

Man kann dann den Kessel auch in zwei Einzelkessel aufteilen, die ständig parallel durchströmt werden und nur durch eine gemeinsame Kesseltrommel über die Fall- und Steigleitungen und die Sattldampfleitungen verbunden sind.

Bei dieser Kesselkonstruktionsart ist auf absolute Symmetrie zu achten, damit sich gleiche Betriebsbedingungen in den getrennten Zügen einstellen. Bild 7 (S. 93) zeigt eine solche Kesselanlage. Die Kesseltrommel liegt jeweils auf den Seitenwangen des Kesselgerüsts auf, so daß eine gleichmäßige Dehnung der Gesamtanlage möglich ist. Kesselaufbau, Reinigungsart usw. sind wie bei der vorher beschriebenen Abhitzeanlage.

Bild 8 (S. 93) zeigt ein Wärmeflußbild, aus dem die abgeführten Wärmemengen des Kessels nach Bild 7 die entstehenden Verluste durch Leitung und Strahlung sowie den Abgasverlust zu ersehen sind. Annahme bei der Erstellung dieser Wärmeflußbilder ist die eingeführte Abgaswärme in den Kessel mit 100%. Die Wärmeverteilung ist im großen und ganzen bei den meisten Abhitzeanlagen hinter Glaswannen die gleiche.

2.3. Kombination von Abhitzekegel und Rekuperator

Eine besondere Anpassung an die Betriebsbedingungen ist durch eine Kombination zwischen Abhitzekegel und Rekuperator möglich. Eine solche Kombination besteht aus einem direkt hinter dem Glasschmelzofen angeordnetem Kessel, einem dazwischen geschaltetem Rekuperator für die Luftvorwärmung sowie einer nachgeschalteten Kesselverdampfungsfläche und einem Economiser. Diese Kombination hat den großen Vorteil, daß die Abgaseintrittstemperaturen in den Rekuperator

mit etwa 800 bis 1000 °C relativ niedrig liegen, womit die Verwendung hochwertiger teurer Materials vermieden wird und außerdem eine lange Lebensdauer des Rekuperators gewährleistet ist.

Eine Wasserrohrstrahlungsheizfläche, wieder als Strahlungskanal ausgebildet, baut die Temperaturspitze ab, so daß das Gas verhältnismäßig einfach in den Überhitzer geleitet werden kann. Ein großer Teil der noch vorhandenen Wärme nach dem Überhitzer wird in dem nachfolgenden Rekuperator an die Verbrennungsluft abgegeben.

Die Restwärme geht dann über Verdampferheizflächen und Speisewasservorwärmer wieder in den Kesselkreislauf über. Entgegen den bisher gezeigten Kesseln handelt es sich — wie Bild 9 (S. 93) zeigt — bei der Abhitze Kombination um einen reinen Wasserrohrnaturumlaufkessel. Der quadratische Nachverbrennungsraum ist von Wasserrohren kleineren Durchmessers gebildet. Das Gas tritt seitlich in den Nachverbrennungsraum ein. Zum Staubtrichter hin sind die Wasserrohre eingezogen und bilden eine Art Boden, damit direkte Einstrahlung verhindert wird. Im oberen Teil dieses Raumes ist der Überhitzer in geteilter Form angeordnet. Infolge der durch die Kombination andersartigen Wärmebilanz liegt der Überhitzer in einem verhältnismäßig hohen Temperaturbereich. Seiner Bedienung ist also ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Das Gas verläßt nun mit einer Temperatur von etwa 800 bis 1000 °C den eigentlichen Kessel im oberen Bereich und kehrt abgekühlt auf etwa 400 bis 500 °C wieder in den Kessel zurück. Die Heizflächenkonstruktion ist — wie im vorherigen bereits erläutert — aufgebaut, um eine leichte Reinigung zu ermöglichen. Bild 10 (S. 94) zeigt das Wärmeflußbild dieser Anlage. (45271)

DK 662.994:621.181.62:666.1.031.2

Abhitzekegel hinter schwerölbefeuerten Glaswannen mit Regenerativkammern und einem Betriebsdruck von 10 und 30 atü

VON HERBERT RÖDEL, Hof (Saale)

(Vortrag auf der 40. Glastechnischen Tagung am 11. Mai 1966 in Heidelberg (Neckar))

(Eingegangen am 1. Juni 1966)

Für die wirtschaftliche Betriebsführung von Glaswannen mit Regenerativkammern ist die Ausnutzung der Abgaswärme wünschenswert. Kommt die Verwertung der Abwärme zur Eigenkrafterzeugung nicht in Frage, werden üblicherweise Abhitzekegel mit niedrigen Betriebsdrücken eingesetzt. Die Schwierigkeiten, die beim Betrieb solcher Kesselanlagen auftreten, werden dargelegt.

Es werden Korrosionsschäden an einem 10 atü-Rauchröhren-Kessel behandelt und Art und Umfang sowie Häufigkeit der Ursachen der Korrosionen aufgezeigt. Untersuchungsergebnisse von Taupunktmessungen werden erläutert und die Einflüsse von Taupunkt und Korrosionspunkt gegenübergestellt. Weiterhin werden die Ergebnisse von Abhilfemaßnahmen, wie Vorwärmung des Speisewassers und Druckhalterregelung der Kesselanlagen, dargelegt und auf die Notwendigkeit des Einsatzes von Kesselanlagen mit höheren Betriebsdrücken hingewiesen.

Bei den Kesseln mit höheren Betriebsdrücken wird besonders auf den Einbau eines La-Mont-Kessels eingegangen, der ausgelegt für einen Betriebsdruck von 30 atü, in den Rauchgaskanal hinter einer Glaswanne eingebaut wurde. Die rasche Austauschbarkeit der Rohrbündel zum Zwecke der Reinigung stellt einen besonderen Vorteil dar.

Die hohen Kosten für Brennstoffe zwingen zu einem möglichst wirtschaftlichen Einsatz. Dies gilt natürlich besonders für Glashütten mit ihrem hohen Wärmebedarf und hohem Abwärmeanteil. Eine wirtschaftliche Form der Abwärmeverwertung ist die Eigenkrafterzeugung von Energie, nur ist die Eigenkrafterzeugung in vielen Fällen und aus verschiedenen Gründen nicht anwendbar. Die Gründe können zum Teil in der Tarifsituation für die

Belieferung der Glashütten mit elektrischer Energie aus den Versorgungsnetzen der Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen liegen, zum anderen aber auch in der fehlenden Möglichkeit, wirtschaftliche Entnahme-Kondensations-Kraftanlagen einsetzen zu können. Zudem ist es vielfach wünschenswert, für die Wärmeversorgung der Glashütten Dampfdrücke von etwa 10 atü im Versorgungsnetz zu haben, um bei der weiträumigen Aus-

dehnung der Werksanlagen die Wärmeverluste in tragbaren Grenzen zu halten und mit relativ kleinen Rohrleitungsquerschnitten arbeiten zu können.

Wenn also eine eigene Energieversorgung für den Glashüttenbetrieb nicht in Betracht kommt, ist der Einsatz von Regenerativkammern und Abhitzekesseln mit niedrigen Betriebsdrücken der wirtschaftlichste Weg, die anfallende Wannenabwärme zu verwerten.

Der Einsatz von schwerem Heizöl hat sich in den letzten Jahren auch für die Befuerung von Glaswannen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten immer weiter durchgesetzt. Von der eingesetzten Wärme werden bei Tafelglaswannen aber nur etwa 40% für das Einschmelzen des Gemenges und die Aufrechterhaltung der Wannentemperatur benötigt. Der Rest ist in den Abgasen enthalten, die aus der Wanne abgeführt werden. Die Temperatur dieser Abgase liegt je nach der Entnahmestelle bei etwa 1300 °C.

Das Prinzip der Wärmewirtschaft zielt darauf ab, anfallende Abwärme dem Prozeß unmittelbar wieder zuzuführen, aus dem die Abwärme entsteht. Diesem Prinzip wird das Regenerativsystem gerecht. Durch die Abgase wird die Verbrennungsluft auf etwa 1100 °C vorgewärmt, die Abgase werden dabei auf etwa 500 bis 600 °C abgekühlt.

Der Nachteil des Regenerativprinzips besteht darin, daß es periodisch arbeitet und eine Umstellung der Brennergruppen und der Abgasführung erfolgen muß (Bild 1). Der Wechsel erfolgt normalerweise im Turnus von 30 min.

Die Regenerativkammer bringt etwa einen Wärmehintergewinn von einem Viertel der in die Wanne eingebrachten Gesamtwärme. Etwa ein Drittel dieser Gesamtwärme ist noch in den Abgasen nach Durchströmen der Regenerativkammer vorhanden und stellt damit das Wärmeangebot für eine zusätzliche Abhitzekesselanlage dar.

Wenn Eigenkraft nicht erzeugt werden soll, ist der Gedanke naheliegend, aus Kostengründen für die Wärmeverwertung einen Kessel mit möglichst niedrigem Betriebsdruck zu wählen. Außerdem sind dann Wartung und Speisewasserpfege einfacher als bei Kesseln mit höheren Drücken.

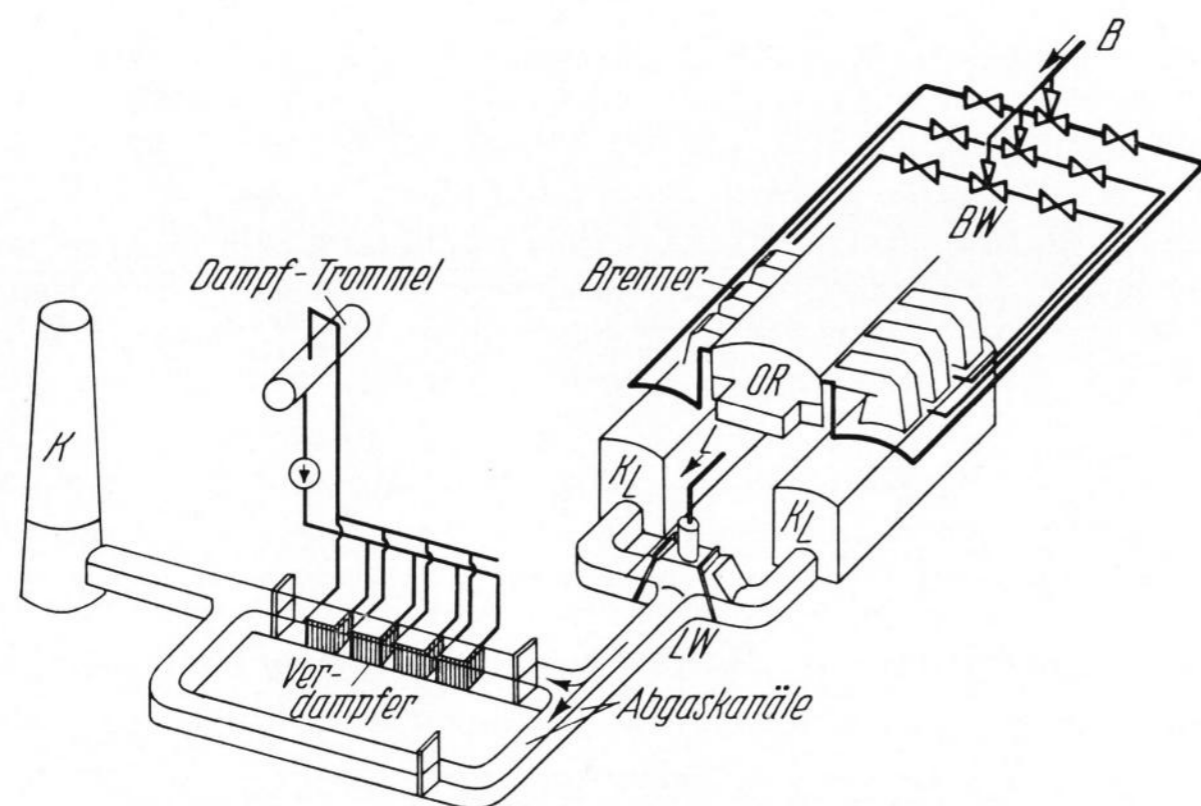


Bild 1. Schema für Wechsellagerung bei Ölfeuerung und Anordnung des Abhitzekessels.

OR = Ofenraum, B = Brennstoff, flüssig oder gasförmig kalt, BW = Brennstoffwechsel, L = Luft für Verbrennung, LW = Luftwechsel, KL = Luftkammer, K = Kamin.

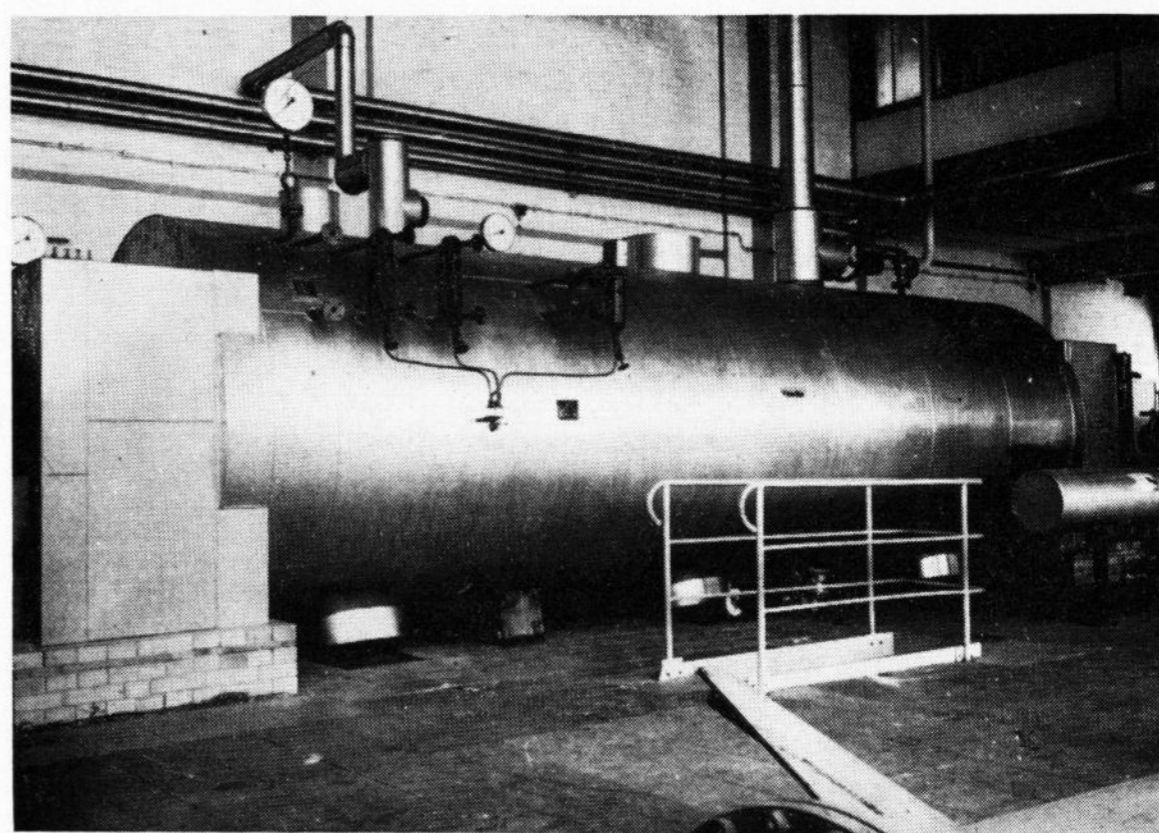


Bild 2. Rauchröhren-Kessel.

1. Rauchröhren-Kessel

Vornehmlich aus Traditionsgründen wird heute noch vielfach als einfachste Kesselbauart der Rauchröhren-Kessel verwendet (Bild 2). Der zulässige Betriebsdruck dieser Rauchröhren-Kessel ist meist mit 10 bis 15 atü begrenzt. Diese Rauchröhren-Kessel sind relativ billig in der Anschaffung. Bei gasbeheizten Wannen ist die Verschmutzung eigentlich das einzige Übel dieser Kesselbauart. Die Rauchrohre sind jedoch verhältnismäßig leicht zugänglich und können durch Öffnen der Gaseintritts- und -austrittskammer leicht gereinigt werden. Bei ölbefeuerten Glaswannen oder nach der Umstellung von gasbeheizten Wannen auf Schwerölfeuerung kommt als Erschwernis der schnelle Verschleiß, die Korrosionsanfälligkeit und die wesentlich stärkere und unangenehmere Verschmutzung hinzu.

Die Korrosionsanfälligkeit und Verschmutzung in Form von harten Krustierungen ist eine Folge der Unterschreitung des Rauchgastaupunktes an den Heizflächen. Der Taupunkt ist definiert als die Temperatur, bei der ein Gas-Dampf-Gemisch mit dem betreffenden dampfförmigen, kondensierbaren Bestandteilen gesättigt ist. Wird diese Temperatur ohne Druckänderung unterschritten, beginnt dieser Bestandteil auszukondensieren.

Eingehende Untersuchungen wurden an einem Rauchröhren-Kessel mit einem Genehmigungsdruck von 10 atü und einer Heizfläche von 130 m² durchgeführt. Der Abhitzekessel liegt hinter einer Glaswanne, die zunächst mit Generatorgas beheizt und dann auf die Beheizung mit Schweröl umgestellt wurde. Während bei der Beheizung mit Generatorgas am Abhitzekessel nur in großen Zeitabständen Schäden und Abzehrungen erkennbar wurden, änderte sich die Situation sofort nach der Umstellung auf Schweröl. Bereits nach wenigen Monaten Betriebszeit traten starke Korrosionen an den Rohrwänden und in den Rauchröhren auf, so daß letztere erneuert und die Rohrwände durch Auftragschweißung ausgebessert werden mußten. Nach weiteren knappen sieben Monaten Betriebszeit zeigten die Rohrwände erneut erhebliche Abzehrungen. Es wurden Rohrlochrisse erkennbar und ein Großteil der Rauchrohre mußte abermals erneuert werden (Bild 3).

Die Abzehrungen auf den Rohrwänden verliefen furchenartig zwischen den Rohrlöchern. Bei einer konstruktiven Rohrwanddicke von 27 mm wurden Korrosionsfurchen bis zu 11 mm Tiefe gemessen. Daß damit bereits eine Überbeanspruchung der Rohrwände

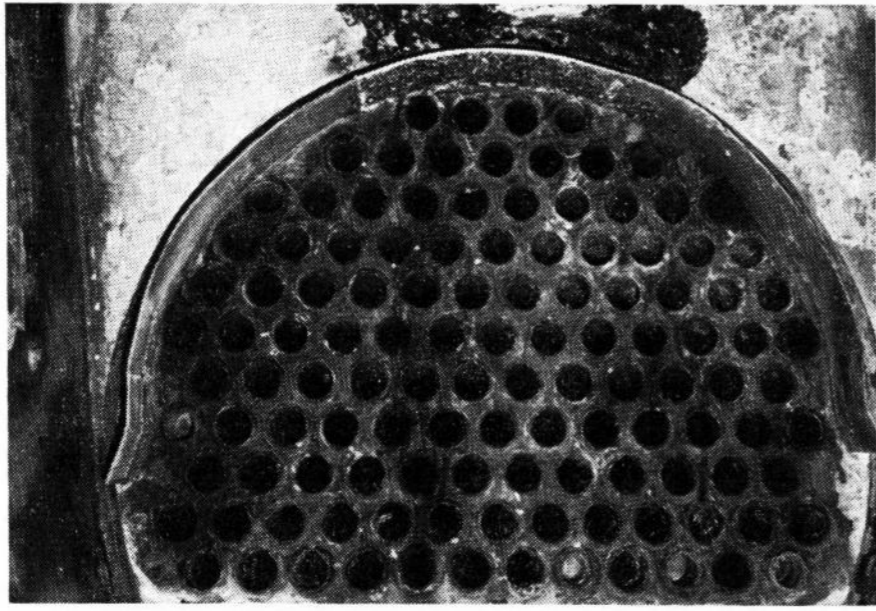


Bild 3. Rohrlochrisse in den Rohrwänden der Rauchrohre.

vorlag, zeigten die einsetzenden Stegrisse. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, daß die Korrosionen auf der Gaseintrittsseite annähernd in derselben Intensität auftraten wie auf der Austrittsseite. Die Rauchgastemperatur spielt also für die Korrosion eine untergeordnete Rolle, entscheidend ist die Wandungstemperatur. Die Hypothese, ein entstehender Kondensatfilm würde durch die Temperatur der Rauchgase sofort wieder aufgetrocknet, ist also nicht stichhaltig, wie die Korrosionswirkungen zeigen.

Die Verschmutzung erfolgte so rasch, daß meist schon nach wenigen Tagen sich an den Rauchrohren harte Schalenkrusten von erheblicher Dicke bildeten, die den rauchgasseitigen Widerstand beträchtlich erhöhten und die Wärmeleistung abfallen ließen. Eine Trockenreinigung war praktisch nicht mehr möglich, das Waschen der Heizflächen mit warmem Wasser brachte aber zusätzlichen Verschleiß in der Rauchkanalausmauerung und beträchtliche Erschwernisse für das Reinigungspersonal. Die Durchführung von Taupunkt- und Korrosionsmessungen sollte schließlich Aufschluß über Abhilfemaßnahmen bringen.

2. Schwefelkorrosion

Schweres Heizöl hat immer einen mehr oder minder hohen Gehalt an Schwefel. Je nach der Herkunft des Rohöles schwankt dieser im Bereich zwischen etwa 0,7 und 3,5 Gew.-%. Darüber hinaus wird auch mit dem Gemenge Schwefel eingebracht. Das Vorhandensein von Schwefel bzw. von Schwefeltrioxid führt aber zum Auftreten des sogenannten Säuretaupunktes, d. h. das SO_3 bildet mit dem Wasserdampf des Rauchgases bei Erreichen des Taupunktes Schwefelsäure, die auf den Heizflächen kondensiert. Der Säuretaupunkt liegt wesentlich höher als der Wassertaupunkt. Während dieser normalerweise im Bereich einer Wandungstemperatur von 50 bis 80 °C auftritt, liegt der Säuretaupunkt zwischen 130 und 180 °C; bei Vorliegen ungünstiger Bedingungen können 180 °C noch überschritten werden.

Der Hauptteil des vorhandenen Schwefels wird bei der Verbrennung zu SO_2 , ein geringerer Teil jedoch weiter zu SO_3 oxydiert. Während SO_2 und die bei Wasserzutritt entstehende schwefelige Säure keine große Korrosionsgefahr darstellen, ist die aus dem SO_3 entstehende Schwefelsäure außerordentlich aggressiv. Obgleich SO_3 in den Abgasen in äußerst niedriger Konzentration vorkommt — sie beträgt etwa 0,002 bis 0,006 % — ist der Einfluß auf die Taupunkttemperatur erheblich.

Über die Einflußgrößen auf die Bildung von SO_3 herrschen noch keine einheitlichen Meinungen. Die Oxydation zu SO_3 dürfte sich aber in der Verbrennungs-

zone abspielen, und zwar im wesentlichen als Ergebnis der Reaktion hochaktiver Sauerstoffatome, die durch die Aufspaltung von molekularem Sauerstoff in der Flamme vorhanden sind. Unterstützt werden dürfte dieser Oxydationsprozeß noch durch katalytische Einflüsse von Eisenoxiden oder Eisensulfaten bei höheren Temperaturen. Demzufolge müßte die SO_3 -Bildung im wesentlichen nach Ausbrand der Flamme abgeschlossen und eine nachträgliche Oxydation in den Rauchgas- und Kesselzügen nur noch minimal sein. Bei den in jüngster Zeit durchgeführten Untersuchungen an Dampfkesseln mit Schwerölbefuerung stellte sich ebenfalls eindeutig heraus, daß die SO_3 -Bildung hauptsächlich in der Flamme vor sich geht und vom Verbrennungsablauf beeinflusst wird.

Als Einflußgrößen für die Entstehung von SO_3 können gelten: 1. die Verbrennungstemperatur, 2. der Luftüberschuß und 3. der Schwefelgehalt des Brennstoffes. Der SO_3 -Anteil ist um so geringer, je höher die Verbrennungstemperatur liegt. Bei Glasschmelzwannen mit Flammentemperaturen über 1300 °C wirkt sich dies günstig aus, da der SO_3 -Anteil gegenüber dem SO_2 -Anteil gering bleibt.

Eine wesentliche Einflußgröße für die SO_3 -Bildung ist der Luftüberschuß. Entgegen der früheren Annahme, daß ein höherer Luftüberschuß die SO_3 -Bildung verringert, herrscht heute die Meinung vor, daß gerade durch die größere Verfügbarkeit an freiem Sauerstoff in der Ölflamme die Oxydation von SO_2 zu SO_3 begünstigt wird. Dies konnte durch Messungen bestätigt werden, die ergaben, daß bei einem Luftüberschuß von 10%, gegenüber einem solchen von 25% bei sonst gleichen Verbrennungsverhältnissen der Säuretaupunkt um 20 bis 25 grd abgesenkt werden konnte.

Die Art der Wannenbeheizung und die Zuführung heißer Verbrennungsluft aus den Regenerativkammern bedingt, daß mit einem relativ hohen Luftüberschuß gearbeitet werden muß, welcher die SO_3 -Bildung begünstigt.

Einen weiteren Einfluß auf die Entstehung von SO_3 bildet der Schwefelgehalt des Brennstoffes. Die Meßergebnisse darüber sind aber sehr unsicher. Es wird heute angenommen, daß nach Überschreiten der 1%-Grenze des Schwefelgehaltes im Brennstoff, es vom Standpunkt der Korrosionsgefahr ziemlich gleichgültig ist, ob ein Mineralöl beispielsweise 1,5 oder 3,5% Schwefel enthält. Diese Frage wird nur dann akut, wenn es sich um Anforderungen zur Reinhaltung der Luft handelt.

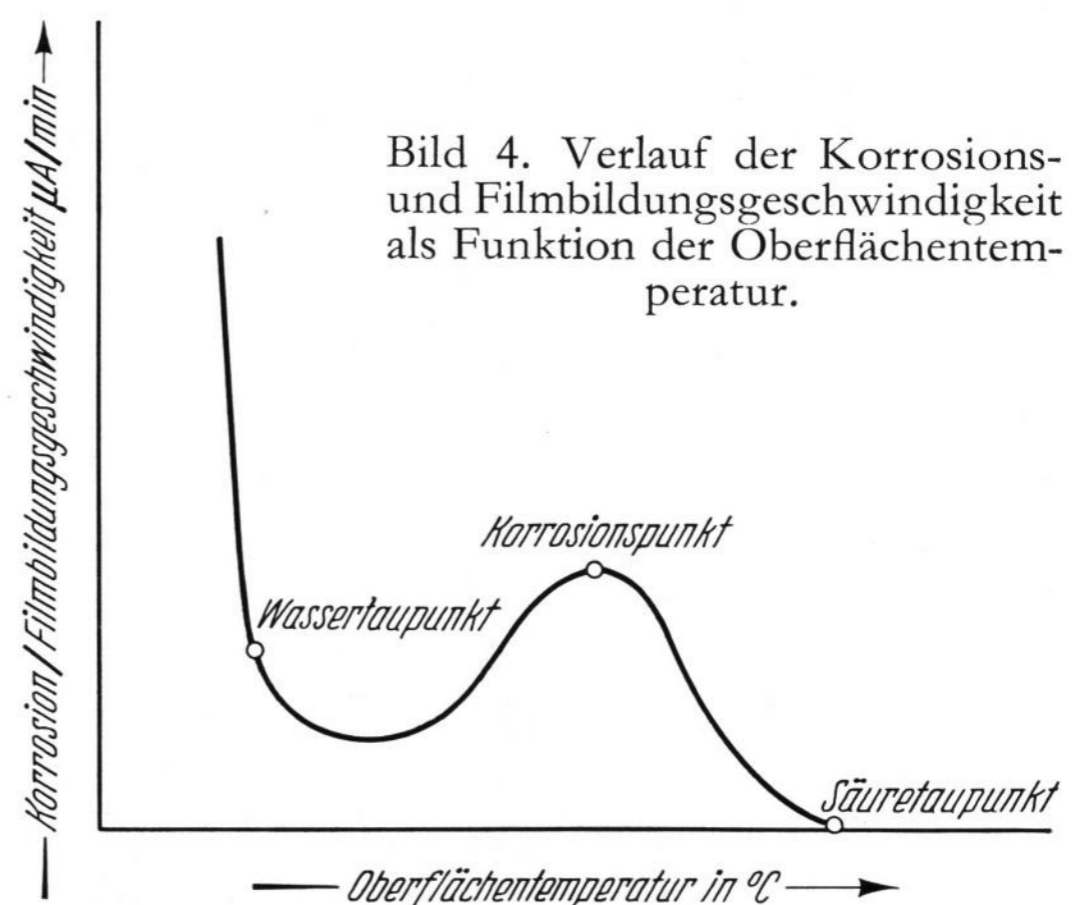


Bild 4. Verlauf der Korrosions- und Filmbildungsgeschwindigkeit als Funktion der Oberflächentemperatur.

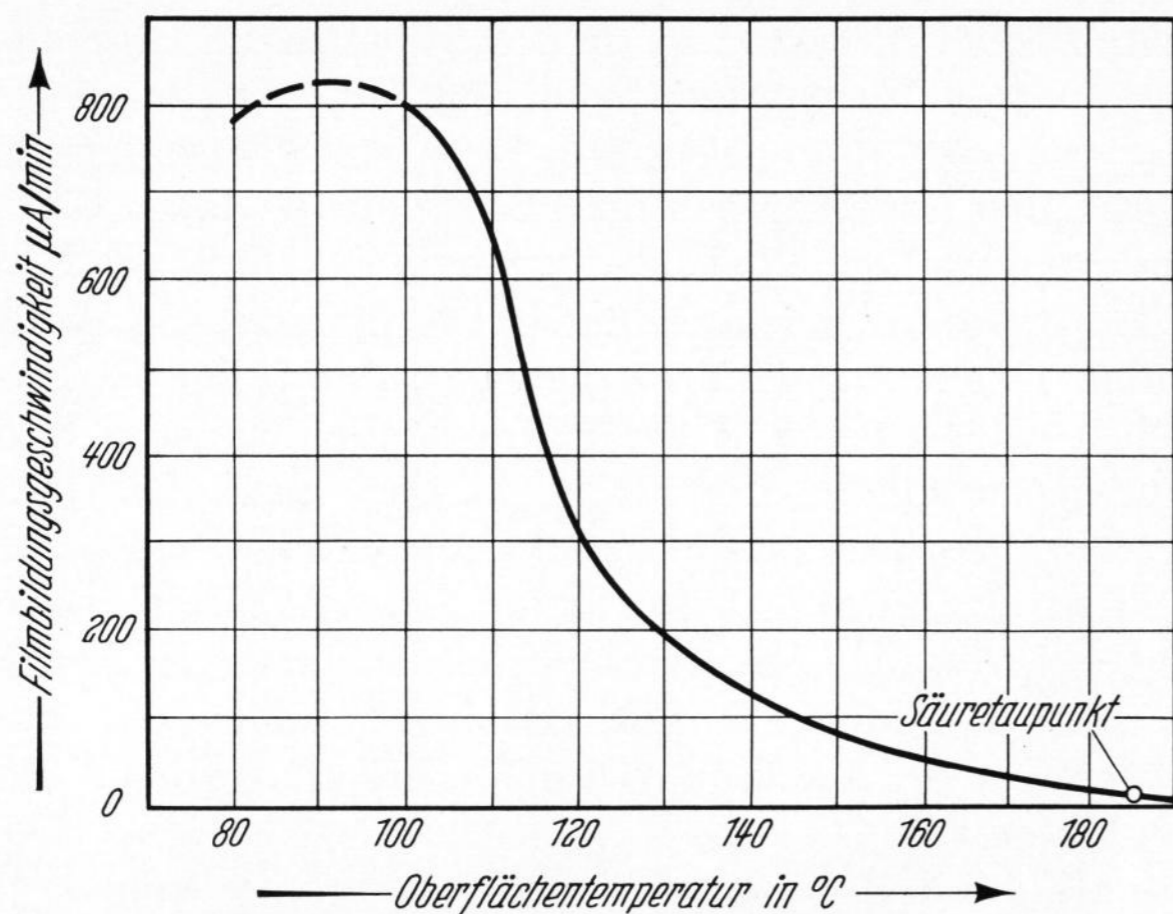


Bild 5. Filmbildungsgeschwindigkeit.

Abhitzekegel hinter Glaswanne (Rauchröhrenkessel 10 atü), Meßstelle hinter Rauchröhrenbündel (Abgastemperatur 520/230 °C).

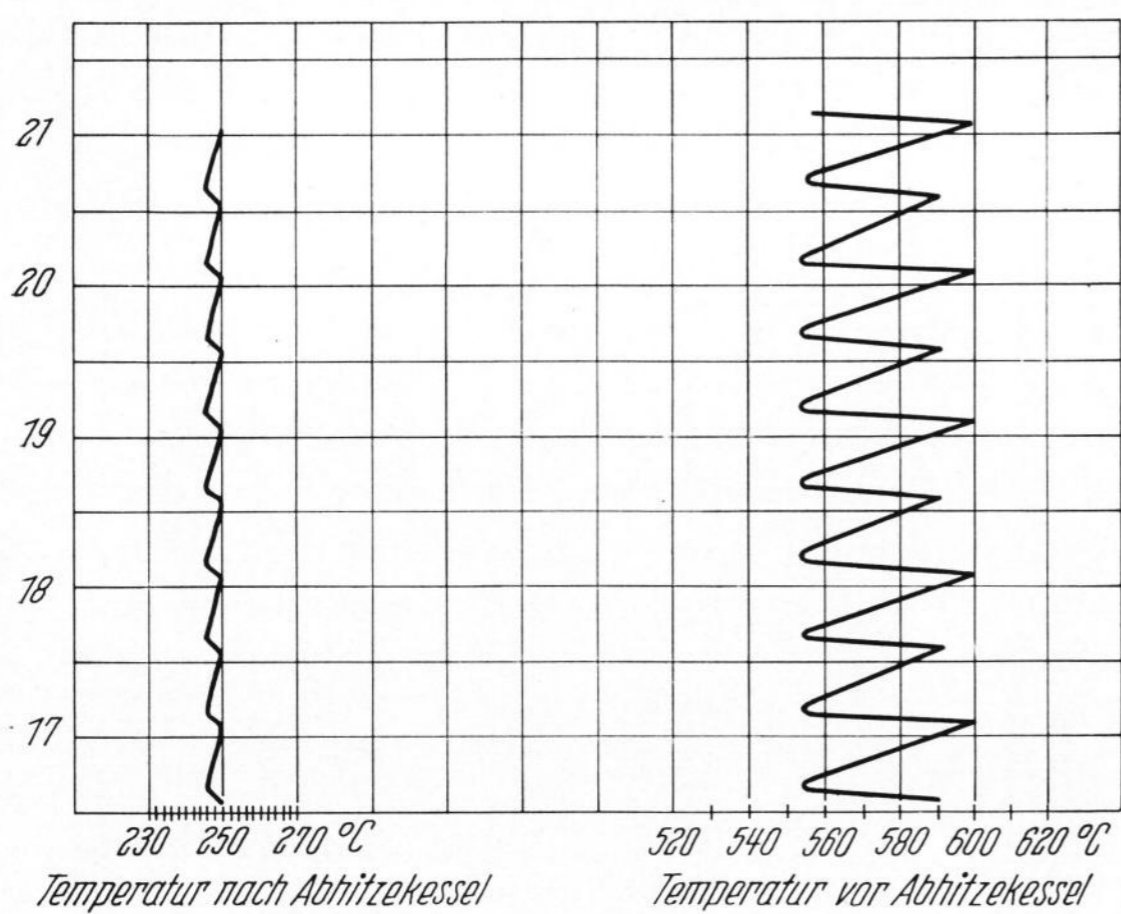
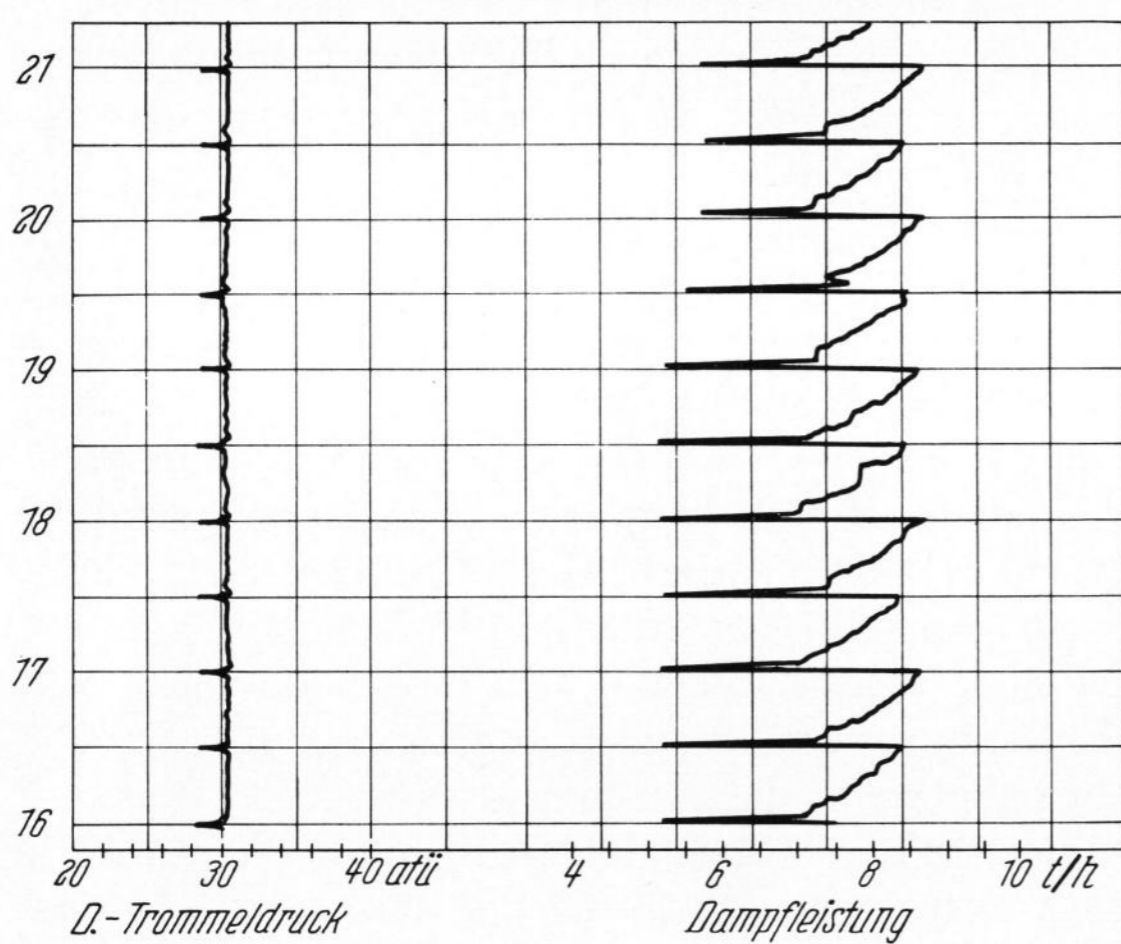


Bild 6. Abhängigkeit der Dampfleistung von der Abgastemperatur.

Bei Erreichen des Taupunktes ist aber normalerweise eine Korrosionsgefahr noch nicht gegeben, weil nur eine kleine Säuremenge kondensiert und diese noch eine hochkonzentrierte Säure ist. Als Maß für den Korrosionsablauf ist die Temperatur des Säuretaupunktes deshalb ungeeignet. Hierfür wird die Filmbildungsgeschwindigkeit herangezogen, die Aufschluß über das Ausmaß der Säurekondensationsmenge und Säurekonzentration gibt und damit ein Maß für die Korrosionsrate bildet (Bild 4).

Bei Temperaturen unterhalb des Säuretaupunktes steigert sich die Niederschlagsmenge meist zu einem Maximum, welches ungefähr 30 bis 50 grd unterhalb des Säuretaupunktes liegt. Dabei nimmt die Säurekonzentration ab, und das Kondensat wird sehr korrosiv. Bei weiterer Absenkung der Oberflächentemperatur geht die Niederschlagsmenge meist etwas zurück. Messungen haben ergeben, daß eine Abnahme der Korrosionswirkung damit im allgemeinen nicht verbunden ist. Die Temperatur, bei der die Korrosion ein Maximum erreicht, wird als Korrosionspunkt bezeichnet. Über den Korrosionsverlauf bei Temperaturen unterhalb des Korrosionspunktes können eindeutige Aussagen nicht gemacht werden, weil teilweise eine Verringerung der Korrosionswirkung beobachtet wurde, teilweise aber auch ein Gleichbleiben, und bei weiterem Temperaturabfall sich auch noch eine verstärkte Korrosion zeigte. Dieser Temperaturbereich ist aber für den Abhitzekegelbetrieb wenig interessant, weil auf jeden Fall die Temperatur mit dem Korrosionsmaximum durchfahren werden müßte.

2.1. Messung des Säuretaupunktes

Die Meßmethode des Säuretaupunktes bzw. der Filmbildungsgeschwindigkeit sollen nur angedeutet werden. Eine Beschreibung würde den Rahmen dieser Betrachtungen wesentlich überschreiten.

Gemessen wird der Taupunkt am einfachsten dadurch, daß eine gekühlte Fläche dem Rauchgasstrom ausgesetzt wird. Dabei wird die Oberflächentemperatur bestimmt, bei der sich ein Flüssigniederschlag bildet. Das Kondensat von Schwefelsäure wird über die elektrische Leitfähigkeit nachgewiesen. Der eigentliche Taupunktmeßkopf besteht aus Glas, Quarz oder Keramik. In diesem Meßkopf sind zwei Elektroden für die Leitfähigkeitsmessung und ein Temperaturfühler eingebaut. Der Meßkopf wird mit Luft oder CO_2 gekühlt.

Die Filmbildungsgeschwindigkeit ist ein Maß für die Menge der Säurekondensation in der Zeiteinheit und wird ausgedrückt in $\mu\text{A}/\text{min}$. Von Beginn der Taupunkttemperatur an wird in Intervallen von 10 grd der Stromanstieg pro min bei konstanter Temperatur gemessen. Die Filmbildungsgeschwindigkeit steht im direkten Verhältnis zur Korrosionsneigung. Die Auswertung der Meßergebnisse zeigt recht anschaulich den Verlauf der Niederschlagsmengen und die Abhängigkeit des Korrosionsverlaufes von der Oberflächentemperatur.

Bei dem besprochenen Abhitzekegel wurde der Säuretaupunkt bei etwa 185 °C festgestellt. Die Filmbildungsgeschwindigkeit hatte ein Maximum bei etwas über 100 °C mit einem Wert von fast 800 $\mu\text{A}/\text{min}$ (Bild 5).

2.2. Möglichkeiten zur Verhinderung der Zerstörung durch Säurekorrosion

Welche Möglichkeiten bestehen, die Zerstörung des Kesselwerkstoffes durch Säurekorrosion so weitgehend wie möglich zu verhindern?

1. Die Wannentemperatur bei der Wannenfeuerung liegt von Haus aus schon so hoch, daß von dieser Seite her eine Verringerung der SO_3 -Bildung kaum möglich ist. Diese Eingriffsmöglichkeit ist also gering.

2. Die Verringerung des Luftüberschusses mit dem Bestreben, nahezu mit stöchiometrischem Öl-Luft-Verhältnis zu fahren, ist auch nur im begrenzten Rahmen

möglich. Die hohe Vorwärmung der Verbrennungsluft in der Regenerativkammer erfordert Brenner, die eine ideale Mischung von Brennstoff und Luft unmittelbar am Brenner nicht zulassen. Trotzdem sollte immer mit dem minimal möglichen Luftüberschuß gefahren werden, einerseits zur Verringerung der SO_3 -Bildung, andererseits zur Verbesserung des Feuerungswirkungsgrades.

3. Die Verwendung eines schweren Heizöles mit möglichst geringem Schwefelgehalt ist nur dann sinnvoll, wenn schweres Heizöl mit weniger als 1% Schwefelgehalt zu günstigem Preis zur Verfügung steht. Meistens lassen sich die Mineralöllieferanten den geringen Schwefelgehalt in schwerem Heizöl durch einen Preiszuschlag honorieren. Liegt der Schwefelgehalt über 1%, ist er für die SO_3 -Bildung von untergeordneter Bedeutung. Der mit dem Gemenge in der Wanne eingebrachte Schwefel darf dabei nicht vergessen werden.

anlagen hinter Regenerativkammern nicht konstant bleibt, sondern in Abhängigkeit der Rauchgasabkühlung in der Regenerativkammer schwankt. Während also unmittelbar nach dem Wechsel der Brennergruppen und der Regenerativkammern die Temperatur am Austritt der Regenerativkammern zunächst niedrig liegt, steigt diese mit zunehmender Aufheizung der Kammern stetig an. Demselben Rhythmus der Temperatur unterliegt auch die Dampferzeugung (Bild 6).

5. Weiterhin sollte grundsätzlich angestrebt werden, das Speisewasser der Abhitzeesselanlage durch Speisewasserregler möglichst kontinuierlich zuzuführen. Um Teile der Kesselheizflächen durch das zugeführte Speisewasser örtlich nicht zu unterkühlen, ist es erstrebenswert, gerade bei Rauchröhren-Kesseln das Speisewasser in Hochdruckvorwärmern bis nahezu an die Sättigungstemperatur aufzuheizen. Als Heizmedium wird zweck-

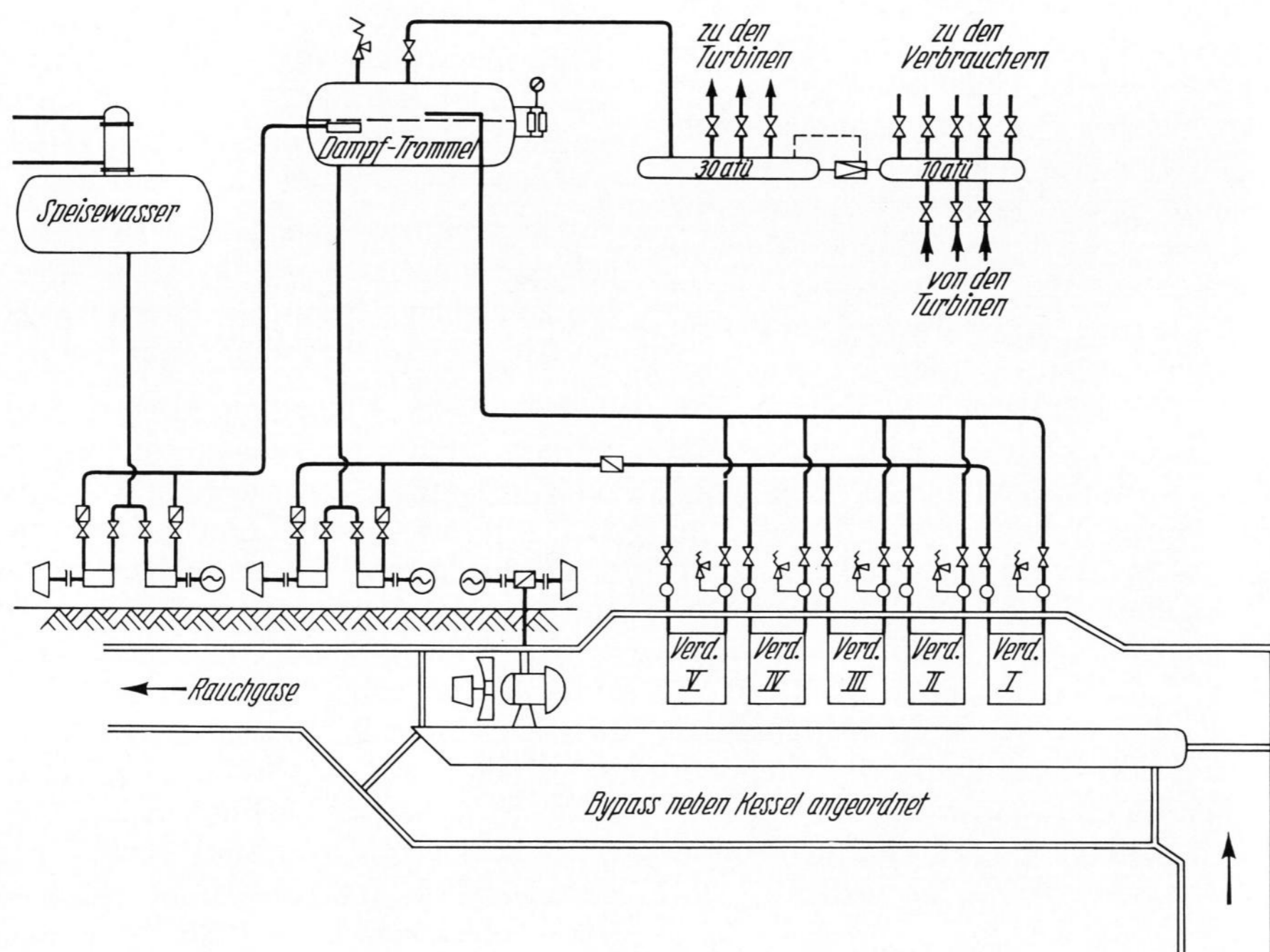


Bild 7. Schaltschema des La-Mont-Abhitzeessels

4. Die entscheidendste Eingriffsmöglichkeit, den Zerstörungen durch Säurekorrosion zu begegnen, liegt darin, die Oberflächentemperatur der Abhitzeesselheizflächen über den Taupunkt hinaus zu erhöhen. Die rauchgasseitige Wandungstemperatur bei Dampfkesseln liegt im allgemeinen um etwa 20 grd über der Sättigungstemperatur des Kesselwassers. Es ist deshalb anzustreben, diese Sättigungstemperatur mindestens auf 180 °C zu halten, entsprechend einem Betriebsdruck von 9,5 atü. Nachschaltheizflächen für Speisewasservorwärmung sind nach Möglichkeit zu vermeiden und sind bei Rauchröhrenkesseln auch nicht üblich.

Um die Konstanzhaltung des Betriebsdruckes mit mindestens 9,5 atü zu gewährleisten und nicht von den Druckschwankungen des Betriebsnetzes abhängig zu sein, empfiehlt sich der Einbau eines Druckregelventiles, das von der Kesseldruckseite gesteuert werden muß, d. h. also, erst bei 9,5 atü öffnet das Regelventil und läßt Dampf in das Betriebsnetz überströmen. Dies ist um so wichtiger, da die Dampferzeugung an Abhitzeessel-

mäßigerweise Dampf aus der Abhitzeesselanlage verwendet. Für den Hochdruckvorwärmer ist die Anwendung des Gegenstromprinzips am vorteilhaftesten.

Die Maßnahmen 4 und 5 wurden an der besprochenen Kesselanlage durchgeführt. Die Taupunktkorrosionen konnten damit noch nicht vollkommen vermieden werden; ein wesentlicher Erfolg war aber insofern gegeben, daß die Reisezeit wieder in eine vernünftige Relation zu den Aufwendungen gebracht werden konnte. Kesselreparaturen in der Größenordnung von 10000,— DM sind nicht tragbar, wenn sie alle fünf bis sechs Monate anfallen, ganz abgesehen vom Nutzungsausfall der Kesselanlage bei einer Reparaturdauer von mehreren Wochen.

Um vollkommen von dem zerstörenden Einfluß der Säuretaupunktkorrosionen wegzukommen, ist anzustreben, den Betriebsdruck von Abhitzeesselanlagen so hoch zu wählen, daß eine Sättigungstemperatur von wenigstens 230 °C in der Kesselanlage gewählt wird, entsprechend einem Betriebsdruck von etwa 30 atü.

3. La-Mont-Kessel mit Eigenkrafterzeugung

Eine interessante Lösungsmöglichkeit stellt eine neue Abhitzeesselanlage dar, die erst in jüngster Zeit verwirklicht wurde. Es wäre verfrüht, bereits jetzt einen Erfahrungsbericht geben zu wollen, denn an der Anlage sind noch Anfangsschwierigkeiten zu überwinden. Doch lassen die bisherigen Ergebnisse erkennen, daß die Erwartungen voll erfüllt werden können.

Obwohl aus tarifpolitischen Gründen eine Eigenstromerzeugung nicht vorgesehen ist, wurde die Anlage für einen Genehmigungsdruck von 32 atü ausgelegt. Die Kesselanlage ist nach dem La-Mont-Prinzip erstellt und bringt bei einer Rauchgas-Eintrittstemperatur von etwa 550 °C und einer Austrittstemperatur von rund 250 °C bei mittlerer Verschmutzung eine Dampfleistung von 8,0 t/h (Bild 7). Die fünf Verdampferbündel sind in den Rauchgaskanal eingehängt, jedes für sich absperrrbar und austauschbar. Aus konstruktiven Gründen haben sich nicht, wie es angestrebt war, alle Verdampferbündel in der gleichen Bauart erstellen lassen, doch konnte man mit zwei Bündelpaketen gleicher Bauart auskommen. Verdampferbündel I und II sowie Bündel III bis V sind jeweils gleich, so daß mit zwei Ersatzbündeln eine volle Austauschbarkeit erreicht wird. Die Bündel sind so konstruiert, daß nach Lösen der Schraubverbindungen zur La-Mont-Umwälzleitung jedes Bündel mit dem Hubstapler in kürzester Zeit aus- und auch wieder eingebaut werden kann, ohne daß damit eine längere Stillstandszeit der Abhitzeesselanlage in Kauf genommen werden müßte (Bild 8). Mit eingespieltem Bedienpersonal dauert ein Bündelwechsel etwa 30 bis 40 min. Die Bauart bringt insbesondere den Vorteil der raumsparenden Unterbringung — die Verdampferpakete ragen im abgedeckten Zustand nur etwa 60 cm über Hüttenflur bzw. Rauchkanalabdeckung heraus (Bild 9). Die Kesseltrommel wurde erhöht auf einer Hüttenbühne untergebracht, ebenso der Speisewasserbehälter mit Entgaser. Den größten Raum beanspruchten die Speisepumpen, die La-Mont-Umwälzpumpen und die Dampfverteiler (Bild 10).

Der Betriebsdruck in der Trommel wird durch ein Überströmregelventil auf 30 atü konstant gehalten. Das Speisewasser wird der Obertrommel zugeführt und wird durch ein Verteilerrohr in der Trommel gleichmäßig verteilt. Da die Umwälzwassermenge etwa dem Achtfachen der Dampferzeugung und damit auch der zugeführten Speisewassermenge entspricht, ist eine nennenswerte Absenkung der Sättigungstemperatur nicht gegeben. Das Umwälzwasser gelangt also praktisch mit Sättigungstemperatur von etwa 230 °C in die Verdampferbündel. Die Wandungstemperatur wird nicht unter

250 °C absinken können, einem Wert also, der mindestens 60 bis 65 grd über der Taupunkttemperatur liegt. Säuretaupunktskorrosionen dürften damit von vornherein ausgeschaltet sein. Bisher wurden auch keinerlei Korrosionserscheinungen beobachtet.

Das Betriebsnetz des Werkes besitzt einen Dampfdruck von 10 atü. Die erzeugte Dampfmenge aus dem Abhitzeessel muß also mit dem Überströmventil auf diesen Druck reduziert werden. Der Verzicht auf eine Eigenstromerzeugung muß aber nicht gleichbedeutend sein mit einem Verzicht auf Eigenkrafterzeugung für die Hilfsantriebe, wenn es die Verhältnisse anbieten. Im vorliegenden Fall war es also naheliegend, die Hilfsantriebe für Saugzuggebläse, La-Mont-Umwälzpumpe und Speisepumpe mit Gegendruckturbinen anzutreiben. Der Gegendruck der Hilfsturbinen liegt mit 10 atü in der Höhe des Druckes des Betriebsdampfnetzes. Die Turbinen führen den Abdampf unmittelbar dem Betriebsnetz zu. Wenn es die Erfahrung rechtfertigt, ist vorgesehen, auch die Kühlluft- und Frischluftgebläse der Wanne noch mit Hilfsturbinen anzutreiben. Die erzeugte Dampfmenge des Abhitzeessels reicht hierfür noch aus.

Die Abhitzeesselanlage wird vollautomatisch geregelt und von der Warte der Glaswanne aus überwacht. Ein zusätzlicher Personalaufwand für die Überwachung des Abhitzeessels besteht somit nicht.

Eine Schwierigkeit beim Betrieb von Abhitzeesselanlagen hinter Glaswannen soll aber am Rande noch gestreift werden. Das Gesetz zur Reinhaltung der Luft nach § 16 der GewO fordert bei Schwerölfeuerung verhältnismäßig große Kaminhöhen. Mit der Kaminhöhe Hand in Hand geht aber auch dessen Festigkeit. Es ist verhältnismäßig einfach, einen Kamin für eine in etwa konstant bleibende Rauchgastemperatur auszulegen. Es ist aber schwierig, die Spannungen in einem Kamin zu beherrschen, wenn die Rauchgase nach der Regenerativkammer, ohne Einschaltung eines Abhitzeessels, mit einer Temperatur von etwa 500 bis 600 °C eingeleitet werden sollen, andererseits aber auch bei Einschaltung eines Abhitzeessels mit einer Temperatur von nur etwa 250 °C. Die Armierung des Mauerwerkes der Kaminaußensäule mit Stahlbeton oder Bandstahlringen genügt nicht, um die Wärmespannungen aufzunehmen. Das Aufziehen von zusätzlichen Spannrings auf die fertige Kaminaußenseite ist kaum zu vermeiden, wenn Rißschäden vermieden werden sollen.

Mit Rücksicht auf den Kamin kann also die Alternative bestehen, eine Abhitzeesselanlage doppelt auszuführen, d. h. einen Abhitzeessel für den laufenden Betrieb, den zweiten zur Reserve. Dies erleichtert

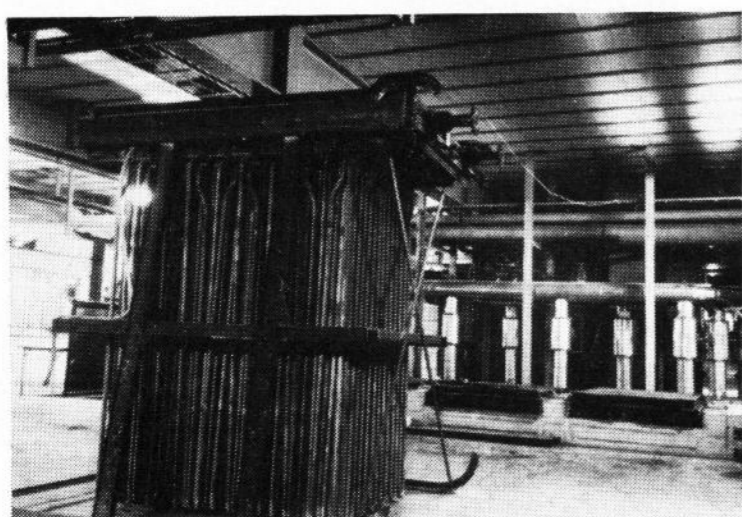


Bild 8. Verdampferbündel des La-Mont-Abhitzeessels.

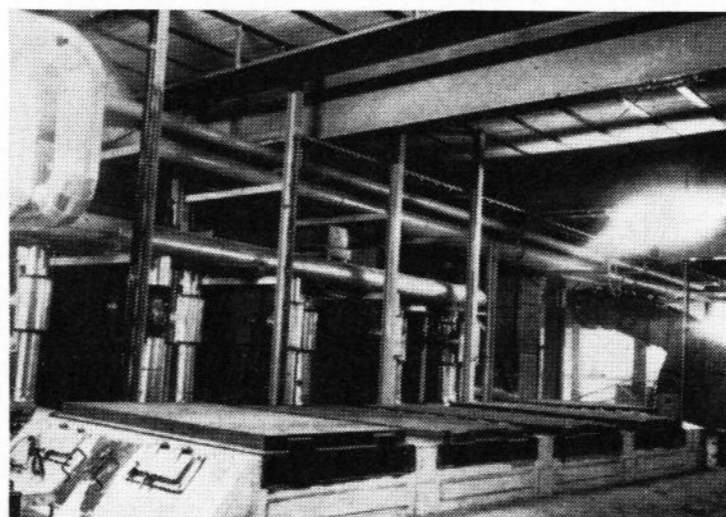


Bild 9. Anordnung der Verdampferbündel.

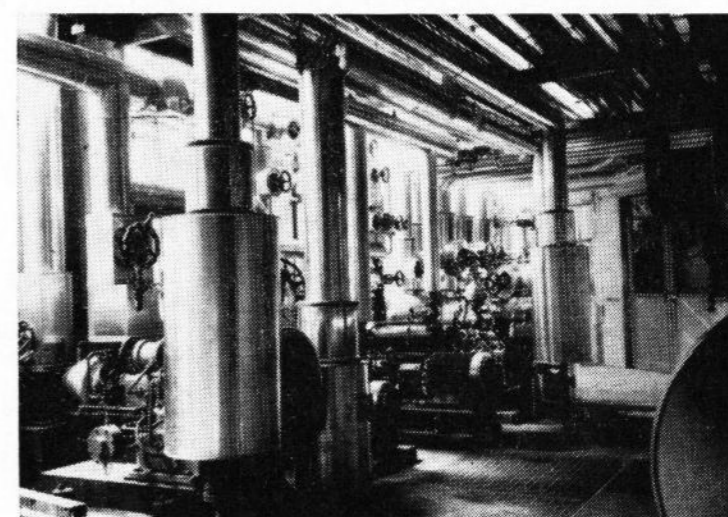


Bild 10 Kesselspeisepumpen.

natürlich die Reinigung, und ein Kessel ist jederzeit einsatzbereit zu halten. Andererseits erscheinen aber die hohen Investitionskosten für die Reservestellung nicht wirtschaftlich genützt. Der Kaminfrage ist also bei jeder Abhitzeesselanlage große Aufmerksamkeit zu schenken.

Im vorliegenden Fall wurde der Kamin hinter dem La-Mont-Abhitzeessel so gewählt, daß er die Rauchgase sowohl mit der hohen, als auch mit der niedrigen Temperatur aufnehmen kann. Eine Umfahrung des Abhitzeessels über einen Bypass ist also jederzeit möglich. Die wirtschaftlichen Einbußen sind in der kurzen Zeit

während des Austausches von Verdampferbündeln unerheblich.

4. Zusammenfassung

Die Schwierigkeiten, die sich für den Abhitzeesselbetrieb in der Glaswanne mit Regenerativkammern ergeben, sind vielfältiger Art. Sie sind aber zweifellos zu überwinden, und die wirtschaftlichen Vorteile der Wärmegewinnung, die im Betrieb nutzbringend einzusetzen ist, sind so groß, daß man auf den Einsatz dieser Kessel nicht verzichten sollte. (44392)

Referate

1a. Physik

DK 532.5.001.57:666.1.031.13:547.426.1

Modellflüssigkeit zur Untersuchung von Glasströmungen. (Modelling liquid for studying glass currents.) I. M. SHEINKOP, S. S. KUTUKOV und A. A. SOKOLOV. — Glass and Ceram. 21 (1964) Nr. 7/8, S. 451–452. (Amer. Übers. v. Steklo i Keram.)

Die klassische Modellflüssigkeit zur Untersuchung von Glasströmungen ist Glycerin, da dessen Beziehung zwischen Dichte, Viskosität und Temperatur der des Glases sehr ähnlich ist. Wenn allerdings die Strömung des Glases bei relativ niedrigen Temperaturen (1150 bis 1300 °C) z. B. in Speisern geprüft werden soll, ist die Viskosität von Glycerin unzureichend. Es wurde gefunden, daß in diesem Fall Mischungen aus Glycerin und Stärkesirup verwendet werden können, wobei die Beziehung zwischen Viskosität und Temperatur stark von der Menge der im Stärkesirup vorhandenen Trockensubstanz abhängt; ein Trockensubstanzgehalt von etwa 40% war am günstigsten. Zur Prüfung der Glasströmung in einem Speiser zur Herstellung von Faserglas ergab eine Mischung aus 80% Stärkesirup und 20% Glycerin gute Ergebnisse. Nach einer Lagerung von 18 Monaten in geschlossenen Behältern hatten sich Farbe und Eigenschaften der Modellflüssigkeit nicht verändert, und sie war nicht kristallisiert. Die Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur verschiedener Stärkesirup-Glycerinmischungen kann einer Tabelle entnommen werden. K. SCHULTE. (44114/1a)

DK 532.133:666.11.01

Zur Berechnung der Zähigkeits-Temperatur-Kurve des Glases aus Fixpunkten. Eine Erwiderung von OSCAR KNAPP. — Silikattechn. 17 (1966) Nr. 5, S. 139. (44858/1a)

DK 532.13:666.113.33'24

Untersuchung der Zähigkeit der Gläser des Systems $\text{TeO}_2\text{-Na}_2\text{O}$. (Orig. russ.) S. V. NEMILOV, A. K. JACHKIND und L. S. DAVYDENKO. — Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. neorg. Mater. 2 (1966) Nr. 4, S. 702–706. (*45014/1a)

DK 532.13:541.123.3:666.113.289'23'19:539.213.1

Viskosität sauerstofffreier glasbildender Systeme. 5. Mitt. Viskosität und Struktur von Gläsern des Systems As-Ge-Se im Bereich großen Selengehalts. 6. Mitt. Viskosität und Struktur von Gläsern des Systems As-Ge-Se im Gebiet geringen Selengehalts. S. W. NEMILOW. — Ž. prikl. Chim. 37 (1964) S. 1452–1457, 1699–1708. [Ref. Chem. Zbl. 137 (1966) Nr. 21-0232-0233, S. 6866.] (*44438/1a)

DK 532.133:666.192:666.112.9:546.289

Eine Untersuchung des Zähigkeits-Temperatur-Verhaltens der Systeme GeO_2 und SiO_2 . (A study of viscosity-temperature relationships in the GeO_2 and SiO_2 systems.) E. H. FONTANA und W. A. PLUMMER. — Phys. and Chem. Glasses 7 (1966) Nr. 4, S. 139–146.

Mit Hilfe eines Rotationsviskosimeters ($1,6 \cdot 10^9$ bis $4,4 \cdot 10^6$ P) und nach einem Balkenbiegeverfahren (10^6 bis 10^{16} P) wurde das Zähigkeitstemperaturverhalten von GeO_2 und Kieselglas untersucht. Während für Kieselglas ein Vergleich mit Literaturwerten, insbesondere Messungen von BRÜCKNER¹⁾ für den Bereich 10- bis 10^{12} P einer Tamann-Fulcher-Gleichung gemäß

$$\log \eta = -5,884 + \frac{27,115}{T}$$

folgt, gelingt dies für GeO_2 nicht. An Na_2O -verunreinigten

GeO_2 -Gläsern wird nachgewiesen, daß das Zähigkeitsverhalten dieses Glasbildners extrem empfindlich auf Netzwerk-wandler reagiert. O. VINZ. (45115/1a)

¹⁾ BRÜCKNER, R.: Charakteristische physikalische Eigenschaften der oxidischen Hauptglasbildner und ihre Beziehung zur Struktur der Gläser. Teil I. Schmelz- und Viskositätsverhalten der Hauptglasbildner. Glastechn. Ber. 37 (1964) S. 413–425.

DK 537.311.3:539.53:666.113.815'23'19

Elektrische Leitfähigkeit und Mikrohärtigkeit in glasi-gem und entglastem $\text{AsSe}_{1,5}\text{Pb}_x$. (Orig. russ.) E. V. ŠKOLNIKOV und Z. U. BORISOVA. — Vestn. Leningr. Univ. 1965, Nr. 4, S. 120–127. (*45019/1a)

DK 539.217.1:666.189.3:539.58

Einfluß der Porosität auf die Kompressibilität von Glas. (Effect of porosity on compressibility of glass.) J. B. WALSH, W. F. BRACE und A. W. ENGLAND. — J. Amer. ceram. Soc. 48 (1965) Nr. 12, S. 605–608.

Die von den Verfassern abgeleitete Gleichung für die Kompressibilität von porösem Glas stimmt mit der Beziehung von MACKENZIE überein, der einen Körper mit einer geringen Konzentration kugelförmiger Poren betrachtete, wenn man zur Grenze hoher Porosität übergeht. Die Gleichung von MACKENZIE gilt ebenfalls für den Fall nicht ganz kugelförmiger Poren, ergibt jedoch für den Fall mittlerer Porosität einen zu geringen Wert. Experimentelle Untersuchungen an 13 Gläsern mit Porositäten zwischen 0 und 70% zeigen bis auf das mittlere Gebiet, in dem die vorhergesagte Wechselwirkung der Poren auftritt, gute Übereinstimmung mit der theoretischen Beziehung.

G. H. FRISCHAT. (44209/1a)

DK 543.52.063:620.187:541.451

Möglichkeiten des Einsatzes eines Elektronenstrahl-Mikroanalysators zur Untersuchung oxidischer Materialien. HANNS MALISSA. — Tonind.-Ztg. 90 (1966) Nr. 9, S. 400–407. (45171/1a)

DK 536:666.11.01:620.181.42

Die Anwendung der DTA zur Untersuchung der thermischen Eigenschaften des Glases. (Orig. engl.) J. B. DAWSON und F. W. WILBURN. In: Therman Anal Proc. 1st Internat. Conf. Aberdeen. — London: McMillan 1965. S. 273. (*44984/1a)

DK 536.631:666.11.01

Berechnung der spezifischen Wärme listenmäßiger Gläser. (Orig. russ.) O. O. LJACH. — Chim. Prom. Inform. nauk.-techn. Zb. 1965, Nr. 2 (22), S. 30–31. (*45007/1a)

DK 536.413:666.113.311'18

Wärmedehnung einiger Alkaliphosphatgläser. (Thermal expansion of some alkali phosphate glasses.) M. K. MURTHY. — Phys. and Chem. Glasses 7 (1966) Nr. 2, S. 69 bis 70.

Wärmeausdehnungsmessungen an Alkaliphosphatgläsern (Aufheizgeschwindigkeit 3 grd/min, Proben ungekühlt) zeigen, daß sich das Transformationsgebiet bei diesen Gläsern nicht in einer Zunahme des Ausdehnungskoeffizienten ausdrückt. Die gefundenen Ausdehnungskoeffizienten betragen zwischen 200 und $300 \cdot 10^{-7}/\text{grad}$, die Einsinktemperaturren (plastische Deformation der Probe unter dem Meßdruck) zwischen 220 und 270 °C. O. VINZ. (45086/1a)