätsgesellschaften vornimmt. Nicht nur der Leistungsausgleich zwischen Gegendruck- und Kondensationsenergie bzw. Fremdenergie ist erforderlich, sondern Drücke und Temperaturen in den Leitungen der Dampfverbraucher sind auch bei Lastschwankungen auf den richtigen Werten zu halten.

In Übereinstimmung mit dem Titel des Aufsatzes ergibt sich zwangsläufig die Gliederung in folgende Gruppen:

## I. Die elektrische Steuertechnik, mit folgender Unterteilung:

- Steuervorgänge, die dazu dienen, betriebsmäßige Vorgänge bewußt einzuleiten, also die Fernsteuerung z. B. von Schaltern, Schiebern, Drosselklappen usw.
- Einrichtungen, die dazu dienen, Fehlschaltungen nach Möglichkeit zu verhindern.
- Steuervorgänge, die dazu dienen, unerwartete Betriebsveränderungen oder Störungen durch selbsttätige Abschaltungen oder Umschaltungen auszugleichen, bzw. in der Auswirkung zu beschränken.

## II. Die elektrische Regeltechnik, unterteilt in:

- Spannungs- und Blindlastregelung der Generatoren.
- Elektrische Druck- und Temperaturregelungen in Dampfnetzen.
- Drehzahlregelung elektrischer Kesselantriebe.
- Selbsttätige elektrische Kesselregelung.

### Elektrische Steuerungen

Die großen Entfernungen in einem Kraftwerk und die Vielzahl der Bedienungshandlungen machen es notwendig, die Bedienungsmöglichkeiten an gut übersichtlicher Stelle, wie z. B. in Warten, zusammenzufassen und daher von der Fernsteuerung weitgehend Gebrauch zu machen. Ein weiterer Gesichtspunkt führt gerade im Industriekraftwerk zur bevorzugten Verwendung der Fernbetätigung. Gedacht sei in erster Linie an Kraftwerke chemischer Betriebe, die im ununterbrochenen Tag- und Nachtbetrieb mit nahezu voller Last durchlaufen müssen und nur selten Ge-

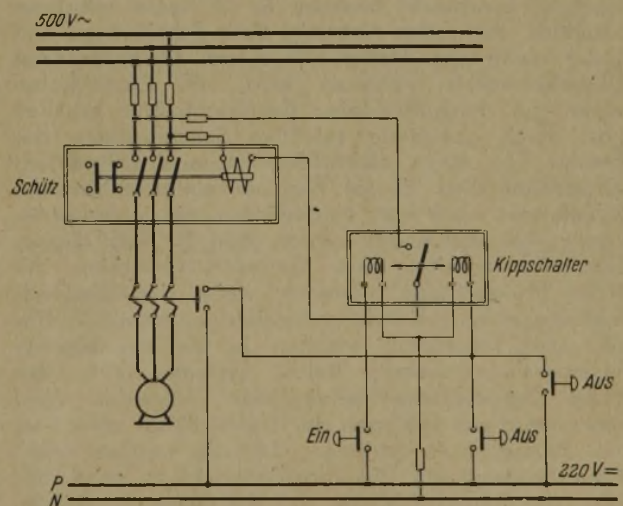
legenheit zu gründlicher Überholung der elektrischen Anlagen bieten. Es ist hier vorteilhaft, die elektrischen Apparate in offener Ausführung gut übersichtlich in sauberen, ordentlich gelüfteten Räumen unterzubringen, wo sie einer sorgfältigen Überwachung stets zugänglich sind.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, für die Eigenbedarfsversorgung eines Kraftwerkes verklümmte Schalter zu wählen, die durch Gleichstrom, der einer Batterie entnommen wird, gesteuert werden; denn bei spannungsabhängigen Schaltern, wie z. B. Schützen mit Selbsthaltekontakten, besteht die Gefahr, daß diese bei kurzen Spannungsabsenkungen abfallen und erst von Hand wieder zugeschaltet werden müssen, wozu meist nicht mehr genügend Zeit zur Verfügung steht, wenn ein Ausfall der Kesselanlage vermieden werden soll. Schalter mit Wechselstrombetätigung können dagegen bei Ausbleiben der Wechselspannung nicht fern ausgeschaltet werden. Selbstverständlich steht bei Bekohlungsanlagen, Entschungsanlagen sowie ähnlichen Anlagen, die an sich nicht dauernd in Betrieb sein müssen, nichts im Wege, Schütze mit Selbsthaltung zu verwenden, da sich diese für Folgeschaltungen sehr gut eignen.

Wichtig ist es, bei Gleichstromsteuerungen, vor allem, wenn auch Schutzeinrichtungen auf gleichstrombetätigte Arbeitsstromauslöser wirken, darauf zu achten, daß die Hilfsspannung jederzeit im entscheidenden Augenblick zur Verfügung steht. Mindestens muß eine akustische und optische Anzeige erfolgen, wenn die Gleichstromversorgung ausgefallen ist. Bewährt hat es sich in vielen Fällen, an Stelle einer Batterie zwei parallel geschaltete Batterien aufzustellen. Zweckmäßig ist es auch, darauf zu achten, daß fernbetätigte Schalter außerdem noch eine unmittelbare mechanische Entklinkung erhalten, um im Notfall dort eingreifen zu können.

Die Übersichtlichkeit und damit die Betriebssicherheit einer Anlage wird erhöht, wenn die fernbetätigten Schalter einer Anlage ein einheitliches Steuersystem und eine einheitliche Betriebsspannung erhalten. Das untenstehende Bild 1 zeigt ein Beispiel, wie man auch anders geartete Schaltapparate durch Einfügung eines Kippschalters dem gewählten Steuersystem anpassen kann.

Abb. 1: Schütz mit fernbetätigtem Kippschalter



\*) Vortrag, gehalten am 19. Dezember 1939 im HdT., Essen.

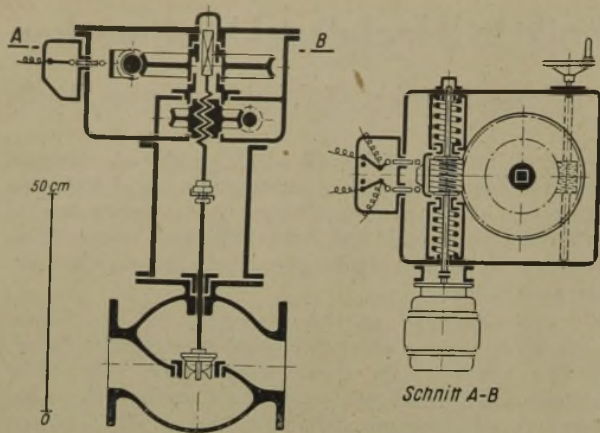


Abb. 2: Elektrisch gesteuertes Ventil

Regler, Anlasser, Zellschalter für Batterieladung, Drehzahlverstellrichtungen an Regelgetrieben und Regelmotoren, vor allem aber Schieber, Ventile und Drosselklappen müssen häufig ferngesteuert werden, wofür geeignete elektrische Antriebe in jeder Auswahl zur Verfügung stehen (Bild 2, Bild 3).

In dem Bestreben, falsche Schalthandlungen, die zu größeren Störungen führen könnten, von vornherein auszuschließen, wählt man gerne Verriegelungsschaltungen. Bekannt sind vor allem die Verriegelungen von Trennschaltern in Hochspannungsanlagen, um ein Ziehen unter Last zu verhindern. Es gibt hier elektrische Verriegelungsmethoden. Sehr gut eingeführt haben sich pneumatische oder kombinierte pneumatisch-elektrische Einrichtungen. Bild 4 zeigt eine solche pneumatische Verriegelungseinrichtung einer Hochspannungszelle, in der die Druckluftventile für die Steuerung der Druckluftkolben an den Schaltern mit den pneumatischen Rückmeldeventilen in einem Block vereinigt und durch eine mechanische Kulissensteuerung gegeneinander verriegelt sind.

Wichtig ist es z. B. bei Bekohlungsanlagen, darauf zu achten, daß beim Zu- und Abschalten der einzelnen Brecher und Förderbänder die richtige Reihenfolge eingehalten wird. Es darf nicht vorkommen, daß ein Förderband anläuft, bevor das nächstfolgende in Betrieb gesetzt ist, da sich sonst die Kohle dort anhäufen würde. Umgekehrt muß die Förderanlage stillgesetzt werden, wenn z. B. ein Zwischenband infolge einer Störung ausfällt. Man wählt hier meist bekannte Schützensteuerungen, wobei die einzelnen Schütze in Abhängigkeit des vorhergehenden geschaltet sind.

Störungen müssen in einem Kraftwerk auf ein Mindestmaß beschränkt bleiben. Es ist heute selbstverständlich, daß jeder Abzweig einer Schaltanlage und jeder elektrische Motor mit einem entsprechenden Überstromschutz versehen wird, die Generatoren einen gut durchgebildeten Generatorschutz erhalten und durch geeignete selektive Schutzsysteme der kranke Teil einer elektrischen Anlage schnellstens abgetrennt wird. Es sei hier auf einige besondere Schaltungen noch kurz hingewiesen, die in Industriekraftwerken verwendet werden (Bild 5). Nach diesem Schaltbild arbeitet eine Gegendruckmaschine mit einem Überlandnetz zusammen, wobei das Überlandwerk die fehlende Kondensationsleistung ersetzt. Turbosatz und Fremdnetz arbeiten je auf ein eigenes Sammelschienensystem. Beide Systeme sind über einen Kuppelschalter miteinander verbunden. Man kann nun durch Umlegen der Trennschalter unter Last die Abzweige so verteilen, daß die weniger wichtigen Betriebe auf die Fremdnetzschiene geschaltet sind, die lebenswichtigen auf die Generatorschiene,

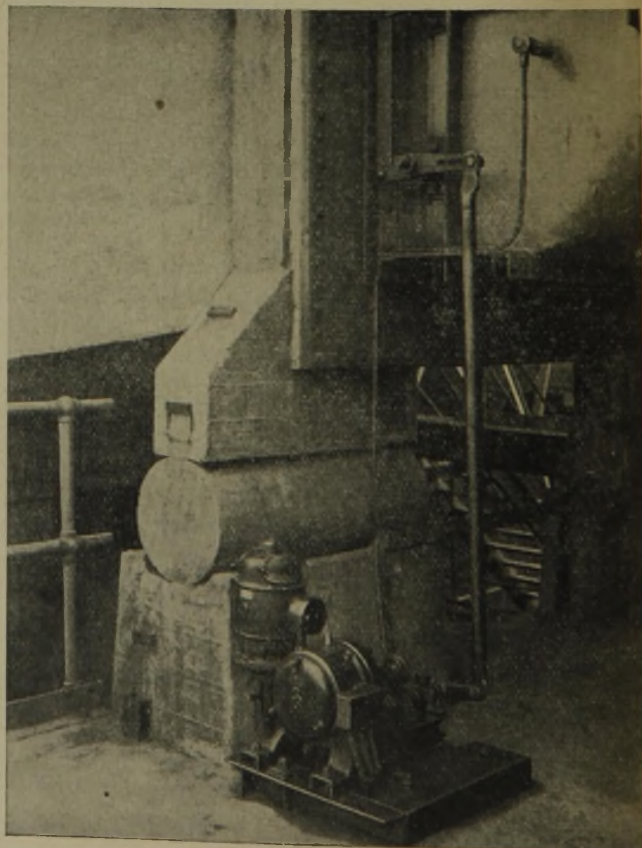
und zwar so verteilt, daß der Generator noch etwas Überschußleistung an die Fremdschiene abgibt.

Bricht das Fremdnetz zusammen, das naturgemäß eher Störungen ausgesetzt ist, wird der Generator überlastet und die Spannung sinkt ab. Durch ein Spannungsrückgangsrelais wird der Kuppelschalter geöffnet, so daß der Generator seine ihm zugedachte Last einwandfrei weiterziehen kann.

Bild 6 zeigt die Eigenbedarfsversorgung eines Kraftwerkes mit zwei elektrisch voneinander getrennten Hauptschaltanlagen. Der Eigenbedarf ist auch entsprechend in zwei Gruppen aufgeteilt, wovon jede von der entsprechenden Hauptgruppe über Drosselspulen gespeist wird. Fällt die Spannung in einer Gruppe aus, erfolgt, ausgelöst z. B. durch ein entsprechendes Spannungsrückgangsrelais, selbsttätige Umschaltung auf die andere gesunde Hauptgruppe. Um den Stromstoß zu mildern, erhalten die Schalter größerer Abnehmer (hier z. B. die Kesselspeisepumpenmotoren) Spannungsrückgangsauslösung, schalten sich aber, sobald die Spannung wieder vorhanden ist, über Zeitrelais in entsprechend gestaffelten Zeiten wieder zu. Die dahinterliegenden Motoren müssen selbstverständlich selbst anlaufen können, und die entsprechenden Motorschalter dürfen bei dieser vorübergehenden Spannungsabsenkung nicht abfallen. Auf die richtige Wahl der Schutzeinrichtungen hinsichtlich Auslösestrom und Auslösezeit muß in diesem Falle besonders geachtet werden.

In Hochdruckanlagen mit Mühlenfeuerung ist es wichtig, bei Ausfall eines Antriebes, z. B. des Saugzugmotors, andere Antriebe, die sonst zu Störungen Anlaß geben könnten, in diesem Falle z. B. die Frischluftventilatoren und Kohlenzubringer, sofort abzuschalten. Hierbei ist es zweckmäßig, eine Impulskontaktgabe zu wählen (Bild 7). Es kann hier bei Inbetriebnahme jeder Motor für sich geschaltet und

Abb. 3: Elektrischer Drosselklappenantrieb





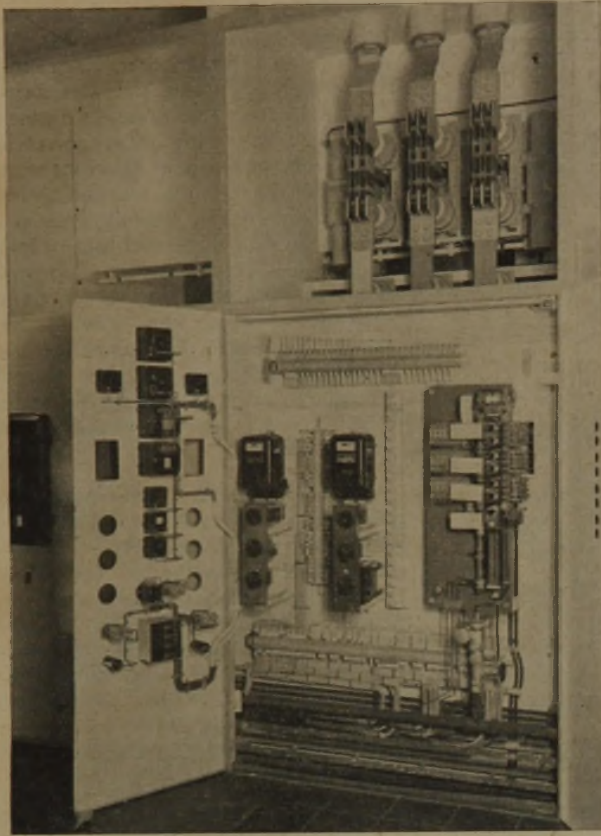


Abb. 4: Druckluftbetätigte Hochspannungszelle mit Schallschleierschutz

ausprobiert werden, ohne daß besondere Entriegelungen nötig sind. Ferner können auch nachträglich Änderungen der Auslösefolge leicht vorgenommen und zusätzliche Befähigungsstellen später noch angeschlossen werden. Außerdem hat man den Vorteil, daß im Gegensatz zu durchgeschleiften Abhängigkeitsschaltungen auch bei Versagen eines Relais der Betrieb noch aufrechterhalten werden kann.

### Elektrische Regelungen

Auch in Industriekraftwerken pflegt man heute zur Spannungsregelung Schnellregler zu verwenden und die Blindlastverteilung auf die einzelnen Maschinen durch zusätzlichen Statikausgleich an den Reglern zu erzwingen. Der Statikausgleich gibt den Generatoren eine in Abhängigkeit der Blindlast geneigte Charakteristik, wodurch eine gleiche Blindlastverteilung auf die einzelnen Generatoren erzwungen wird, sofern nicht durch entsprechende Einstellung des Sollwerteneinstellers eine Blindlastverschiebung bewußt hervorgerufen wird. Die Verwendung von Schnellreglern ist in Industriekraftwerken besonders dann zu empfehlen, wenn große Motoren direkt eingeschaltet werden. Auch empfiehlt es sich, in solchen Fällen die Erregermaschinen der Drehstromgeneratoren möglichst reichlich auszuliegen und gegebenenfalls Hilfserregermaschinen vorzusehen, um Spannungsabsenkungen nicht zu groß werden zu lassen und auf kürzeste Zeitdauer zu beschränken.

Um die Drücke und Temperaturen im Dampfnetz auch bei Belastungsänderungen zu halten, gibt es hydraulische Regeleinrichtungen, die auf die entsprechenden Regelventile, z. B. von Vorschaltmaschinen, Entnahmesteuerungen, Überstrom- und Reduzierstationen und Kühlwasserleitungen wirken. Es gibt aber auch hierfür ausgezeichnete elektrische Lösungen, die sich vor allem dank der elektrischen Kommandoübertragung im besonderen Maße für Zusammenfassung in gut

übersichtlichen Gruppen oder Tafeln eignen. Bild 8 zeigt das Prinzipschaltbild eines Zeigerreglers mit elektrischer Hilfskraft, der als Druck- und als Temperaturregler verwendet werden kann. Dieser Regler erfüllt alle Bedingungen, wie pendelfreie Regelung mittels elastischer Rückführung, genaueste Einhaltung des Sollwertes sowie leichte Einstellbarkeit von Regelgeschwindigkeit, Ansprechgrenzen und Änderung des Betriebszustandes während des Betriebes. Nicht nur Drücke und Temperaturen im Dampfnetz sind auszugleichen, sondern es muß auch die Kesselleistung den Lastschwankungen angepaßt werden. Die Beeinflussung der Kesselleistung erfolgt einmal durch Beeinflussung der Brennstoffzufuhr, außerdem durch Änderung der Frischluftzufuhr und Einhaltung des Unterdrucks, der durch den Saugzug im Kessel hervorgerufen wird. Es muß ferner das verdampfte Speisewasser wieder ersetzt werden.

Die Beeinflussung der Brennstoffzufuhr erfolgt durch Geschwindigkeitsänderung der Kohlenzuteilung, also durch Drehzahländerung des Wanderrost- oder Kohlezubringerantriebes. In engere Wahl werden hierfür meist folgende Antriebsarten gezogen:

1. Kurzschlußläufermotoren mit kontinuierlich regelbaren Getrieben, z. B. PJV-Getrieben,
2. regelbare Drehstrom-Nebenschlußmotoren,
3. Gleichstrom-Nebenschlußmotoren, letztere gewöhnlich mit vorgeschaltetem Leonardumformer.

Die Drehzahlverstellung bei den vorerwähnten Regelgetrieben und bei den Drehstrom-Nebenschlußmotoren erfolgt durch angebaute Verstellmotoren, die entweder auf die Getriebeverstellung oder bei Kommutatormotoren auf die Bürstenbrücke wirken und eine kontinuierliche Regelung ermöglichen. Um ein Aus-

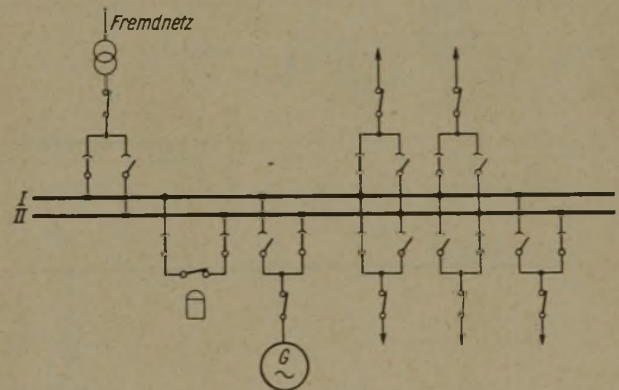


Abb. 5: Schaltung eines Gegendruck-Kraftwerks mit Fremdanschluß

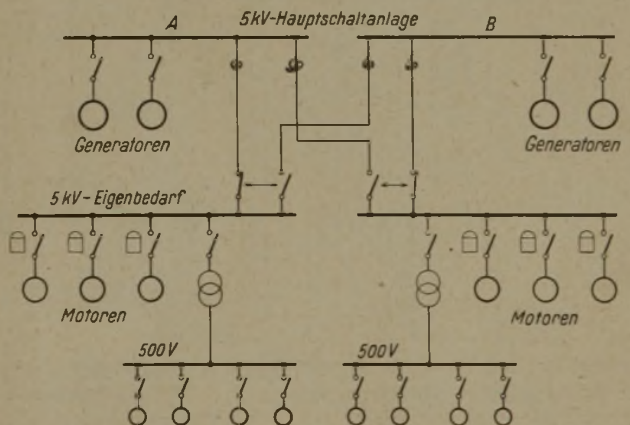


Abb. 6: Eigenbedarfversorgung eines Industriekraftwerkes bei Zweizentralenbetrieb

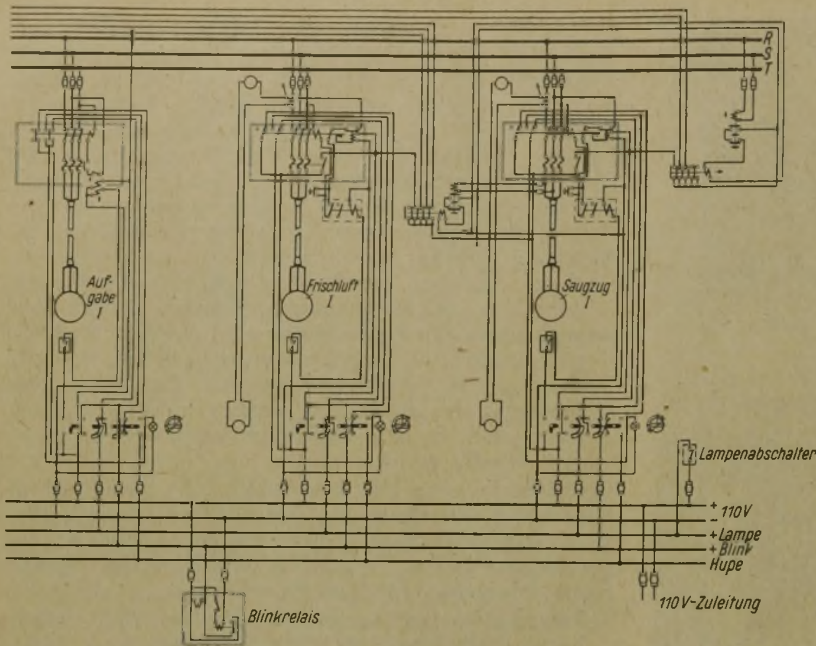


Abb. 7: Schaltbild der 500-Volt-Abzweige für einen Kessel

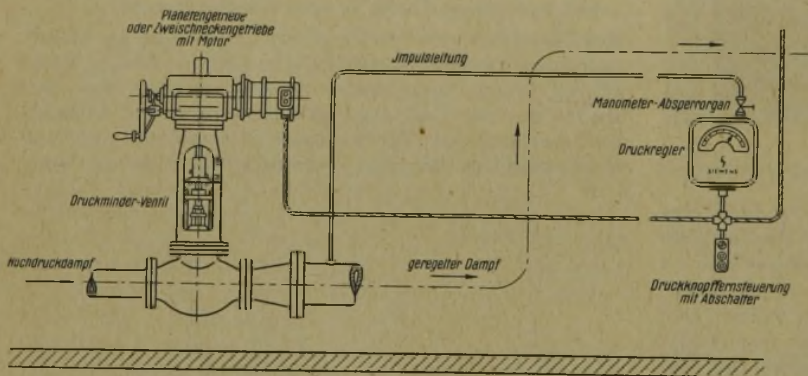
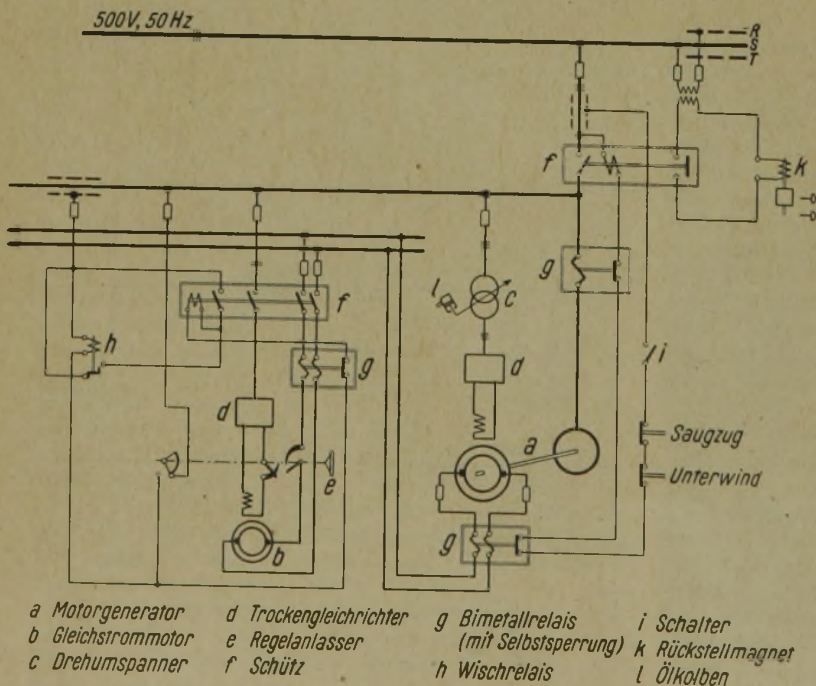


Abb. 8: Druckregelanlage (Druckminderung) mit elektrischem Zeigerregler



a Motorgenerator  
b Gleichstrommotor  
c Drehumspanner  
d Trockengleichrichter  
e Regelanlasser  
f Schütz  
g Bimetallrelais (mit Selbstsperrung)  
h Wischrelais  
i Schalter  
k Rückstellmagnet  
l Ölkolben

Abb. 9: Leonard-Antrieb für Kohlezuteiler

einanderlaufen der einzelnen geregelten Motoren eines Kessels, vor allem bei automatischer Regelung zu vermeiden, kann die Drehzahlverstellung der Kohlezuteiler eines Kessels durch eine durchgehende Regelwelle mit einem gemeinsamen Verstellmotor bewirkt werden, wenn es die räumlichen Verhältnisse gestatten. Es gibt aber auch eine elektrische Gleichlaufschaltung (sogenannte elektrische Welle), die ganz besonders dann von Vorteil ist, wenn, wie bei Eckenfeuerung, die Kohlezuteiler so um den Kessel gruppiert sind, daß eine mechanische Welle nicht gerade durchgeführt werden kann.

Gleichstrom-Nebenschlußmotoren speist man gewöhnlich über Leonardumformer, da Gleichstrom genügender Leistung meist nicht verfügbar ist und der Nebenschlußmotor bei reiner Nebenschlußregelung in seinem Regelbereich überdies beschränkt ist. Bild 9 zeigt die Schaltung eines derartigen Antriebes, wobei noch folgende für einen Kesselbetrieb wichtige Bedingungen erfüllt werden:

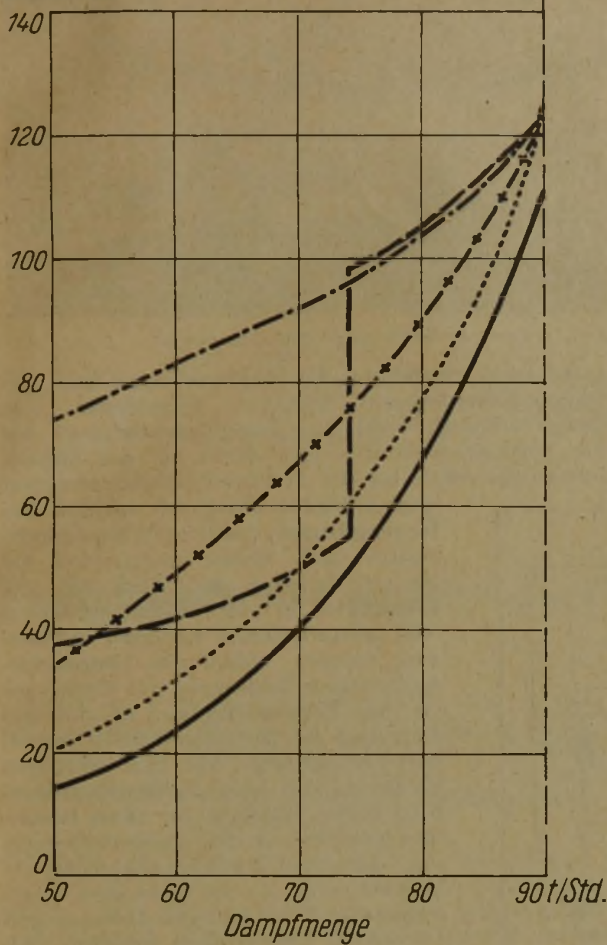
1. Sämtliche Zubringer eines Kessels sollen gemeinsam, und zwar möglichst kontinuierlich in der Drehzahl geregelt werden.
2. Die Drehzahl jedes Motors muß gegenüber der Drehzahl der übrigen Motoren auch im Betrieb in gewissen Grenzen verstellbar sein, da Speisung der Kessel aus verschiedenen Bunkern mit verschiedenen Brennstoffqualitäten erfolgt.
3. Bei vorübergehendem Ausbleiben der Spannung muß der ganze Regelsatz wieder selbsttätig hochfahren.

Für die Regelung von Frischluft und für die Einstellung des Unterdrucks kommen üblicherweise folgende Regelarten in Frage:

1. Drosselklappenregelung bei gleichbleibender Lüfterdrehzahl, wenn der Antrieb durch Kurzschlußläufermotoren erfolgt, oder, z. B. zweistufiger Lüfterdrehzahl bei Antrieb durch polumschaltbare Kurzschlußläufermotoren.
2. Drehzahlregelung der Lüfter bei Antrieb durch Kurzschlußläufermotoren mit nachgeschalteter hydraulischer Schlupfkupplung, die vielfach fälschlicherweise als hydraulisches Getriebe bezeichnet wird.
3. Drehzahlregelung der Lüfter bei Antrieb durch Schleifringläufermotoren mit Regelwiderstand im Läuferstromkreis.
4. Drehzahlregelung der Lüfter durch regelbare Drehstrom-Kommutatormotoren.

elektr. Leistungsverbrauch in kW

Normalbetrieb Vollast



- Leistungbedarf des Lüfters —————
- Drehstrom-Reihenschlußmotor .....
- Schleifringläufermotor — + — + — + — + —
- Kurzschlußläufermotor mit Drosselklappenregelung — - - - - -
- polumschaltbarer Kurzschlußläufermotor mit Drosselklappenregelung — - - - - -

Abb. 10: Leistungsverbrauch eines Saugzuginflüßers bei verschiedenen Antriebsarten

Es stehen für sämtliche dieser Antriebsarten heute Ausführungen zur Verfügung, die den üblichen Sicherheitsbegriffen durchaus genügen. Selbstverständlich ist der Kurzschlußläufer bzw. polumschaltbare Motor, der unmittelbar mit dem Lüfter gekuppelt wird, infolge seiner einfachen Bauart und Fortfall aller größeren dem Verschleiß unterworfenen Teile den anderen Ausführungsarten an Betriebssicherheit überlegen und schon deshalb geschätzt, weil er ein Mindestmaß an Wartung benötigt, während andererseits aber die Luftmengenregelung durch Drosselklappen u. U. mit größeren Energieverlusten verbunden ist (Bild 10).

In Anlagen mit stark schwankender Last ist der Kommutatormotor sicher am Platze, selbst wenn die Anschaffungskosten etwas höher sein sollten. In Industrie-

kraftwerken, die meist mit konstanter Last fahren, und wo die Dauer von Laständerungen meist auf längere Zeit hin schon zu übersehen ist, neigt man gerne zur Verwendung des Kurzschlußläufermotors bzw. des polumschaltbaren Motors. Ist die Leistungsverminderung, die eine Herabregelung der Drehzahl zur Folge hätte, nur kurzzeitig, spielt die Unwirtschaftlichkeit der Drosselklappenregelung keine so große Rolle. Ist die Leistungsverminderung auf längere Sicht zu erwarten, so wird man in einem Kraftwerk, wo mehrere Kessel zur Verfügung stehen, lieber den einen oder den anderen Kessel außer Betrieb nehmen, um dann die anderen Kessel wieder auf ihren Bestpunkt fahren zu können. Manchmal hat man sich auch dazu entschlossen, eine Reihe von Kesseln mit fester Grundlast zu fahren und nur einige Kessel eines Kraftwerkes mit regelbaren Motoren für den Lastausgleich auszurüsten. Bei Schleifringläufermotoren erfolgt die Drehzahlregelung durch Regelstufen im Läuferwiderstand, die besonders bei Verwendung automatischer Regelung in der Zahl sehr groß und damit genügend fein sein müssen. Außerdem dürfen die Kontakte keiner vorzeitigen Abnutzung ausgesetzt sein, wenn bei selbsttätigen Regelungen die Kontaktgabe in schneller Folge nur auf wenigen Stufen erfolgt. Normale Regler können bei automatischer Kesselregelung aus diesem Grunde nicht verwendet werden, es sei denn, man benutzt die Regler nur für Grobeinstellung der Motordrehzahl von Hand, während die Kesselregelung auf zusätzliche Drosselklappen wirkt.

Elektrisch angetriebene Kesselspeisepumpen erhalten gewöhnlich Kurzschlußläufermotoren. Bei den heute immer mehr zur Verwendung kommenden trommellosen Hochdruckkesseln macht sich das Verlangen nach Drehzahlregelung in stärkerem Maße geltend. Asynchronmotoren mit Schleifringläufer der hier in Frage kommenden Leistungen von 600 bis 1200 kW und Drehzahlen von etwa 3000 U/min sind sowohl aus konstruktiven als auch betriebstechnischen Gründen nicht gut zu heißen, zumal im Läuferwiderstand bei Abwärtsregelung der Drehzahl ganz erhebliche Energien vernichtet werden.

Drehstromregelsätze, d. h. Schleifringläufermotoren mit zusätzlichen Hilfsmaschinen, in denen die sonst im Regelwiderstand vernichtete Läuferenergie entweder der Welle des Hauptmotors oder dem Drehstromnetz wieder zugeführt wird, sind teuer und kompliziert, brauchen viel Platz und sind nur dann lohnend, wenn meistens im unteren Drehzahlbereich gefahren wird. Gleichstrommotoren scheiden praktisch aus, da der erforderliche Gleichstrom dieser Leistung meist erst umgeformt werden mußte. Es sind außerdem Zwischengetriebe bei schnelllaufenden Pumpen erforder-

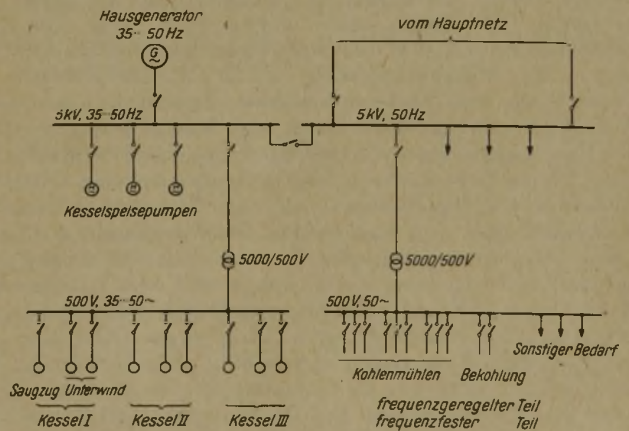


Abb. 11: Frequenzgesteuerte Kesselspeisepumpen und Lüfter einer Kesselgruppe

lich, da Gleichstrommotoren der in Frage kommenden Größe für genügend hohe Drehzahlen nicht gebaut werden können. Es sind Entwicklungen im Gange, kommutatorlose Drehstrommotoren in Verbindung mit gittergesteuerten Stromrichtern für Drehzahlregelung auszubilden, doch sind Ausführungen für derartige Antriebe wohl noch nicht über das Versuchsstadium hinausgegangen.

In einem praktischen Falle hat man sich dadurch geholfen, daß man für eine Gruppe von Kesseln, von denen jeder eine eigene Kesselspeisepumpe erhielt, einen dampfseitig drehzahlgeregelten Turbosatz aufstellte, der die elektrischen Speisepumpenmotoren mit der durch die dampfseitige Regelung eingestellten Frequenz speist. Außerdem wurden, wie das Bild 11 zeigt, auch Saugzug- und Unterwindmotoren der betreffenden Kessel an diesen Generator mit angeschlossen und ebenfalls gleichzeitig mit den Speisepumpen frequenzgesteuert.

Wenn auch die Charakteristik der Lüfter mit der Charakteristik der Speisepumpen nicht übereinstimmt, wird

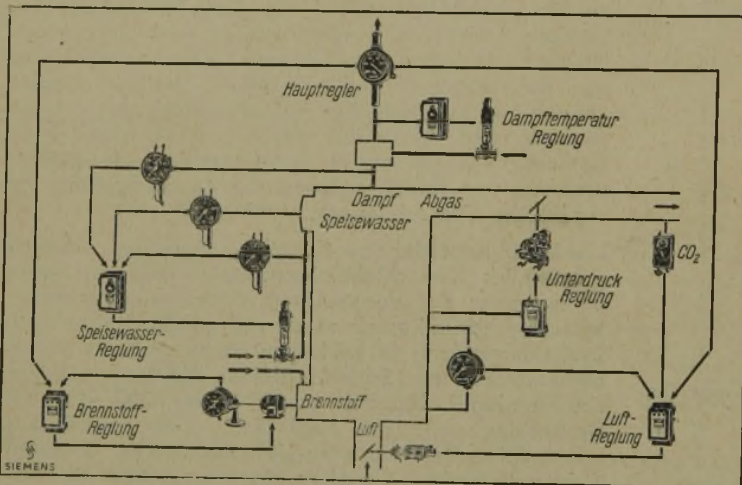


Abb. 12: Selbsttätige elektrische Kesselregelung

doch die Grunddrehzahl der Lüfter bei Leistungsverminderung der Kessel so weit herabgesetzt, daß nur noch ein Teil der sonst geförderten Luftmenge abgedrosselt werden muß.

Werden in einem Kesselhaus Schieber, Ventile und Drosselklappen sowie Regelmotoren von vornherein mit elektrischen Fernantrieben ausgerüstet, so ist der Schritt nicht weit zur selbsttätigen elektrischen Kesselregelung, wobei der zusätzliche Aufwand dann nicht mehr erheblich ist. Grundelement einer solchen Regelung ist die bekannte Wheatstonesche Brücke. Den einzelnen Meßgrößen, wie Last-, Brennstoff- und Luftmenge, sind veränderliche Widerstände in den einzelnen Brückenzeigen zugeordnet, die, bei Laständerung aus dem Gleichgewichtszustand gebracht, über die Brückendiagonale einen Ausgleichstrom senden, der ein hochempfindliches Steuerrelais zum Ansprechen bringt und damit ein Steuerkommando auf den zugehörigen Verstellmotor des Regelorganes gibt. Dieses Kommando erfolgt so lange, bis eine entsprechende Rückmeldung, z. B. vom Tachometer der Brennstoffzufuhr aus, kommt, daß das Kommando ausgeführt ist. Bild 12 zeigt das Schema einer voll selbsttätigen Kesselregelung, wobei, ausgehend vom Dampfdruck, über den Hauptregler Brennstoffzufuhr und Frischluftversorgung beeinflusst wird. Über einen CO<sub>2</sub>-Fallbügelregler erfolgt dabei gleichzeitig eine Korrektur auf die Luftbrücke, um der unvermeidlichen Veränderung von Brennstoffgüte und Feuerungszustand Rechnung zu tragen. Mittlerweile hält der Unterdruckregler nach wie vor den Unterdruck im Feuerraum durch ent-

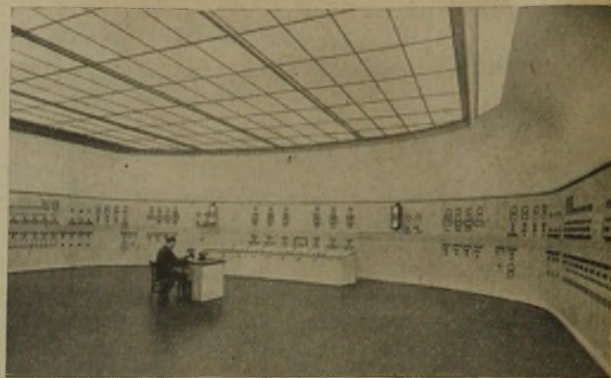


Abb. 13: Elektrische Wache eines Industriekraftwerkes

sprechende Verstellung der Rauchgasklappe bzw. der Saugzuglüfterdrehzahl konstant. Ausgehend vom Dampfverbrauch wirkt ein Dampfmenngemesser auf die Speisewasserbrücke und damit auf das Speisewasserregelventil, bis der Speisewassermengemesser

den erfolgten Ausgleich meldet. Bei Trommelkessel ein Greif ein Wasserstandsmesser noch etwas korrigierend auf diesen Vorgang ein. Auch auf die Temperatur in der Heißdampfleitung muß entsprechende Rücksicht genommen werden, indem ein Temperaturregler durch Betätigung des Regelventils der Einspritzung ein unzulässiges Ansteigen der Dampftemperatur verhindert. Abgesehen von den sonstigen Vorteilen, die eine elektrische Steuerung bietet, ist diese vor allem besonders geeignet für die Zusammenfassung der gesamten Kesselüberwachung in Wärmewarten, da die elektrische Übertragung auch auf größere Entfernungen hin keine Schwierigkeit bereitet. Wie im Bild 13 die Steuerung des elektrischen Teiles der Kraftwerksanlage über-

sichtlich in einer elektrischen Warte zusammengefaßt ist, so lassen sich analog auch Wärmewarten für die Kesselanlagen durchführen, wie Bild 14 zeigt. Es wird mehr denn je heute angestrebt, die elektrische und die Kesselwarte in einem gemeinsamen Raum zusammenzufassen, wofür heute schon wohlgeplante Konstruktionen ausgeführt bzw. in Ausführung begriffen sind.

Abb. 14: Wärmewarte eines Industriekraftwerkes



Diesem Heft der „TM.“ liegt ein Prospekt der Firma C. A. Callm, Halle (Saale), bei, dessen Beachtung wir unseren Lesern ganz besonders empfehlen.

Aus Gründen der Papierersparnis haben wir die beiden Januar- und Februarhefte demzufolge die Verzögerung des Erscheinungstermins des Februarheftes