

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73 (1955)
Heft: 4

Artikel: Zur Theorie der Verbrennung und ihrer Anwendung auf die Konstruktion von Heizkesseln
Autor: Palm, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61846>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zur Theorie der Verbrennung und ihrer Anwendung auf die Konstruktion von Heizkesseln

Von Dipl. Ing. R. Palm, Basel

DK 662.93

Die Abhängigkeit der Schweiz von der Brennstoffzufuhr des Auslandes hat einen Konkurrenzkampf zwischen den flüssigen und den festen Brennstoffen zur Folge, der sich für uns dadurch günstig auswirkt, dass sowohl die Verbrennungseinrichtungen, die Feuerungen als auch die die Wärme aus den Feuergasen aufnehmenden Kessel immer besser konstruiert werden. Die Zweckmässigkeit der Ausführungen kann nur beurteilt werden, wenn die Vorgänge bei der Verbrennung und beim Wärmeübergang in ihrem zeitlichen und örtlichen Ablauf bekannt sind. Wir werden uns hier nur mit den festen Brennstoffen befassen. Um sie möglichst gut zu verwenden, müssen erhebliche Anstrengungen gemacht werden, da ihre Verbrennung weit schwieriger ist als diejenige der leicht zündenden, flüssigen Brennstoffe.

A. Grundsätzliche Erörterungen

1. Verlauf der Verbrennung

Wenn sich auch die Fachleute noch nicht darüber einig sind, wie die inneren Vorgänge der Verbrennung verlaufen, so ist doch der natürliche Vorgang sicher so, dass der in die Feuerung eingebrachte Brennstoff zuerst durch die ihm von aussen zugeführte Wärme getrocknet werden muss. Dabei scheidet das Material, je nach der Temperaturstufe, Dämpfe und Gase ab. Es verändern sich dadurch seine chemische Struktur und sein physikalisches Verhalten. Durch das Austreten der Gase kann die Oberfläche und später auch der Kern porös werden. Unter anderen Bedingungen, welche von der Intensität der Wärme- und Luftzufuhr sowie von der Lagerung abhängen, schmilzt die erst durchlöchernte Oberfläche zusammen. Dadurch wird der Feuchtigkeits-, Gas- und Wärmeaustritt behindert.

Die Temperatur des Brennstoffes erhöht sich nicht nur durch die Wärmezufuhr von aussen. Die chemische Umwandlung ist von einer durch die Zusammensetzung bestimmten Temperatur an mit einer steigenden Wärmeentwicklung verbunden. Ist diese so stark, dass der Prozess ohne äussere Wärmezufuhr weiterläuft, so ist der Zündpunkt erreicht, und die Verbrennung beginnt. Wir nennen die eben beschriebenen Prozesse die Trocknung und die Wandlung zur Verbrennungsreife. Je kürzer diese sind, um so besser kann bei gegebenen Verhältnissen die Konstruktion ausgenutzt werden.

Mit dem Einführen der zur Verbrennung notwendigen Luft tritt eine unerwünschte Abkühlung ein. Um den Verbrennungsvorgang zu beschleunigen, müssen die im Kern abdestillierten Gase ohne Stauung rasch abfliessen können. Ist die Brennstoffschicht nicht zu hoch und in einem zweckentsprechenden Bewegungszustand, so wird eine rasche Reaktion erreicht, da alle Kohlenstücke gleichmässig erwärmt, mit der notwendigen Luft beblasen werden und die Gase rasch in den Feuerraum abströmen können. Beim Zündpunkt setzt eine verstärkte chemische Reaktion mit Temperatursteigerung ein. Die Gefahr des Kaltblasens der Brennstoffschicht durch die Verbrennungsluft besteht nicht mehr. Der von den flüchtigen Bestandteilen im Feuerraum befreite Koksrest setzt sich durch Bindung des Sauerstoffes aus der Verbrennungsluft in Kohlenoxydgas um, wodurch zugleich eine weitere Temperatursteigerung im Brennstoffbett eintritt. Die bei der Wandlung in der Zündzone entstandenen Kohlenoxyd- und schweren Kohlenwasserstoffgase verlangen zur vollständigen Verbrennung eine Durchwirbelung mit Luft-sauerstoff. Dieser, wie auch der als Ballast mitgeführte Stickstoff, nimmt durch die Erwärmung auf die Feuerraumtemperatur dem Prozess auch in dieser Phase Wärme weg, was die Reaktionsgeschwindigkeit herabsetzt. *Diejenige Feuerungseinrichtung ist die beste, welche nur die zur restlosen Verbrennung notwendige Luftmenge innig mit den Kohlen-gasen mischt.* Hierbei entstehen die höchsten Feuerraumtem-

peraturen und damit auch die Schwierigkeiten, den Feuerraum so auszubilden, dass keine Zerstörungen an der Ofenkonstruktion eintreten. Daher muss die Feuerung so ausgebildet werden, dass an jedem Ort, den der Brennstoff durchläuft, die Luftzufuhr und deren Mischung, die Abstrahlungs- und Gasabflussverhältnisse dem jeweiligen Feuerungszustand entsprechen.

2. Der Feuerraum

Wesentlicher Bestandteil der Feuerung ist der Feuerraum. Seine Aufgabe besteht darin, die Gase so lange aufzunehmen, bis die Verbrennung beendet ist. Seine Form soll die Möglichkeit, die Gase zu mischen, zum mindesten nicht stören.

Bei hoch entwickelten Feuerungen, in denen die Feuerungsintensität gross ist, liegt dem Feuerraum die Aufgabe ob, den Flammgasen gerade so viel Wärme durch Strahlung zu entziehen, dass die Temperatur nicht über eine obere Grenze steigt.

Die Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlensäure ist ein Vorgang, welcher sich bei atmosphärischem Druck und abgesehen von katalytischen Einflüssen nur in einem Temperaturbereich von etwa 750 bis 1500 ° C abspielt. Werden durch die eben beschriebenen Massnahmen zu hohe Temperaturen erreicht, so besteht die Gefahr des Zerfalls der Kohlensäure durch Dissoziation unter Wärmeverbrauch. Die bei diesen Temperaturen auftretende Strahlung muss bis in den Kern der Flamme wirken. Feuergase lassen die Strahlung nicht tiefer als etwa 70 cm eindringen. Es ist deshalb notwendig, dass in der Flamme gleichsam das Innere nach aussen gekehrt wird, d. h. auch diese Gase müssen wirbeln. Andererseits darf die Abkühlung der Flamme nicht so stark sein, dass der Verbrennungsvorgang behindert wird. Sie soll, solange die Verbrennung der Gase noch im Gange ist, nicht mit voller Intensität einsetzen.

3. Die Kesselzüge

Nur die heissen, voll ausgebrannten Feuergase dürfen in die dem Verbrennungsraum nachgeschaltete Berührungs-Heizfläche eingeleitet werden. Die Wärme wird darin durch Konvektion aufgenommen, im Gegensatz zum Wärmeübergang im Feuerraum, der dadurch stattfindet, dass Strahlungsenergie durch Fernwirkung auf den Rohren eine Erwärmung hervorruft. Bei der Berührung fliesst die Wärme um so rascher aus dem Gasstrom an die Metalloberfläche, als die an den Rohren haftende, den Wärmeübergang hemmende, kalte Gasschicht durch die Gasströmung weggewischt wird. Um die eingebaute Berührungsheizfläche möglichst gut auszunützen, soll daher die Rauchgasgeschwindigkeit in diesem Teil des Kessels gross sein.

B. Bauarten von Feuerungen und Heizkesseln

Nach den grundsätzlichen Erörterungen über das Wesen der Verbrennung wollen wir nachprüfen, wie sich die bekannten¹⁾ und die neuesten Feuerungen und Zentralheizungskessel diesbezüglich verhalten.

1. Gusskessel mit Schachtfeuerungen

Sowohl bei oberem wie bei unterem Abbrand (Bilder 1a und 1b) ist eine örtliche Trennung der verschiedenen Verbrennungsperioden nicht festzustellen. Ohne näher darauf einzugehen, ergibt eine Untersuchung, dass in der sehr hohen Brennstoffschicht sich Wandlung und Entgasung, Koksreaktion und Mischung mit der Verbrennungsluft nahezu am gleichen Ort und gleichzeitig abspielen müssen, und dass die

¹⁾ Beschreibungen siehe z. B. in «Heizung und Lüftung» (Zürich) vom 30. Juni 1939.

grossen, aus der Schicht austretenden Gas- und Luftmengen noch nicht genügend durchgemischt sind. Beim ungewirbelten Austreten der beiden Gasarten nebeneinander wird eine vollkommene Verbrennung schwer erreicht, so dass es oft zweckmässig erscheint, über die Schicht Sekundärluft einzublasen.

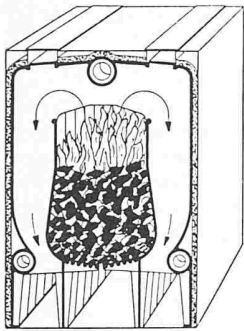


Bild 1a. Gusseiserner Schachtkessel mit oberem Abbrand

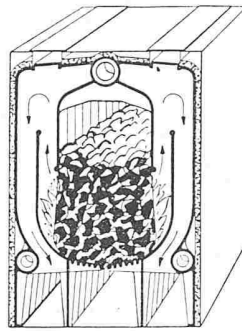


Bild 1b. Gusseiserner Schachtkessel mit unterem Abbrand

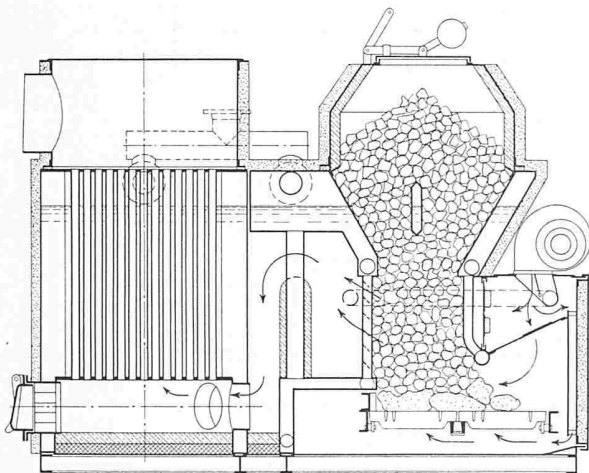


Bild 2. Emma-Kokskessel

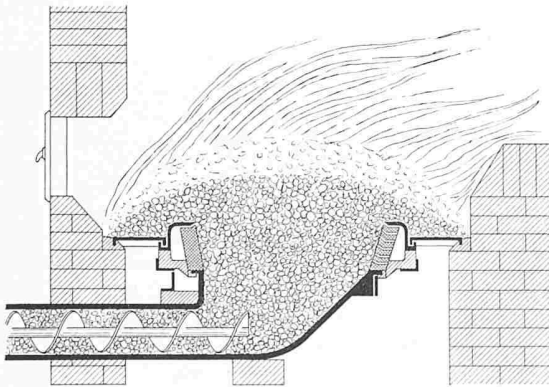


Bild 3. Mechanische Unterschubfeuerung

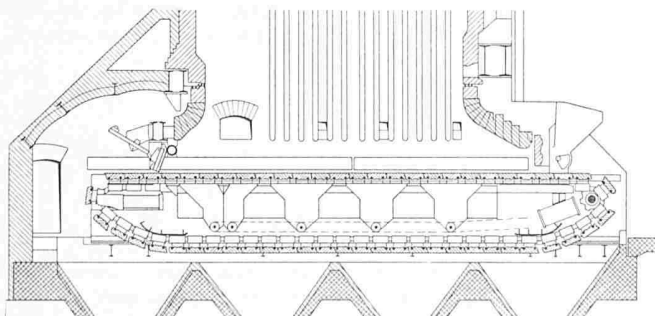


Bild 4. Mechanischer Zonenwanderrost

Um mit genügender Stosskraft Bewegung in den Feuerraum zu bringen, wird oft zu viel Zweitluft zugeführt, so dass die Erstlufteinfuhr gedrosselt werden muss. Dabei entstehen Schwierigkeiten. Die Kokstemperatur wird bei der geringen Luftmenge stark erhöht und der Brennstoff zu rasch entgast. Zur vollständigen Verbrennung ist dann zu wenig Luft vorhanden, und durch die hohen Temperaturen kommen die Schlackeneinschlüsse zum Schmelzen. Auch die oben erwähnte Verkrustung und Abdeckung der Oberfläche kann eintreten. Da die Luftgeschwindigkeit nicht gross genug ist, wird die Schlacke nicht durchblasen und bleibt nicht porös. Bei derart gestörten Verbrennungsverhältnissen ist die richtige Zweitluftzufuhr schwierig. Es entsteht eine unvollkommene Verbrennung. Bei der mit dem Abbrand dauernd abnehmenden Schichthöhe verschiebt sich die Verbrennungszone, was die richtige Sekundärluftzufuhr erschwert. Vorrichtungen zur Zufuhr von Zweitluft sind umständlich und teuer.

Beim niederen, über der Koksschicht zur Verfügung stehenden Feuerraum entstehen leicht unverbrannte Gase, die in die Kesselzüge gelangen. Kohlenoxydgase bilden sich auch dort, wo der glühende Koks an den kalten Kesselwandungen anliegt.

Unsere Betrachtung zeigt, dass die Schachtfeuerung eine einfache Einrichtung darstellt, die wenig Bedienung verlangt und bei gleichmässigen und hohen Leistungen gute Resultate ergibt; sie lässt sich aber nicht gut regulieren, besonders wenn die Kesselleistung vermindert werden soll, weil eine systematische Trennung der Verbrennungsvorgänge nicht durchgeführt ist. Ausserdem stört der Einfluss der Brennstoffschlacke.

In allerletzter Zeit sind die Schachtfeuerungskessel für Grossanlagen wesentlich verbessert, und es ist dabei vor allem auf eine mühelose Entschlackung Wert gelegt worden. Solche verbesserte Bauarten sind der holländische Emmakessel²⁾ (Bild 2) und der Automatic-Grosskessel³⁾ der bekannten Strebelwerke.

2. Die mechanische Unterschubfeuerung

Bei dieser Feuerung wird der Brennstoff ständig durch eine Schnecke oder einen Stössel von unten her in die Retorte eingeführt, Bild 3. Auf dem aus der Retorte austretenden Haufen unterhält sich das Feuer. Der Brennstoff wird von oben her erwärmt. Angezündet, rutscht er über die Seitenroste und erhält dort Luft zur vollständigen Verbrennung.

Die Verbrennungsvorgänge sind folgende: Eine kleine Luftmenge wird im Zufuhrrohr durch den Kohlenrichter und durch die Kohle zugeblasen und mit ihr die Trocknung eingeleitet. Die Wandlung beginnt in der Retorte. Die entstehenden Schwelgase steigen durch die Brennstoffschicht hoch und werden mit der weiter eintretenden Luft vermischt. Die Wärmeentwicklung muss, bis sie zur Zündung führt, den kühlenden Einfluss der Luftzufuhr überwinden. Dies bedeutet eine Verzögerung des Brennvorganges. Das im unteren Teil der Retorte entgaste und dann gezündete Material, das mit Luft durchmischt ist, glüht und brennt in einem, von unten immer wieder nachstossenden Haufen. In diesem sind die Temperaturen sehr hoch, da er kaum mehr Luft durchlässt als theoretisch notwendig ist. Aus dieser Schicht entweichen Kohlenoxyd- und Kohlendioxydgase, welche im Feuerraum, wenn dieser richtig gestaltet und gross genug ist, mit dem Luftüberschuss über dem Seitenrost durchmischt und verbrannt werden. Solange der Kohlennachschub anhält, kommt es in der Regel nicht zur Schlackenbildung oder Verkrustung, da die Schichten immer wieder aufgebrochen werden. Falls sich schon in der Retorte Schlacken bilden, werden sie auf die Seitenroste geschoben. Dort verbrennt der mitgeführte Koks unter reichlicher Luftzufuhr. Auf dem Seitenrost bleibt die Schlacke je nach dem Schlackencharakter und der Feuerführung als Kuchen oder körnig zurück und wird von Zeit zu Zeit durch die Feuertüren herausgezogen.

Um die Leistung zu verändern, wird die Kohlen- und Luftzufuhr verstärkt oder vermindert. Schon beim Rückstellen der Luftzufuhr im Retortenteil kann es vorkommen, dass die Luft nicht mehr durch den Brennstoffhaufen hindurch-

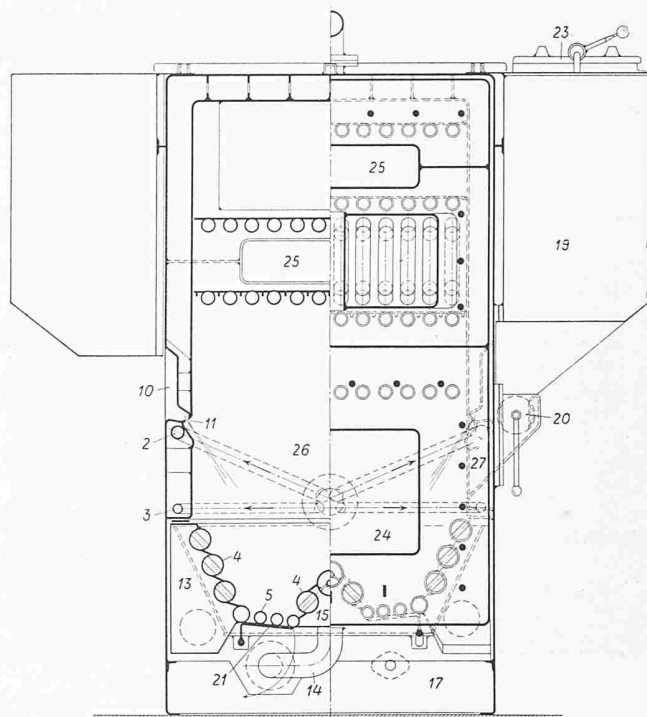
²⁾ «Haustechnische Rundschau», Februar 1953, Berlin.

³⁾ «Heizung, Lüftung, Haustechnik», September 1954, Heft 4, Düsseldorf.

dringt. Wird gleichzeitig die Bewegung eingestellt, so tritt die Verkrustung, die mit starker Oxydbildung verbunden ist, ein. Immerhin ist bei dieser Rostart ein Zurückregulieren der Feuerleistung gut durchführbar. Im Gegensatz zu den früher besprochenen Schachtfeuerungen befindet sich nicht so viel glühendes Material in der Feuerung, dass dessen Wärmeabgabe nicht schnell genug reduziert werden könnte. Rasches Abstellen für längere Zeit ist jedoch nicht ratsam, weil dabei die Rostteile von dem zurückbleibenden, hochoverhitzten Koksrest zerstört würden. Bei erneuter Brennstoff- und Luftzufuhr nach längerem Stillstand bricht der zusammengebackene Brennstoff auf, und die darunter zurückgehaltenen Kohlen-gase werden von der nachströmenden Luft abgestossen; erst nach einiger Zeit werden die Gase mit der Luft gemischt. Dann ergibt sich eine unvollständige Verbrennung mit Rauch- und Russbildung. Wird nach längerer Einschränkung wieder nur eine schwache Wärmeabgabe notwendig, so reicht oft der Unterwinddruck nicht aus, um den Kokshaufen zu durchbrechen. In der ersten Zeit muss stark nachgefahren und hierauf wieder zurückreguliert werden. Damit ergibt sich eine Komplikation, indem eine aufmerksame Bedienung notwendig wird. Wenn wir eben festgestellt haben, dass ein gas-reicher Brennstoff die Regulierung erschwert, so ist dies beim Koks nicht der Fall. Leider hat es sich jedoch gezeigt, dass bei der Verwendung dieses harten und scharfkantigen Ma-terials die Förderschnecke und die Retorte einem untragbar hohen Verschleiss ausgesetzt sind.

3. Wanderroste

Wanderroste (Bild 4), die nur bei grossen Anlagen ver-wendet werden, sind teure Konstruktionen. Der Brennstoff wird in verhältnismässig niederen Schichten in den Feuer-raum eingeführt und wandert durch diesen hindurch. Die Feuerungszonen sind hintereinander gereiht und örtlich ver-schoben. Die Luftzufuhr regelt sich teils durch die abneh-mende Schichthöhe, teils durch Luftzonenklappen unter dem Rost, die dem Verbrennungsvorgang entsprechend eingestellt werden. Trocknung, Wandlung, Zündung und Verbrennung er-folgen durch die rückstrahlende Wärme der Flamme im Feuerraum nach dem Brennstoff, der durch die betreffenden Verbrennungsphasen hindurchwandert. Bei dieser Feuerung sind die Verbrennungsvorgänge klar voneinander getrennt, und die Luftzufuhr wird dementsprechend eingestellt. Sie



Schnitt A-A — Schnitt B-B

Bild 5. Querschnitt durch den Ygniskessel. Die Primärluft wird durch Düsen, die durch die wassergekühlten Rostrohre geführt sind, in den Brennstoff eingeblasen; die Sekundärluft, die den Flammenwirbel hervorruft, wird durch die Düsen oberhalb der Kohleneinläufe in scharfem Strahl zugeführt. Legende siehe unten

lässt sich ausserordentlich gut regulieren und ergibt gute Verbrennungsverhältnisse.

4. Die Schrägrost-Uberschub-Feuerung

Dieser Feuerungstyp wird für grosse Braunkohlenkessel verwendet. Gegenwärtig setzt sich das ihm zugrunde liegende System mit den notwendigen Umgestaltungen und unter Ver-

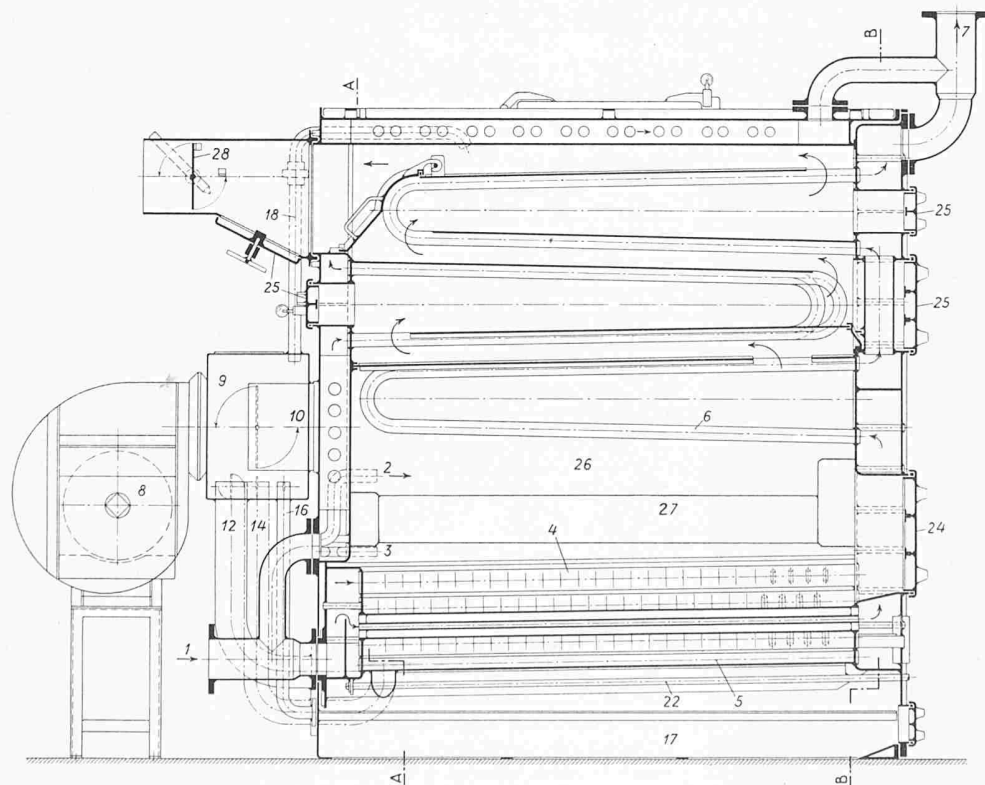


Bild 6. Längsschnitt durch den Ygnis-Kessel. Man beachte den langen, in der Auftriebrichtung ver-laufenden Weg der Rauchgase sowie die wechselseitige Anordnung der Rost- und Heizrohre, die eine freie Ausdehnung ermöglicht

- 1 Rücklauf
- 2, 3 Speisung der Seitenkammern
- 4 Rost-Injektorrohre
- 5 Rost-Basisrohre
- 6 Rohrbündel
- 7 Vorlauf
- 8 Ventilator
- 9 Luftkollektor
- 10 Sekundärluftkanal
- 11 Sekundärluftdüsen
- 12 Hauptprimärluft
- 13 Luftkammer zu 12
- 14 Hilfsprimärluft
- 15 Luftkammer zu 14
- 16 Luftzufuhr zu Aschenkammer
- 17 Aschenkammer
- 18 Bunkerluft
- 19 Kohlenbunker
- 20 Kohlenabsperreschieber
- 21 Aschenklappe
- 22 Drehachse zu 21
- 23 Gasdicht abschliessende Bunker-türe mit elektrischem Sicherheitskontakt
- 24 Feuertüre
- 25 Reinigungstüren
- 26 Verbrennungsraum
- 27 Kohlenschlitz
- 28 Rauchgasklappe

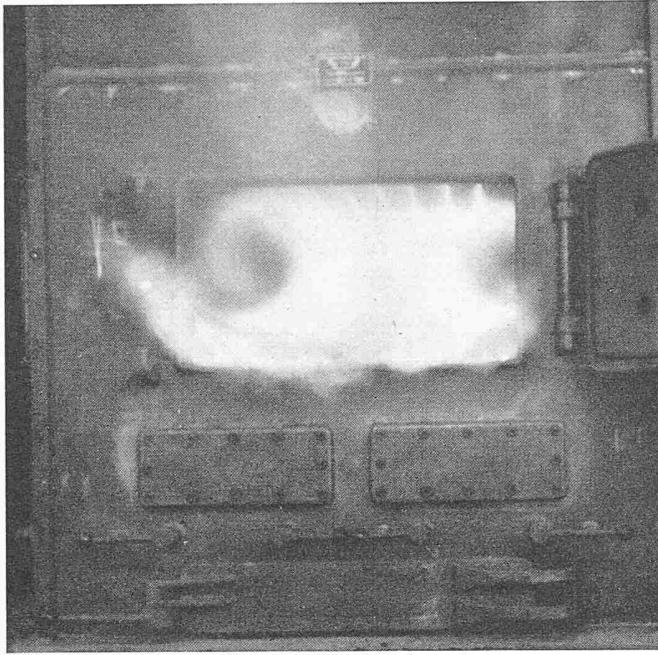


Bild 7. Ygniskessel; Blick auf die geöffnete Feuertüre bei vollem Betrieb. Man erkennt sehr deutlich den axial rotierenden Flammenwirbel (patentiert) bei Verfeuern von Koksgries, darüber das erste Rohrbündel

zicht auf Mechanisierung auch für kleinere Anlagen durch, und zwar in Verbindung mit dem *Ygnis-Kessel*. Dieser Kessel ist ein Beispiel für die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der Feuerung. Er wurde für Klein- und Grob-Koksfeuerung gebaut und kommt für Warm- und Heisswasseranlagen, in neuesten Ausführungen auch für industrielle Zwecke zur Anwendung. Wird Koks verwendet, so ist der Rost bei den, wie wir gesehen haben, sehr hohen Temperaturen wassergekühlt und als Teil der Kesselheizfläche ausgebildet. Damit wird auf bewegliche Rostteile verzichtet.

Diese Neukonstruktion berücksichtigt systematisch alle die Punkte, die den Verbrennungs- und Feuerungsvorgang verbessern. Kennzeichnend für sie ist die örtliche Trennung der einzelnen Verbrennungsphasen und die dem Bedarf und dem Zweck entsprechende Einführung der Verbrennungsluft. Das alles geschieht in der richtigen Erkenntnis, dass nur so die besten Leistungen und Ausnutzungen bei möglichst sparsamer Verwendung von Material und Platz erzielt werden können.

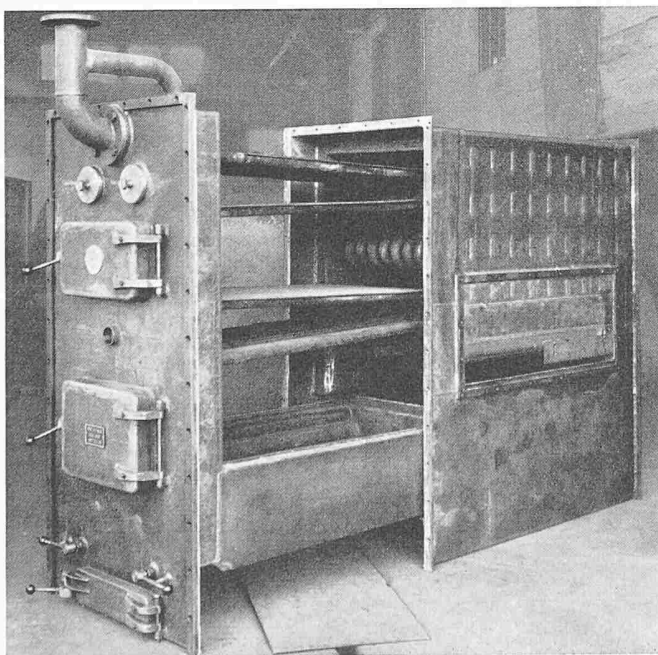


Bild 8. Ygniskessel, auseinandergezogen, alle Teile sind leicht zugänglich

C. Der Ygniskessel

1. Konstruktion

Es handelt sich um einen Wasserrohrkessel höherer spezifischer Leistung zum Verheizen von nicht backenden, körnigen Brennstoffen. Der Kessel ist auf den Bildern 5 und 6 dargestellt. Er weist einen trogförmigen, wassergekühlten Düsenrost auf, auf welchen der Brennstoff aus seitlichen, am Kessel angeordneten, taschenförmigen Bunkern entsprechend dem Abbrand selbsttätig nachrutscht und vergast. Der Bunkervorrat reicht für etwa 10 Stunden Vollast. Die Verbrennungsluft wird durch einen Ventilator, teils durch Düsen in den wassergekühlten Rohren, die den Rost bilden, durch das verhältnismässig niedere, glühende Brennstoffbett, teils als Sekundärluft durch oberhalb der Brennstoffzuläufe sitzende Düsenreihen in scharfem Strahl über das Brennstoffbett in den Feuerraum eingeblasen.

2. Verbrennungsvorgang

Die Luftströmung ist so gerichtet, dass die über dem Rost gebildeten Verbrennungsgase mit der Luft in starke Wirbelung und gute Durchmischung, daher zur raschen Verbrennung gelangen. Die dabei auf sehr hohe Temperaturen erhitzten Gase behalten durch den ganzen Feuerraum hindurch die Drehbewegung bei und geben ihre Wärme durch Strahlung und Berührung sehr intensiv an die wasserdurchflossenen Feuerraumwände und Kesselrohre ab. Am hinteren Ende des Brennraumes treten sie in die etagenförmig übereinanderliegenden Züge des Kessels ein. Der sich hierbei abspielende Verbrennungsvorgang entspricht weitgehend dem theoretisch erwünschten.

Der Brennstoff wird in nicht zu hoher Schicht unter dem Luftschleier in den Brennraum eingeführt, durch die Strahlungswärme der Flamme rasch getrocknet, erwärmt und zum starken Gas austreiben gebracht. Wasserdampf und Gase gehen sofort ab, so dass die Zündung und anschliessend die Verbrennung in der vom gerichteten Luftstrahl getroffenen Zone stattfinden kann. Da die zugeführte Luft gut regulierbar ist, wird es möglich, die Verbrennung nahezu mit der theoretisch notwendigen Menge durchzuführen. Für die vollkommene Durchmischung sorgt der Gaswirbel, Bild 7. Hiemit dürfte die Erklärung gegeben sein, weshalb beim Ygniskessel mit den vorteilhaft kleinen Kesseldimensionen auszukommen ist.

3. Schlackenverhältnisse

Bei den ausserordentlich hohen Temperaturen muss auch bei Brennstoffen mit hohen Schlackenschmelztemperaturen die zusammenfliessende Schlacke vollständig ausbrennen. Es bilden sich jedoch keine harten Schlackenstücke. Vielmehr bleibt die Schlacke porös und enthält keinen Kohlenstoff mehr.

Es ist im Betrieb ein grosser Vorteil, dass zum Entfernen der Schlacke der ganze Schlacken Kuchen mit einer Gabel ausgetragen werden kann. Nach Abstellen des Brennstoffzulaufes und etwas Abbrennen lassen der Glut wird mit dem Schlackenspiess das Glutbett umgelegt. Staubförmige Asche, welche durch die Rostspalten fallen würde, bildet sich sehr wenig, da sie bei den hohen Temperaturen in den Kuchen hineinschmilzt. Das Abschlacken ist in wenigen Minuten sauber und leicht durchführbar. Zehn Minuten nach dem Abschlacken ist der Kessel wieder auf Vollast. Sein Regelbereich ist sehr gross; er beträgt 1:20.

Ausser dem Füllen der Bunker und dem Abschlacken verlangt der Betrieb des Kessels keine Wartung.

4. Regulierung

Wie dem Früheren entnommen werden kann, passt sich die Feuerleistung gut dem jeweiligen Wärmebedarf an. Aller auf den Rost fliessende Brennstoff ist in kurzer Zeit sicher durchgezündet. Nur die für den momentanen Bedarf notwendige Brennstoffmenge befindet sich im Feuerraum. Verlangt die Heizungsanlage weniger Wärme, wird die Brennstoffzufuhr gedrosselt oder abgestellt. Bei einer notwendigen Leistungssteigerung wird sie verstärkt, und der Koks fliesst rascher nach, zündet und verbrennt.

Die intensive, nach der Zone der grössten Feuerintensität gerichtete Luftzufuhr unterstützt die rasche Anpassung der Verbrennung an den Wärmebedarf. Sie erhöht gleichzeitig den

Druck in der Verbrennungskammer; verlangt aber eine in allen Teilen luftdichte Konstruktion. Damit werden die bekannten Undichtheiten vermieden, welche die Abgasverluste erhöhen. Der hohe Druck im Feuerraum überwindet den Rauchgaswiderstand in den Berührungsheizflächen, so dass diese mit grosser Geschwindigkeit, — demnach bei guter Wärmeabnahme — bestrichen werden können, ohne dass ein höherer Kaminzug für den Betrieb des Kessels notwendig wäre. Es ergibt sich im Gegenteil, dass bei dieser Kesselbauart der Schornstein nicht mehr die Aufgabe hat, die Verbrennungsluft durch den Kessel zu fördern. Er muss nur so hoch gebaut werden, dass er die Kesselabgase ohne Belästigung der Nachbarschaft ableiten kann. Auch die Querschnitte der Kaminzüge und des Rauchkanals können bis auf einen Drittel der bisher üblichen vermindert werden, was oft aussergewöhnlich grosse bauliche Vorteile bringt.

Feinkörniger Brennstoff lässt sich mit guter Regulierung verbrennen, weil wegen günstigerem Verhältnis der Kornoberfläche zum Korngewicht die Erwärmung rascher und die Reaktionsgeschwindigkeit grösser sind. Die Reaktionsgeschwindigkeit steigt nämlich mit abnehmender Korngrösse rasch an. Im Gaswerk fällt der Kleinkoks zwar nicht in grösseren Mengen an. Die Entwicklung wird zeigen, ob die Vorteile des Kleinkoks dessen Bereitstellung rechtfertigen, oder ob bei Schachtfeuerungen, in welchen Grobkoks verwendet wird, die Vorteile grösser als die Nachteile sind. Abgesehen davon, dass Grobkoks grössere Transport- und Lagervolumen erfordert und bei der Förderung nicht so leicht fliesst wie der Feinkoks, ergeben sich bei spezifisch gleicher Kesselleistung grössere Ausmasse für Kessel- und Heizraum, dies ganz besonders bezüglich den Raumhöhen, was bei beschränkten Platzverhältnissen recht unerwünscht ist.

Das neuartige, durch mehrere Patente geschützte Ygnis-Verfahren, eine Verbrennung mit den besten Bedingungen zu verwirklichen, eröffnet weitere Möglichkeiten. So eignet sich diese Bauart auch für die Verwendung von schwer zündenden und aschenreichen Brennstoffen. Unter Umständen muss für grosse Fabrikessel, um teure Ausführungen zu vermeiden, auf die bei den kleineren Einheiten bestehende, leichte Demontierbarkeit verzichtet werden (Bild 8). Diese erlaubt es, bei Zentralheizungskesseln etwaige Reparaturen, wie Auswechseln von Kesselrohren, in so kurzer Zeit vorzunehmen, dass bei normalen Heizungsanlagen kein den Betrieb empfindlich störender Unterbruch eintritt. In vielen Fällen genügt daher ein grosser Heizkessel statt zwei Kesseln von halber Leistung, wodurch an Anlagekosten und Raum gespart werden kann.

D. Versuche und Erfahrungen

1. Versuchsergebnisse

Es liegen eine Reihe zum Teil amtlicher Abnahmeversuche vor, die bei verschiedenen Kesselbelastungen durchgeführt worden sind. Bild 9 zeigt den Verlauf der gemessenen Hauptgrössen in Abhängigkeit der Kesselbelastung für eine Einheit von 500 000 kcal/h voller Heizleistung. Im Vergleich zu bisherigen Kesselbauarten fällt der mit steigender Kesselleistung leicht abfallende Wirkungsgrad auf, welcher bei Vollast 82 % beträgt. Bei kleineren Belastungen fällt der Wirkungsgrad nicht ab, wie das sonst der Fall ist, sondern er steigt noch etwas an. So beträgt er z. B. bei $\frac{1}{4}$ -Last 89 %. Das ist die Last, mit der Heizkessel in der Heizperiode bei uns durchschnittlich beansprucht werden.

Dieses vorteilhafte Verhalten hat seinen Grund einerseits in dem auch bei geringen Belastungen höheren Kohlensäuregehalt. Bei der luftdichten Konstruktion tritt auch bei Schwachlast und beim Stillstand der Feuerung keine Falschluff in die Züge oder den Feuerraum ein. Andererseits wird der Wärmehalt der Feuer- und Rauchgase weitgehend ausgenutzt. Bei den hohen Anfangstemperaturen auf dem Rost ist die Aufnahme der strahlenden Wärme im Feuerraum sehr hoch, weil dessen Wände nicht, wie bei Schachtfeuerungen, während des grössten Teils der Betriebszeit durch Brennstoff abgedeckt sind.

2. Nachrechnung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse können beim Kessel, an dem die Werte nach Bild 9 gemessen wurden, auf Grund der räumlichen Verhältnisse, des zur Verfügung stehenden Feuerraum-

volumens und der wirksamen Kühlfläche rechnerisch nachgeprüft werden. Dazu werden die Heizflächen in die Strahlungsheizfläche des Feuerraumes, welche 4,1 m² aufweist, und in die aus der Ummantelung und den Rohren bestehende Berührungsfläche unterteilt, die 14 m² beträgt. In Tabelle 1 sind die massgebenden Grössen zusammengestellt (Kessel mit kleinem Feuerraum).

Im Strahlungsteil ist die den Rauchgasen entzogene Wärmemenge Q_R gleich der von den Strahlungsflächen aufgenommenen Strahlungswärme Q_{Str} . Der Wärmehalt I pro Normalkubikmeter Rauchgase, die Enthalpie, ist aus dem Diagramm von Rosin und Fehling⁴⁾ bei verschiedenen Rauchgastemperaturen zu entnehmen. Die Rauchgasmenge V berechnet sich aus dem Wirkungsgrad η , der Kesselbelastung Q und dem unteren Heizwert H_u des Brennstoffes, oder lässt sich genau genug aus weiteren Tabellen von Rosin und Fehling bestimmen. Daraus berechnet sich der Wärmehalt der Rauchgase ohne Abstrahlung, wobei man erhält

$$I = \frac{Q}{\eta \cdot V} = 720 \text{ kcal/m}^3$$

In Tabelle 2 sind die bei der Abkühlung wichtigen Grössen in Abhängigkeit der Rauchgastemperaturen berechnet. Den sich daraus ergebenden Abkühlungsverlauf zeichnen wir als Kurven $Q_R = I \cdot V$ in Bild 10 ein. Die von den Strahlungsflächen aufgenommene Wärme, welche wir hier gleich der von der Flamme ausgestrahlten Wärme setzen können, lässt sich theoretisch nach einer Formel von A. Schack⁵⁾ bestimmen. Die Berechnung ist aber so kompliziert und die dabei zu verwendenden Faktoren sind von den verschiedenen Verhältnissen, wie Strahlungszahlen der Kühlflächen, dem Schwärzgrad als Funktion der Absorptionszahl der Flamme, der Schichtstärke und der Form der Flamme abhängig, dass sie für unsere Zwecke praktisch unbrauchbar ist. Es wird daher ein Verfahren verwendet, welches von Wohlenberg und

4) Rosin P. und R. Fehling: Das I-t-Diagramm der Verbrennung, Berlin 1928.

5) W. Gumz: Handbuch der Brennstoff- und Feuerungstechnik, Springer, Berlin, 2. Auflage, S. 82.

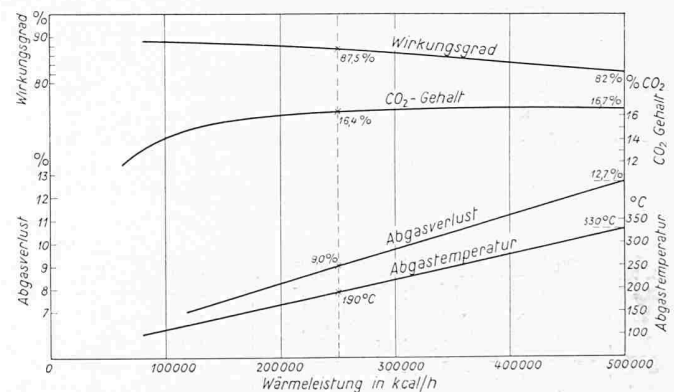


Bild 9. Betriebsversuch eines Ygniskessels von 500 000 kcal/h Normalleistung

Tabelle 1. Messwerte und Hauptdaten der untersuchten Kessel

Untersuchungspunkt		I	II	III
Feuerraum		normal	normal	vergrössert
Kesselleistung Q	kcal/h	500 000	250 000	500 000
Wirkungsgrad η	%	82,0	87,5	88
Brennstoffmenge B	kg/h	87	41	81,5
CO ₂ -Gehalt	%	16,7	16,4	15,8
Luftüberschuss	fach	1,26	1,4	1,26
Rauchgasmenge V	Nm ³ /h	850	430	800
Wärmehalt I	kcal/Nm ³	720	665	715
Strahlungsheizfläche	m ²	4,1	4,1	5,2
Berührungsheizfläche	m ²	14	14	—
Feuerraumvolumen	m ³	0,7	0,7	1,0
Feuerraumbelastung	kcal/m ² h	820 000	385 000	570 000
Strahlflächenbelastung	kcal/m ² h	148 000	70 000	110 000
Strahlungszahl C	kcal/m ² °C h	1,65	1,40	1,50

Tabelle 2. Zur graphischen Berechnung der Feuerraumtemperaturen und der durch Strahlung aufgenommenen Wärme

Rauchgas- tempera- tur t °C	Wärme- Inhalt I_t kcal/m ³	Untersuchungspunkt I (Vollast)				Untersuchungspunkt II (Halblast)				Untersuchungspunkt III (Vollast)			
		Wärme- gefälle $I - I_t$ kcal/m ³	Wärmeab- gabe der Rauchgase $V(I - I_t)$ kcal/h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,65$ pro m ² h kcal/m ² h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,65$ pro 4,1 m ² kcal/h	Wärme- gefälle $I - I_t$ kcal/m ³	Wärmeab- gabe der Rauchgase $V(I - I_t)$ kcal/h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,40$ pro m ² h kcal/m ² h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,40$ pro 4,1 m ² kcal/h	Wärme- gefälle $I - I_t$ kcal/m ³	Wärmeab- gabe der Rauchgase $V(I - I_t)$ kcal/h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,50$ pro m ² h kcal/m ² h	Wärmeabgabe durch Strahlung $C = 1,50$ pro 5,2 m ² kcal/h
1500	550	170	145 000	160 000	655 000	115	49 600	136 000	549 000	165	132 000	145 000	755 000
1400	510	210	180 000	127 000	520 000	155	67 000	108 000	434 000	205	164 000	115 000	600 000
1300	470	250	214 000	100 000	410 000	195	84 000	85 000	350 000	245	195 000	90 000	470 000
1200	430	290	248 000	77 000	316 000	235	102 000	65 500	269 000	285	228 000	70 000	350 000
1100	390	330	282 000	57 000	234 000	275	118 000	48 500	198 000	325	260 000	51 000	266 000
1000	350	370	320 000	41 000	168 000	315	136 000	34 800	143 000	365	292 000	37 500	195 000
900	318	402	350 000	30 000	123 000	347	150 000	25 400	104 000	397	318 000	26 000	135 000

Tabelle 3. Bestimmung der Wärmeübergangszahl α_B durch Berührung nach der Rechentafel von Münzinger

Temperaturen der Rauchgase			Vollast		Halblast	
			°C		°C	
am Eintritt	°C	1130	975			
	°C	330	190			
	°C	760	582			
am Austritt	m/s	18,8	8,5			
	m/s	8	3,1			
	m/s	13,4	5,8			
Wärmeübergang durch Berührung α_B			kcal/m ² °C h	25	16	

Tabelle 4. Nachkontrolle der totalen Wärmeübergangszahl durch Berührung

		Vollast	Halblast
Durch Strahlung übertragener Anteil	%	42,8	48,5
Abgasverluste (berechnet)	%	12,7	9,0
Restverluste (geschätzt)	%	5,3	3,5
durch Berührung übertragener Anteil	%	39	39,2
entspr. Wärmemenge	kcal/h	237 500	114 000
Wasseraustrittstemperaturen	°C	90	50
mittlere log. Temperaturdifferenz Δt	°C	565	405
Ges. Wärmeübergangszahl durch Berührung α_{Bt}	kcal/m ² °C h	30	20

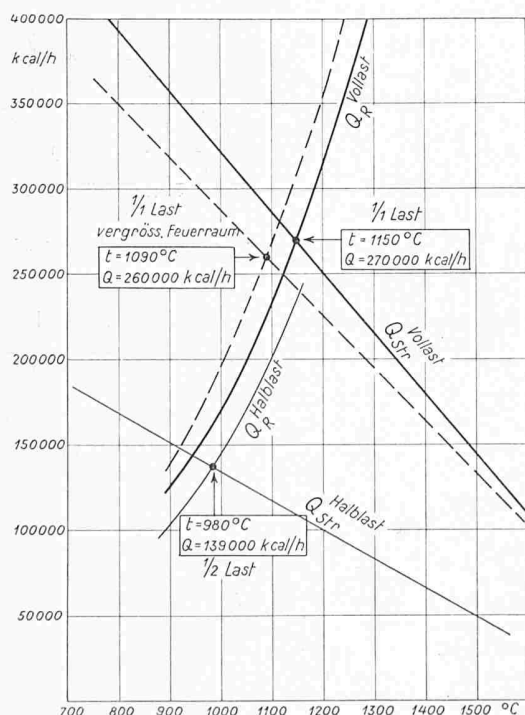


Bild 10. Graphische Bestimmung der Feuerraumtemperaturen

Orrok u. A. entwickelt und von F. Münzinger⁶⁾ für den technischen Bedarf ausgearbeitet wurde. Damit wird die Berechnung auf das Steffan-Boltzmannsche Gesetz zurückgeführt, wonach die strahlende Wärme

$$Q_{Str} = F \cdot C \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4$$

ist. Hierin bedeuten F die strahlungsaufnehmende Fläche des Feuerraumes, T_2 die Flammentemperatur in °K und T_1 diejenige der Kühlfläche, die gleich der Kesselwasser-Temperatur gesetzt werden darf. Die hier zu verwendende Strahlungszahl C berücksichtigt alle oben angeführten Faktoren, wenn man sie von der Feuerraumbelastung, der erst abzuschätzenden Kühlflächenbelastung und dem Brennstoffcharakter (flüchtige Bestandteile bei Steinkohle oder unterer Heizwert bei Braunkohle) abhängig macht. Zu dieser Bestimmung von C , welche in der Tabelle eingetragen ist, dienen Kurvenblätter. Damit ergeben sich für die abgestrahlte Wärmemenge auf die 4,1 m² grosse Feuerraumfläche bei den verschiedenen Feuerraumtemperaturen die beiden Zahlenreihen, welche wiederum in Bild 10 als Kurven Q_{Str} für Vollast und Halblast eingetragen sind.

An den Schnittpunkten mit den Kurven Q_{Str} lesen wir die gesuchten Feuerraumtemperaturen auf der Abzisse mit 1150 °C für Vollast, mit 980 °C für Halblast, und auf der Ordinate, die durch Strahlung aufgenommene Wärme mit 270 000 kcal/m² h für Vollast und mit 139 000 kcal/m² h für Halblast ab. Es werden daher im Feuerraum 42,8 % bzw. 48,5 % von der eingeführten Wärme durch Strahlung aufgenommen. Hiermit können wir nach den Angaben von Marcand⁷⁾ die Verbrennungstemperatur nachprüfen und erhalten dort 1120 °C, bzw. 980 °C.

Zur Berechnung der Wärmeaufnahme im Berührungsteil verwenden wir die Formel von Nusselt⁸⁾, ausgearbeitet als Rechentafel von F. Münzinger⁹⁾, indem wir daraus die Wärmeübergangszahl α_B durch Berührung in Abhängigkeit der Rauchgastemperatur und der Rauchgasgeschwindigkeit im Berührungsteil ablesen. Wir erhalten die Zahlen der Tabelle 3. Zur Berechnung der Rauchgasgeschwindigkeiten diene der aus der Kesselkonstruktion ermittelte Rauchgasquerschnitt in den Zügen von 0,065 m².

Die Rauchgase geben auch im Berührungsteil Strahlungswärme durch H₂O- und CO₂-Strahlung ab¹⁰⁾, deren Anteil an der Erhöhung der Wärmeübergangszahlen sich nach den Tabellen von Schack¹⁰⁾ bestimmen lässt. Diese Anteile betragen 5 kcal/m² °C h für Vollast und 4 kcal/m² °C h für Halblast. In Tabelle 4 ist eine Nachkontrolle der totalen Wärmeübergangszahl α_{Bt} auf Grund der Wärmebilanz durchgeführt, wobei α_{Bt} nach der Gleichung

$$\alpha_{Bt} = \frac{Q_{Be}}{\Delta t \cdot H}$$

berechnet wird. Hierin bedeuten Δt die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz zwischen dem Rauchgasein- und

⁶⁾ Münzinger F.: Dampfkraft, Berlin 1935.

⁷⁾ Prof. Dr. W. Marcand: Rostfeuerungen. VDI-Verlag 1934, Anhang 1.

⁸⁾ W. Gumz: S. 84 u. ff.

⁹⁾ F. Münzinger: Dampfkraft.

¹⁰⁾ A. Schack: Der industrielle Wärmeübergang, Düsseldorf, Stahl- und Eisenverlag.

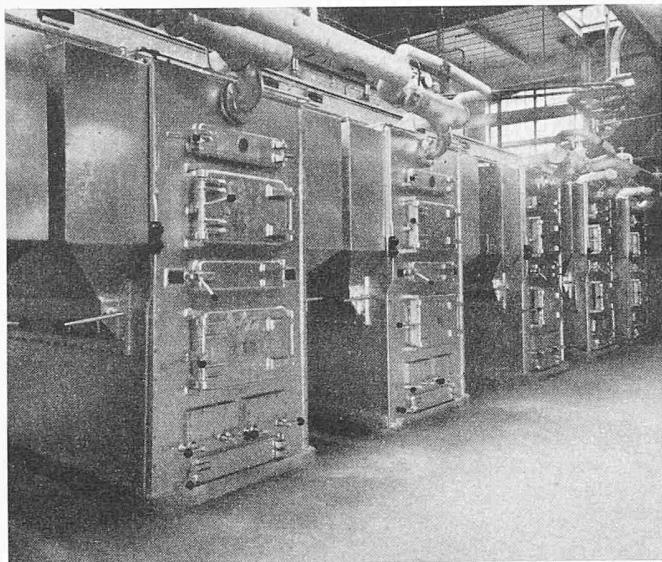


Bild 11. Heizzentrale der Werke der Stadt La Chaux-de-Fonds mit sechs automatisch wirkenden Ygniskesseln von je 1 Mio kcal/h Heizleistung

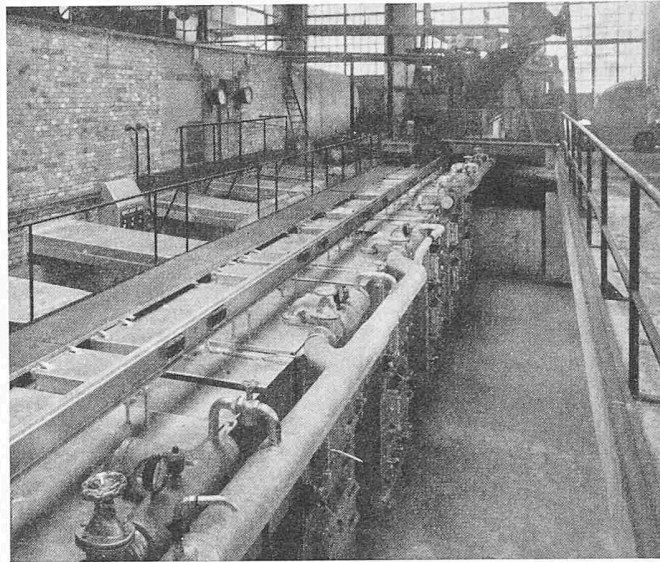


Bild 12. Bekohlungseinrichtung in der Heizzentrale Bild 9. Bekohlung, Abschlacken, Wartung und Reinigung aller sechs Kessel werden von einem Mann durchgeführt

-austritt und dem Wasserein- und -austritt bei Gegenstrom und H die Berührungsheizflächen (14 m^2).

3. Anwendung für andere Brennstoffe

Der Nutzen einer solchen Rechnung besteht darin, dass aus ihr der Einfluss der Konstruktion auf den Wirkungsgrad und auf die Gasabkühlung beurteilt werden kann. Wir sehen, dass niedere Feuerraumbelastungen und niedere Strahlflächenbelastungen, d. h. ein grosser Feuerraum, die Feuerraumtemperatur herabsetzen und eine grosse Rauchgasgeschwindigkeit im Berührungsteil dazu beiträgt, die Abgastemperaturen weiter zu senken. Wir sind in der Lage, dies am untersuchten Kesseltyp nachzuprüfen. Im Hinblick auf die Preisschwankungen auf dem Brennstoffmarkt wäre es erwünscht, auch grobkörnigen Koks, möglicherweise auch gasreichere Brennstoffe in Kesseln der beschriebenen Bauart zu verbrennen zu können. Kürzlich sind die Versuche mit einer solchen Brennstoffen angepassten Kesselkonstruktion ausgeführt worden. Es war dazu notwendig, den Feuerraum um rd. 30 % zu vergrössern. Die entsprechenden Zahlen sind auf der letzten Rubrik der Tabellen 1 und 2 angeführt, und die daraus sich ergebenden Kurven sind in Bild 10 gestrichelt eingetragen. Wie ersichtlich, ergibt sich bei Vollast eine Feuerraumtemperatur von 1090°C bei einer Wärmeabnahme von $260\,000 \text{ kcal/h}$. Gleichzeitig wurde der Rauchgasquerschnitt in den Rohrreihen so verkleinert, dass sich eine auf

15 m/s gesteigerte mittlere Rauchgasgeschwindigkeit einstellte. Damit steigt die Wärmeübergangszahl durch Berührung auf $29 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ \text{C h}$, und bei gleicher Wärmeübergangszahl durch Strahlung ergibt sich $\alpha_{Bt} = 34 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ \text{C h}$.

Wollte man die selben Rechnungen für die bisher üblichen Heizkessel mit Schachtfuerungen durchführen, so ergäben sich grosse Schwierigkeiten, weil sich bei dem fortschreitenden Abbrand der Schicht das Feuerraumvolumen und die Grösse der bestrahlten Flächen verändern. Ausserdem verändert sich der Widerstand des Brennstoffbettes und damit die Luftmischung. Die Verbrennungsintensität kann nicht mehr beurteilt werden. Da beim Ygniskessel diese Veränderungen nicht auftreten, wurde er als Berechnungsbeispiel gewählt.

Nachdem gezeigt wurde, wie durch die Berechnungen die Zweckmässigkeit der Konstruktionen bestätigt wird, ist es erfreulich, festzustellen, dass es einem Schweizer Unternehmen gelungen ist, Heizkessel zu bauen, welche sich den Bedürfnissen bezüglich Betrieb und Marktlage anpassen und zu erfahren, dass diese schweizerische Konstruktion auch im Ausland in grossem Umfang nach Lizenzen hergestellt wird. Die Bilder 11 und 12 zeigen die Kesselanlage für das Heizwerk der Stadt La Chaux-de-Fonds, die mit sechs Ygniskesseln von je 1 Mio kcal/h Heizleistung ausgerüstet ist.

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. Robert Palm, Militärstrasse 44, Basel.

achtung: die Schweiz

Unter diesem Titel ist vor wenigen Tagen eine kleine Broschüre als zweite Nummer der «Basler politischen Schriften»¹⁾ herausgegeben worden. Sie ist als eigentliche und zwingende Fortsetzung der ersten Schrift der Reihe aufzufassen. Diese ist etwa vor zwei Jahren mit einem unter dem Titel erschienenen Heft «Wir selber bauen unsere Stadt» angefangen worden. Damals — wir dürfen das ruhig in Erinnerung rufen — waren die an der Landes- und Regionalplanung massgebend beteiligten Kreise von der Tatsache überrascht worden, dass sich zwei Laien zum Wort gemeldet hatten, um städtebauliche Probleme einmal anders, als von uns geübt, zu beleuchten. Markus Kutter und Lucius Burckhardt, zwei Humanisten mit Interesse an Stadtplanung und Baugesetzgebung, schrieben; sie genossen die wohlwollende Unterstützung von Max Frisch, der in einem viel beachteten und heftig diskutierten Vorwort einige seiner präzise gefassten und aufs knappste formulierten Gedanken spritzig beifügte.

«Wir selber bauen unsere Stadt» ist bei uns Planern nicht in Vergessenheit geraten, obwohl das bei der Schwemme der

¹⁾ Verlag F. Handschin, Basel. Preis geh. Fr. 3.15.

Architekturpublikationen durchaus möglich gewesen wäre. Heute überraschen uns die beiden Kämpfer wieder, nur ist ihr ehemaliger Sekundant Frisch inzwischen Waffenkamerad geworden. Als Sekundanten treten im zweiten Kampf zwei Architekten, Rolf Gutmann und Theo Manz, auf, dazu stehen im Hintergrund zwei Vertreter der Wirtschaft, ein Staatsbeamter und ein kantonaler Parlamentarier, Wache. «Ein Gespräch über unsere Lage und ein Vorschlag zur Tat», so lautet der Untertitel der Broschüre, die das Ergebnis einer gewalteten Diskussion unter den genannten ist.

Beim Lesen der Schrift (kann ich dieses Verschlingen der Zeilen und Seiten überhaupt noch Lesen nennen?) bedauert man eines — nicht dabei gewesen zu sein, als die Probleme besprochen und die Argumente, scharfen Pfeilen gleich, hin und her geschossen wurden und flitzten. Das scharfe Zischen spürt man noch und das klingende Auftreffen der sitzenden Pfeile vernimmt man. Dieses Gespräch gefällt. Wo stehen wir heute mit unserem Städtebau? Wo entsteht in der Schweiz ein Stadtteil, der uns als Ganzes und nicht nur seiner blumenverzierten, gepflegten Balkongeländer wegen

DK 711.2