

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

A 140

BRENNSTOFFTECHNISCHE GESELLSCHAFT
IN DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

KOLLOQUIUM GASTECHNIK

am 8. und 9. April 1959 in Freiberg

GRUSON: Fragen der Koksverwendung - GRUSON: Erfahrungen mit neueren Koksprüfmethoden - HOLZHEY: Anforderungen des Hochofenbetriebes an den metallurgischen Koks - FRIEDEL: Die Bewertung von Koks für den Kupolofenschmelzbetrieb (Auszug) - STRIEBEL/TISCHER: Anforderungen des Calciumcarbidofens an die Koksqualität - SCHEFFLER: Das Austauschbarkeitsproblem der Brenngase und die Bedeutung der Wobbezahl - HERNING: Wärmewirtschaftliche Grundlagen industrieller Gasfeuerungen - KIESEL: Technische und wirtschaftliche Probleme der Lieferung von Raumheizgas



FFH
A140
C

3051 A140

AKADEMIE-VERLAG BERLIN

1960

Institut für Grubensicherheit
Zweigstelle Versuchsstrecke Freiberg
Institut für Explosions- und Brand
bekämpfung i. Bergbau u. in der Industrie

Umgang

1440

Inventar No.



Die

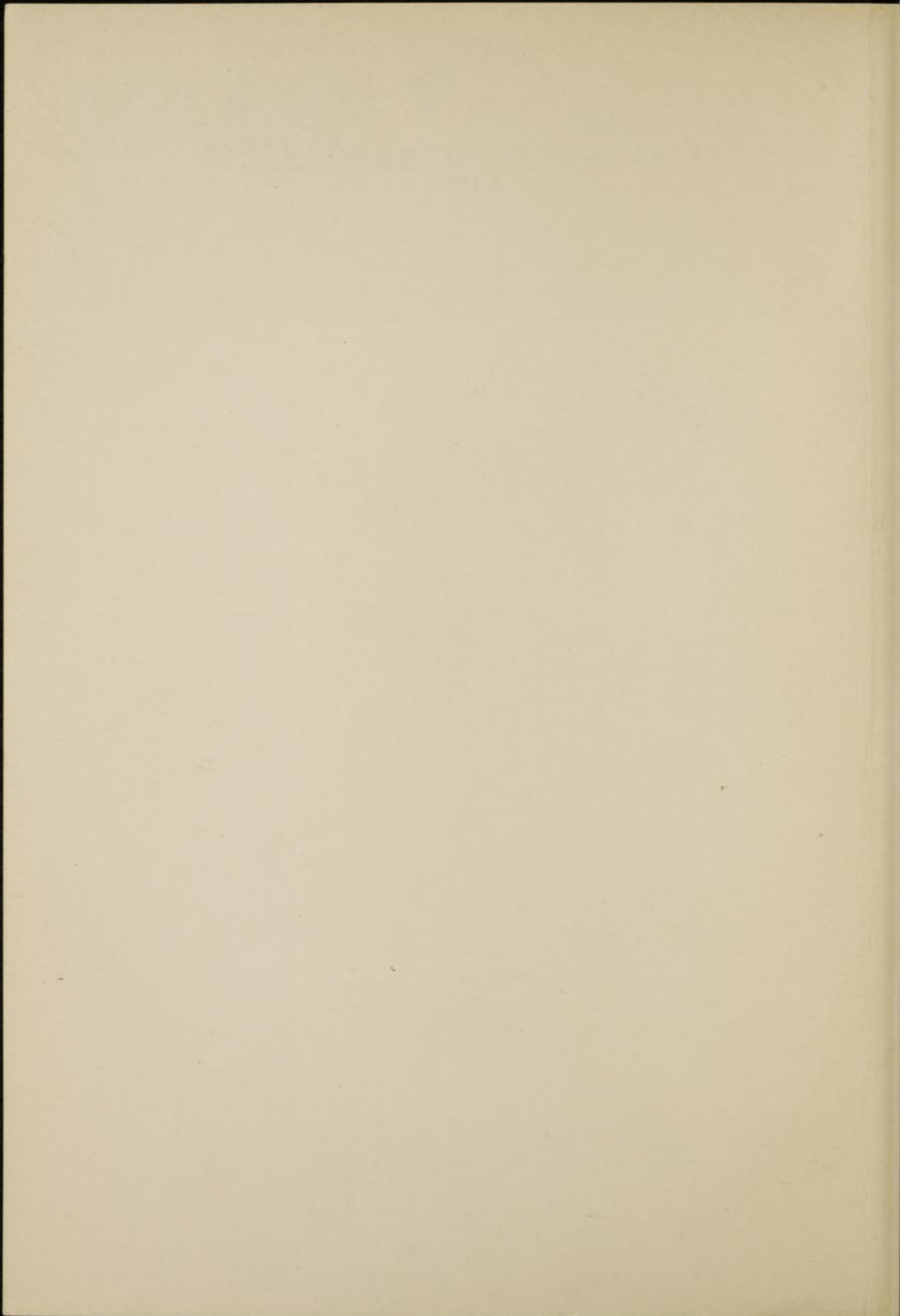
TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XVI 1142 . A140C

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFT

A 140



FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

A 140

BRENNSTOFFTECHNISCHE GESELLSCHAFT
IN DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

KOLLOQUIUM GASTECHNIK

am 8. und 9. April 1959 in Freiberg

GRUSON: Fragen der Koksverwendung — GRUSON: Erfahrungen mit neueren Koksprüfmethoden — HOLZHEY: Anforderungen des Hochofenbetriebes an den metallurgischen Koks — FRIEDEL: Die Bewertung von Koks für den Kupolofenschmelzbetrieb (Auszug) — STRIEBEL/TISCHER: Anforderungen des Calciumcarbidofofens an die Koksqualität — SCHEFFLER: Das Austauschbarkeitsproblem der Brenngase und die Bedeutung der Wobbezahl — HERNING: Wärmewirtschaftliche Grundlagen industrieller Gasfeuerungen — KIESEL: Technische und wirtschaftliche Probleme der Lieferung von Raumheizgas

Institut für Grubensicherheit
Zweigstelle Versuchsstrebe Freiberg
Zentralinstitut für Explosions- und Brand
bekämpfung Bergbau u. in der Industrie

Ungültig
Inventar No. 3051A140



Akademie-Verlag · Berlin

Freib. Forsch.-H.	A 140	S. 1—127	44 Bilder	13 Tab.	Berlin, Mai 1960
-------------------	-------	----------	-----------	---------	------------------



XVI 1142 C
A 140

Das letzte Manuskript ging am 4.11.59 in der Redaktion ein.

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften.
Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. habil. O. O e l s n e r.
— Chefredakteur: Dipl.-Ing. R. W e n d l e r, Freiberg, Klubhaus der Bergakademie, Aug.-
Bebel-Str. 5 (Ruf 2497). — Verlag: Akademie-Verlag, GmbH, Berlin W 1, Leipziger Str. 3-4
(Ruf 22 04 41), Postscheckkonto 350 21. — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in
zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller liefer-
baren Hefte von der Redaktion der Bergakademie oder dem Akademie-Verlag. — Preis
dieses Heftes 12,— DM. Bestell-Nr. 2062/A 140.

Vertrieb: Für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel;
für das Gebiet Westdeutschlands durch den Buchhandel (Auslieferung KUNST UND
WISSEN, Erich Bieber, Stuttgart S, Wilhelmstr. 4-6); für das gesamte Ausland durch eine
Importbuchhandlung, den Deutschen Buch-Export und -Import, GmbH, Leipzig C 1, Post-
schließfach 276, oder den Verlag.

Gesamtherstellung: Gutenberg Buchdruckerei und Verlagsanstalt, Saalfeld, Betrieb der
VOB Aufwärts - V/15/5 - 1 - 1077

Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 202-100/601/60 des Ministeriums für Kultur, HV
Verlagswesen, der Deutschen Demokratischen Republik. — Printed in Germany. —
Kartengenehmigung: Mdl der DDR, Nr. 5285

Alle Rechte vorbehalten.

ES 20 F 2·6

INHALT

Begrüßung	5
GEORG GRUSON	
Fragen der Koksverwendung	7
GEORG GRUSON	
Erfahrungen mit neueren Koksprüfmethoden	12
JOACHIM HOLZHEY	
Anforderungen des Hochofenbetriebes an den metallurgischen Koks	25
WOLF FRIEDEL	
Die Bewertung von Koks für den Kupolofenschmelzbetrieb (Auszug)	47
HANS STRIEBEL und HEINRICH TISCHER	
Anforderungen des Calciumcarbidofens an die Koksqualität	48
Begrüßung	74
PETER SCHEFFLER	
Das Austauschbarkeitsproblem der Brenngase und die Bedeu- tung der Wobbezahl	75
FRITZ HERNING	
Wärmewirtschaftliche Grundlagen industrieller Gasfeuerungen	94
HANS KIESEL	
Technische und wirtschaftliche Probleme der Lieferung von Raumheizgas	109

BEGRÜSSUNG

1. Tag

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Ich darf meiner besonderen Freude Ausdruck geben, daß Sie unserer Einladung zum Kolloquium „Gastechnik“ so zahlreiche Folge geleistet haben. Viele Probleme bewegen uns heute. Unser Dank gilt Ihnen, daß Sie den Weg nach Freiberg nicht gescheut haben. Ich darf in Ergänzung unseres Programmes noch bekanntgeben, daß Herr Ing. F r i e d e l vom Zentral-Institut für Gießereiwesen, Leipzig, den Vortrag über „Anforderungen des Kupolofens an die Koksqualität“ halten wird. Herr F r i e d e l war an einer größeren Forschungsarbeit des letzten Jahres beteiligt. Das Ergebnis wird Ihnen hier teilweise bekanntgegeben.

Fragen der Koksverwendung

Von GEORG GRUSON, Freiberg

Alle Fragen der Koksverwendung sind letzten Endes Koksvergasungsprobleme. Koks ist der auf breitester Basis eingeführte Rohstoff der Schachtofenprozesse. Die jeweils notwendigen Kokseigenschaften sind wissenschaftlich streng zu definieren, soweit dies noch erforderlich ist.

Das Kohle- und Energieprogramm, das Chemieprogramm und der kommende Ausbau unserer Hüttenwerke können nicht für sich betrachtet werden. Ein nicht kleiner Beitrag zu ihrem Gelingen soll Gegenstand der Tagung sein.

Es gibt wohl kein größeres Hindernis in der Förderung des Fortschritts, im Aufbau des Sozialismus als ein Gefühl der Minderwertigkeit, der Zweitklassigkeit. Dieses Gefühl wird aber erzeugt durch eine nicht stetige Versorgung und durch den Zwang des Verarbeitenmüssens von zweit- und drittklassigem Rohmaterial, ohne daß die technologischen Voraussetzungen für seine Verwendung anerkannt, beschafft und angewendet worden sind. Die Mühseligkeiten solcher Belastungen des laufenden Betriebes sind bekannt. Die Ausschußziffer wird erhöht, das Betriebsergebnis unsicher. Außerdem steigt zwangsläufig aus mehr als naheliegenden Gründen der absolute Verbrauch an, wenn überhaupt ein einigermaßen zufriedenstellendes Betriebsergebnis erhalten werden soll. Bei Einsatz von Gemischen einer Rohstoffart aus verschiedenen Quellen wird der Rohstoff mit den geringsten Qualitäten den Produktionsablauf am stärksten beeinflussen.

Es ist deshalb in der ganzen Welt ein Ringen um die Erkenntnis der notwendigen und möglichen Qualitäten auf allen Gebieten festzustellen. Bei uns finden diese Forderungen ihren Ausdruck in technischen Güte- und Lieferbedingungen.

In früherer Zeit schlugen sich die Erfordernisse in speziellen Betriebserfahrungen und den auf diesen Grundlagen abgeschlossenen Lieferverträgen nieder.

Dieser zweiseitige Niederschlag der Erfahrungen blieb — bis auf einige höchst interessante und wertvolle Veröffentlichungen — mehr oder weniger unbekannt. Es bildete sich infolgedessen der Brauch heraus, an den Lieferanten besondere Forderungen zu stellen. Er konnte sie erfüllen oder ablehnen.

Wir wurden als Jungingenieure im Gasfach dazu erzogen, die Sicherheit der Versorgung, und zwar die Sicherheit einer qualitativ hochstehenden Versorgung, als Ehrenpflicht und Lebensaufgabe anzusehen. Dieser Gedanke muß sich auch heute immer weiter durchsetzen, nachdem die erste wirtschaftliche Basis geschaffen ist. Wir müssen auf allen Gebieten den Sprung von der Quantität zur Qualität mit Energie und Freude tun.

Wenn wir die Vertreter der koksverbrauchenden Industrie zusammengebeten haben, so verfolgen wir damit einen doppelten Zweck:

Einmal möchte der Stand der Erkenntnis hinsichtlich der Forderungen an die Qualität ausgetauscht werden, soweit er bisher exakt ermittelt werden konnte.

Es möchte vor allem bekannt werden, welche Prüfmethoden in den einzelnen Industriezweigen üblich geworden sind. Es leuchtet ein, daß ein auch noch so gut ausgerüstetes Institut nicht alle Feinheiten des Betriebsablaufes aller Industriezweige beherrschen kann, die eben letzten Endes die Verbrauchsfaktoren formen oder beeinflussen.

Aber schließlich sind sich alle Schachtofenprozesse irgendwie einander ähnlich. Wir stellen uns vor, daß sich aus dem Austausch der Erfahrungen in breiter Linie Erkenntnisse allgemeiner Art ergeben können, die eben für die speziellen Zwecke nützlich oder gar entscheidend sind. Nicht beabsichtigt und auch nicht zu erwarten ist ein gegenseitiges Hochschrauben von Anforderungen an die Erzeuger- und Handelsbetriebe, die nicht zu erfüllen sind.

Hierin liegt bereits der zweite Grund unseres heutigen Beisammenseins, daß nämlich das gegenseitige Verständnis für die Forderungen und Nöte anderer Abnehmer und der Erzeuger wachsen möge.

Es wird sich zeigen, daß Koks nicht gleich Koks ist und daß sich andererseits gewisse Einzelforderungen auch theoretisch begründen lassen.

Die Koksqualität ist durch die Erzeugungsbedingungen gegeben. Wir importieren Koks aus der SU, aus Polen, der ČSR und aus Westdeutschland und besitzen selbst sechs Gaskokereien mit Horizontalkammeröfen und über 170 Gaswerke, die allerdings nicht alle eine hier ins Gewicht fallende Produktion aufweisen.

Die Zeiten, in denen nur Fettkohlen entgast wurden, sind überall – in Ost wie in West – lange vorbei. Qualitätskoks wird heute allerorts aus Mischungen von Gas- bis Eßkohlen erzeugt, wobei die Fettkohlen als Grundkohlen zu betrachten sind. Der ausschließliche oder vorwiegende Einsatz von mehr oder weniger gut kokenden Gaskohlen ist durch den Stampfbetrieb ermöglicht, der in Polen durchweg, in der ČSR und bei uns zum Teil eingeführt ist.

Voraussetzungen für eine Erzeugung von Qualitätskoks sind eine richtig aufbereitete und vorbereitete Einsatzkohle – sowohl was die Körnung als auch den Aschegehalt der Kohle angeht – und ein absolut gleichmäßiger Ofengang. Die Produktion von synthetischem Koks ist in Polen und in Westdeutschland mit Erfolg erprobt worden. Der HC-Koks der westdeutschen Produktion ist zwar sehr teuer, aber von guter Qualität. Die Schwierigkeiten unserer Erzeugerwerke liegen in der ungleichmäßigen Zufuhr ungleichartiger Kohle. Es ist zu erwarten, daß die Schaffung neuer Lagerplätze und der Einbezug der Lager der Staatsreserve in den Umschlag hier Wandlung bringen.

Die Grundlage für die Bewertung bildet die Festlegung der Kokseigenschaften in Staatlichen Standards (TGL) der DDR. Der Stand der Arbeit an ihnen ist kurz zu umreißen. Abgeschlossen ist die Arbeit an der TGL Steinkohlenkoks für metallurgische Zwecke (Hochofenkoks). Im Abschluß befindet sich die TGL Steinkohlenkoks (Gießereischmelzkoks). In Vorbereitung befinden sich die Standards Steinkohlenkoks für elektrothermische Zwecke und Steinkohlenkoks (Industriekoks).

Sie sind nach folgenden Gesichtspunkten gleichmäßig gegliedert:

1. Entsprechend den internationalen Vorbildern sind in erster Linie die Koksclassen nach der Trommelfestigkeit eingeteilt, denen die Höhe des Abriebs beigeordnet ist.

2. Die Kokssortierung in die üblichen Handelsklassen ist bekannt.
3. Nach Festlegung der Koksklassen und -sorten sind die Gütegruppen festzulegen. In ihnen erscheinen die Werte der Immediatanalyse (Wasser, Asche, Schwefel, im Einzelfall flüchtige Bestandteile und Phosphor) und als Folge der Handhabung das Unterkorn. Im Unterkorn ist der Grusanteil mit enthalten. Er wirkt sich auf den Gang der Schachtöfen zumeist negativ aus, sofern der Koks unsortiert direkt zur Verwendung kommt.

Die prozentuale Menge an Unterkorn steht mit der bezogenen Kokskörnung in enger Verbindung.

In dieser Gruppe der Gütewerte sind die speziellen Anforderungen der einzelnen Industriezweige unterzubringen.

Die vorgesehenen Standards bilden zusammen ein geschlossenes System.

Wir können annehmen, daß 50 % unseres Steinkohlenkoksbedarfes durch Import gedeckt werden. Auf die einzelnen Industriezweige entfallen (gegliedert nach der Härte der Anforderungen)

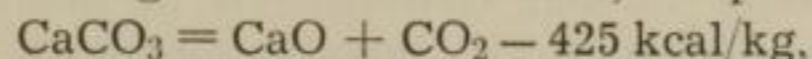
Gießereien	5%
Hochofenwerke	55%
Niederschachtofenwerke	7%
Elektrothermischer Koks	10%
Industriekoks für Kalköfen und Wassergasgeneratoren	23%
	<u>100%</u>

Nicht enthalten in dieser Aufstellung ist der Koks für sonstige Zwecke und Zentralheizungen, der beispielsweise in Westdeutschland mit über rund 10 Mill. t/Jahr ca. 25–30 % des gesamten Aufkommens in Anspruch nimmt. Auch der Eigenverbrauch der Gaswerke ist hier einzuordnen.

Es soll aber an dieser Stelle betont werden, daß die jetzige Lösung der Frage der Zentralheizungsbrennstoffe als außerordentlich unbefriedigend angesprochen werden muß. Man braucht dabei nur an die Wassermengen zu denken, die hierfür mit einem erheblichen zusätzlichen Wärmeverbrauch spazierengefahren und im Kessel nutzlos verdampft werden müssen. Es erscheint aber auch notwendig, darauf hinzuweisen, daß die Einlagerung und der Umschlag von großen Mengen nasser Rohbraunkohle sicherlich mit zu der überaus weiten Verbreitung des Hausschwammes beigetragen haben dürften. Eine nähere Untersuchung wäre dringend zu empfehlen.

Die meisten Schachtofenprozesse verlaufen im Gegenstrom. Das Vergasungsmittel, also Luft in der Mehrzahl der Fälle, wird mehr oder weniger vorgewärmt dem Vergasungsstoff unter mehr oder weniger hohem Druck zugeführt. Im Eisenhochofen sollen 60 %, in den Kupolöfen und in den Mansfelder Hochöfen möglichst die ganzen Koksmengen vor den Formen verbrennen. Die aufsteigenden Gase geben ihre Wärme zur Vorwärmung des Einsatzmaterials und zur Durchführung der Vorreaktion (z. B. indirekte Reduktion) oder der Hauptreaktion (z. B. Kalkbrand) ab. Je größer der Wärmeverbrauch hierfür ist, desto intensiver ist die Abkühlung der aufsteigenden Abgase, und in desto kürzerer Zeit durchlaufen sie die Zone bis unterhalb 800 °C, in der normalerweise die Reduktion des durch Verbrennung entstandenen CO₂ am heißen Koks zu CO fühlbar wird.

Bei großem Wärmeentzug durch die Reaktion, beispielsweise



kann also ein nahezu kohlenoxydfreies Gichtgas entstehen, wie es in den Kalköfen der Soda- und Zuckerindustrie anzutreffen ist. Bei geringem Wärmeentzug – wie im Kupolofen – wird das Gichtgas ein mehr oder weniger schlechtes Verbrennungsverhältnis mit 12–15 % CO absolut oder mit rund 50 % Kohlenoxyd der C-haltigen Gasbestandteile erreichen. Bei einem gleichbleibenden Verbrennungsverhältnis kann ein reaktionsfreudiger Brennstoff eine größere Luftmenge benötigen, bezogen auf das Endprodukt oder das Einsatzgut, und unter Umständen einen höheren Koksverbrauch verursachen.

Es wäre denkbar, die übliche Formel für das Verbrennungsverhältnis zu einer Kennziffer um die auf das Einsatzgut bezogene Windmenge und den erforderlichen Winddruck zu erweitern, ohne hier auf die Kohlenstoff- und Sauerstoffbilanz der metallurgischen Prozesse eingehen zu können. Entscheidend für die Durchführung der metallurgischen Prozesse sind die vor den Formen zur Verbrennung kommende Brennstoffmenge und die Gleichmäßigkeit der Verbrennung. Entscheidend für die Gleichmäßigkeit der Produktion ist die Gleichmäßigkeit der Rohstoffe.

Eine weitere Frage im gleichen Zusammenhang ist die Höhe der erforderlichen Windpressung vor den Formen. Sie wird beeinflußt vom Strömungswiderstand in der niedergehenden Gicht. Sie beeinflußt ihrerseits die Gleichmäßigkeit des Ofenganges. Es ist verständlich, daß ein feinkörniges Gut einen höheren Widerstand erzeugt. Die Feinkörnigkeit kann aus dem mehr oder weniger mechanisch und thermisch stabilen Koks, dem Erz oder den sonstigen Möllerbestandteilen stammen.

Es ist verständlich, wenn auch relativ wenig gemessen, daß eine Schüttung von Briketts oder von entsprechenden Preßlingen einen höheren Widerstand haben wird als beispielsweise Brech I oder Grobkoks.

Es müssen alle Faktoren berücksichtigt werden.

Übereinstimmung besteht bei allen Verbrauchern, daß ein überhoher Aschegehalt nicht nur den Einkaufswert des Kokses mindert, sondern darüber hinaus die Prozesse beeinflußt.

So bedeutet die Erhöhung des Koksaschegehaltes um 5 % einen Mehraufwand an Strom in der chemischen Industrie in der Größenordnung der Produktion eines mittleren Kraftwerkes (30–40 MW).

Mit zunehmendem Aschegehalt der Kohle steigt der Aschegehalt im Koks entsprechend dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen der Kohle an. Eine Kohle mit 11 % Asche und 33 % flüchtigen Bestandteilen wird im Koks einen mittleren Aschegehalt von 15 % bringen. Dazu reichern sich Asche und Wasser in den feineren Kokskörnungen an.

Je nach dem Sortenfall und den Verkokungseigenschaften der Kohle werden sich von Fall zu Fall verschiedene Werte ergeben. Die spazierengefahrene Wassermenge wird mehr rein rechnermäßig ins Gewicht fallen, als der absolute Wassergehalt auf den Prozeß Einfluß nimmt. Die Verrechnung von Mehr- und Minderwasser muß immer weiter eingeführt werden, so daß hier nicht mehr wie bisher die Nichterfüllung der Pläne durch Senkung des Wassergehaltes zu einer Benachteiligung der Belegschaft des Erzeugerwerkes führen wird.

Zu diskutieren ist die Rolle des Schwefels. Es gibt Prozesse, wie in den Mansfelder Hochöfen oder in den Generatoren in Leuna, in denen sich der Schwefelgehalt auf den Prozeß nicht negativ auswirkt, während in anderen

metallurgischen Werken und Chemiebetrieben der Schwefelgehalt von absolut negativem Einfluß ist. Wir könnten uns vorstellen, daß im Zuge von Direktverträgen nach entsprechender Ausgestaltung der Technologie des Erzeugerwerkes einzelne Kokereien auf die Erzeugung von schwefelreicherem metallurgischem Koks ausgerichtet werden und damit die uns drückenden Sorgen beseitigt werden können.

Wir werden im Laufe der heutigen Veranstaltung von den Koksverbrauchern bei Begründung ihrer Forderungen hören, welchen Mehrverbrauch sie durch die jetzige Koksqualität haben. Ich fürchte, diese Zahlen werden erschreckend hoch sein. Eine bewußt sehr bescheidene Schätzung ergab einen durch gleichmäßigere Qualität vermeidbaren Mehrverbrauch im Wert von 25 Mill. DM.

Ich könnte mir vorstellen, daß bei Zufuhr einer einwandfreien und qualitativ gleichmäßigen Koksmenge sowohl aus Erzeugung als auch aus Import eine radikale Senkung der Koksverbrauchszahlen möglich ist und daß die Kosten für technologische Maßnahmen, die trotz Besserung der Kohlelage in der letzten Zeit für eine Erweiterung der zentralen Lager notwendig sind, in kürzester Zeit abgeschrieben sein könnten.

Unser heutiges Zusammensein soll begründet klarlegen, worauf es ankommt, so daß es der Staatlichen Plankommission möglich ist, auch ihrerseits die entsprechenden Schlüsse zu ziehen.

Unser Ziel ist die Lösung der ökonomischen Hauptaufgabe in kürzester Zeit. Einen kleinen Beitrag hierzu zu leisten, soll unsere Aufgabe sein.

Erfahrungen mit neueren Koksprüfmethoden

Von GEORG GRUSON, Freiberg

Üblicherweise beschränkt sich die technische Prüfung von Steinkohlenkoks auf die Bestimmung der Trommelfestigkeit, der Siebanalyse und der analytischen Werte wie Wasser, Asche, Schwefel und zuweilen Phosphor. Die Bestimmung der Porosität ist wegen ihrer Umständlichkeit selten, noch seltener aber die der Reaktionsfähigkeit.

Man überläßt es dann der praktischen Erfahrung am Kupolofen oder Hochofen, ob die untersuchte Koksart bzw. -sorte den Anforderungen entspricht. Die Untersuchungsmethoden sind bewährt, erprobt, genormt und geben nach den Erfahrungen ein statistisch richtiges Bild.

Trotzdem sind in aller Welt weitere Feinprüfmethoden entwickelt worden. Sie dienen zunächst theoretischen Zwecken, um Fragen der Koksstruktur zu lösen und Auskunft über das Verhalten des Kokses bei höheren und höchsten Temperaturen unter dem Einfluß von verschiedenen Gasen zu geben. Der Angriff auf die Kokssubstanz erfolgt gasförmig durch Luft, CO_2 bzw. Wasserdampf bzw. bei der sogenannten direkten Reduktion in engem Kontakt mit Eisenoxyden oder Kalk. Die Fragen der Reaktionsbeeinflussung durch Berührung mit flüssigen Schlacken sollen hier außer Betracht bleiben.

Aber nicht nur der chemische Angriff ist von Bedeutung, sondern auch der mechanische Angriff durch Druck und Abrieb auf das mehr oder weniger stark vorgebildete Rissnetz.

Unter thermischer Beanspruchung zerklüftet der Koks als Folge des Substanzverzehr und durch Neuentstehen von inneren Spannungen.

Es ist also Stellung zu den üblichen Methoden zu nehmen. Ergänzend dazu sei über die von uns durchgeführte gleichzeitige Anwendung technisch-physikalischer, chemisch-physikalischer und petrographischer Prüfmethoden berichtet, die uns zu einigen Erkenntnissen verhalfen.

Trotz aller Kritik an den vorhandenen Prüfmethoden bzw. an den ergänzenden Vorschlägen für die Prüfpraxis zum schnellen Erhalt sicherer Ergebnisse soll und darf nicht die gesicherte Basis des bestehenden Normenwerkes, das international eingeführt und bewährt ist, verlassen werden.

Was ist Koks?

Steinkohlenkoks von befriedigender Qualität, d. h. einigermaßen einheitlichem Gefüge, entsteht als Schmelzverband der in der sogenannten plastischen Zone in engen Kontakt getretenen einzelnen Komponenten der Kohlenmischung. Die Komponenten sind einmal die verschiedenen petrographischen Bestandteile einer Kohlenart, zum anderen können sie aus verschiedenen Kohlenarten verschiedener Inkohlungsstufen bestehen.

Bei fortschreitender Wärmezufuhr erstarrt bei ca. 500 °C die plastische Masse wieder. Im Halbkoks ist die sich nicht mehr grundsätzlich ändernde Grobstruktur des Kokses mit seinen Poren ausgebildet. Wir unterscheiden hierbei Grob- und Feinporen mit einem Durchmesser von $> 10\text{--}100\mu$ bis zu einigen mm und Ultraporen, die mikroskopisch nicht mehr zu erkennen sind.

Im Bereich von 650–750 °C beginnt als exotherme Reaktion die Veränderung der Feinstruktur unter weiterem Substanzverlust. Dieser Substanzverlust und die später folgende Umlagerung von einem dreidimensional unregelmäßigen Kristallgefüge zu einem zweidimensional geregelten, im wesentlichen hexagonalen Aufbau ergeben erhebliche innere Spannungen. Sie führen zu einer inneren und in der Folge äußeren Zerklüftung.

Die entstehenden Risse haben ihren Ausgangspunkt zumeist in schlecht in die Koksmasse eingebundenen Partikeln und Bergstückchen, inerte Kohle-Substanz oder dgl. Der Koks kann beim Löschen, Sieben und auf dem Transport zerfallen. Jedes Koksstoßen in einer Kokerei bedeutet Abbruch eines Verkokungsprozesses. In der Endphase, im Bereich von 1500–2000 °C, kann sich Koks zu pulverförmigen, graphitähnlichen Massen umwandeln – wie die Praxis der Kunstkohlenfabrikation zeigt. Durch die seinerzeitigen Arbeiten von A g d e und S c h m i t t [1] wurde bewiesen, daß je nach der Verkokungsendtemperatur ein bestimmter Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (Rest-Methan und Wasserstoff) im Koks verbleibt. Er entweicht nach Erreichen einer höheren Temperaturstufe – entsprechend dem höheren Umwandlungsgrad. Jedoch scheint die Graphitisierung einen sehr erheblichen Energieaufwand zu erfordern. Der Koks muß recht lange Zeit auf hohen bis höchsten Temperaturen gehalten werden.

Die Strukturwandlung wird nach dem Ergebnis röntgenographischer Arbeiten bereits bei 1100–1200 °C deutlich.

Es ist also als erstes festzuhalten, daß in unseren Schachtöfen, speziell in den Hoch- und den Kupolöfen, in denen wir Temperaturen von 1500–1600 °C mit Sicherheit zu erwarten haben, Nachverkokungsreaktionen eintreten.

Technisch versuchen wir die Auswirkung der Strukturwandlung auf die Festigkeit der Kokssubstanz durch die Bestimmung der Makro- und der Mikrofestigkeit nachzuweisen.

Trommelprobe und Koksstabilisierung

Die Koksprüfung nach DIN 51 712 in der Micumtrommel (in der Neukonstruktion) umfaßt die Beanspruchung von 50 kg Koks über 60 mm in 100 Umdrehungen bei 25 U/min der 1 x 1 m messenden Trommel. Die Methode ist in den letzten Jahren verschiedentlich durchgearbeitet worden, sowohl was die Bedeutung des Trommelergebnisses als auch der Siebgenauigkeit angeht. Betont sei, daß DIN 51 712 annähernd lufttrockenen Koks fordert, da zu hoher Wassergehalt die Bestimmung beeinflußt. Die Art der Absiebung ist für die Genauigkeit sehr bedeutsam.

Nach F r i e h m e l t [2] wird der Koks bei der Trommelung auf seine Sturz- und Abriebfestigkeit geprüft. Es wird hierbei nicht ein Endzustand erreicht, sondern die Prüfung wird nach einer durch Konvention festgelegten Zahl von Trommelumdrehungen abgebrochen. Sturz- und Abriebbeanspruchung verlaufen

aber zeitlich verschieden. Nach 100 Umdrehungen werden sich beide verschiedenartig ausgewirkt haben. Ebenso verhält sich der Einfluß der durch die Risse im Koks gegebenen Umstände zeitlich anders als der Einfluß der inneren Struktur des Kokses, z. B. Zahl, Größe und Verteilung der Poren, Dicke der Zellwände und Festigkeit der eigentlichen Kokssubstanz.

Früher von uns veröffentlichte [3] eigene Versuchsergebnisse zeigten, daß die Trommelung dem n-ten Sturz in der Shattertestapparatur entspricht, wobei der Wert n nicht unabhängig von der Festigkeit der Kokssubstanz war.

Die Trommelfestigkeit von unter nahezu idealen Bedingungen erzeugtem Großkoks aus Ruhrkohle liegt tiefer als die des entsprechenden Brechkokses I. Diese Erscheinung wird zurückgeführt auf den ersten mechanischen Angriff, die Stabilisierung auf den Sieben. Es ist verständlich, daß ein in der Substanz weniger fester Koks eines stärkeren Angriffs bedarf, um ein reales Bild zu geben, wenn wir das Trommelergebnis in erster Näherung mit der Ermittlung des Zerfalls gleichsetzen wollen. Wie *Friehmelt* aber bereits ausführte (und allgemein bekannt ist), überlagert sich dabei die Ermittlung des Abriebs, wobei wir unter Abrieb das Korn unter 10 mm verstehen.

Nach unserer Meinung sind der effektive fein- bzw. feinstkörnige eigentliche Abrieb und die Absplitterung gröberer Teilchen > 3 mm zu unterscheiden. Ein im üblichen Sinne weicher Koks mit einer Trommelfestigkeit von 30–40 % kann effektiv weich oder, wie das Beispiel des Zwickauer Kokses lehrt, im Korn sehr hart, aber infolge des hohen Substanzverlustes sehr splittrig sein. Brech III besitzt allgemein eine hohe Festigkeit. Er ist weitgehend stabilisiert.

Als technisch anwendbare Methode zur Ermittlung der Grenzen ist von verschiedenen Forschern eine Trommelung unter verschärften Bedingungen vorgeschlagen worden.

Die Trommelung von 25 kg Einsatz ergibt bei 100 Umdrehungen praktisch nur wenig veränderte Ergebnisse. Die Werte liegen um 2–5 Punkte von M 40 tiefer.

Nach unseren Messungen hat sich die Trommelung unter Normalbedingungen mit 1000 Umdrehungen (bei 25 U/min) in ca. 40 Minuten bewährt. Diese Methode wird verschieden angewandt.

Friehmelt hat jeweils nur das Korn über 40 mm einer erneuten Trommelung unterworfen, während wir die Gesamtprobe getrommelt, gesiebt und wieder eingesetzt haben. Die Siebung erfolgte auf einem Vibratorsieb der Siebtechnik Mühlheim, das sehr zufriedenstellend arbeitet. Das Ergebnis ist aus Bild 1 zu ersehen.

Drei anscheinend fast gleichartige Kokssorten wurden dieser Prüfung unterworfen. Der mittlere Koks hatte die betrieblich beste Qualität. Bemerkenswert ist, daß die Stabilisierung, d. h. die gleichförmig werdende Richtung des Verlaufs von Rückstandslinien nach der Umdrehungszahl, offenbar nach 200 Umdrehungen mehr oder weniger deutlich wird. Die untere Grenzkurve des Bereichs 60 – 80 mm ist von besonderer Bedeutung.

Wir können betonen, daß auch von dieser Seite die Bedeutung der A- und D-Werte der „Neuen Grafschen Kennzahl“ sehr deutlich wurde.

$$z = \frac{A \cdot D/100}{S + 0,75 L}$$

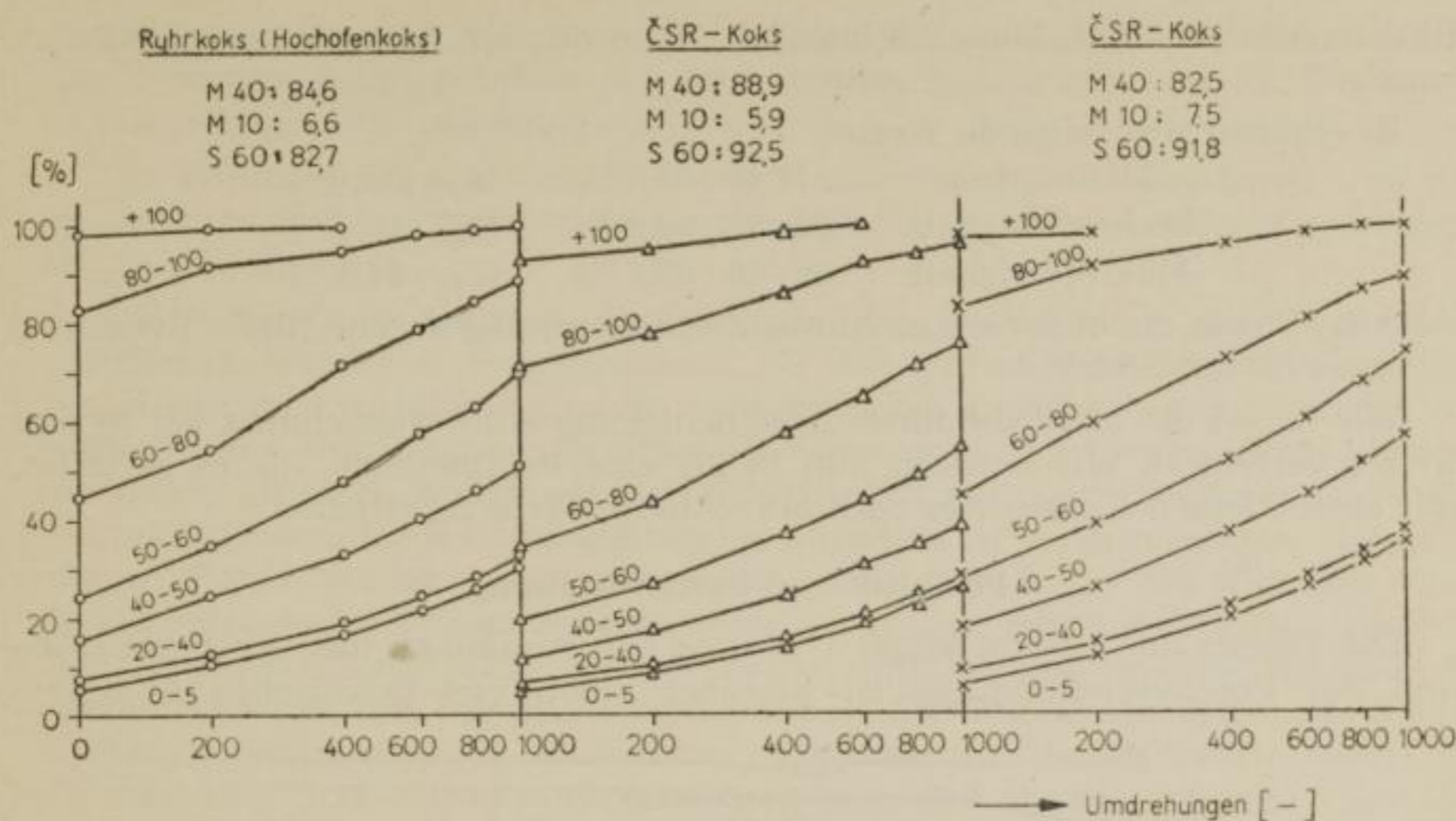


Bild 1. Siebergebnisse von Trommelproben mit vermehrter Umlaufzahl

Unter Stabilisierung ist eine deutlich werdende Proportionalität der Abnahme des Rückstandes mit der Umdrehungszahl zu verstehen.

Weiter ist bemerkenswert, daß in diesen an sich sehr guten Kokssorten die Zunahme des Feinabriebs 0–5 mm progressiv ist und wir nicht die lineare Zunahme von Lowry [4] bestätigen konnten, von dem die Darstellung im halb-logarithmischen Maßstab stammt. Es ist bemerkenswert, daß der Abrieb nahezu aller bisher untersuchten Kokssorten nach 1000 Umdrehungen zwischen 30 und 40 % lag. Im Kupolofen bewährt sich der mittlere Koks am besten. Man wird vielleicht die Zahl der Umdrehungen auf 600 reduzieren können. Die Werte lagen auch bei verschiedenen Proben der gleichen Sendung durchaus im gleichen Rahmen und sind somit sicher.

Die so festgestellten Werte entsprechen der Bestimmung der Makrofestigkeit, wie sie Lowry und Epstein für ihre Untersuchungen benutzten.

Zur Bestimmung dieser sogenannten Makrofestigkeit hat Hoffmann [5] (nach Rice) in einer kleinen Stahltrommel (von 490 mm \varnothing und 560 mm Länge mit zwei 38-mm-Winkeleisen) 13,5 kg getrockneten Koks 60–80 mm und 20–30 mm mit 11 Stahlkugeln von 32 mm \varnothing 62 Minuten mit je 20 U/min getrommelt. Der Rückstand wird also nach 1240 Umdrehungen auf dem 12,5-mm-Sieb abgeseibt. Wir benutzen die von Rammeler entwickelte IfB-Trommel (mit Maßen von 500 mm \varnothing und 500 mm Länge). Wir mußten aus apparativen Gründen die eingesetzte Koksmenge auf 6 kg und die Zahl der 33-mm-Stahlkugeln auf 6 reduzieren.

Bei insgesamt 1000 Umdrehungen mit 25 U/min wurde nach jeweils 100 Umdrehungen auf dem 12-mm-Rundlochsieb abgeseibt und die Gesamtmenge wieder eingesetzt. Es zeigt sich nun sehr deutlich, daß die Koksrisigkeit sich besonders stark während der ersten 100 Umdrehungen auswirkte und daß nach insgesamt 600 Umdrehungen bei einem nicht einheitlichen Koks die relative Abnahme des

Rückstandes praktisch konstant blieb, daß also nur ein echter Abrieb gemessen wurde.

Es ergaben sich folgende Werte:

Micumprobe	M 40 : 53,0 ‰	M 10 : 12,0 ‰
Makrofestigkeit	60–80 : 59,6 ‰	R ₁₂ : 40,4 ‰
Makrofestigkeit	20–30 : 65,7 ‰	R ₁₂ : 34,3 ‰

Also R₁₂-Werte, die in der erstgenannten Größenordnung liegen. (R₁₂ = Rückstand auf dem 12-mm-Sieb.)

Wir haben die Methode durch Zwischenlegung eines Siebschnitts bei 40 mm weiter verfeinert. Wir besitzen nun in ihr eine Prüfmethode, die es gestattet, mit einer kleinen Koksmenge doch brauchbare Werte zu erhalten.

Porosität und Porenverteilung

Die Fragen der Makrofestigkeit hängen eng zusammen mit der Porengröße und der Porenverteilung. Es ist hierüber schon viel geschrieben und ver-

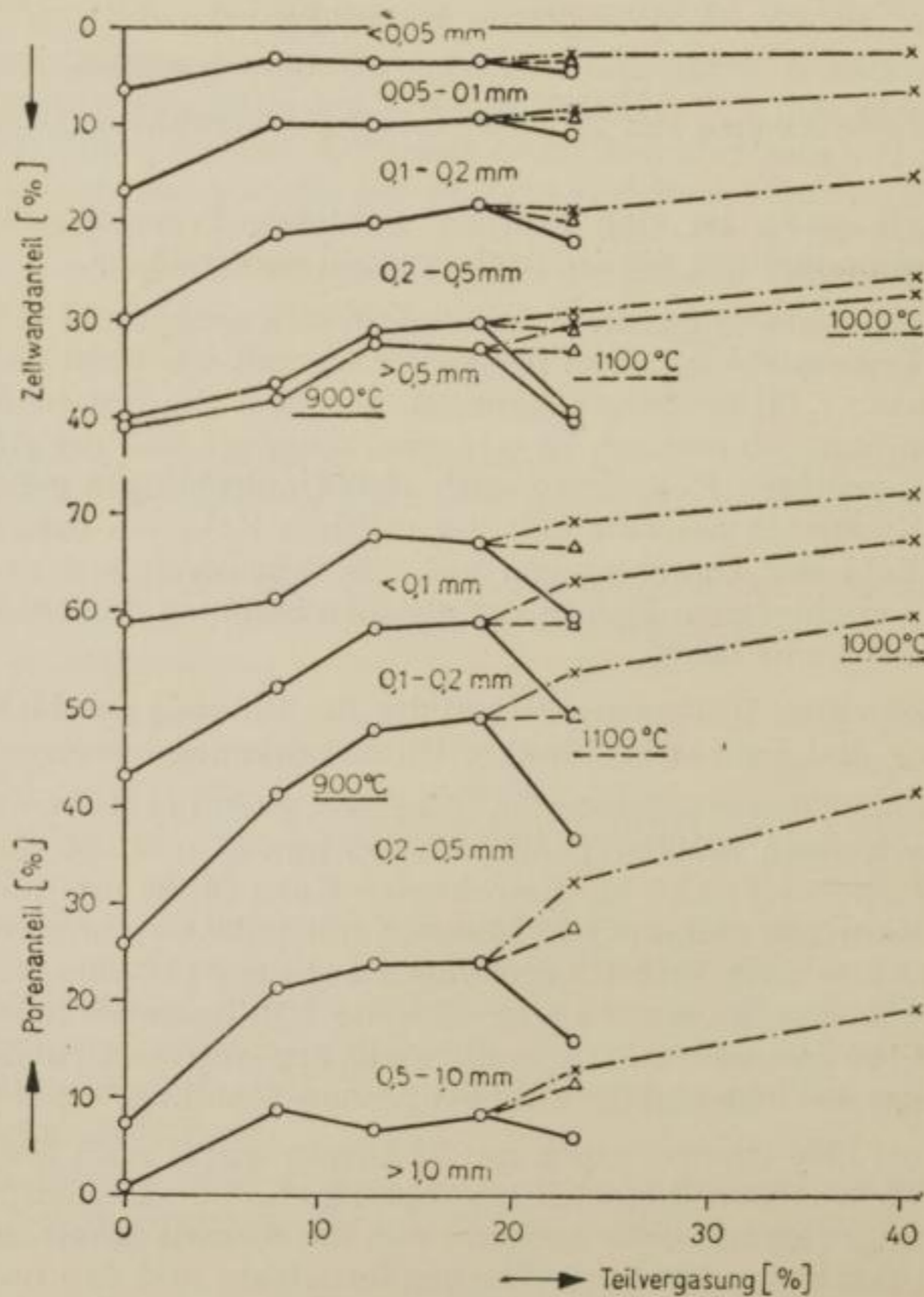


Bild 2. Die Veränderung der Porosität nach der Teilvergäsung

öffentlich worden, so daß ich mich auf das Notwendigste beschränken kann. Ein Zusammenhang zwischen der sogenannten Dichtigkeit und der Festigkeit ist bisher noch nicht nachgewiesen.

Die Porosität wird am Stück durch Bestimmung des scheinbaren und des sogenannten wahren spezifischen Gewichtes oder durch Auszählung unter dem Mikroskop ermittelt.

Wir haben uns zunächst die Methode der Bestimmung des scheinbaren spezifischen Gewichtes vorgenommen. Als am einfachsten, sichersten und am schnellsten durchzuführen war ein Auskochen des Koksstückes mit Paraffin mit nachfolgender Bestimmung des Stückvolumens im *S e g e r* sehen Volumenmeter mit einem 50%igen Spiritus-Wassergemisch. Bei richtiger Handhabung ist das Volumen des am Stück haftenbleibenden Paraffins zu vernachlässigen. Die halb-offenen Poren werden jedoch mit erfaßt. Außerdem kann das Volumen eines derart präparierten Stücks ohne weiteres wiederholt bestimmt werden. Da jetzt alle Daten leicht und sicher reproduzierbar sind, ist nach unserer Meinung die zweite Dezimale der Porositätsangabe sicher. Die Porositätswerte nach ausgezählten Porengrößen und Wanddicken stimmten mit diesen Zahlen nicht voll überein. Dies mag darauf zurückzuführen sein, daß die geometrische Form der gemessenen Poren alles andere als regelmäßig ist und – trotz an sich voll übereinstimmender Kontrollwerte – sich bei der Rechnung mit den gleichen Größen Abweichungen ergeben. Weiter ist mit Sicherheit anzunehmen, daß bei der Bestimmung des wahren spezifischen Gewichtes ein nicht näher erfaßbarer Teil der Mikroporen mit einer Größe von $10\ \mu$ und darunter trotz Feinstmahlung des Kokes sich nicht aufschließen läßt. Es kam uns bei diesen Messungen wohl auf recht große Genauigkeit an, jedoch interessierte vor allem die Veränderung der Porosität mit zunehmender Vergasung (Bild 2). Hierüber ist noch zu sprechen.

Bestimmung und Bedeutung der Mikrofestigkeit

Hoffmann und *Riley* beschrieben Verfahren zur Bestimmung der sogenannten Mikrofestigkeit, nach denen man – ebenfalls durch Trommelung – die Festigkeit der einzelnen Zellwände bestimmte.

Es werden zu diesem Zwecke stark zerkleinerte Koksproben eingesetzt, um den Einfluß der Rissigkeit auf ein nicht mehr erkennbares Maß zu reduzieren und den Einfluß der groben Poren zurückzudrücken. *Hoffmann* hatte mit einem Korn von 1–1,2 mm, *Riley* mit einem solchen von 0,25–0,5 mm gearbeitet.

Wir benutzten eine Rogatrommel mit einem zweckentsprechenden Einsatz und gaben zu 2 g Koks 12 Stahlkugeln von 8 mm \varnothing hinzu. Abgesiebt wurde zunächst auf einem Sieb 0,16 mm nach DIN 1171, dem später ein Sieb 0,63 mm vorgeschaltet wurde. Die Umdrehungszahl betrug 1000 mit 25 U/min.

Die Stabilisierung war von der Art des Kokes abhängig. Die Kurve wurde ebenfalls wieder von 100 zu 100 Umdrehungen aufgenommen. Bei relativ weichem Koks war die Körnung 1–1,2 mm zu grob, die Stabilisierung trat bei der Körnung 0,5–0,25 mm schneller ein.

Bei hartem Koks (und aus Zweckmäßigkeitsgründen) wurde dennoch später das Korn 1–1,2 mm eingesetzt. Auch hier ergaben sich nur Kennzahlen. Eine Aussage über die absolute Festigkeit kann noch nicht gemacht werden.

Bei einem durchaus nicht idealen Gaskoks mit einem M 40-Wert von 53 % lag die Mikrofestigkeit der kleinen Körnungen bei 55 % und der gröberen bei 14 %. Die Unterschiede waren bei CSR-Gießereischmelzkoks und Ruhrhochofen-Koks mit 89 gegen 83 % geringer.

Bemerkenswert ist, daß bei diesen Koksarten, die einen so deutlichen Unterschied in der Makrofestigkeit zeigten, hier keine nennenswerten Differenzen auftraten. Es sei jedoch betont, daß mit einem Siebschnitt gearbeitet und nicht die volle Substanz eingesetzt wurde. Auch die Ausbeute an Korn 1–1.2 mm haben wir noch nicht bestimmt.

Festzuhalten ist aber, daß mit dieser Methode die Festigkeit kleinster Koks-mengen bestimmt werden kann. Sie hat sich in der Folge auch hierfür bestens bewährt.

Die Reaktionsfähigkeit von Koks (Reaktivität)

Die Reaktivität von Koks wird als Zündpunkt gegen Luft oder durch Vergasung mit CO_2 bzw. Wasserdampf bestimmt. Vorherrschend ist in Anlehnung an die metallurgischen Prozesse die Anwendung von Kohlendioxyd. Diese Methoden sind bezüglich der Ermittlung der wahren Temperatur mit einem kleineren grundsätzlichen Fehler behaftet. Der Zündpunkt als exotherme Reaktion wird leicht zu hoch, die Vergasungstemperatur dagegen zu niedrig gemessen, da diese Reaktion endotherm ist.

Unter den vielen Varianten der Bestimmung der Reaktivität mit CO_2 sind zwei Richtungen zu unterscheiden:

1. die Bestimmung der Reaktionsfähigkeit an feingekörntem Koks mittels Gasanalyse (Grießmethode);
2. die Bestimmung der Reaktionsfähigkeit am Stück durch Messung des Gewichtsverlustes.

Die erste Methode bietet durch eine maximale Berührung des Kokes mit dem Vergasungsmittel eine gute Möglichkeit, die Eigenschaften der Kokssubstanz über die Zusammensetzung des Gases zu erfassen. Die ursprünglich von K o p p e r s eingeführte Methode wurde kürzlich von D a h m e [6] modifiziert.

Die zweite Methode gestattet größere Einwaagen und erlaubt, den technischen Vergasungsvorgang ungefähr zu reproduzieren. Sie wurde in den letzten Jahren in der DDR von H o l z h e y [7] und in Frankreich von B o y e r [8] und Mitarbeitern im Bereich bis zu 1400°C angewandt.

Bei dieser letzten Methode überlagert sich der Einfluß der Porosität. Sie hat jedoch den Vorteil, daß das Koksstück in der ursprünglichen, durch Löschvorgang und Lagerung an der Luft gealterten Form ungestört vorliegt. Im Normalfall wird bei beiden Methoden mit der Zufuhr von reinem CO_2 gearbeitet. Die Einwaage beträgt bei der Grießmethode 40 g mit einer Körnung von 1,0–1,2 mm, in der Stückmethode nach H o l z h e y 600 g Brech II, die in einem Korb eingehängt werden. Es wird bei 900°C , 1000°C und gegebenenfalls 1100°C gemessen.

Wir haben beide Methoden benutzt. Die Methode nach H o l z h e y (Bild 3) ergibt im Gewichtsverlust-Zeit-Diagramm annähernd Gerade. Die Darstellung der Ergebnisse der Grießmethode im Reaktionsfestigkeits-Zeit-Diagramm zeitigt

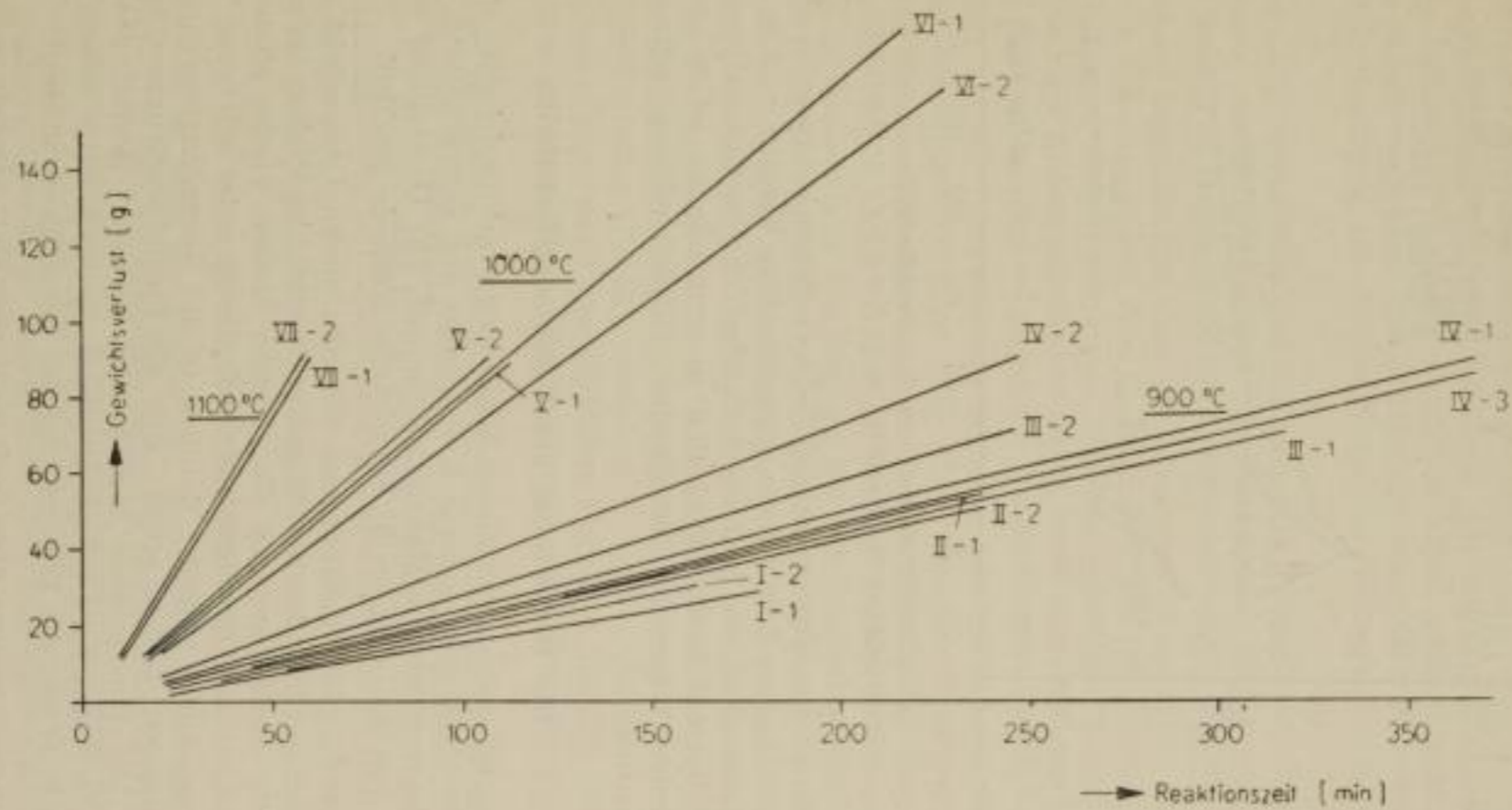


Bild 3. Teilvergasung nach Holzhey

Erfahrungen mit neueren Koksprüfmethode

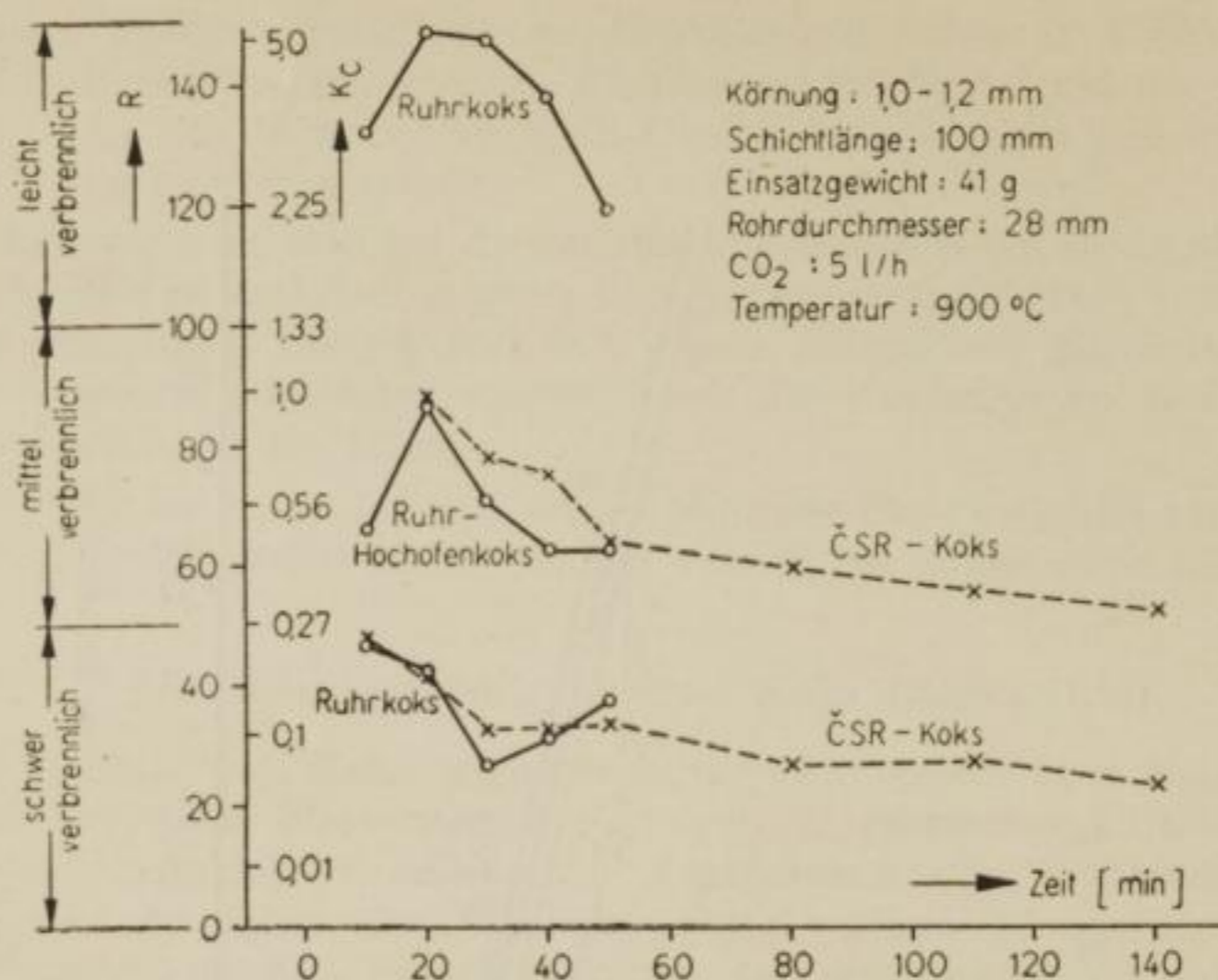


Bild 4. Kurven der Reaktivität
 verschiedener Kokssorten nach Koppers-Bunte

einen unregelmäßigen Kurvenverlauf (Bild 4). Bemerkenswert erscheint ein Abfall nach relativ kurzer Zeit. Dieser unregelmäßige Verlauf wird in der Literatur mit den Fehlerquellen der periodisch durchgeführten Gasanalysen erklärt. Die aus den Ergebnissen beider Methoden zu ermittelnden scheinbaren Gleichgewichtskonstanten liegen in der gleichen Größenordnung, schwanken jedoch nicht unwesentlich.

Die Darstellung des Vergasungsfortschritts

Wir gaben uns jedoch mit diesen Ergebnissen nicht zufrieden, sondern unterwarfen geschnittene und polierte Koksproben der Teilvergasung. Wir nahmen hierbei photographisch die Makrostruktur auf. Zur Darstellung wurde die von uns, speziell von Seichter [9], entwickelte Methode gewählt.

Eine Serie von Mikroaufnahmen wird zu einem Gesamtbild zusammengestellt. Nach einigen Stunden der Begasung wurden die Proben herausgenommen, sehr vorsichtig nachpoliert und die gleichen Stellen wieder photographiert. So entstand zunächst das Übersichtsbild. Aufnahmen unter stärkerer Vergrößerung ließen uns nun einen näheren Einblick in die Vergasungsvorgänge gewinnen. Es ist zu erkennen, daß in erster Linie die Fusiteinlagerungen der Vergasung unterliegen. Die Porenwände bleiben fast bis zum Zerfall des Koksstückes stehen. Ihre Substanz wird zuletzt abgebaut. Deutlich ist zu sehen, daß der Vergasungsfortschritt von der Entwicklung der Mikroporen abhängt.

Damit war zwar einiges, aber noch nicht alles klar, nämlich, worauf das unterschiedliche Reaktionsvermögen von Kokssorten nahezu gleicher Festigkeit zurückzuführen ist. Wir fanden dies in der aus der Literatur wohlbekannten verschiedenen kristallographischen Zusammensetzung der Koksarten.

Es ist bekannt, daß Koks, wie manche Minerale im Mikroskop unter gekreuztem Nicols, die Erscheinung der Anisotropie zeigen kann. Anisotrope Stoffe zeigen beim Drehen des Stückes eine Farbänderung, die durch Vorschalten eines Gipsplättchens besonders deutlich wird.

Wir unterscheiden hierbei nach *Alpern* [10] feinkörnig anisotropen Koks, der aus einer backenden Gaskohle entstehen kann, grobkörnigen, fasrig oder leistenförmig anisotropen Koks aus Fettkohlen oder nach *Mackowsky* [11] kleinflächig bis großflächig anisotropen Koks. Die Nomenklatur ist nicht einheitlich.

Mackowsky führte 1955 aus, daß schlecht erweichende Kohlen stets zu einem isotropen, mäßig erweichende zu einem kleinflächig anisotropen, gut erweichende Kohlen zu einem großflächig anisotropen Koks führen.

Die optischen Eigenschaften der verschiedenen Kokssorten hängen jedoch nicht nur vom Inkohlungsgrad der Einsatzkohle, sondern auch von den Verkokungsbedingungen, insbesondere vom Verkokungsfortschritt, ab. Dies ist damit zu erklären, daß die Anisotropieeffekte durch Regelungsvorgänge der die Kohle aufbauenden Aromatlamellen während der Erweichung zustande kommen.

Wir fanden nun bei Anwendung der eben beschriebenen Methode, entsprechend der bekannten Tatsache, daß unter gleichen Bedingungen erzeugte isotrope Kokse reaktionsfreudiger sind als anisotrope, daß die Vergasung an den isotropen Einlagerungen sonst anisotroper Kokse beginnt und sie aufzehrt. Die erstbeschriebene Beobachtung des Beginns bei den fusitischen Einlagerungen ist mit auf ihren völlig isotropen Charakter zurückzuführen. Damit sind aber auch gleichzeitig die scheinbaren Unregelmäßigkeiten bei der Bestimmung der Reaktionsfähigkeit zu erklären. Es tritt zunächst eine schnellere Reaktion am isotropen Teil ein, der vielleicht ein etwas lockeres Gefüge besitzt. In der Folge wird langsamer die dichtere und geregelter aufgebaute Substanz verzehrt. Der Einfluß der Porosität läßt sich vielleicht so deuten, daß ein in der Substanz dichter Fettkohlenkoks dazu eine geringere Porosität hat. Die Porosität würde sich also mittelbar auswirken. Hierüber wird in Kürze besonders berichtet werden.

Wir konnten ferner die durch die bekannte Kunstharztränkung von *Mackowsky* gemachte Beobachtung bestätigen, daß die Porenräume im allgemeinen als Schlauchporen miteinander in Verbindung stehen, wenn wir die Probestücke zur Porositätsbestimmung in Paraffin auskochten. Durch dieses Kanalsystem wird das Vergasungsmittel zugeführt. Die Vergasung läuft also über eine Hineindiffusion des Vergasungsmittels in den Vergasungsstoff.

Der Ablauf der Stückvergasung

In ihren Arbeiten über die Reaktivität des Kokes unterscheiden *Wicke* und *Mitarbeiter* [12] drei verschiedene Bereiche der Stückkoksvergasung.

1. Den sogenannten „langsamen“ Bereich bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, in dem die Gase leicht bis zum Kern des Stückes diffundieren. Es wird die gesamte Oberfläche angegriffen. Der teilvergaste Koks erhält eine schwammige Struktur.
2. Den sogenannten „schnellen“ Bereich der Diffusion bei erhöhten Temperaturen, in dem die Erneuerung des Gases auf der inneren Oberfläche des Katalysators

ungenügend ist. Die Diffusion nimmt mit der Temperatur weniger schnell zu als die chemische Reaktion. Der Partialdruck des Kohlendioxyds in den Poren sinkt.

3. Einen „sehr schnellen“ Bereich bei hohen Temperaturen, in dem vorzugsweise oder allein die äußeren Oberflächen bzw. die Randzonen an der Reaktion teilnehmen. Das Gas in den Poren des Kerns ist praktisch reines CO und reagiert nicht mehr weiter.

Diese Unterscheidung wird verständlicher, wenn wir bedenken, daß allein als treibende Kräfte in die Poren hinein die Unterschiede in der Wichte der Gase wirksam sind.

Diese Definition von *Alpern* ist interessant und erlaubt einen Hinweis auf die alte Streitfrage, ob bei Vergasung mit Luft zunächst CO oder CO₂ entsteht.

Mit dieser Formulierung kommt man aber einer Erklärung der Erscheinung näher, daß beispielsweise vor den Formen nur noch zerkleinerte Koksstücke in einer Größe von 20 bis 40 mm vorhanden sind. Diese haben nahezu ihre volle Festigkeit behalten. Die Vergasung beginnt hier in den Randzonen der durch Ribbildung zerkleinerten Koksstücke. Stücke mit einer durchweg schwammigen Struktur sind relativ selten. Meßbar wird jetzt das Restvolumen des Kokes, das *Bastick* manuell bestimmte. Besser und exakter aber ermittelt man neben Stückgröße und Porosität die Festigkeit des teilvergasen Kokes und den Bereich des Angriffs nach der Mikro- bzw. Makrofestigkeitsmethode.

Nach unseren Messungen ist auch die Koksart von großem Einfluß. Ein leicht vergasender Koks wird zu einer mehr schwammigen Struktur neigen, während ein dichter, stark anisotroper Koks mehr nach den *Bastick* schen Vorstellungen reagieren wird.

Im Bild 4 sieht man die Auswirkung der Vergasung auf die Mikrofestigkeit des mit 1,0–1,2 mm eingesetzten Gießereischmelzkokes. Praktisch haben sich die Mikrofestigkeitswerte nicht grundlegend geändert, wohl aber die Anteile am ursprünglich eingesetzten Korn über 1 mm nach 7 Stunden Vergasungszeit bei 900 °C.

Es ist also auf dem vorgeschriebenen Weg doch ein Flächenabtrag eingetreten. Zu berücksichtigen wäre gegebenenfalls noch eine Festigkeitssteigerung durch die eintretende Nachverkokung bei hohen und höchsten Temperaturen.

Von den sonstigen Koksprüfmethoden sind noch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der Gasdurchlässigkeit zu nennen, über deren Einsatz zur praktischen Koksprüfung im Betrieb z. Z. noch nicht berichtet werden kann. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Werte der elektrischen Leitfähigkeit laufen ungefähr mit der Stärke der Anisotropie parallel.

Zusammenfassung

In einer recht mühseligen Arbeit konnten verschiedene Methoden auf ihre Brauchbarkeit zur Koksprüfung untersucht werden. Einige Methoden können wir jetzt in der Praxis anwenden.

Wenn wir nun aus den Gefilden wissenschaftlicher Betrachtungen zu den harten Anforderungen des Betriebes zurückkehren, so bleiben als praktisch betrieblich anwendbar nur die Bestimmung der Makrofestigkeit in der Micum-

trommel mit 600–1000 Umdrehungen und die Bestimmung des Kornes > 60 mm bei dieser Methode für metallurgische Zwecke. Die Bestimmung der Porosität ist narrensicher geworden. Übrigbleibt das Wissen, daß wir die Ergebnisse der Koksprüfung einer exakten wissenschaftlichen Untersuchung unterziehen können und auch bereits genug Erfahrungen besitzen, um eindeutige Aussagen machen zu können.

Meinen Mitarbeitern Dr. Seichter, Franke und Zimmer, die die Untersuchungen durchführten, sei an dieser Stelle gedankt.

Literatur

- [1] AGDE und SCHMIDT: Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks. Halle 1928.
- [2] FRIEHMELT: Beitrag zur Kennzeichnung der Festigkeitseigenschaften von Koks. Brennstoff-Chemie (1956) S. 292 ff.
- [3] GRUSON: Zur Erzeugung von metallurgischem Steinkohlenkoks. Freib. Forsch.-H. A 69 (1957) S. 55 ff.
- [4] LOWRY and EPSTEIN: Some aspects of the breakage of coke. Am. Inst. Min. Metallurgy Eng. 1948, S. 3–27 (zit. u. 5).
- [5] HOFFMANN: Fortschritte in der Prüfung und Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit von Hochofenkoks. Techn. Mitt. 1955, 151 ff. S. a. DAHME. Auswertung von Trommelversuchen zur Kennzeichnung der Koksfestigkeit. Glückauf (1959) S. 680.
- [6] DAHME: Die Reaktivität von Koks gegen CO_2 im Temperaturbereich 1000 bis 1200°. Brennstoff-Chemie (1955) S. 193 ff.
- [7] HOLZHEY: Vergleichende Betrachtungen über das metallurgische Verhalten des Braunkohlenhochtemperaturkokses. Freib. Forsch.-H. B 13 (1957).
- [8] BOYER, DURAND und PAYEN: Die Reaktivität von Koks. Chimie et Industrie (1958) S. 220 ff.
- [9] SEICHTER und GRUSON: Koksuntersuchung mit mikrographischen Serienaufnahmen. Bergakademie II (1959) S. 708 ff.
- [10] ALPERN: Etude optique et radiocristallographique des quelques cokes. R. 1, hebd. Séances Acad. Sci. 238 (1954) S. 2099.
Optische Anisotropie von Koks in Anwendung auf Mischungsprobleme. Ann. des mines de Belgique (1955) S. 864.
- [11] MACKOWSKY: Neue Wege zur Beurteilung der Beschaffenheit von Hochofenkoks. Glückauf (1955) Sonderheft Sa 7.
Möglichkeiten der mikroskopischen Untersuchung von Kohlen und Koks in der Praxis. Ann. des mines de Belgique (1955) S. 981.
- [12] HEDDEN: Die Bedeutung der Reaktionsgeschwindigkeit für die Abgaszusammensetzung bei Vergasungsprozessen. Chem. Ing. Techn. (1958) S. 125–132. S. a. BASTICK. Sur la carboxy-réactivité des cokes II Bull. de la société chimique de France (1957) 16, S. 916. S. a. DAHME [6].

Diskussion

KOLB, Brandis bei Leipzig:

Die durch Sie festgestellte optische Anisotropie, die ihre Ursache im kristallographischen Aufbau hat, sowie die parallel dazu festgestellte Reaktionsträgheit bei Vergasungsprozessen berechtigt zu der Vermutung, daß es sich bei den zur Diskussion stehenden Einlagerungen tatsächlich um Vorstufen bzw. fortgeschrittene Vorstufen einer Grafitisierung handelt.

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Die wissenschaftliche Kenntnis um diese Dinge steckt noch in den allerersten Anfängen. Wir können zunächst nur statistisch die Tatsache bestätigen. Wir sind apparativ noch nicht so weit, daß wir die Stärke der Anisotropie quantitativ messen können. Durch die Verzögerung der Lieferungen wird unser Zeitverlust noch größer.

KOLB, Brandis bei Leipzig:

Es ist in Erwägung zu ziehen, im Laufe der weiteren Untersuchungen an einem bereits angegriffenen Koksstück die stehengebliebenen Stellen zu isolieren und einer

Röntgenfeinstrukturuntersuchung zu unterwerfen. In Anbetracht der geringen Ausdehnung der zu untersuchenden Stellen dürfte sich der Einsatz eines entsprechend konstruierten Mikromanipulators erforderlich machen. Wenn die Arbeit auch recht mühevoll sein wird, dürfte sie sich dennoch lohnen.

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Ich danke sehr für die Anregungen. Sie liegen durchaus in der Richtung unserer eigenen Gedanken und der Aufgaben, mit denen wir uns im Augenblick beschäftigen. Was wir Ihnen hier vorgeführt haben, ist noch relativ jung. Unsere Erkenntnisse daraus sind erst in der letzten Zeit herausgearbeitet worden.

Wir werden aber auch diesen neuen Gedanken in Zusammenarbeit mit dem Kohleforschungsinstitut Prag, das auf diesem Gebiet etwas weiter ist, gemeinschaftlich weiter verfolgen.

Chemotechn. SCHMIDT, Stalinstadt:

Herr Professor, gestatten Sie mir folgende Frage: Wie steht es mit den beiden Untersuchungsmethoden „Ausgarungsgrad“ und „Zündpunktbestimmung“? Diese beiden Methoden sind gut geeignet dazu, daß man sie in Streitfällen und überhaupt mindestens bei den Monatsdurchschnittsproben hinzuzieht, um ein geschlossenes Bild über die angelieferten Koksqualitäten zu erhalten. Auch lassen sich diese beiden Methoden schnell und sauber durchführen. Wird noch als Untersuchungsmethode der „Graphitierungsgrad“ hinzugenommen — einmal als Messung der elektrischen Leitfähigkeit, besonders aber auch die Anschliffbilder —, dann müßte das ein geschlossenes Bild geben, daß man mit Sicherheit sagen könnte: Von dieser Kokerei haben wir im Jahr soundso viel Tonnen guten Koks, dort einen schlechten Koks bekommen. Diese Untersuchungen, diese kleinen Mühen dürften sich bezahlt machen, um ein geschlossenes Bild, um keine Lücken zu haben. Diese Untersuchungsmethoden — Ausgarungsgrad, Zündpunktbestimmung, Graphitierungsgrad und Bestimmung der Reaktionsfähigkeit — gehören zusammen; denn eins ergänzt das andere, und wir bekommen ein übersichtliches Bild.

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Aber so leicht sind diese Dinge hier nicht zu nehmen. Zunächst ist zu sagen, daß über den Zündpunkt meiner Schätzung nach seit 1890 gearbeitet wird. Es hat sich in diesen 70 Jahren noch kein direkter Zusammenhang zwischen Zündpunkt und Ausgarungsgrad einerseits und dem Verhalten im Hochofen andererseits ergeben. Diese Probleme sind noch nicht gelöst, obwohl die Bemühungen um die Lösung sehr groß sind.

Chemotechn. SCHMIDT, Stalinstadt:

Im Hochofen spielen viele Faktoren zugleich eine Rolle. Aber deshalb, weil sich im Hochofen nicht alles so schnell nachweisen läßt, denke ich, daß sich die Koks-Untersuchungsmethoden, die jetzt schon bekannt sind, gegenseitig ergänzen müssen!

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Wir sind für jede praktische Hilfe außerordentlich dankbar, aber es muß praktische Hilfe sein. Diese Dinge sind sehr kompliziert. Wir haben Ihnen hier einiges vorgetragen über das, was wir bisher erreicht haben. Es ist ja nur ein Anfang, aber wir haben mit dem Stand der Technik begonnen, den man derzeit im Westen und in der Sowjetunion erreicht hat. Wenn ich sage, daß wir hier eine Begrenzung der Belastung vornehmen müssen, so hat das einen sehr ernsten Grund.

Anforderungen des Hochofenbetriebes an den metallurgischen Koks

Von JOACHIM HOLZHEY, Stalinstadt

Der Hochöfner stellt an seine Einsatzstoffe naturgemäß ganz bestimmte Forderungen. Auf der Möllerseite, also bei Erz, Kalk und weiteren Zuschlägen, sind diese seit langem verhältnismäßig scharf umrissen. Für den Koks ist das trotz zahlreicher und ständiger Bemühungen bis zum heutigen Tage noch nicht hinreichend gelungen. Dabei beeinflußt der Koks den Hochofengang und das gesamte Betriebsgeschehen mindestens in gleichem Maße wie beispielsweise das Erz, und zudem ist der Koks an den Selbstkosten des Verfahrens immerhin etwa zur Hälfte beteiligt.

Die Gründe für die offensichtliche Unzulänglichkeit sind verschiedener Art. Vor allem ist es die Vielzahl von Einflußgrößen, die beim Hochofenprozeß wirksam sind und die klare Zusammenhänge zwischen der Koksbeschaffenheit und dem Hochofengang sowie dem Koksverbrauch nur schwer erkennen lassen. Außerdem spielt bei der Beurteilung der Koksgüte der jeweilige Ofen, besonders dessen Größe und bis zu einem gewissen Grade auch der Möller, eine Rolle, woraus bei einer Festlegung optimaler Gütezahlen zusätzliche Schwierigkeiten entstehen. Andererseits darf nicht verkannt werden, daß lange Zeit hindurch für den Hochofenbetrieb noch nicht die Notwendigkeit bestand, die sich in den letzten Jahren herausgestellt hat, den Einfluß der Kokseigenschaften auf den Hochofenbetrieb genau zu überprüfen und daraus Güteforderungen festzulegen, weil bis dahin der erzeugte Koks den Ansprüchen genügte und die alten Kennzahlen und Prüfverfahren als hinreichend angesehen wurden.

Inzwischen hat aber die Roheisenerzeugung im Hochofen einen Stand erreicht, der zwangsläufig einwandfreie Einsatzstoffe, und, was vor allem für den Koks zutrifft, aussagekräftige Prüfverfahren verlangt, um bei Qualitätsänderungen sofort wirksame Maßnahmen in Form von Korrekturen in der Möllierung oder der Ofenführung vornehmen zu können.

Nicht unerwähnt bleiben darf schließlich die Auswirkung der Verfügbarkeit an Kokskohle auf die Notwendigkeit der Festlegung von Güteforderungen.

Während zu einer Zeit, als noch kaum von einem sich abzeichnenden Mangel an Kokskohle die Rede sein konnte, mehr auf höchste Koksqualität hingearbeitet wurde, rückte im Laufe der letzten Jahrzehnte infolge der abnehmenden Kokskohle-Vorkommen auf der Erzeugerseite immer mehr die Frage nach der erforderlichen Mindestqualität in den Vordergrund, was darauf hinausläuft, durch die Herstellung eines für die Verwendung im Hochofen noch hinreichend guten Kokses an Stelle eines solchen mit besten Eigenschaften evtl. aus reiner Kokskohle diese durch Verschneiden weitestgehend zu strecken.

Eine derartige Arbeitsweise führt allerdings nur dann zum Erfolg, wenn die Forderungen an den Koks eindeutig festgelegt werden können.

Die Aufgaben des Kokes im Hochofen

Der Koks erfüllt im Hochofen zwei entscheidende Aufgaben, deren erste seine Funktion als Heiz- und Reduktionsstoff ist. Besonders als Heizstoff ist von seinem Verhalten die Aufrechterhaltung des gesamten Schmelzablaufes abhängig. Schon verhältnismäßig kleine Schwankungen im Wärmewert können zu erheblichen Schwierigkeiten im Hochofenbetrieb führen und schlechte Eisenqualität, unregelmäßige Produktion und Unwirtschaftlichkeit nach sich ziehen.

Nicht minder wichtig ist die Bedeutung des Kokes als die Möllersäule auflockernde und schließlich tragende Substanz. Ein Versagen in dieser Hinsicht, z. B. infolge einer zu geringen Stückigkeit oder Festigkeit des Kokes, führt gleichfalls zu ernststen Betriebsstörungen, wie z. B. schlechte Windaufnahme, Kanalgängigkeit usw.

Die Hauptkennwerte für Hochofenkoks

In den folgenden Ausführungen sollen die Hauptfaktoren, die den Koks für den Metallurgen kennzeichnen, näher behandelt werden. Dabei ist bei einigen derselben aus den zum Teil bereits angeführten Gründen die Aussagegenauigkeit hinsichtlich ihrer absoluten Auswirkung auf den Ofenbetrieb noch recht gering, weshalb vorerst auch auf eine exakt begründete Festlegung entsprechender Gütezahlen verzichtet werden muß.

Als Ausgangspunkt dienen die gegenwärtig in der Praxis üblichen Wertzahlen.

Geprüft werden z. Z. der Wasser-, der Asche- und der Schwefelgehalt des Kokes sowie die Kokshärte nach Micum und der Abrieb unter 10 mm.

Als Maximalwerte werden angestrebt:

6 % für Wasser

12 % für Asche

1,2 % für Schwefel

Die Angaben beziehen sich auf wasserfreien Koks. Für die Härte werden mindestens 70 % gefordert, der Abrieb unter 10 mm soll 8 % nicht übersteigen.

Die drei zuerst genannten Faktoren, also Wasser, Asche und Schwefel, vermindern den Heizwert des Kokes, wovon Asche und Schwefel darüber hinaus den Hochofen metallurgisch belasten. Die Härte dagegen sagt in erster Linie etwas über die Stückbeständigkeit des Kokes und damit über seine auflockernde Wirkung im Hochofen aus. Von ihr ist in Verbindung mit der Stückgröße entscheidend die Belastbarkeit des Hochofens abhängig.

Der Wassergehalt

Der Gehalt an Wasser im Koks vermindert im Falle eines Ansteigens über den Normalwert hinaus die Menge des dem Hochofen zugeführten Kohlenstoffes, sofern die Kokszuteilung nach Gewicht erfolgt. Bei einer sichtlichen Abweichung vom Ausgangswert führt das, wenn keine Korrektur vorgenommen wird, zu einem Wärmemangel im Hochofen, der auf die Dauer nur durch Mehrsetzen von Koks oder Verringerung der Erzgicht ausgeglichen werden kann. Die Korrektur erfolgt dabei nicht im Verhältnis 1:1, worauf W. Zimmer [1] erst kürzlich wiederum hinwies. Einen Überblick über die Abwertung des Kokes bei

verschiedenen Wassergehalten gibt Tabelle 1, wobei der Normalgehalt mit 6 % angesetzt ist.

Der Wärmehaufwand, der für die Verdampfung des Kokswassers erforderlich ist, wirkt sich im allgemeinen nicht nachteilig auf den Wärmehaushalt des Hochofens aus, weil die Verdampfung in der Hauptsache schon nach kurzer Verweilzeit des Kokses im Hochofen beendet ist. Die erforderliche Wärmemenge erscheint demzufolge auch nicht in der Abwertung. Bei beträchtlicher Zunahme des Wassergehaltes wird lediglich ein geringes Absinken der Gichtgastemperatur zu verzeichnen sein, was nur dann zu Störungen Anlaß gibt, wenn die Gichtgastemperatur ohnehin niedrig ist, weil dann in den Gichtgasleitungen die Gefahr einer Wasser- oder sogar Teerkondensation besteht.

Tabelle 1. Abwertung des Kokses in Abhängigkeit vom Wassergehalt

% Wasser	Abwertung %	% Wasser	Abwertung %
6	0	20	18,6
7	1,1	21	20,2
8	2,3	22	21,8
9	3,5	23	23,5
10	4,7	24	25,2
11	5,9	25	26,9
12	7,2	26	28,7
13	8,6	27	30,6
14	9,9	28	32,5
15	11,2	29	34,4
16	12,6	30	36,5
17	14,1	31	38,5
18	15,5	32	40,6
19	17,0		

Der Aschegehalt

Ein weiterer Hauptbestandteil des Kokses, der bei der Behandlung der Eigenschaften desselben und der Untersuchung des Einflusses auf den Hochofengang von Bedeutung ist, ist die Koksasche. Ähnlich wie Wasser vermindert auch diese mit steigendem Anteil den Heizwert des Kokses. Ein gewisser Vorteil gegenüber dem Wassergehalt, zumindest bei metallurgischem Koks, besteht bei der Asche darin, daß diese im allgemeinen nicht derart großen Schwankungen unterworfen ist wie das Wasser. Dafür gelangt aber die Koksasche vollständig bis in die tiefsten Ofenzonen, muß also als tauber Bestandteil der Beschickung mit aufgewärmt und schließlich geschmolzen werden. Da sie in den meisten Fällen stark sauer ist, verlangt sie zudem noch einen Kalkzuschlag. Damit wird mit steigenden Aschegehalten im Koks nicht nur der Heizwert verringert, sondern gleichzeitig die Zuschlag- und Schlackenmenge vergrößert und dadurch der Wärmeverbrauch zusätzlich erhöht.

Im Mittel muß man den Koks für jedes Prozent Asche, das über den Normalgehalt hinausgeht, um ca. 1,9 % abwerten bzw. pro Prozent Asche den Koksatz um diesen Betrag erhöhen.

Der Schwefelgehalt

Der Schwefel, der im Hochofenkoks nur selten Gehalte von 2 % erreicht, meist sogar erheblich darunter bleibt, ist im Normalfall mit ca. 90 % am Gesamtschwefelgehalt des Möllers beteiligt. Er geht während des Schmelzprozesses bis auf verhältnismäßig geringe Mengen, die mit dem Gas entweichen, nahezu restlos in das Roheisen und die Schlacke über.

Die Aufgabe des Hochöfners besteht nun darin, den Anteil des Schwefels im Roheisen möglichst stark zu verringern, d. h., viel Schwefel in die Schlacke überzuführen. Das erfordert besondere Maßnahmen in der Schlackenführung, die stets mit einem erhöhten Wärmeaufwand verbunden sind, der vorwiegend aus der hohen Schmelzwärme der für eine gute Entschwefelung erforderlichen basischen Schlacke resultiert.

Bild 1 [2] zeigt die Abhängigkeit des Schwefelgehaltes im Roheisen vom Verhältnis $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ in der Schlacke bei der Verarbeitung eines schwefel-

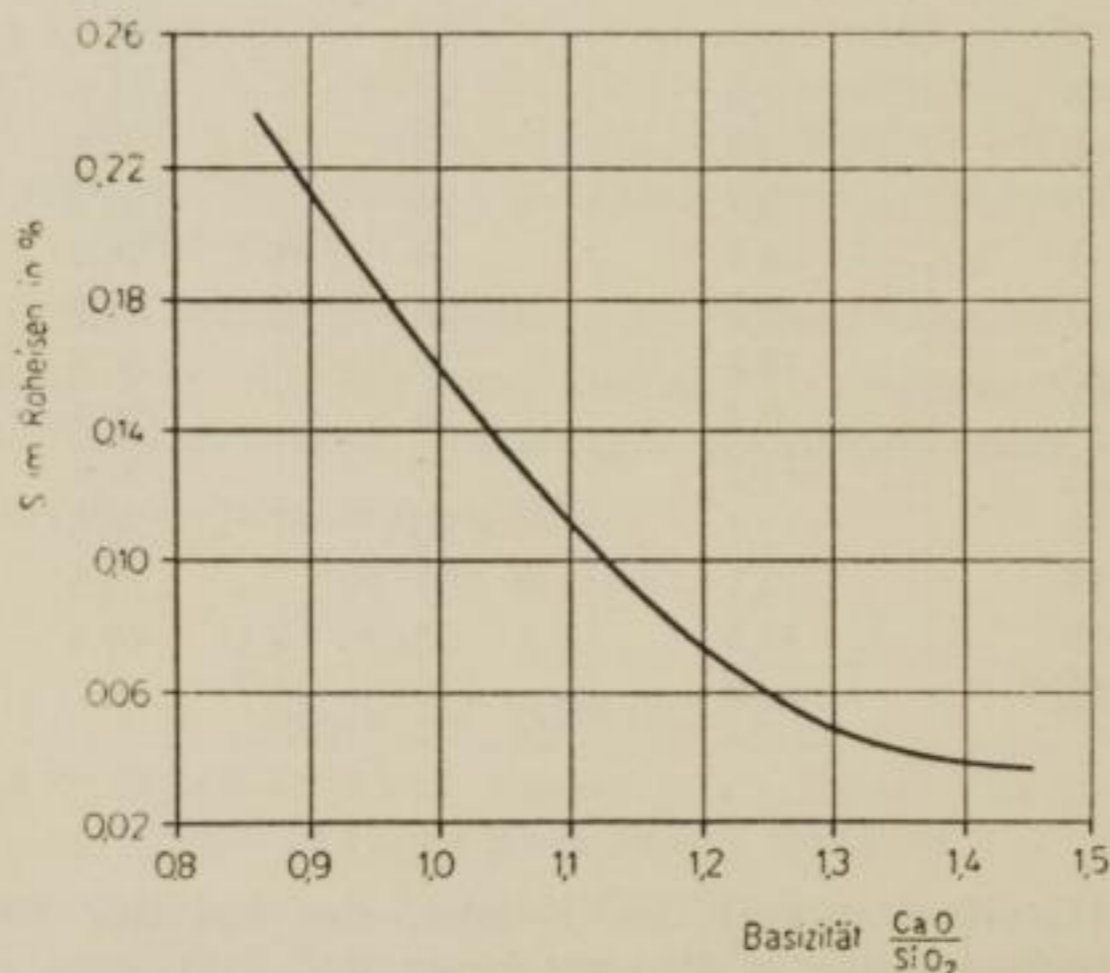


Bild 1. Abhängigkeit des Schwefelgehaltes im Roheisen von der Schlackenbasizität

reichen Kokes (Schwefelgehalt um 2 %), woraus ersichtlich ist, wie hoch unter sonst gleichen Bedingungen die Basizität der Schlacke und damit der Kalkzuschlag zum Möller gehalten werden muß, um ein hinreichend sauberes Roheisen mit Schwefelgehalten unter 0,06 % zu erhalten. Der Erhöhung der Schlackenbasizität sind aber andererseits Grenzen gesetzt, weil das Arbeiten mit stark basischer, schwer schmelzbarer Schlacke den Schmelzprozeß sehr erschwert.

Ein erhöhter Schwefelgehalt im Einsatz läßt sich im Hochofen nicht mit der stöchiometrisch erforderlichen Kalkmenge abbinden und damit in die Schlacke überführen. Er erfordert einen mehrfach höheren Kalkzuschlag, womit neben den erwähnten Schwierigkeiten, die sich in der Ofenführung zeigen, auch die Schlackenmenge und damit der Koksverbrauch weiterhin ansteigen.

Man muß für 1 % mehr Schwefel im Koks mit einem Brennstoffzuschlag von 2 % rechnen.

Hieraus ist ersichtlich, weshalb der Hochöfner ständig bestrebt sein wird, einen Koks mit möglichst niedrigem Schwefelgehalt zu erhalten. Weiterhin wird deutlich, daß anhaltende Abweichungen des Schwefelgehaltes im Koks in der Möllerung Berücksichtigung finden müssen, um unerwünschte Veränderungen in der Roheisenanalyse zu vermeiden. Nur am Rande sei erwähnt, daß die Entschwefelung im Hochofen um so größere Schwierigkeiten bereitet und um so mehr zusätzliche Aufwendung erfordert, je saurer der verhüttete Möller ist.

Die bisher angeführten Faktoren wirken sich in irgendeiner Form direkt oder indirekt auf den Koksheizwert aus. Der Schwefel nimmt dabei eine gewisse Sonderstellung ein, indem er primär die Roheisenqualität beeinflusst. Werden sie bei der Möllerung nicht berücksichtigt, treten Unregelmäßigkeiten im Wärmehaushalt des Hochofens sowie im Ablauf bestimmter metallurgischer Reaktionen auf, die in nicht seltenen Fällen zu Produktions- und Qualitätseinbrüchen führen und die auch großen Anteil an solchen Erscheinungen wie Ansatzbildung, Hängen u. a. m. haben. Allgemein hat sich ihre ständige Überwachung durchgesetzt, die Berücksichtigung im Hochofenbetrieb dürfte jedoch noch recht unterschiedlich und oft auch unzulänglich sein, was aber vielfach nicht allein in den Händen des Hochöfners liegt, sondern seine Ursache in einem ausgesprochen diskontinuierlichen Zulauf der unterschiedlichsten Kokssorten hat. In einem derartigen Fall ist es dann unter Umständen gar nicht mehr möglich, in ausreichender Weise auf Qualitätsschwankungen zu reagieren.

Neben diesen Faktoren, die bei der Koksbewertung im Hinblick auf sein metallurgisches Verhalten die erste Stelle einnehmen und die in ihrer Wirkung, speziell im Hochofen, auch weitgehend bekannt sind, sollen zwei weitere erwähnt werden, die in der Praxis relativ selten oder nur ungenügende Beachtung finden. Es handelt sich dabei um die flüchtigen Bestandteile und den Feinabrieb; letzterer oft im Zusammenhang mit starker Splittrigkeit des Kokses.

Im allgemeinen kommt diesen Größen keine vorrangige Bedeutung zu, weil ihre Gehalte unter normalen Bedingungen weitgehend konstant bleiben. Die Verhältnisse ändern sich aber, wenn das Kokssortiment größer wird und besonders dann, wenn die Ausgangsstoffe für die Kokserzeugung und die Herstellungsbedingungen nicht ganz speziell auf die Produktion von Hüttenkoks abgestimmt sind. In solchen Fällen ist es dann nahezu unumgänglich, auch diese Anteile zu prüfen, wenn bei scharfem Hochofenbetrieb nicht unerwünschte Abweichungen auftreten sollen.

Die flüchtigen Bestandteile

Die flüchtigen Bestandteile werden im Hochofen zu einem großen Teil aus dem Koks ausgetrieben, bevor er verbrennt. Ihre brennbaren Bestandteile gehen dabei für die Wärmeerzeugung verloren. Sie wirken diesbezüglich also etwa in der gleichen Weise wie Wasser. Nur sind sie, zwar begrenzt, in der Lage, im Bereich entsprechender Temperaturen unmittelbar an der Reduktion teilzunehmen. Ein weiterer Unterschied gegenüber dem Kokswasser besteht darin, daß die Gehalte deutlich niedriger liegen und meist auch die Schwankungen nicht solche Ausmaße annehmen, wie das bei diesem der Fall ist.

Es ist notwendig, zu überprüfen, ob die derzeit angewandte Methode zur Bestimmung der flüchtigen Bestandteile für die Belange des Hochofens ihren Zweck erfüllt, da die Prüftemperatur sehr niedrig liegt und angenommen werden muß, daß ein großer Teil an flüchtigen Bestandteilen erst oberhalb der Verkokungstemperatur ausgetrieben wird. Wenn das der Fall ist, werden auch die gemessenen Unterschiede im Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bei verschiedenen Kokssorten größer werden.

Unter anderem wird darauf hingewiesen [3], daß die flüchtigen Bestandteile des Kokses einen gewissen Einfluß auf seine Verbrennlichkeit ausüben. Nähere Angaben darüber liegen nicht vor. Außerdem ist dieser Einfluß nicht von entscheidender Bedeutung auf den Hochofengang.

Der Feinabrieb

Der letzte Faktor, der in dieser Gruppe behandelt wird, ist der Feinabrieb. Er entsteht infolge der mechanischen Beanspruchung, der der Koks beim Absinken im Hochofen ausgesetzt ist. Der anfallende Grus ist oft so fein, daß er durch die aufströmenden Gase in großer Menge aus dem Hochofen ausgetragen wird. Bei stark wechselndem Anfall können dadurch — wie bei den bereits angeführten Bestandteilen — Veränderungen im Wärmeangebot auftreten, indem die dem ausgetragenen Koksgrus und -staub entsprechende Menge an Koks für die Verbrennung vor den Formen fehlt oder bei festerem Koks relativ zu viel Kohlenstoff vor die Formen gelangt.

Es kann heute noch nicht gesagt werden, in welchen Mengen dieser Feinabrieb im Hochofen anfällt und aus diesem ausgetragen wird.

Auf diesem Gebiet sind noch umfangreiche Versuchsarbeiten in engster Verbindung mit der Hochofenpraxis durchzuführen, um auch in dieser Frage einer Klärung zuzustreben.

Eine Gruppe weiterer Gütezahlen charakterisiert den Koks bezüglich seines physikalischen Verhaltens im Hochofen. Zu dieser gehören die Stückigkeit, die Kornzusammensetzung und die Festigkeit des Kokses. Stückigkeit und Kornzusammensetzung gewährleisten entscheidend die notwendige Durchgasung des Hochofens und die Gasverteilung im Ofen, während die Festigkeit, worunter sowohl Stückfestigkeit als auch Abriebfestigkeit fallen, ein Maß für die Beständigkeit gegenüber den vielfältigen Beanspruchungen, denen der Koks im Hochofen ausgesetzt ist, darstellen soll.

Die Stückigkeit

Die Durchgasung der Möllersäule ist im oberen Teil des Hochofens sowohl von der Stückigkeit und Kornzusammensetzung des Kokses als auch des Möllers abhängig. Dem Koks kommt dabei als dem stückigeren Material die größte Bedeutung zu. Außerdem beträgt sein Volumenanteil in diesem Teil des Hochofens rund 50–55 %. In dem Maße, wie in tieferen Ofenbereichen die Temperatur ansteigt und das Erz schmilzt, übernimmt mehr und mehr der Koks die Aufgabe der Auflockerung, und im Unterofen ist schließlich, wenn man vom Zentrum absieht, der Koks allein die tragende und durchlässige Säule, durch die das Hochofengas strömt.

Schon hierin kommt die überragende Bedeutung des Kokses und speziell die seiner physikalischen Eigenschaften beim Betrieb eines Hochofens zum Ausdruck.

Daneben gilt nach vielfacher Erfahrung die Stückigkeit des Kokses und die Kornzusammensetzung gleichzeitig als kennzeichnend für die Ausbildung der Verbrennungszone, die als Voraussetzung für einen guten und wirtschaftlichen Hochofenbetrieb eine tiefe radiale Ausdehnung aufweisen soll.

Der Grund dieser Forderung ist darin zu suchen, daß eine unter sonst gleichen Bedingungen tiefe Verbrennungszone eine große aktive Gestellfläche zur Folge hat, die einmal ein gleichmäßigeres Absinken der Möllerstoffe und zum anderen auch eine bessere Gasverteilung gewährleistet. Allgemein gilt die Regel, daß die Ausdehnung der Verbrennungszone mit der Stückgröße des Kokses zunimmt, natürlich in Grenzen, die durch die kinetische Energie des Windes gegeben sind.

In dieser Frage können genau so wenig wie im Falle des Stückgrößeneinflusses auf die optimale Ofendurchgasung eindeutige Zusammenhänge zahlenmäßig belegt werden. Bisläng dominiert noch immer die Forderung nach großer Stückgröße und hoher Festigkeit des Kokses schlechthin.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß gute Stückigkeit auch gute Betriebsverhältnisse gewährleistet. Allerdings kommt es darauf an, die Stückigkeit während des gesamten Verhüttungsprozesses im Ofen bis zum Eintritt des Kokses in den Windformenbereich möglichst weitgehend zu erhalten, was u. a. natürlich eine hinreichende Festigkeit verlangt.

Verschiedene, vielfach erst in neuerer Zeit exakt durchgeführte diesbezügliche Untersuchungen schränken jedoch diese bisher recht allgemein gefaßte Forderung etwas ein.

So untersuchte beispielsweise Johnson [3] die Zusammenhänge zwischen der Koksstückgröße und dem Ofengang und fand, daß die Zunahme der durchschnittlichen Stückgröße von 57 auf 62,5 mm die Produktion um 5–6 % herabsetzte. Diese und andere Versuche führten zu dem Schluß, die günstigste Stückgröße als eine Funktion der Betriebsbedingungen zu betrachten.

Wie die Stückgröße des Kokses auf sein Verhalten im Hochofen vor allem hinsichtlich der Stückbeständigkeit unter Druck wirkt, zeigen Schenk und Esch [4]. Nach deren Feststellungen ist die Tragfähigkeit bei kleinstückigem Koks offensichtlich größer als bei grobem, dem gegenüber steht aber eine zwangsläufig schlechtere Windaufnahme infolge dichter Schüttung und als weiterer Nachteil zu kleinstückigen Kokses ein etwas erhöhter Abrieb und stärkerer Abbrand. Bei zunehmender Stückgröße nimmt dagegen der Grad der Zertrümmerung des Kokses ein beträchtliches Maß an, das natürlich auch von der Belastung abhängig ist. Daraus geht hervor, daß durchaus nicht die größte Koksstückgröße auch die günstigsten Verhältnisse für den Hochofen darstellen muß, sondern daß deren Optimalwert von den verschiedensten Bedingungen, wie Ofengröße, Möllerbeschaffenheit, Betriebsweise u. a., abhängt.

Himself [5] andererseits belegt an Hand eines Betriebsvergleiches, wie bedeutsam die Stückigkeit über 60 mm des eingesetzten Kokses für den Gang eines Hochofens ist. Er wies eindeutig nach, daß bessere physikalische Eigenschaften des Kokses, besonders aber ein hoher Anteil der Körnung über 60 mm zu erhöhter Gestellbelastung und besserem Ofengang führen.

Über den Einfluß von Brechkoks auf den Hochofenbetrieb berichtete Wolf [11]. In dem von ihm beschriebenen Fall wurde normalerweise mit Koks über 60 mm gearbeitet; aus betrieblichen Gründen mußte jedoch ein Hochofen über

längere Zeit mit Koks von 20 bis 40 mm betrieben werden. Der Hochofen arbeitet mit diesem Kleinkoks metallurgisch einwandfrei. Der Koksverbrauch war nur geringfügig angestiegen, was Wolf auf eine erhöhte schädliche Vergasung im Schacht infolge vergrößerter Oberfläche des Kokes zurückführte. Als entscheidender Nachteil der Kleinkoksverhüttung stellte sich jedoch die notwendige Verminderung der Durchsatzgeschwindigkeit um etwa ein Drittel heraus. Während der Ofen sonst bei Koks über 60 mm mit 60 000 Nm³ Wind/h betrieben wurde, mußte diese Menge bei Kleinkoks auf 40 000 Nm³ /h herabgesetzt werden. Jeden Versuch, die Windmenge von 40 000 Nm³ /h auch nur geringfügig zu überschreiten, beantwortete der Ofen sofort mit steilem Anstieg der Pressung und hartnäckigem Hängen. Diese Feststellungen wurden bei einwandfreiem Stückmüller gemacht, der zu 60 % aus abgeseibten Stückerzen und zu 40 % aus Sinter bestand. Wolf glaubt, aus diesem Versuch ableiten zu können, daß die Durchsatzgeschwindigkeit eines Hochofens maßgeblich von der Stückgröße des des Kokes bestimmt wird. Darüber hinaus wird es im Hinblick auf die grundsätzliche Bedeutung dieser Zusammenhänge für notwendig erachtet, diese Untersuchungen planmäßig zu wiederholen, um zu klaren Erkenntnissen zu gelangen.

Die Festigkeit

In Verbindung mit der Stückigkeit des Kokes muß, wie bereits erwähnt, dessen Festigkeit betrachtet werden, denn es ist durchaus nicht so, daß eine große oder gute Ausgangsstückgröße Gewähr dafür gibt, daß der Koks sich dann im Hochofen auch dementsprechend verhält. Die mechanische Beanspruchung des Kokes im Hochofen ist verhältnismäßig hoch und vielgestaltig, und es ist sehr leicht möglich, daß ein grobstückiger, aber weicher und splittriger Koks im Ofen zerfällt und gleiche Erscheinungen hervorruft wie ein schon im Ausgangszustand kleinstückiger Koks. Er kann aber auch nachteiligere Erscheinungen hervorrufen. Die Auswirkung eines unzureichend festen Kokes auf den Hochofenbetrieb ist vor allem deshalb nachteiliger, weil beim Zerfall im Hochofen stets ein unerwünscht breites Körnungsband und ein großer Teil Feinabrieb entstehen, wodurch die Beschickungssäule verdichtet und der Gasdurchgang sehr erschwert wird. Der ohnehin nachteilige Einfluß einer zu kleinen Koks-körnung auf den Hochofengang wird in einem derartigen Fall durch die zusätzliche Verdichtung der Schüttung infolge der erheblichen Körnungsunterschiede noch größer.

Die Auffassungen darüber, wie sich ein guter Hochofenkoks im Ofen in der Stückigkeit verändert bzw. verändern darf, sind noch sehr unterschiedlich. Global gilt, daß der Zerkleinerungsgrad des Kokes im Hochofen selbstverständlich so klein wie möglich sein soll.

Thibaut [7] gibt dazu u. a. an, daß bei gutem Koks die mittlere Größe der Koksstücke in der Blasformebene noch ungefähr 70 % von der Ausgangsstückgröße an der Gicht betrug. Wagstaff [3] glaubt sogar, daß, abgesehen von den großen Stücken, keine wesentliche Veränderung der Stückgröße beim Absinken des Kokes im Hochofen erfolgt.

Thibaut hat bei seinen Untersuchungen die Koksproben an der Gicht und aus den Windformen entnommen und diese verglichen. Wagstaff zog seine Folgerungen aus Filmaufnahmen aus der Verbrennungszone.

In den letzten Jahren häufen sich die Bemühungen um eine Festlegung eindeutiger physikalischer Kennwerte für Koks. Es ist interessant, einmal einige der verschiedenen Auffassungen, besonders aus der neueren Zeit, einander gegenüberzustellen. So fand z. B. Wagstaff [3] bei seinen Untersuchungen, daß Koks mit hoher Trommelfestigkeit im Hochofen einem größeren Verschleiß unterliegt als solcher mit geringerer. Darin sieht er eine Bestätigung dafür, daß die Trommelfestigkeit allein kein zuverlässiger Maßstab für die Festigkeit des Kokes ist. Saposhnikow [3] folgert daraus, daß die Stückgröße des Kokes beim Beschicken wichtiger ist als die Festigkeit. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Himsel [5], worauf in anderem Zusammenhang bereits hingewiesen wurde.

Wesemann, Graf und Wartmann [8] haben gleichfalls nachgewiesen, daß die Trommelfestigkeit allein keine hinreichende Auskunft über das Verhalten des Kokes im Hochofen gibt. Aus dieser Erkenntnis und der Notwendigkeit, den Hochofenkoks vor allem auch physikalisch richtig beurteilen zu können, wurde von Graf [8] eine Kennzahl

$$k = \frac{A \cdot D/100}{L + 3/4 S}$$

entwickelt, die eine den Bedürfnissen des Hochofenbetriebes besser entsprechende Auskunft über die Festigkeitseigenschaften des Kokes geben soll.

In ihr bedeuten:

- D = Anteil über 60 mm vor dem Trommeln in %
- A = Anteil über 60 mm nach dem Trommeln in % (Grobkorn)
- S = Anteil 20 bis 40 mm nach dem Trommeln in % (Splittrigkeit)
- L = Anteil unter 10 mm nach dem Trommeln in % (Abrieb)

Die eigentliche Festigkeitsprüfung wird dabei in der herkömmlichen Trommel durchgeführt. Im Ergebnis erscheint aber neben der ausschließlich die Festigkeit des Kokes charakterisierenden Größe in geeigneter Form auch die nach der Trommlung erhaltene und für den Hochofenprozeß so überaus wichtige Kornzusammensetzung.

In das von Graf vorgeschlagene Schaubild der Koksfestigkeit (Bild 2) wurden die entsprechenden Gütezahlen einiger hier zum Einsatz gelangenden Kokssorten eingetragen. Zum Vergleich ist das Feld 1 eingezeichnet, das die Werte eines in seiner physikalischen Beschaffenheit als gut bezeichneten Ruhrkokes umreißt.

Auffällig ist hier die Höhe des Produktes $A \cdot D$, das den Anteil der Körnung über 60 mm vor und nach der Trommlung wiedergibt, und andererseits die geringe Menge des Abriebes unter 10 mm sowie der Körnung 20 – 40 mm.

Die Felder 2 – 5 bezeichnen den Bereich der nach Graf ermittelten Gütezahlen einiger in der DDR als Hochofenkoks verwendeten Kokssorten:

- Feld 2 – Donezkoks (1956)
- Feld 3 – Magdeburger Koks
- Feld 4 – Polnischer Koks
- Feld 5 – Donezkoks (1959)

Mit Ausnahme des Donezkokes (1956) sind diese durch einen ausgesprochen niedrigen Anteil der Körnung über 60 mm vor und nach dem Trommeln und

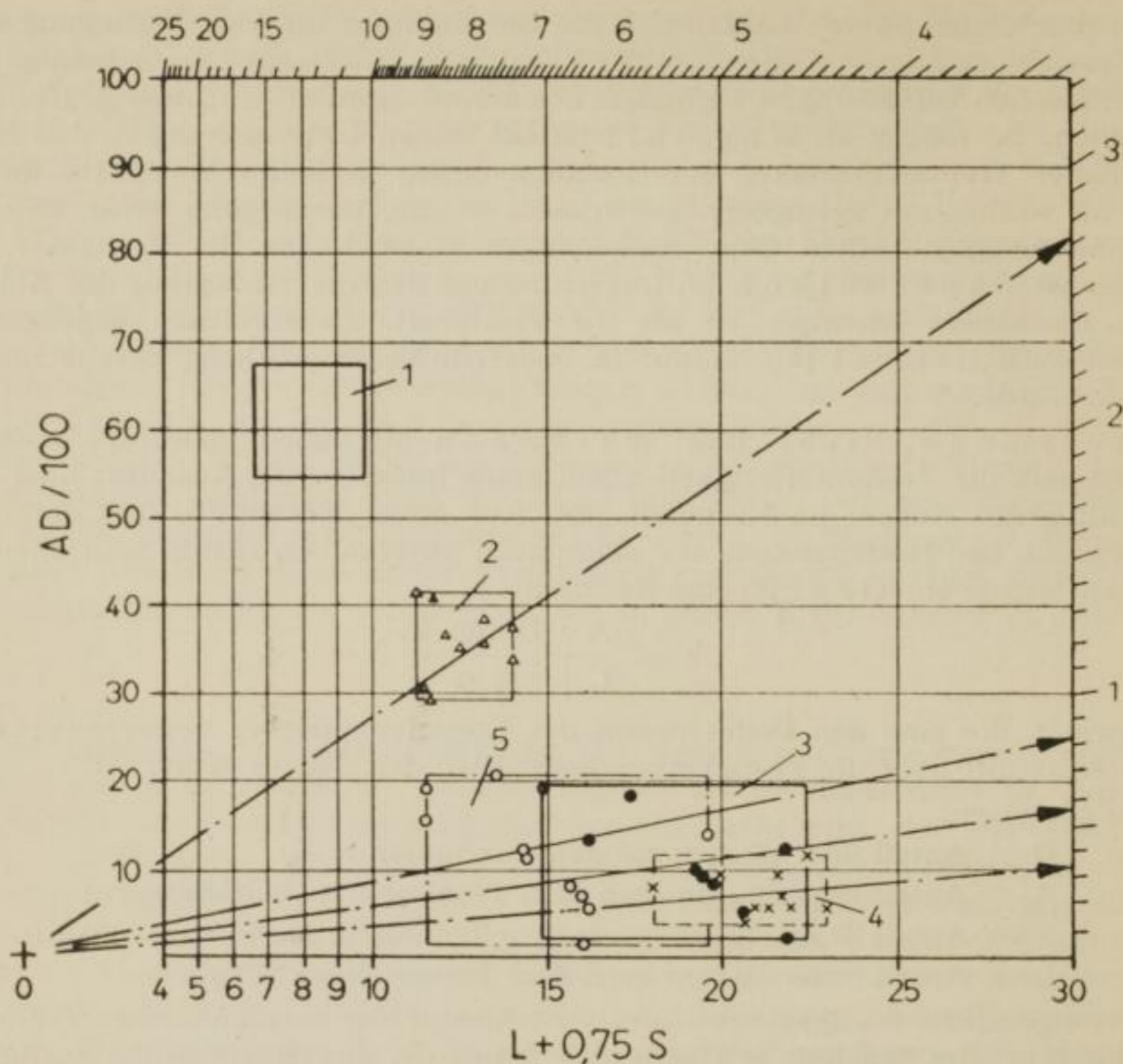


Bild 2. Schaubild der Koksfestigkeit

entsprechend große Mengen der Fraktionen 20–40 und < 10 mm gekennzeichnet, die darüber hinaus einen großen Streubereich aufweisen. Letzteres Merkmal ist ein gutes Maß für die Gleichmäßigkeit bzw. in diesem Fall die Ungleichmäßigkeit des Kokes.

v. Struve [10] wies nach, wieviel besser und richtiger die Graf'sche Kennzahl die Koksgüte wiedergibt als beispielsweise die Trommelfestigkeit.

Thibaut [7], der ebenfalls den Aussagewert der Trommelprüfung kritisch untersucht hat, kommt zu dem Schluß, daß man bei der Festigkeitsprüfung mit der Micum-Trommel bessere Abhängigkeiten bekommt, wenn mit 500 U/min statt der sonst üblichen 100 Umdrehungen getrommelt wird. Hier wie in den anderen angeführten Fällen ist zu überprüfen, in welchem Maße die getroffenen Feststellungen für die jeweils vorliegenden Verhältnisse Gültigkeit haben. Schließlich sei das Druckabriebverfahren erwähnt, das gegenüber der üblichen Trommelprüfung den Vorteil aufweist, daß dort das Reiben unter Druck, also ähnlich, wie es im Hochofen der Fall ist, erfolgt, während beim normalen Trommeln der Koks lose geschüttelt und gestoßen wird. Wolf [11] gibt dazu an, daß das Druckabriebverfahren mit vollem Erfolg neben dem Trommelverfahren in Betrieb ist.

Es steht fest, daß das alte Festigkeitsprüfverfahren für Koks verbesserungsbedürftig ist. Sei es, daß die Zahl der Trommelumdrehungen bei der Prüfung erhöht wird, sei es, daß die Auswertung der Ergebnisse andersartig erfolgt oder auch verschiedene Maßnahmen miteinander gekoppelt werden. Das Ergebnis der physikalischen Prüfung des Kokes muß sein Verhalten im Hochofen kennzeichnen, während die Prüfung nach DIN 51712 nur eine mehr oder weniger gute Kontrolle über eine aus der Erfahrung festgelegte Gütezahl darstellt.

Die Entscheidung über die Einführung einer neuen Prüfmethode hängt letztlich aber auch davon ab, was mit einer verbesserten Gütezahl erreicht werden kann. Im Hochofenwerk, das den Koks bezieht, ohne in direkter Verbindung mit dem Kokshersteller zu stehen, wird die Angabe eines Festigkeits- und Stückigkeitswertes in der Hauptsache dazu dienen können, den Hochöfner auf eine mögliche Veränderung der Betriebsverhältnisse hinzuweisen bzw. einen Leistungsrückgang oder überhaupt eine Leistungsänderung des Hochofens zu erklären. Anders ist es dann, wenn vom Hochöfner auf irgendeine Weise direkt Einfluß auf die Koksgüte bei der Herstellung ausgeübt werden kann. In diesem Fall wird ein gutes Prüfverfahren ganz wesentlich zu einer Verbesserung der Betriebsverhältnisse beitragen, ohne dabei den Kokserzeuger zu überfordern, was in der heutigen Situation auf dem Kohlenmarkt unter allen Umständen zu vermeiden ist.

Die gegenseitige Einflußnahme, auch dann, wenn Kokerei und Hütte räumlich auseinander liegen, ist natürlich das Gegebene, weil nur dadurch die Gewähr für einen allseitigen wirtschaftlichen Betrieb gegeben ist.

Bereits aus dieser knappen Gegenüberstellung der willkürlich herausgegriffenen Angaben verschiedener Fachleute aus neuester Zeit ist ersichtlich, wie wenig Klarheit über das Verhalten des Kokes im Hochofen und die richtige Prüfung desselben herrscht. Das gilt aber absolut nicht nur für die zuletzt angeführten Faktoren Stückigkeit, Kornzusammensetzung und Festigkeit. In noch stärkerem Maße trifft das für die Reaktionsfähigkeit, die Porosität, das wahre und scheinbare spezifische Gewicht und andere Eigenschaften zu. Bei diesen Größen ist allerdings der Einfluß auf das Betriebsgeschehen gering gegenüber dem der vorher genannten. Es wäre deshalb falsch, hierzu Forderungen aufzustellen, die einmal den Aufwand, u. a. auch für die Prüfung, nicht rechtfertigen und andererseits möglicherweise jeglicher Grundlage entbehren.

Unsere Aufgabe muß jetzt darin bestehen

- a) die für den Hochofenbetrieb wichtigen Kokseigenschaften als solche festzulegen und ihre Auswirkung auf das Betriebsgeschehen zu ermitteln,
 - b) die entsprechenden Qualitätsziffern aufzustellen und
 - c) die richtigen Prüfverfahren zu bestimmen
- und daraus schließlich — das geht in erster Linie den Kokshersteller an — nach Möglichkeiten zu suchen, den dann begründeten Ansprüchen an die Koksqualität weitgehend gerecht zu werden.

Der Arbeitsumfang hierfür ist, wenn die Forderungen befriedigend erfüllt werden sollen, sehr groß, die Aufwendungen sind aber lohnend.

Die Kokseigenschaften

Als erste wesentliche Kokseigenschaft muß die Gleichmäßigkeit des Produktes hervorgehoben werden. Diese Forderung steht aus zwei Gründen an

erster Stelle. Einmal ist es für den Hochöfner weit schwieriger, mit einem in der Güte stark schwankenden Koks zu arbeiten als beispielsweise mit einem gleichmäßigen, mittulguten Koks. Auf diesen kann man sich dann in der Hochofenführung einstellen. Bei ständig wechselnder Qualität wird das dagegen nur selten gelingen. Zum anderen macht eine oft wechselnde Koksqualität in vielen Fällen jegliche Koksprüfung illusorisch, weil im Betrieb auf Güteschwankungen, wie sie beispielsweise z. Z. noch im EKS und auch in unseren anderen metallurgischen Betrieben auftreten, oft gar nicht mehr oder nur äußerst unsicher reagiert werden kann, was einen großen Störfaktor für den Hochofenprozeß darstellt. Weitere für die Hochofenführung wichtige Kokseigenschaften, die auch in ihrer Wirkung auf den Betrieb bekannt sind, sind die Gehalte an Wasser, Asche und Schwefel. Dazu kommen die flüchtigen Bestandteile und der Feinabrieb. Der Feinabrieb wird zweckmäßig im Zusammenhang mit der unbedingt notwendigen Festigkeitsprüfung ermittelt. Schließlich ist die Kornzusammensetzung zu prüfen. Über die Auswirkung von Feinabrieb, Festigkeit und Kornzusammensetzung im Hochofen herrscht, wie bereits angedeutet, noch nicht die Klarheit wie bei den übrigen angeführten Faktoren.

Die Bedeutung der weiteren Kokseigenschaften für den Hochofenbetrieb, besonders aber die Notwendigkeit ihrer ständigen Kontrolle, ist noch nicht in ausreichender Weise nachgewiesen.

Die Qualitätskennziffern

Daß bei den vier erstgenannten Ziffern, besonders aber bei Asche, Schwefel und den flüchtigen Bestandteilen auf ein Minimum hingearbeitet werden sollte, braucht nicht nochmals unterstrichen zu werden. Auch der Feinabrieb soll so gering wie möglich gehalten werden, um Verstopfungen bzw. abnorm hohe Kohlenstoffverluste zu vermeiden. Eine Anhaltszahl kann hierzu noch nicht angegeben werden, weil speziell auf diesem Gebiet noch keinerlei Erfahrungen oder Untersuchungsergebnisse vorliegen. Der Wassergehalt soll bei ca. 6 % liegen. Sehr trockener Koks ist erfahrungsgemäß mürbe, und höhere Feuchtigkeitsgehalte sind Ballast. Die Forderung nach weitgehender Konstanz der Werte, auf die mehrfach hingewiesen wurde, gilt selbstverständlich auch für Wasser.

Die notwendige Festigkeit des Kokes ist in erster Linie abhängig von der Ofengröße, weiter aber auch von den Betriebsverhältnissen, wie Möller und Ofenbelastung.

Als Maßstab für die physikalische Qualität des Hochofenkokes gilt in unseren Werken noch immer die Koksfestigkeit nach DIN 51712, wonach eine Mindestfestigkeit von 70 % gefordert wird. Der bei der Trommlung entstehende Abrieb 0–10 mm soll dabei 8 % nicht übersteigen. Der Anteil an Korn unter 60 mm (Unterkorn) im Anlieferungszustand darf maximal 8 % betragen und der Koksgrus 0–10 mm höchstens 5 %.

Daß diese Werte nur Anhaltszahlen sein können, die lediglich Gültigkeit haben, solange keine besseren, technisch begründeten vorliegen, an deren Ermittlung gearbeitet wird, muß nochmals betont werden. Sie sind aufgestellt, ohne beispielsweise die Hochofengröße zu berücksichtigen. Wie demgegenüber im internationalen Maßstab (RGW Moskau) differenziert wird, zeigt die folgende Gegenüberstellung, in der die für verschiedene Ofengrößen erforderlichen Mindestfestigkeiten angeführt sind:

- Für Hochöfen bis zu 500 m³ Nutzinhalt, Sorte 3, Mindesthärte 50 %
Abrieb max. 13 %
- Für Hochöfen bis zu 750 m³ Nutzinhalt, Sorte 2, Mindesthärte 60 %
Abrieb max. 11 %
- Für Hochöfen über 750 m³ Nutzinhalt, Sorte 1, Mindesthärte 70 %
Abrieb max. 9 %

Da gewiß noch längere Zeit überwiegend mit der Kokshärte nach Micum gearbeitet wird, sei hierzu abschließend informatorisch der von Zimmer [1] nachgewiesene Einfluß der Trommelfestigkeit des Kokses auf den Kohlenstoffverbrauch je Tonne erschmolzenen Roheisens dargestellt (Bild 3). In der Darstellung sind die in drei Jahren angefallenen Zahlenwerte erfaßt, ohne daß allerdings weitere, den Kohlenstoffverbrauch beeinflussende Faktoren wie der Eisen- gehalt des Möllers, der Sinteranteil im Möller, weitere Qualitätsmerkmale des Kokses, die Ofenführung u. a. mit berücksichtigt wurden.

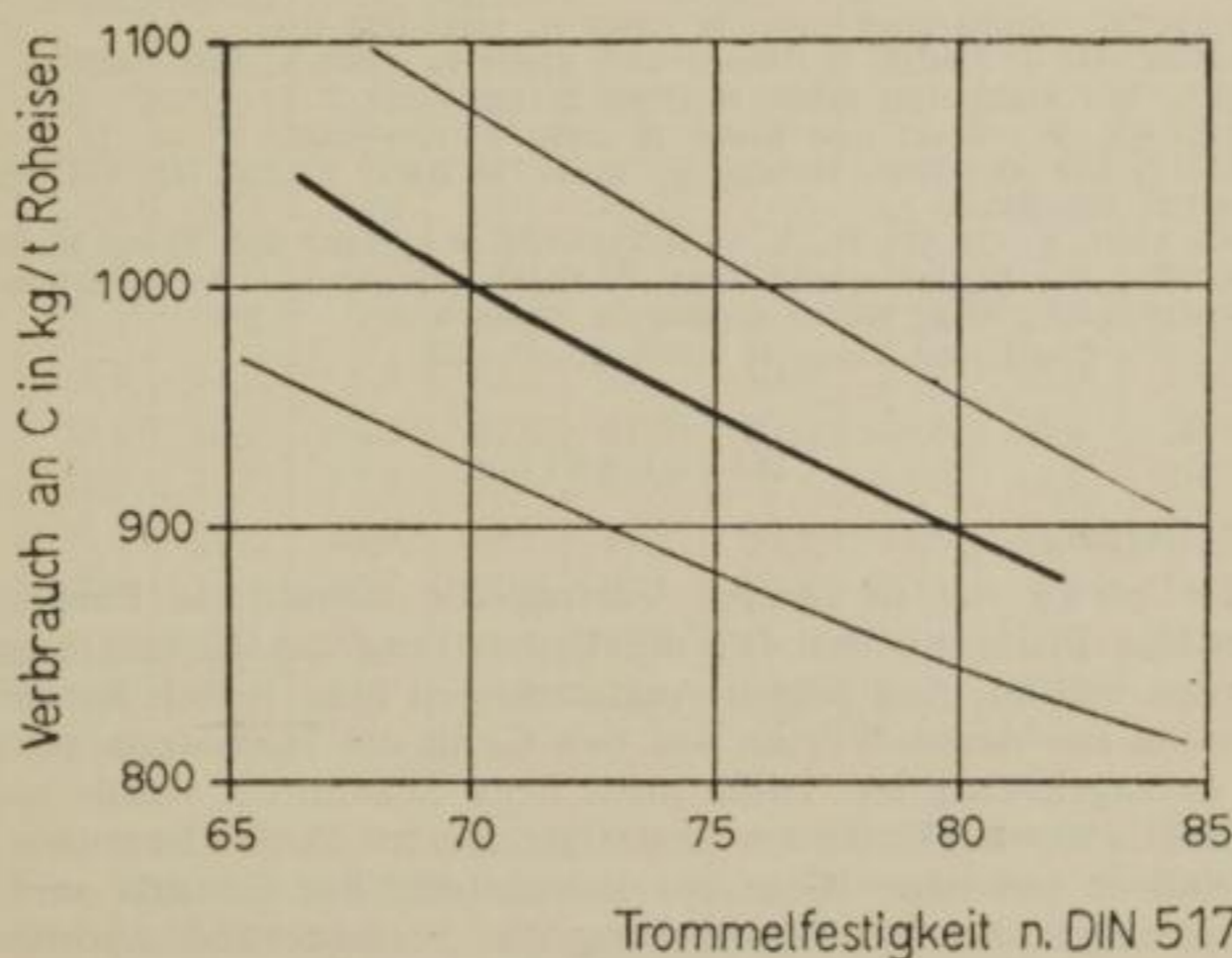


Bild 3. Abhängigkeit des C-Verbrauches von der Trommelfestigkeit

Die Prüfverfahren

Für die Prüfung der Bestandteile Wasser, Asche und Schwefel sind, sofern nicht grundsätzlich auf Schnellbestimmungen übergegangen werden soll, die Prüfmethode festgelegt und genormt. Das gleiche gilt für die flüchtigen Bestandteile, wobei nochmals auf die vermutete Unzulänglichkeit in der Prüftemperatur verwiesen wird. Der Feinabrieb kann im Rahmen der Festigkeitsprüfung durch entsprechende Absiebung ermittelt werden. Wie bereits angedeutet, muß aber in dieser Angelegenheit in den Betrieben eine grundsätzliche Klärung geschaffen werden, welchen tatsächlichen Einfluß diese Größe auf den Ofenbetrieb hat. Für die eigentliche Festigkeitsbeurteilung des Kokses sollte das Graf'sche Verfahren zunächst auf Eignung überprüft und gegebenenfalls eingeführt werden. Dem Mehraufwand an Siebarbeit muß dann durch die Einfüh-

rung einer geeigneten, mechanisierten Siebeinrichtung entsprochen werden. Mit der Auswertung nach Graf wird gleichzeitig die Kornzusammensetzung wahrscheinlich in ausreichendem Maße erfaßt.

Zusammenfassung

Die Gründe für die Unzulänglichkeit der z. Z. angewandten Prüfverfahren für Koks werden erörtert. Darstellung der Aufgaben des Kokes im Hochofen und Erläuterung der Auswirkungen der Koksbegleiter und der physikalischen Beschaffenheit des Kokes auf den Hochofenbetrieb und Hochofengang. Wiedergabe verschiedener neuerer Auffassungen über die Bedeutung, besonders der physikalischen Kokskennziffern, für den Hochofen. Aufgabenstellung für Hochöfner und Kokserzeuger.

Literatur

- [1] ZIMMER, W.: Neue Hütte 3 (1957) S. 666—673.
- [2] PAWLOW, M. A.: Metallurgie des Roheisens II. VEB Verlag Technik Berlin 1953, S. 124.
- [3] KUTZER, W.: Stahl und Eisen 76 (1956) S. 1252—1253 (U).
- [4] SCHENCK, H. u. ESCH, H.: Stahl und Eisen 75 (1955) S. 1421—1425.
- [5] HIMSEL, W.: Stahl und Eisen 78 (1958) S. 1225—1229.
- [6] STEINECKE, W.: Stahl und Eisen 78 (1958) S. 1229—1235.
- [7] THIBAUT, CH. G.: Rev. Metallurg., Mem. 40 (1843) S. 129—142, vgl. Stahl und Eisen 64 (1944) S. 339—342.
- [8] WESEMANN, F. GRAF, U., u. WARTMANN, R.: Stahl und Eisen 76 (1956) S. 133—144.
- [9] SCHEIDIG, K.: Diplomarbeit, Inst. f. Eisenhüttenkunde d. Bergakademie Freiberg.
- [10] v. STRUVE, G.: Neue Hütte 3 (1958) S. 673—675.
- [11] WOLF, W.: Stahl und Eisen 76 (1956) S. 145—152.

Diskussion

Dr. SCHMIDT, Leipzig:

Herr Dr. Holzhey hat in seinem Vortrag die berechtigte Forderung erhoben, daß aussagekräftige Prüfmethode für die Beurteilung des Kokes ausgewählt bzw. entwickelt werden sollten. Aus seinen Ausführungen ging jedoch hervor, daß gerade die Trommelprobe, aus deren Werten auf den Gang des Hochofens geschlossen wird, am wenigsten aussagekräftig ist. Diese nicht neue Erkenntnis wurde auch durch den Vortrag von Herrn Prof. Gruson bestätigt. Herrn Prof. Gruson müssen wir dankbar sein, daß er uns neue Wege zur Beurteilung der Qualität und der Eignung des Kokes aufgezeigt hat. Die Bestimmung des Wasser- und Aschegehaltes sowie der Festigkeit nach der Trommelprobe wird künftig nicht mehr genügen. Um besser feststellen zu können, wie der Koks der komplexen Beanspruchung bei seiner Verwendung widersteht, wird die Untersuchung des Koksgefüges notwendig sein.

Bereits sehr lange zurückliegende Untersuchungen von Kühlwein und Abramski unterstreichen, daß durch die Trommelprobe weniger die Festigkeit der Kokssubstanz als vielmehr unter den bisher üblichen Bedingungen die Rissigkeit des Kokes erfaßt wird. Sie haben festgestellt, daß Koks mit gleichhoher Trommelfestigkeit aber unterschiedlicher Herkunft nicht gleichgut für den Hochofen geeignet ist. Es ist dem Koks der Vorzug zu geben, der beim Trommeln in sehr harte Stücke zerfällt.

In diesem Zusammenhang haben wir folgende Versuche durchgeführt: Von den im Versuchsgaswerk Leipzig bei der Verkokung verschiedener Kohlen und Kohlenmischungen anfallenden Koksen wurde neben den üblichen Proben für die Festigkeitsuntersuchungen noch 50 kg Koks über 60 mm entnommen. Diesen Koks haben wir viermal aus 2,5 m Höhe gestürzt und anschließend bei den gleichen Siebschnitten wie in der Separation abgeseibt. Die Sturzbedingungen wurden willkürlich festgelegt.

Es ging nur darum, den Koks mechanisch zu beanspruchen. Der nach dem Stürzen verbleibende Koks über 40 mm wurde ebenfalls auf seine Trommelfestigkeit untersucht und diese außer auf M 40 noch auf M 30 bezogen. Mit dem Kornaufbau, wie er sich nach dem Stürzen ergab, wurde von dem ursprünglichen Sortenfall auf den Sortenfall umgerechnet, wie er entstanden wäre, wenn wir den gesamten Koks in gleicher Weise gestürzt hätten. Die bisher erzielten Ergebnisse sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Der Sortenfall ist sowohl in einzelnen Fraktionen als auch als Gesamtanteil über 40 mm angegeben. Die Koksfestigkeit vor dem Stürzen bezieht sich auf den Koks

Tabelle 1. Änderung des Sortenfalles und der Trommelfestigkeit mechanisch vorbehandelten Kokses

Probe Nr.	Sortenfall							Koksfestigkeit				
	vor dem Stürzen			nach dem Stürzen		vordem Stürzen nach d. Stürzen		vor dem Stürzen		nach dem Stürzen		
	+ 90 mm	90-60 mm	60-40 mm	+ 60 mm	60-40 mm	+ 40 mm		M 40	M 10	M 40	M 30	M 10
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	23,3	43,4	23,3	2,7	38,3	90,0	41,0	46,6	10,9	42,8	67,2	8,0
2	24,8	43,7	20,6	6,9	37,2	89,1	44,1	36,0	9,8	46,4	68,6	8,6
3	24,2	41,9	18,6	2,9	38,3	84,7	41,2	42,5	19,7	44,0	64,8	15,6
19	14,8	35,1	17,3	6,8	33,8	67,2	40,6	39,9	25,0	46,6	68,8	16,0
37	10,9	33,2	17,7	1,6	28,4	61,8	30,0	35,8	28,2	39,6	63,2	21,2
5	37,4	34,7	15,9	13,3	39,4	88,0	52,7	63,3	14,9	67,2	82,0	10,8
6	29,4	39,1	20,6	18,8	38,1	89,1	56,9	63,6	11,0	73,2	86,8	9,2
8	35,6	41,4	16,1	28,2	34,1	93,1	62,3	70,5	6,3	76,0	86,0	6,8
9	44,1	31,4	13,6	25,6	31,6	93,1	57,2	72,4	7,8	76,4	88,0	6,8
13	22,4	42,8	19,8	16,7	38,5	85,0	55,2	01,2	13,9	65,2	78,4	14,4

über 60 mm, während die Koksfestigkeit nach dem Stürzen vom Koks über 40 mm bestimmt wurde. Der M-30-Wert resultiert aus der gleichen Bestimmung, indem zwischen das 20- und 40-mm-Sieb noch ein 30-mm-Sieb eingelegt wurde.

Bei den Proben 1 und 2 handelt es sich um Koks aus Martin-Hoop-Kohle. Die bekannte Splittigkeit des Kokses sächsischer Kohlen kommt durch die beachtliche Abnahme des Anteils über 40 mm zum Ausdruck. Nach dem Stürzen verminderte sich der M-40-Wert der Probe 1, während er bei Probe 2 um 10 Punkte zunahm. Es muß hier nochmals erwähnt werden, daß für die Bestimmung der Koksfestigkeit einmal Koks über 60 und einmal Koks über 40 mm verwendet wurde. Für den Koks über 40 mm gilt aber, entsprechend der DIN-Vorschrift, M 30 als Bezugsgröße. Der M-30-Wert liegt beachtlich höher als der M-40-Wert. Gleichzeitig konnte aber auch der M-10-Wert durch die mechanische Vorbehandlung des Kokses günstig beeinflußt werden.

Die Proben 3, 19 und 37 stellen Kokse aus polnischen Gaskohlen dar. Auch hier fällt der erhebliche Rückgang des Anteils über 40 mm nach dem Stürzen auf. Die Abnahme ist etwas geringer als beim sächsischen Koks und darauf zurückzuführen, daß der Anteil über 40 mm vor dem Stürzen bereits niedriger gelegen hat. Bei diesen Koksen erhöht sich in jedem Falle nach dem Stürzen sowohl der M-40- als auch der M-30-Wert. Auch die M-10-Werte erfuhren zum Teil eine beachtliche Verbesserung.

Die Kokse der Proben 5, 6, 8, 9 und 13 stammen aus Mischverkokungen polnischer Gaskohle mit westfälischer Fettkohle. Der Rückgang des Anteils über 40 mm schwankt zwischen 30 und 36 %. Verglichen mit sächsischen Koksen ist er geringer, liegt aber mit den polnischen Koksen annähernd auf gleicher Höhe. Die vermutliche Tendenz, daß mit höherem M-40-Wert der Anteil über 40 mm nicht in so starkem Maße verringert wird, konnte durch diese Untersuchungen nicht bestätigt werden. Allerdings ist ziemlich eindeutig, daß die Zunahme der M-30-Werte gegenüber den M-40-Werten vor und nach dem Trommeln weniger stark ausgeprägt ist. Der Unterschied wird kleiner, je höher die Festigkeit des Kokes ist.

Aus den bisher vorliegenden Untersuchungen läßt sich schlußfolgern, daß der Unterschied des Koksanteils über 40 mm vor und nach dem Stürzen um so größer ist, je stärker die Rissigkeit ist. Der M-40-Wert vor und der M-30-Wert nach dem Stürzen werden sich um so mehr unterscheiden, je fester die Kokssubstanz ist.

An Hand der Untersuchungen drängt sich ferner die Frage auf, ob wir auch in Zukunft den Koks bei der Aufbereitung weiterhin so schonend behandeln sollen. Es wäre vielleicht zweckmäßig, den Koks über 80 mm abzusieben und den Anteil über 80 mm mechanisch zu beanspruchen. Man müßte dann allerdings in Kauf nehmen, daß der Anteil über 40 mm kleiner wird. Auf der anderen Seite hat man jedoch den Gewinn, daß der M-40-Wert um 5 bis 10 Punkte gesteigert würde. Damit könnte man auch Koks für bestimmte Zwecke verwenden, für die er auf Grund des geringeren M-40-Wertes normalerweise nicht in Frage kommt.

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Ich danke Herrn Dr. Schmidt für seinen sehr wertvollen Diskussionsbeitrag, der noch einmal die Wichtigkeit der Stabilisierung des Kokes zum Ausdruck gebracht hat. Ergänzend darf ich noch bemerken, daß in der DIN-Vorschrift als Ergänzung für die normale Trommelprobe eine Vortrommung mit 25 Umdrehungen des Grobkokes vorgesehen ist.

Dipl.-Ing. WAGNER, Deutzen:

Ich glaube, das, was Herr Dr. Holzhey sagte, ist beachtenswert für die künftige Gestaltung unserer Betriebe, und zwar nicht nur bezüglich der Kokereien, sondern aller Betriebe der kohleveredelnden Industrie.

Die Forderung nach Einhaltung und Verbesserung der Qualität unserer Produkte muß in die breitesten Kreise getragen werden, und zwar so, daß die maximale Menge der Produkte und deren optimale Qualität eine Einheit bilden und nicht die Menge zu Lasten der Qualität dominiert. Um dies zu erreichen, müssen alle Möglichkeiten der Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgeschöpft werden.

Die Ausführungen von Herrn Dr. Holzhey dürften im allgemeinen alle die Betriebe interessieren, die Zulieferer für Betriebe einer höheren Veredlungsstufe sind. Übertragen auf das engere Fachgebiet bedeutet dies, daß dem Bergmann und dem Aufbereiter eine große Bedeutung zukommt. Es muß daran erinnert werden, daß wir keine bodenständigen Kokereien im eigentlichen Sinne mehr betreiben, d. h. solche, die auf die Kohlevorräte der eigenen Grube zurückgreifen können, sondern sie sind angewiesen auf Fremdzulieferungen.

Diese Tatsache stellt an die Bergleute der fremden Kohlengruben besondere Anforderungen, die zu erfüllen bei der Belieferung der Kokereien mit Kohle von großer Wichtigkeit sind. Hierzu gehört, daß der Bergmann den Kokereien bzw. deren Aufbereitern gute Flözkarteien zur Verfügung stellen muß. Mit Hilfe der Flözkarteien zusammen mit aufgestellten Verwachsungs- und Waschkurven, die aus einwandfreien Analyseergebnissen entwickelt wurden, ist dann der Aufbereiter in der Lage, natürlich bei Erfüllung der bestehenden Forderung nach gleichbleibender Mischung der

ankommenden Förderkohle, dem Kohleveredler die Voraussetzungen zu bieten, daß auch dieser den Forderungen der Hochöfner gerecht werden kann.

Das bedingt, daß wir in erheblich höherem Maße Fachleute auf dem Gebiet der Aufbereitung heranbilden müssen.

Bestimmt nun der Aufbereiter an Hand seiner technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse, die er aus dem Studium der Flözkarteien gewonnen hat, die Förderanteile aus den einzelnen Flözkarteien und richtet sich der Bergmann nach diesen Forderungen, so ist schon ein Teil des späteren Erfolges, den zu vollenden dem Kokereifachmann vorbehalten ist, gewährleistet.

Daraus ergibt sich, daß die Veredler — sei es, daß sie auf physikalischem oder auf thermischem Wege veredeln — die hohe Aufgabe zu erfüllen haben, Mittler und Bindeglied zu sein zwischen Hochöfnern und dem Bergmann, der an sich vorbehaltlich der Qualität seiner Lagerstätten ein durchaus unvollkommenes Produkt auf die Hängebank bringt.

Ing. ARENBECK, Stalinstadt:

Das gastechnische Kolloquium führt am heutigen Tage zum ersten Male im größeren Rahmen die Kokserzeuger und die wichtigsten Verbraucher der Metallurgie zusammen, damit u. a. einige offenstehende Fragen geklärt werden können. Diese Tatsache wird begrüßt, weil beiderseitige Kenntnis der Probleme eine fruchtbare Zusammenarbeit gestalten helfen.

Die Qualität des Kokes ist ein entscheidender Faktor bei der Erzeugung von Roheisen in bezug auf Menge, Qualität und Rentabilität. Sehr umfangreiche Bemühungen sind darauf gerichtet, gewisse Aussagen über die Qualität des metallurgischen Kokes von einer einzigen Wertziffer abzuleiten, die im Ofen zu erwartende Reaktionsfähigkeit richtig einzuschätzen. Diese Schlußfolgerungen sind entscheidend für die vorzunehmende Möllierung, d. h. der richtigen Verhältniswahl von einzusetzendem Erz zu Koks.

Besonders erfreut bin ich darüber, daß Herr Prof. Gruson in diesem Zusammenhang den Einfluß der Porosität mit neuen Erkenntnissen vermittelte, die bei uns sehr starke Beachtung gefunden haben. Der Hochöfner beurteilt den Koks nach bestimmten äußerlichen Merkmalen und kann erfahrungsgemäß auf Grund dieser Tatsache gewisse Rückschlüsse auf sein mögliches Verhalten ziehen. Diese empirische Bewertung kann jedoch nur ein Provisorium sein und muß exakten Untersuchungsmethoden mit bleibenden Werten weichen. Dazu waren die Ausführungen des Herrn Professor Gruson ein entscheidender Beitrag zum Gesamtbild.

Ein Erfahrungswert bei uns Hochöfnern besagt, daß 30 % des Kokes in einer Stückigkeit von über 40 mm vor den Formen vorliegen muß, damit bei der direkten Reduktion, etwa 40–45 %, einwandfreier Ablauf gewährleistet ist.

Große Bemühungen der Metallurgen sind darauf gerichtet, die indirekte Reduktion zu vergrößern, d. h., die Gichtgase maximal zur Reduktionsarbeit auszunutzen, da hierdurch entscheidend Koks eingespart werden kann. Die Einsparung dieses wichtigen Importrohstoffes gelingt uns also, indem wir die indirekte Reduktion auf Kosten der direkten verändern. Entscheidend hat uns dabei der Erfahrungsaustausch mit sowjetischen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Arbeitern geholfen.

Es ist kein Geheimnis, daß der polnische Koks, den wir im EKS einsetzen, nach wie vor durch extrem hohe Schwankungen in bezug auf Härte, Asche und Wasser innerhalb einer Sendung charakterisiert wird. Es ist leider oftmals unmöglich, sich auf diese Schwankungen einzustellen. Im Ergebnis machen sich nachteilige Auswirkungen auf die Produktionsmenge und deren Qualität bemerkbar. Umfangreiche Bemühungen, den Import auf einige wenige Zechen zu beschränken, haben nicht zu dem Ergebnis geführt, das wir uns als Metallurgen davon versprochen hatten. Um

so erfreulicher ist es, daß auf Grund persönlicher Aussprachen mit Vertretern unserer einheimischen Kokereien, insbesondere mit Magdeburger Kollegen, eine sichtbare Verbesserung des bei uns in der Republik erzeugten metallurgischen Kokses eingetreten ist. Zweifelsohne werden anders geartete, objektive Bedingungen mit hineinspielen, daß eine größere Gleichmäßigkeit der Qualität des Magdeburger Kokses erzielt wurde. Es ist Tatsache, daß sich im vierten Quartal 1958 und im ersten Quartal 1959 die Kennziffern an unseren Hochöfen verbesserten. Die Koksverbrauchszahlen für das Jahr 1958 lagen lt. Plan bei 1280 kg/t Stahleisen. Die Planzahl wurde unterschritten, die Ist-Zahl lag bei 1260 kg/t Stahleisen.

Im Plan des Jahres 1959 wurde ein Koksverbrauch von 1247 kg/t Stahleisen festgelegt. Ohne daß dabei der Eisengehalt unserer Erze sich erhöhte, wurde also der Koksverbrauch gesenkt und ohne nennenswerte technologische und konstruktive Veränderungen wird der Koksverbrauch weiterhin entscheidend vermindert. Gewiß bemühen sich unsere Hochöfner, auch hier wieder in großem Umfang Erfahrungen sowjetischer Hochöfner anzuwenden, mit hohen Heißwindtemperaturen zu arbeiten, doch kann man feststellen, daß der bei uns hergestellte Koks an der Verbesserung der Qualität des Roheisens einen entscheidenden Anteil hat. In dieser Hinsicht sagen wir den Kumpeln, Meistern, Technikern und Ingenieuren, besonders von Magdeburg und Rummelsburg, unseren Dank und geben der Hoffnung Ausdruck, daß sie auf der Grundlage der gegenwärtig erreichten Qualität sich weiterhin bemühen, um in ihren Werken maximale Qualitätsgestaltung zu erringen.

Wir haben den Anteil des einheimischen Kokses wesentlich erhöht. Entgegen unserer bisherigen Einstellung, DDR-Koks abzulehnen, weil er mit erheblichen qualitativen Mängeln behaftet sei, und dafür lieber importierten Koks zu verarbeiten, sind unsere derzeitigen Bemühungen darauf gerichtet, möglichst umfangreiche Mengen Koks unserer Kokereien wegen seiner Gleichmäßigkeit und guten Qualität — wie sie im IV. Quartal 1958 und I. Quartal 1959 zu verzeichnen war — an unseren Hochöfen einzusetzen.

Herr Dr. Holzhey hat in seinem Referat über die Bedingungen gesprochen und besonders den notwendigen Forderungen nach Kontinuität und Qualität betont Ausdruck verliehen. Wir stellen keine übermäßig hohen Ansprüche an die Qualität — es ist nicht unbedingt notwendig, einen Koks mit 85 % Härte einzusetzen —, sondern wir wollen nur einen gleichmäßigen Koks haben, der keine nennenswerten qualitativen Schwankungen aufweist. Denn davon hängt entscheidend ab, ob es uns gelingt, den sehr angespannten Roheisen-Qualitäts-Plan, dessen Einhaltung Ausschlag für Stahlqualität, Walzwerksqualität und für die Ergebnisse im Maschinenbau ist, zu erreichen. Wir müssen 1959 5 % mehr erste Qualität erzeugen, als die Istzahl des vorangegangenen Jahres betrug.

Ganz entscheidend kann uns geholfen werden, indem man die Voraussetzungen dazu durch eine möglichst gleichmäßige Koksgüte schafft. Zweifelsohne gibt es in dieser Hinsicht bei Ihnen Möglichkeiten. Zum Beispiel muß in der Großgaserei Magdeburg eine gleichmäßige Gattierung der zur Verkokung kommenden Kohlen gewährleistet werden. Wir im Eisenhüttenkombinat haben durch Homogenisierung und gleichmäßige Möllierung oder Gattierung entscheidende Erfolge in bezug auf Steigerung der Produktion erreicht. Wir bemühen uns, eine gemeinsame Zusammenkunft der Kokserzeuger bei uns im Kombinat durchzuführen, um sie mit den Bedingungen unserer Roheisenproduktion vertraut zu machen und unsererseits einen größeren Einfluß darauf zu nehmen, bestimmte Erfahrungen überbetrieblicher Art auf ihre Werke zu übertragen. Wir haben sehr großes Interesse daran, daß zur Beibehaltung, ja Steigerung der hohen Erzeugung an metallurgischem Koks Verbesserungen investiert werden, die eine größere Gleichmäßigkeit der Koksqualität als objektive Ausscheidung erfordern. Durch Senkung des Koksverbrauches, Einschränkung des Koksimportes werden sich dabei in umfangreichem Maße die in den Kokereien investierten Mittel sehr bald amortisieren.

Ich glaube, daß die begonnene enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Gas-erzeugung sich sehr positiv auf die Verbesserung der Kennziffern in beiden Grundstoffindustrien, der Kokereien und der Hochofenwerke, auswirkt. Viele Anzeichen sind dazu vorhanden.

Wir Praktiker können auf Grund der Beobachtungen und der Erfahrungen mit Hinweisen aufwarten, die für Sie, Herr Professor, wichtig sind und zu Untersuchungen anregen können, die uns an Stelle der Erfahrungswerte exakte wissenschaftliche Werte vermitteln werden. Wir sind dementsprechend sehr intensiv bemüht, Ihre Untersuchungen bei uns an den Hochöfen zu unterstützen, und danken Ihnen nochmals für die heute gegebene Möglichkeit, einige Probleme unserer Roheisenproduktion darzulegen.

Dipl.-Ing. ZIMMER, Unterwellenborn:

Kollege A r e n s b e c k hat vieles vorweggenommen, was ich selbst sagen wollte. Wir haben gehört, daß neben den bisher üblichen Untersuchungen auch noch andere Untersuchungen nötig wären, um zu einer besseren Erkenntnis der Koksqualität zu kommen, also Bestimmung der Porosität, Reaktionskennzahl u. a. Da es sich aber um eine sehr große Anzahl von Kokssorten handelt (auch der Importkoks mit eingerechnet), möchte ich einmal vom Standpunkt des Praktikers betonen, daß für diese Forschungsarbeiten auch eine große Anzahl von Menschen gebraucht wird. Wenn wir unsere Untersuchungsmethoden noch weiter ausbauen wollen, folgt daraus eine ungeheure Ausweitung unseres Personalbestandes und unserer Laboratorien. Ich glaube nicht, daß wir bis zum Jahre 1965 in der Lage sind, eine ganze Kompanie Probenehmer in Bewegung zu setzen, angefangen bei einem leitenden Ingenieur bis zur letzten Hilfskraft, und dies noch für drei Schichten.

Ich bin der Meinung, daß wir Hochöfner nicht den Koks kontrollieren sollen, sondern daß sich die Gepflogenheit der volkseigenen Industrie durchsetzen muß, daß die Kokereien ein Güteattest mitliefern und daß von dort die vereinbarte Qualität garantiert wird. Der Verbraucher kann sich dann auf einige Stichproben beschränken, die bei gegenseitigem Vertrauen dann später wohl ganz wegfallen können. Ein solches Beispiel wurde bereits in der Maxhütte praktiziert.

Die Arbeit der Koksuntersuchungen wäre demnach nur einmal, und zwar bei den Kokereien durchzuführen. Ich bin darüber hinaus der Ansicht, daß wir, bevor wir neue Methoden erarbeiten und einführen, erst einmal an d a s herangehen, was wir s o f o r t beeinflussen können. Gemeint ist hier im besonderen der Wassergehalt sowie auch die Gleichmäßigkeit der Kokslieferungen in bezug auf Asche- und Schwefelgehalt.

Ich weiß, daß diese von einer kontinuierlich anzuliefernden Kohle abhängen und daß viele Kokereien nicht so große Vorräte halten können, um einen gleichmäßigen Einsatz der Kohle zu garantieren. Immerhin wird bei gutem Willen hier einiges getan werden können. Die Kollegen der Kokereien wissen jetzt auf Grund einer Reihe von Besprechungen, wie ein metallurgischer Hochofenkoks aussehen muß, und sie wissen auch, daß unsere Forderungen keine Nörgeleien sind, sondern daß alles technisch begründet ist. In diesem Sinne lege ich auch dieser Zusammenkunft, die erstmalig von der Brennstofftechnischen Gesellschaft veranstaltet wurde, die allergrößte Bedeutung bei, und ich möchte bitten, daß es nicht das letzte Mal gewesen ist.

Zweifellos ist der Koks in der letzten Zeit besser geworden, und wenn wir dahin kommen, daß ein gewisses Vertrauensverhältnis zwischen Lieferant und Abnehmer entsteht, dann werden wir uns wahrscheinlich eine Menge Arbeit und auch eine Menge Ärger sparen können, und die Klagen über die Koksqualität werden der Vergangenheit angehören.

Als Wichtigstes möchte ich den praktischen Vorschlag machen, daß wir zunächst einmal Koks als Trockenkoks kaufen und verkaufen. Es war doch bisher so, daß den

Kokereien eine Planaufgabe mit 10 % Wasser auferlegt worden ist und wenn sie in der Lage waren, einen Koks mit weniger Wasser herzustellen, konnten sie den Plan nicht erfüllen. Es wird Zeit, daß die Plankommission das ändert. Was wir auf Grund von Kaufverträgen mit dem Wasser ausmachen, ist eine rein kaufmännische Angelegenheit, die wir miteinander abwickeln können unter Anlehnung an die demnächst erscheinende TGL. Ich persönlich sehe den Sinn unserer Laboratoriumstätigkeit nicht darin, daß wir die Kaufleute zur Berechnung von Vertragsstrafen aufstacheln, sondern unsere Wünsche zielen auf einen einwandfreien Koks.

Wenn sich durch die heutige Aussprache das von mir angeführte Vertrauensverhältnis allmählich anbahnt, dann ist der Zweck dieser Zusammenkunft erreicht.

Dr. rer. nat. GRÜNERT, Leuna:

Die chemische Industrie kann leider nicht mehr auf metallurgischen Koks zurückgreifen. Wir setzen in Leuna in 25 Brassertgeneratoren 600 000 t Steinkohlenkoks durch, der aus etwa 140 Gaswerken kommt.

Bekanntlich ist der Brassertgenerator infolge seiner niedrigen Bauhöhe nicht besonders abhängig von der primären Festigkeit des Brennstoffes; er ist aber als Schachtgenerator in seiner Leistung stark abhängig von der Korngröße. Der Wassergasgenerator stellt an den Koks physikalisch große Anforderungen. Bei der Heißblasperiode muß eine sehr große Luftmenge die Schüttung passieren, die dort möglichst zu CO_2 umgesetzt werden soll; dann soll in der Gasperiode der Dampf möglichst gut und quantitativ zu Wassergas zersetzt werden.

Wir haben in der letzten Zeit immer wieder feststellen müssen, daß die angegebenen Körnungen nicht eingehalten werden und daß der Unterkornanteil bei der Ankunft im Werk Leuna meist über 50 % beträgt. So enthielt im Durchschnitt des letzten Quartals der Brech II nur noch 40 % über 40 mm.

Der Koks mit einem derartig weiten Kornspektrum gibt eine so dichte Schüttung im Generator, daß die durchzublasende Luftmenge und damit die Generatorleistungen erheblich absinken. Auf der anderen Seite erhöhen sich die Brennstoffverbräuche dadurch, daß der Heizwert des Blasegases auf 500–600 WE ansteigt.

Durch die schlechte Klassierung, verursacht durch geringe Festigkeit, und auch durch die hohe Reaktionsfähigkeit dieser Kokse, ist der Koksverbrauch bei solchen Gaskoksen im Mittel um 25 % höher als bei guten Zechenkoksen, während die Leistung nur 70 % beträgt.

Der Wassergehalt beeinträchtigt den Betrieb als solchen nicht wesentlich, das ist eine Frage der Bewertung des Kokses und der Ausnutzung des Transportraumes. Große Sorge macht aber der Aschegehalt. Wir erhalten oftmals Wagen mit Aschegehalten von 20, 25, 30 % und mehr Asche. Dadurch kann der Generator seine vorgesehene Leistung nicht mehr einhalten. Die Ascheaustragvorrichtung schafft bei der normalen Leistung etwa 13 % Asche; was darüber ist, bleibt im Generator und kann nur durch manuelle, schwere Arbeit herausgeholt werden oder dadurch, daß man bei angestelltem Generator den Austrag weiter drehen läßt. Da wir für die Schlackarbeit keine Arbeitskräfte mehr bekommen, bleibt nur der letzte Weg, und das bedeutet bei Aschegehalten von 20 % eine Leistungsabnahme auf etwa 60 %. Darüber hinaus wird eine nicht unbeträchtliche Menge Brennbare mit ausgetragen. Besonders ungünstig wirken starke Schwankungen im Aschegehalt, die zu Verschlackungen und erheblichem Brennstoffmehrverbrauch führen. Leider ist es technisch nicht möglich, den Koks so schnell zu analysieren, daß das Ergebnis schon vorliegt, ehe der Koks den Bunkern zugeführt wird. Nur so könnten die durch den stark schwankenden Aschegehalt verursachten Schwierigkeiten gemildert werden.

Der Schwefelgehalt mancher Kokssorten stört weniger beim Vergasungsprozeß als in der nachgeschalteten Gasreinigung. Das begrenzt den Einsatz von schwefelreichen Kokssorten.

Unsere wichtigsten Forderungen an die Gaswerke sind: Koks zu liefern mit gleichmäßiger Korngröße, sauber abgeseibt und wenigstens mit einer Festigkeit, daß der Koks den Transport durch Bahn, Förderanlage und im Bunker ohne wesentlichen zusätzlichen Abrieb übersteht; ferner soll der Koks einen gleichmäßigen Aschegehalt aufweisen, der 13 % nicht übersteigen, möglichst darunter liegen soll. Wenn diese Forderungen erfüllt werden und dazu noch eine geringe Reaktionsfähigkeit vorliegt, werden wir die Leistungen, die gefordert werden, erbringen und auch in den Verbräuchen wieder auf vernünftige Werte kommen.

Ing. GSELL, Magdeburg:

Die Lösung der technischen Aufgaben scheidet daran, daß auf der kaufmännischen Ebene in den Betrieben immer noch nach betriebsegoistischen Belangen gearbeitet wird und die gesamtwirtschaftlichen Belange zu wenig beachtet werden.

Unsere Pläne sind auf technisch-wirtschaftlichen Kennziffern aufgebaut und daraufhin produktionsmäßig sowie finanzmäßig gesetzliche Verpflichtungen geworden. Die Betriebe berufen sich immer wieder darauf, daß die übergeordneten Leitungen entsprechende Beschlüsse fassen müßten, um solche erkannten Mängel in der Frage der Abrechnung der Produktion zu beseitigen. Wer hindert uns aber daran, in eigener Verantwortung solche Probleme zu lösen? Wir können sofort gegenseitige Vereinbarungen treffen, die gewährleisten, daß eine ständige Verbesserung der Qualität der gelieferten Produkte, zumindest in bezug auf Wasser- und Aschegehalt, eintritt.

Herr Dr. Holzhey hat ganz klar herausgestellt, daß es für die koksverarbeitenden Betriebe wesentlich günstiger ist, Koks von konstanten Eigenschaften zu verarbeiten, und daß sich die Qualitätsschwankungen immer nachteilig für den Produktionsprozeß auswirken. Es ist verständlich, daß von seiten der koksverarbeitenden Betriebe hohe Qualitätsanforderungen bezüglich der Festigkeit und des Wasser- sowie Aschegehaltes des Kokes gestellt werden. Man muß aber unbedingt beachten, daß den Fragen der Qualität in der augenblicklichen Situation bestimmte Grenzen gesetzt sind. In einer längeren Beratung im Rahmen der gegenseitigen Wirtschaftshilfe aller sozialistischen Länder wurde darüber diskutiert, welche Möglichkeiten im sozialistischen Lager bestehen, den Bedarf an Koks für metallurgische und industrielle Zwecke sicherzustellen und gleichzeitig bestimmte Mindestqualitäten für die Bilanzierung zugrunde zu legen.

Dabei ergab sich, daß zumindest für die nächsten beiden Jahre der metallurgische Koksbedarf nur dann gedeckt werden kann, wenn aus den Kokskohleaufkommen der sozialistischen Länder ein Teil unaufbereitete Kohle mit zum Einsatz gelangt. Daraus ergibt sich, daß der mittlere Aschegehalt des metallurgischen Kokes für die nächsten beiden Jahre ca. 12,5 % betragen wird. Dieser Aschegehalt ergibt sich zwangsläufig auf Grund des Wachstumstempos, das die sozialistischen Länder bezüglich der Eisengewinnung vorgesehen haben.

Mit dem verstärkten Ausbau der Kohleaufbereitungsanlagen und dem Neuaufschluß neuer Kokskohlegruben wird dann in den späteren Jahren eine ständige Verbesserung der Koksqualität bezüglich Asche und Festigkeit erzielt werden. Mit der Verbesserung der Koksqualität ist eine Senkung des spezifischen Koksverbrauches verbunden, die in der Endkonsequenz zu einer beschleunigten Steigerung der Schwarzmetallurgie führt. Für uns erhebt sich aber die Frage, was können wir sofort zur Verbesserung der Qualität des Kokes unternehmen? Es wird notwendig sein, bei den zukünftigen Abschlüssen der Außenhandelsverträge für Kokskohlen und Kokslieferungen von seiten unserer Außenhandelsorgane sich stärker auf die Feststellungen der Expertengruppen im Rat der gegenseitigen Wirtschaftshilfe zu stützen. Damit kann zumindest erreicht werden, daß die derzeitigen starken Schwankungen bezüglich des Aschegehaltes im Koks vermindert werden.

Die von den Kollegen der Metallurgie und Chemie beanstandeten Schwankungen des Wassergehaltes im Koks könnten schon weitestgehend beseitigt sein, wenn die endverbrauchenden Betriebe endlich einmal beginnen würden, nicht im „Ich“ zu denken, sondern im „Wir“. Die zur Zeit bestehenden Gütemerkmale der Dienst-anweisung 5 sind Bestandteil des Planes der Erzeugerbetriebe. Die darin angegebenen Wassergehaltes sind nicht nur Maximalwerte, sondern im vollen Umfang in die technisch-wirtschaftlichen Kennziffern aufgenommen worden und preispolitisch geplant. Von seiten der Erzeugerbetriebe wurde immer wieder darauf hingewiesen, daß man zur Trockenkoksabrechnung bei den Kokslieferungen übergehen sollte. Die Techniker der endverbrauchenden Betriebe sehen die Zweckmäßigkeit eines solchen Abrechnungsverfahrens ein. Der Einführung eines solchen Verfahrens steht aber immer wieder der Widerstand der kaufmännischen Direktoren der endverbrauchenden Betriebe entgegen.

Die Energieversorgung Magdeburg hat trotz Fehlens einer Vereinbarung über Minderwasserabrechnung ihre Anstrengung zur Senkung des Wassergehaltes im Koks fortgesetzt, obwohl ihr durch diese Maßnahme allein im I. Quartal 2500 t Minderproduktion aus den Lieferungen an EKS Stalinstadt entstanden sind. Die Kollegen von EKS Stalinstadt wissen sehr wohl, wie vorteilhaft sich diese Maßnahme für den Betrieb ihrer Hochöfen ausgewirkt hat. Es kann aber auf die Dauer nicht angehen, daß die Ergebnisse der Qualitätsverbesserung gegenüber bestehenden Dienst-anweisungen in anderen Betrieben ausgewiesen werden und zu Schwierigkeiten und ungerichten Verteilungen der Mittel des Betriebsprämienfonds führen. Wir sind uns klar darüber, daß eine ständige Verbesserung der Qualität unbedingte Notwendigkeit ist. Es ist aber ebenso unbedingt notwendig, daß wir diese Aufgabe gemeinsam lösen. Man soll bei der Lösung nicht immer auf Anweisung von oben warten, sondern in gemeinsamen Besprechungen zwischen Erzeugerbetrieben, Staatlichem Kohlekontor und Verbraucherwerken die Lieferbedingungen ergänzen und sich bei der Erarbeitung der Ergänzungen von sozialistischen Prinzipien leiten lassen.

Au
fen
kohle
der F
tischen
nicht
sit v
nach
Kupol
reiche
merks
setzer
Ofen
des K
per
kunge
auf de
gegen
fauer
Diagra
Stück
allen
Bedeut
wesen
solche
sind d
verwe
Auch
in der
geste
Tabelle
Geldp
Zur
Literat
Aufstel
guten
wirtsch
1. Volla

Die Bewertung von Koks für den Kupolofenschmelzbetrieb

Von WOLF FRIEDEL, Leipzig
(Auszug)¹

Ausgehend von der derzeitigen Notwendigkeit der Verwendung von Kupolöfen in modernen Gießereien auf der einen Seite und der abnehmenden Koks-kohlenvorräte in aller Welt auf der anderen Seite, kommt der Vortragende zu der Forderung nach sparsamstem Koksverbrauch, nach Entwicklung synthetischer Kokssorten und nach Entwicklung neuartiger Schmelzverfahren, die nicht oder mindestens in wesentlich geringerem Maße als bisher auf den Einsatz von Gießereikoks angewiesen sind. Zur Verwirklichung der Forderung nach sparsamstem Koksverbrauch werden zunächst einmal die Vorgänge im Kupolofenschmelzprozeß eingehend diskutiert. Dabei wird die sehr umfangreiche Literatur der letzten zehn Jahre sorgfältig behandelt. Besondere Aufmerksamkeit ist den Berichten über den Einfluß der Stückgröße des eingesetzten Kokses auf die Ofentemperaturen, auf die Gaszusammensetzung im Ofen und auf die Temperatur des flüssigen Eisens gewidmet. Auch der Einfluß des Kokssatzes und der Windmenge auf die Schmelzleistung und auf die Temperatur des Eisens wird eingehend untersucht. Schließlich werden die Auswirkungen verschiedener Koksarten einschließlich des synthetischen HC-Kokses auf den Kupolofen-Prozeß beleuchtet. Die letztgenannten Untersuchungen stellen gegenwärtig einen besonderen Schwerpunkt dar. Deshalb geht auch der Verfasser hierauf besonders ein und erläutert an Hand von zahlreichen Bildern, Diagrammen und Tabellen die Auswirkungen der verschiedenen Einflußfaktoren. Stückgröße, Windmenge und -geschwindigkeit, Kokssatz, Klassierung und vor allem die verschiedenen Koksqualitäten werden eingehend besprochen. Besondere Bedeutung mißt der Vortragende einem einwandfreien und weitgehenden Meßwesen bei, ohne dabei allerdings auf die zahlreichen Schwierigkeiten gerade bei solchen Messungen in Gießereibetrieben näher einzugehen. Für den Praktiker sind die vom Vortragenden gebrachten empirischen Umrechnungsfaktoren für verschiedene Koksarten im Kaltwindkupolofen von außerordentlichem Wert. Auch die Auswirkungen eines Karbidzusatzes von 2 % werden eingehend erörtert. Ferner wird auf die Zweckmäßigkeit der Prüfung der Fließbarkeit des geschmolzenen Eisens mittels Gießspiralen hingewiesen, wobei an Hand von Tabellen die Gießspiralpunkte für das Eisen in den verschiedenen Stadien des Gießprozesses angegeben werden.

Zum Schluß kommt der Verfasser auf Grund der von ihm durchgearbeiteten Literatur und als Ergebnis seiner eigenen zahlreichen Untersuchungen zu der Aufstellung von acht Grundsätzen bzw. Forderungen, die zur Erreichung einer guten Gußqualität für den Maschinenbau und für einen einwandfreien und wirtschaftlichen Betrieb der Gießereien erforderlich sind.

¹ Vollständig veröffentlicht im Freib. Forsch. H. B 45 (1960).

Anforderungen des Calciumcarbidofens an die Koksqualität

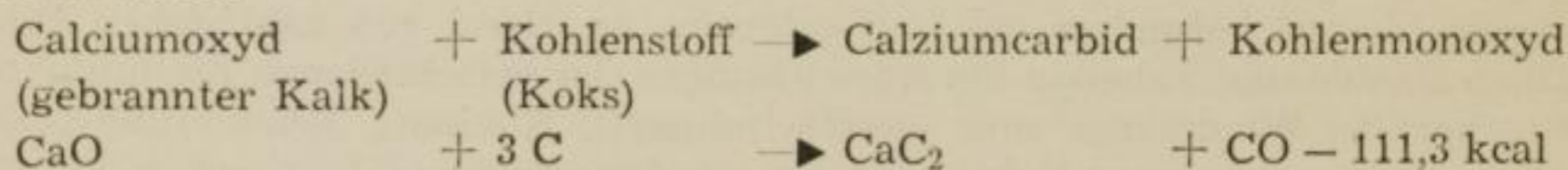
Von HANS STRIEBEL unter Mitarbeit von HEINRICH TISCHER,
Lutherstadt Wittenberg-Piesteritz

Das „Chemieprogramm“ steht heute im Mittelpunkt vieler Diskussionen. Das Schwergewicht liegt auf dem Gebiet der Kunststoff-Erzeugung, d. h. der Veredlung der Kohle und des Erdöls.

Einen sehr wesentlichen Rohstoff für zahlreiche Kunststoffsynthesen sehen wir im Acetylen, das in unserem Lande zur Zeit am wirtschaftlichsten aus Calciumcarbid gewonnen wird.

Calciumcarbid ist das Produkt eines thermischen Schmelzprozesses, der von der Kohle, im speziellen von Koks, also einem Erstprodukt der Kohleveredlung, und gebranntem Kalk ausgeht. Wir haben hier folgende Wertsteigerung vor uns: Kohle, die uns die Natur darbietet, bergmännischen Abbau, Aufbereitung der Rohkohle, Verkokung der vorbereiteten Kohle, Trocknung und Zerkleinerung des Kokes im Carbidwerk, Erschmelzung des Carbids im elektrothermischen Ofen, Erzeugung von Acetylen aus Calciumcarbid und schließlich Weiterverarbeitung des Acetylen über mannigfaltige Zwischenprodukte auf Kunststoffe, zu denen auch der synthetische Kautschuk zu zählen ist. In unserer heutigen Betrachtung interessiert die Stufe Koks – Calciumcarbid.

Die Reaktion



erfordert die Zuführung von Wärme-Energie. Die Bildung von Calciumcarbid aus gebranntem Kalk und Koks beginnt bei Temperaturen um 1650 °C und gewinnt technisch interessante Geschwindigkeiten bei 2000 – 2300 °C. Für die Herstellung von Calciumcarbid ist es also notwendig, die Energie bei sehr hoher Temperatur zur Verfügung zu haben. Die moderne Technik sieht hier zwei Möglichkeiten, dieser unabdingbaren Forderung gerecht zu werden.

1. Verbrennung von Kohlenstoff, sprich Koks, unter Anwendung von reinem oder stark angereichertem Sauerstoff im Schachtofen. Verfahren auf dieser Basis sind in den vergangenen 15 Jahren zur technischen Reife gelangt. Beste Koksqualitäten sind hierbei Vorbedingung.
2. Erhitzung und Einschmelzung des Rohstoffes im elektrothermischen Niederschachtofen. Das Verfahren der Carbiderzeugung wird seit 1893/94 industriell angewandt. Es hat weltweite Verbreitung und hohe technische Vervollkommnung gefunden. Die jüngsten technischen Neuerungen auf dem Gebiet der Carbidofenkonstruktionen sind von Kaess und Vogel und von Ebster veröffentlicht [1].

Da viele Anstrengungen zur Verbreiterung der Rohstoffbasis für die Kunststoffherzeugung vom Calciumcarbid ausgehen, soll der grundlegende Prozeß der Carbiderzeugung von der Rohstoffseite und besonders vom Koks aus betrachtet werden. Die außerordentlichen ofentechnischen Fortschritte, die von Ebster und seinen Mitarbeitern in Schkopau erzielt wurden, werden hier nicht besprochen.

Sehen wir uns den Carbidofen im Betrieb an. Auf der Deckbühne wird der gut vorbereitete Rohstoff, eine mit automatischen Waagen im geeigneten Verhältnis zusammengestellte Mischung von Branntkalk und Koks, dem Ofenherd über mechanisch betätigte Schurren aufgegeben. Auf der Oberfläche des Herdes züngeln Flammen, besonders in Elektrodennähe. An den Längsseiten der Elektroden sackt die Mischung in das Ofeninnere ab. Neuer Möller wird aufgeschüttet. Auf dem Flur unter der Deckbühne ist der Abstich gerade im Gange.

Der Besucher kann bei nur kurzem Verweilen nichts Besonderes entdecken; bleibt er jedoch eine oder besser zwei Schichten ununterbrochen am Ofen, so wird er sehen, daß Wertigkeit und Menge des Carbids von Abstich zu Abstich schwanken; daß aus dem Ofenbett, besonders in Elektrodennähe, plötzlich scharfe rauschende Stichflammen austreten, daß gelegentlich Karbidschmelze aus der losen Mischung hervorquillt und den Möller verkrustet und damit die normale gleichmäßige Entgasung behindert. Woher kommen diese Störungen? Die erste Frage des Chemikers gilt den Rohstoffen, ihrer physikalischen Beschaffenheit, ihrer chemischen Reinheit. Gebrannter Kalk z. B. ist nicht reines Calciumoxyd.

Die Vollanalyse eines in Piesteritz erzeugten Branntkalkes zeigt folgende Werte im Durchschnitt des IV. Quartals 1958:

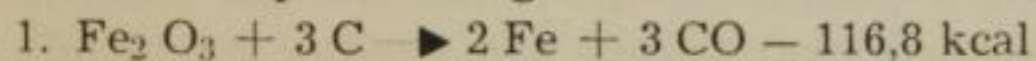
CaO	92,25 %
SiO ₂	1,12 %
Fe ₂ O ₃	0,44 %
Al ₂ O ₃	0,70 %
MgO	0,70 %
P	0,04 %
SO ₃	0,42 %
CO ₂	3,84 %
H ₂ O	0,20 %

Es liegt auf der Hand, daß die Carbidbildungsreaktion



nicht der einzige Vorgang im Schmelzherd sein wird. Man arbeitet ja bei Temperaturen, bei denen sämtliche Bestandteile des Kalkes der Reduktion durch Kohlenstoff zugänglich sind. Selbstverständlich ist der Reduktionskohlenstoff auch von zahlreichen Stoffen in den Aschen begleitet. Es ist bekannt, daß in den Jahren nach 1945 für elektrothermische Zwecke, d. h. im besonderen für die Carbidfabrikation, Kokssorten der unterschiedlichsten Provenienz mit z. T. erstaunlich hohen Aschegehalten eingesetzt werden. Die Aschebestandteile nehmen ebenso wie die zuerst genannten Fremdstoffe des Kalkes an mannigfachen, energieverbrauchenden und auch sonst störenden Nebenreaktionen teil.

Als Beispiel wichtiger Nebenreaktionen seien folgende genannt:



1 kg Eisenoxyd beansprucht zur Reduktion 734 kcal = 0,853 kWh

2. $\text{MgO} + \text{C} \rightarrow \text{Mg} + \text{CO} - 117,4 \text{ kcal}$
 1 kg Magnesiumoxyd beansprucht zur Reduktion 2920 kcal = 3,40 kWh
3. $\text{SiO}_2 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Si} + 2 \text{CO} - 150,2 \text{ kcal}$
 1 kg Kieselsäure beansprucht zur Reduktion 2500 kcal = 2,91 kWh
4. $\text{Al}_2 \text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 2 \text{Al} + 3 \text{CO} - 320,0 \text{ kcal}$
 1 kg Aluminiumoxyd beansprucht zur Reduktion 3140 kcal = 3,65 kWh

Zur Verdeutlichung der Energieverluste, die bei der Erzeugung von 1 t Carbid mit 300 l Azetylausbeute je kg, entsprechend einem CaC_2 -Gehalt von 80,6 % im Produkt, durch die Koksasche verursacht werden können, sind 3 Beispiele durchgerechnet und in der Tabelle 1 zusammengetragen worden.

Einmal für Koks mit 12 % Asche, was z. Z. bei Importkoks als normal angesehen werden darf, zum anderen für Gaskoks mit 17 % Asche und schließlich für Braunkohlenhochtemperaturkoks (BHTK) aus Lauchhammer.

Die Rechnung kann keinen Anspruch auf letzte Exaktheit erheben, weil einmal die Fremdstoffe im Koks zum Teil in reduzierter Form vorliegen dürften und zum anderen keine restlose Reduktion der Oxyde in der Carbidschmelze erzielt wird.

Bisherige Untersuchungen über die Stoff- und Energiebilanzen der Carbidöfen zeigen, daß die praktischen Verluste rund 60 % der theoretisch errechneten betragen. Auf die oben erwähnten Kokssorten angewandt, errechnen sich nur auf Grund des Koksaschegehaltes folgende Verluste:

Bei Koks I	85 kWh	} je t Normalcarbid (300 l Azetylen/kg)
Bei Koks II	129 kWh	
Bei BHT-Koks	41,5 kWh	

Diese Werte dürften sich der Wirklichkeit annähern. Die Praxis hat gezeigt, daß man beim Einsatz von BHT-Koks gegenüber der Verwendung von Hütten- oder Gaswerkskoks einen um 30 bis 40 kWh/tNK niedrigeren Stromverbrauch erreicht.

Wenn dies auch nur 1 % des gesamten Stromaufwandes ist, so spielt dies bei den vielen 100 000 Jahrestonnen Carbid, die in der DDR erzeugt werden, eine große Rolle. Stromeinsparungen bedeuten nicht nur eine Verringerung der Selbstkosten, sondern vor allem eine erhöhte Auslastung vorhandener Kapazitäten.

Wir haben bisher von der schädlichen Auswirkung der Verunreinigungen des Kokes auf den sofort abschätzbaren Mehrverbrauch an Energie gesprochen.

Die Carbidbildungsreaktion ist umkehrbar, und die Verunreinigungen fördern die Rückreaktion, d. h. die Vernichtung bereits gebildeten Carbids. Untersuchungen zur Klärung dieser Frage sind im Gange.

Nach diesem kurzen Streiflicht auf die Chemie der Koksaschen steht die Frage: In welchem Zustand wird der Koks dem Carbidwerk geliefert?

Ein Material wie Körnung Brech I bis Brech IV, d. h. 10 mm bis Faustgröße, kann nicht unmittelbar im Carbidofen eingesetzt werden. Am besten geeignet sind Körnungen von 8 bis 20 oder 25 mm Korngröße. Der eingehende Koks muß auf max. 25 mm zerkleinert werden. Bei der Zerkleinerung fällt Unterkorn an, das dem Ofen schadet, und es entsteht Staub, der als reiner Verlust gebucht werden muß. Man kann sich helfen, indem man das aus dem Brecher kommende Gut absiebt und aus dem Feinzeug Briketts preßt.

Tabelle 1

Koks I	12% Asche	560 kg Koks (trocken) für 1 t Carbid 300litrig
SiO ₂	4,45 %	24,9 kg × 2,91 kWh = 72,4 kWh
Fe ₂ O ₃	2,81 %	15,7 kg × 0,853 kWh = 13,4 kWh
CaO	1,00 %	
Al ₂ O ₃	2,23 %	12,5 kg × 3,65 kWh = 45,6 kWh
MgO	0,57 %	3,2 kg × 3,4 kWh = 10,9 kWh
	<u>11,06 %</u>	<u>142,3 kWh</u>
SO ₃	} 0,94 %	
P ₂ O ₅		
Na ₂ O		
	<u>12,00 %</u>	
Koks II	17% Asche	600 kg Koks (trocken) für 1 t Carbid 300litrig
SiO ₂	6,31 %	37,9 kg × 2,91 kWh = 110,0 kWh
Fe ₂ O ₃	3,98 %	23,9 kg × 0,853 kWh = 20,3 kWh
CaO	1,45 %	
Al ₂ O ₃	3,16 %	18,9 kg × 3,65 kWh = 69,0 kWh
MgO	0,78 %	4,7 kg × 3,4 kWh = 16,0 kWh
	<u>15,68 %</u>	<u>215,3 kWh</u>
SO ₃	} 1,32 %	
P ₂ O ₅		
Na ₂ O		
	<u>17,00 %</u>	
BHT-Koks	11,76% Asche	560 kg Koks für 1 t Carbid 300litrig
SiO ₂	1,78 %	9,95 kg × 2,91 kWh = 29,0 kWh
Fe ₂ O ₃	4,09 %	22,9 kg × 0,853 kWh = 19,5 kWh
CaO	2,72 %	
Al ₂ O ₃	0,39 %	2,8 kg × 3,65 kWh = 10,2 kWh
MgO	0,56 %	3,14 kg × 3,4 kWh = 10,4 kWh
	<u>9,54 %</u>	<u>69,1 kWh</u>
SO ₃	} 2,22 %	
P ₂ O ₅		
Na ₂ O		
	<u>11,76 %</u>	

Wird Koks mit Wassergehalten zwischen 8 und 20 % angeliefert, muß der Koks nach der verlustreichen Zerkleinerung noch einen ebenfalls recht verlustreichen und teureren Trocknungsprozeß durchlaufen. Das heißt, daß neben den laufenden Energie-Unterhaltungs- und Personalaufwendungen auch erhebliche Investitionen für die Koksauflbereitungs- und Trocknungsanlagen erforderlich sind.

Die Kalkulation des VEB Stickstoffwerk Piesteritz weist für das Jahr 1958 einen Verbrauch an 1348 kg Rohkoks für 1000 kg ofenfertigen Koks auf. In Mark und Pfennig umgerechnet heißt das:

Bei einem Preis von DM 64,—/t Rohkoks frei Werk kostet der gebrochene, getrocknete, ofenfertige Koks DM 99,85/t. Braunkohlenhochtemperaturkoks aus Lauchhammer in der Körnung 3–20 mm kostet DM 53,10 t frei Werk; er ist ofenfertig; im Jahresmittel enthält er nicht mehr als 1,8–2,2 % Wasser.

Allein die Preisdifferenz — ohne Berücksichtigung aller anderen Vorteile — könnte den Carbidfabriken wesentliche Einsparungen bringen, Braunkohlenhochtemperaturkoks steht zur Zeit aber nur in sehr bescheidenen Mengen, gemessen am Gesamtbedarf, zur Verfügung. Im VEB Stickstoffwerk Piesteritz konnten durch Einsatz von BHT-Koks der Körnung 3–20 mm von 1952 bis heute 12 Mill. DM bei der Erzeugung von Calciumcarbid eingespart werden.

Nach dieser wirtschaftlichen Zwischenbetrachtung kehren wir wieder zu den Kokseigenschaften zurück. Wir haben zunächst festgestellt:

Hoher Aschegehalt und hoher Wassergehalt sind unerwünscht. Was wird an physikalischen Eigenschaften verlangt?

An die Trommelfestigkeit stellt der Niederschacht - Elektroofen keine allzu großen Anforderungen. Trocknungsgrad und Körnung wurden bereits erwähnt.

Die elektrische Leitfähigkeit des Kokes ist eine Frage, die bislang noch nicht genügend von den Elektroofenleuten behandelt worden ist. Es sei deshalb ein kurzer Hinweis auf die Verhältnisse des elektrothermischen Schmelzofens gegeben. Hier wird besonders auf das grundlegende Werk von Dr. Ing. Johannes Wotschke hingewiesen, dem auch das Bild 1 (Seite 46) entnommen ist [2].

Nach dem Ohmschen Gesetz ist

$$I = \frac{E}{R}$$

Der Widerstand R setzt sich aus dem Nutzwiderstand (Lichtbogen) und den Verlustwiderständen (Zuleitungen und Stromstreuungen in der Beschickung) zusammen.

Die Leistung ist: $W = I \cdot E$ oder $W = \frac{E^2}{R}$

Die Leistung ist vom Quadrat der Spannung abhängig. Eine Verdoppelung der Spannung bringt im einfachen Falle des Gleichstromes eine Vervierfachung der Leistung bei gleichbleibendem Gesamtwiderstand.

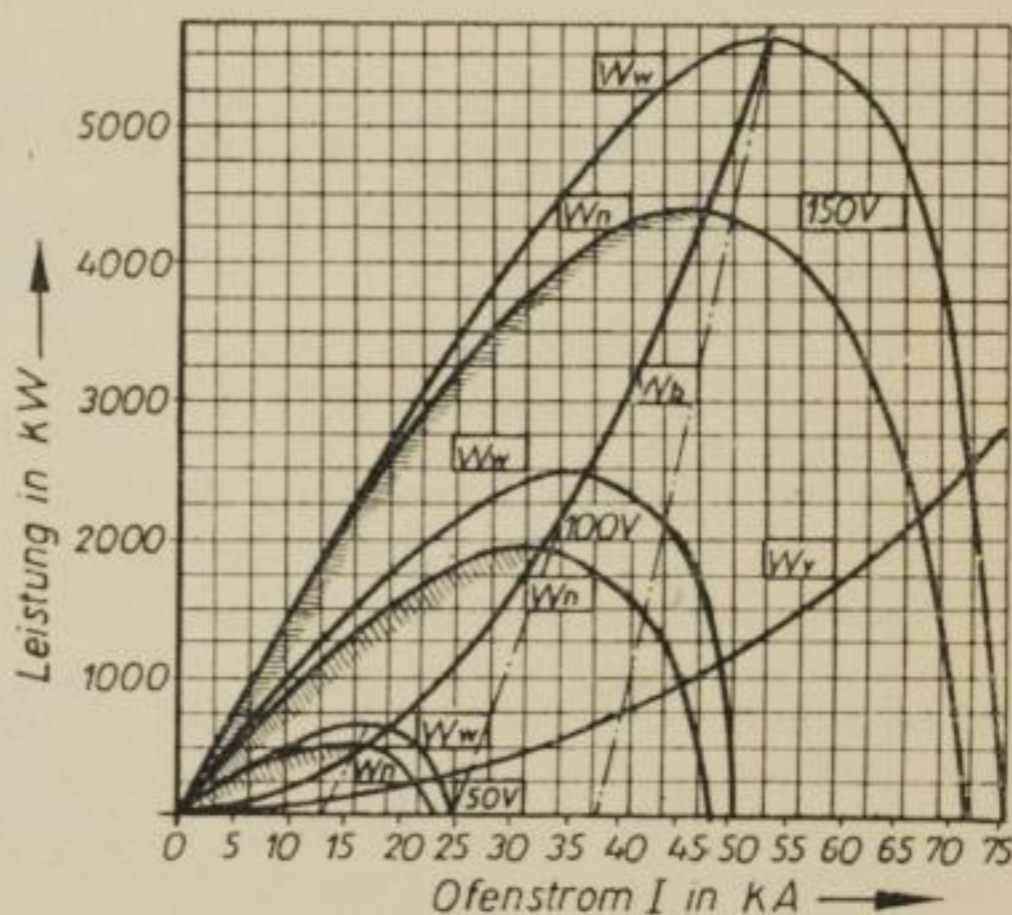


Bild 1

Die Leistungskurven eines Wechselstromofens bei verschiedenen Betriebsspannungen

Die industriellen Schmelzöfen werden fast ausschließlich mit Wechselstrom betrieben. Das Ohmsche Gesetz erfährt bei Wechselstrom im Widerstandsglied eine Erweiterung und lautet:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Für die Rechnungen am elektrischen Ofen kann das kapazitive Glied $\frac{1}{\omega C}$ wegfallen, da es hier verschwindend klein wird. Ohne auf weitere Rechnungen einzugehen, seien die Leistungskurven für einen Wechselstromofen betrachtet (Bild 1). Auf der Abszisse ist der Ofenstrom in K Ampere aufgetragen, auf der Ordinate die Leistung in kW. Das Bild soll vor allem demonstrieren, daß auch beim Wechselstrom die Spannung einen entscheidenden Einfluß auf die Leistung hat. Es zeigt ferner, daß eine einseitige Erhöhung des Stromes keineswegs zu einer Steigerung der Nutzleistung führt.

Die Parabeln für Wirk- und Nutzleistung sind jeweils für 50, 100 und 150 Volt eingetragen. Die Parabeln für Blind- und Verlustleistung gelten für die gesamte Darstellung. Wäre z. B. die durch Zuleitungen und andere Eigentümlichkeiten des Ofens gegebene Stromstärke 15 000 Amp., so entspricht dem bei 50 Volt Spannung eine optimale Leistung von 500 kW. Bei 100 Volt erreichen wir eine Leistung von 1300 kW und bei 150 Volt eine solche von 2180 kW.

Beim praktischen Betrieb wird man sich immer im oberen Bereich der Nutzleistungsparabel — links vom Scheitelpunkt — halten. Das Bild des idealen Schmelzofens sieht folgendermaßen aus.

Zwei Elektroden tauchen in eine Wanne, die seitlich mit feuerfestem Material ausgekleidet ist, ein. Den Boden bilden Kohlenstoffsteine. Über dem Boden befindet sich in der Mitte der Wanne die Schmelze, die rings von sogenanntem halbgarem Material in festem Zustand umgeben ist. Zwischen den Elektroden und der Schmelze strahlt der Lichtbogen. Darüber finden wir wieder im Einschmelzen begriffenen Rohstoff und darüber dessen lose Schüttung. Die Schmelze wird durch kontinuierlichen Abzug auf gleichem Niveau gehalten, die Mischung geht im gleichen Zeitmaß in den Schmelzraum über. Rohstoffmischung und halbgares Material gewähren dem Strom keinen Durchgang, die gesamte elektrische Energie setzt sich im Lichtbogen um. Das im chemischen Prozeß freiwerdende Kohlenmonoxyd kann leicht durch die lockere Mischung entweichen.

Das ist der Idealfall.

In der Praxis sieht es so aus:

Der Widerstand des Möllers und der darunter befindlichen, im Einschmelzen begriffenen Schicht ist nicht unendlich groß, vielmehr vom Herkommen und den speziellen Eigenschaften des Rohstoffes — und hier im besonderen von den Eigenarten des Kohlenstoffes (sprich Koks) — abhängig, d. h., ein Teil des Stromes wird bereits an der Oberfläche des Beschickungsbettes und kurz darunter von Elektrode zu Elektrode zirkulieren und damit dem Lichtbogen, also dem Ort der technisch erwünschten Energieumsetzung, entzogen. Greifen wir, um ein sinnfälliges Beispiel zu gewinnen — ohne Berücksichtigung der Zusatzfaktoren unter Wechselstrombedingungen — auf die Verhältnisse bei Gleichstrom, d. h. auf das einfache Ohmsche Gesetz, zurück.

Die lose Mischung zwischen den in die Reaktionswanne eintauchenden Elektroden habe den Widerstand R_{Koks} bei einer ganz bestimmten Kokssorte und -Körnung. Bei einer konstant zu denkenden Spannung $E_{\text{konst.}}$ gilt also

$$J = \frac{E_{\text{konst.}}}{R_{\text{Koks}}}$$

Ein dem R entsprechender Wert der Leistung wird dem Lichtbogen entzogen:

$$W_{\text{Verlust Koks}} = E \cdot J \text{ oder } W_{\text{Verlust Koks}} = \frac{E^2}{R_{\text{Koks}}}$$

Je kleiner R_{Koks} um so größer wird die Verlustleistung. Da nun die Gesamtleistung durch E und J vorgegeben ist, wird ein Teil der Energie dem Lichtbogen und dadurch dem chemischen Prozeß entzogen.

Betrachten wir unser Teilgebiet bei höherer Spannung:

$R_{\text{Koks}} = \frac{2 E}{J}$; bleibt R konstant, so fließt bei $2 E$ auch der doppelte Strom und die Verlustleistung steigt auf $2 E \cdot 2 J = 4 \cdot E J$ an.

Dies verschlimmert sich noch, weil sich der Koks allmählich erhitzt und dabei sein Widerstand weiter abnimmt; J steigt weiter an und damit auch die Verlustleistung.

Die Gesamtleistung des Ofens muß konstant bleiben. Wir können die Spannung senken; das ist aber eine, wie das Kennliniendiagramm gezeigt hat, sehr ungünstige Maßnahme. Bleibt die Spannung bestehen, muß J verringert werden, indem die Elektroden aus der Mischung herausgezogen und damit die dem Stromaustritt dienenden Flächen verkleinert werden. Auch diese Maßnahme ist sehr schädlich. Das Schmelzbad wird kleiner, es kommt zu Abstichschwierigkeiten, die Entgasung aus dem Schmelzraum wird behindert, und es gibt Verkrustungen zwischen den Elektroden und Schmelzeruptionen.

Damit sollte nur kurz angedeutet werden, warum die Carbidhersteller ein besonderes Interesse an einem schlechtleitenden Ofenmüller, d. h. an einem Koks mit sehr hohem Widerstand, haben. Diese Dinge sind natürlich nicht neu, aber für den praktischen Ofenbetrieb besonders wichtig. Nach 1945 haben sich die Rohstoffe und besonders die Kokssortimente, die den Carbidfabriken zur Verfügung gestellt wurden, stark verändert, vor allem ist man gezwungen, laufend neue Provenienzen, deren Verarbeitungsbedingungen zunächst noch ganz unbekannt sind, in den Betrieben einzusetzen.

Wie sieht es unter diesen Umständen aus?

Die Öfen gehen unruhig, d. h., der Abfluß am Abstich stockt, die Entgasung durch die Mischung ist ungleichmäßig, es kommt zu starken Eruptionen, zu Mischungs- und Schmelze-Auswürfen, die Arbeit der Deckleute wird schwer und gefährlich. Die Stromausbeute sinkt gleichzeitig mit der Wertigkeit des Produktes, dessen Menge ebenfalls zurückgeht.

Es ist klar, daß man solche Verhältnisse nicht einfach hinnehmen kann. Der Chemiker wird sich, wie schon eingangs dargelegt, zunächst mit den Verunreinigungen von Kalk und Koks beschäftigen und sich um die Verbesserung der Rohstoffe bemühen. Er muß sich aber auch mit den elektrischen Eigenschaften, d. h. dem Widerstand des Kokses unter den Bedingungen des Schmelzofens, befassen.

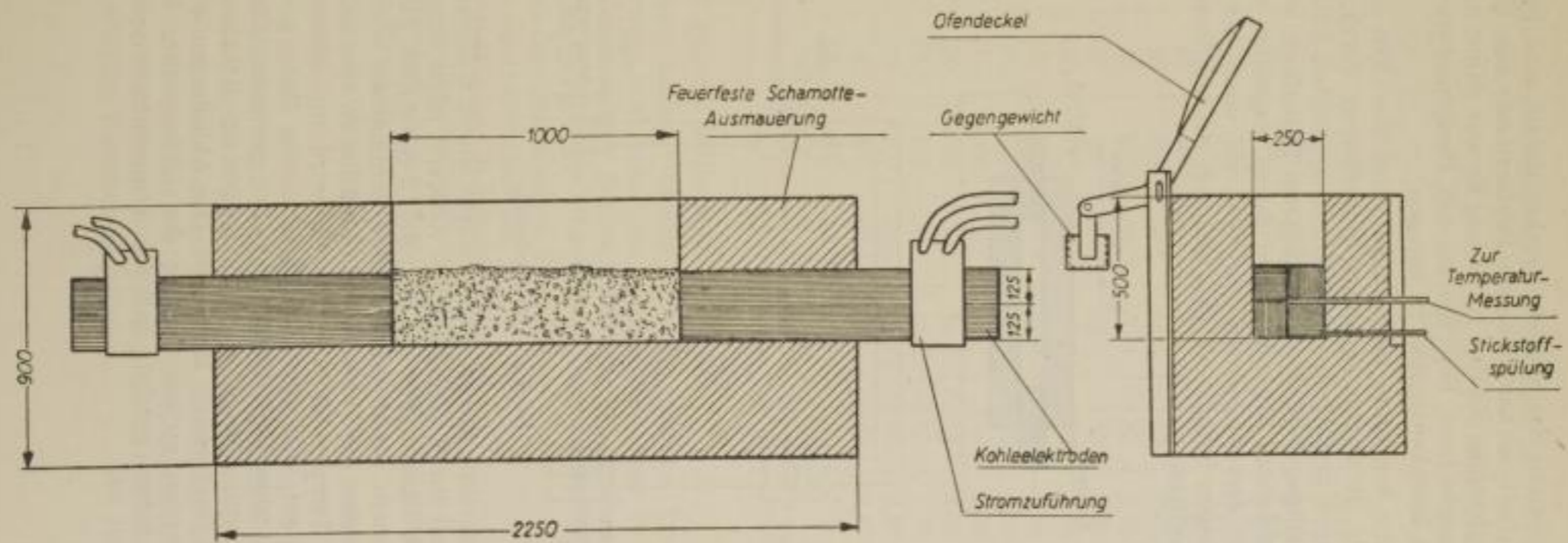


Bild 2. Leitfähigkeitsofen

Anforderungen an die Koksqualität

Es lag den Mitarbeitern des Stickstoffwerkes daran, eine für die Betriebspraxis geeignete, einfach zu handhabende Prüfmethode zur Bestimmung der Leitfähigkeit des ofenfertigen Kokes zu finden. Es war damit nicht die Absicht verbunden, grundlegende neue Beiträge zu den theoretischen Problemen der Elektronenleitung im Kokskohlenstoff zu bringen.

Die ersten Versuche begannen 1952. Bild 2 zeigt den Ofen zur Bestimmung der Koksleitfähigkeit in seiner heutigen brauchbaren Form. Das Probegut wird in den 1 m langen und 25 cm im Quadrat messenden Füllraum zwischen die Grafitelektroden eingegeben, mit einem kleinen Holzpflock leicht angedrückt und der Deckel geschlossen. Stickstoff wird durch insgesamt vier keramische Rohre, jeweils zwei an den Längsseiten des Ofens, von unten her so eingeblasen, daß die Seitenwandungen bespült werden und sich ein indifferentes Gaspolster über dem Koksbett befindet.

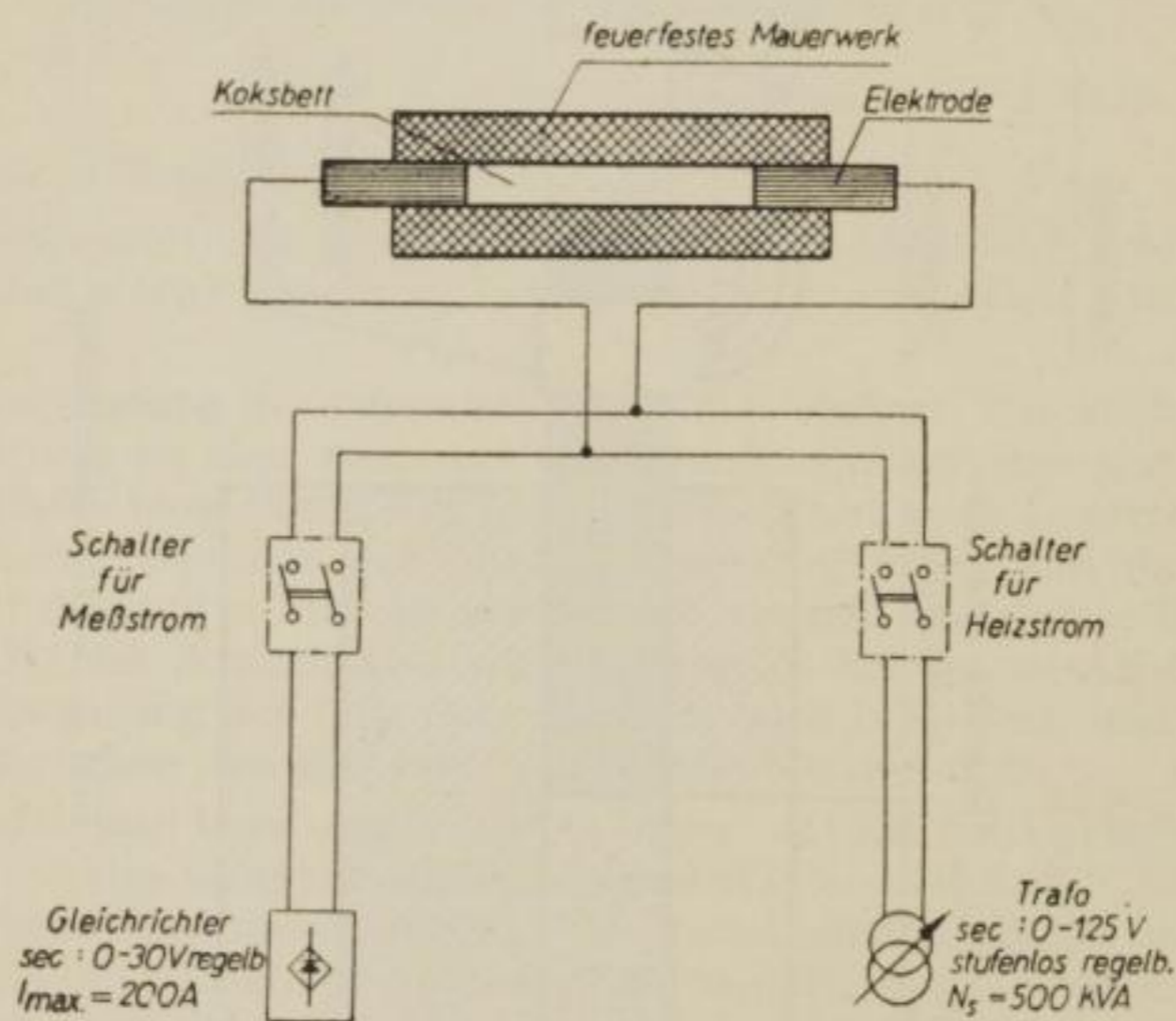


Bild 3. Schaltschema

2 m³/h sind erforderlich; dieser Bedarf wurde durch Gasanalysen ermittelt. Die Ofenatmosphäre soll zur Vermeidung von Abbrand nicht unter 97 % N₂ enthalten. Die elektrische Schaltung ist aus dem Bild 3 ersichtlich. Zur Heizung wird Wechselstrom, der einem Schubtransformator entnommen wird, benutzt. Die Messungen selbst erfolgen, um Fehler durch Induktion zu vermeiden, mit Gleichstrom. Bis zu einer Temperatur von 1400 °C wird mit einem Platin/Platin-Rhodium-Thermoelement, das durch ein keramisches Rohr geschützt ist und in einem einseitig geschlossenen Kohlerohr steckt, gemessen. Oberhalb 1400 °C mißt man die Temperatur optisch durch Anvisieren des Rohrbodens mit einem Pyrolux II des VEB Gerätewerk Medingen. Die Ablesungen dieses Teilstrahlungsinstrumentes werden mittels Tabelle des Lieferwerkes korrigiert. Eingehende Kontrollen haben gezeigt, daß die Temperaturverteilung längs der Probegutsäule konstant ist.

Die Reproduzierbarkeit der Messungen erhellt Tabelle 4. Bei der laufenden Betriebsüberwachung kommt es im wesentlichen darauf an, relative Anhaltzahlen zu gewinnen, die möglichst vor der Verarbeitung zur Verfügung stehen sollten, um Rückschlüsse auf den Ofengang ziehen zu können. Diese Betriebsproben werden daher, ohne Absiebung *tel quel* dem jeweils ofenfertigen Koks

Tabelle 3

Anderung der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Körnung und der Temperatur, dargestellt am Beispiel eines Braunkohlenhochtemperaturkokes

Temp. [°C]	0—10 mm		10—15 mm		15—20 mm		20—30 mm		pulverisiert. Material [κ]
	[s]	[κ]	[s]	[κ]	[s]	[κ]	[s]	[κ]	
20	0,43	$0,63 \cdot 10^{-5}$	0,58	$0,93 \cdot 10^{-5}$	0,77	$1,23 \cdot 10^{-5}$	1,25	$2,00 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-4}$
300	0,67	$1,07 \cdot 10^{-5}$	1,01	$1,62 \cdot 10^{-5}$	1,12	$1,79 \cdot 10^{-5}$	0,81	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$
400	0,89	$1,42 \cdot 10^{-5}$	1,00	$1,60 \cdot 10^{-5}$	1,06	$1,70 \cdot 10^{-5}$	1,20	$1,92 \cdot 10^{-5}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$
500	0,90	$1,44 \cdot 10^{-5}$	1,10	$1,76 \cdot 10^{-5}$	1,31	$2,10 \cdot 10^{-5}$	1,70	$2,72 \cdot 10^{-5}$	$3,00 \cdot 10^{-4}$
600	0,96	$1,54 \cdot 10^{-5}$	1,35	$2,16 \cdot 10^{-5}$	1,56	$2,50 \cdot 10^{-5}$	1,83	$2,93 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^{-4}$
700	1,18	$1,89 \cdot 10^{-5}$	1,40	$2,24 \cdot 10^{-5}$	1,58	$2,53 \cdot 10^{-5}$	2,06	$3,30 \cdot 10^{-5}$	$4,08 \cdot 10^{-4}$
800	1,23	$1,97 \cdot 10^{-5}$	1,52	$2,43 \cdot 10^{-5}$	1,68	$2,69 \cdot 10^{-5}$	2,25	$3,60 \cdot 10^{-5}$	$5,78 \cdot 10^{-4}$
900	1,39	$2,22 \cdot 10^{-5}$	1,62	$2,59 \cdot 10^{-5}$	1,95	$3,12 \cdot 10^{-5}$	2,43	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$7,52 \cdot 10^{-4}$
1000	1,39	$2,22 \cdot 10^{-5}$	1,85	$2,96 \cdot 10^{-5}$	2,08	$3,33 \cdot 10^{-5}$	2,80	$4,48 \cdot 10^{-5}$	
1100	1,49	$2,38 \cdot 10^{-5}$	1,90	$3,04 \cdot 10^{-5}$	2,15	$3,44 \cdot 10^{-5}$	3,00	$4,80 \cdot 10^{-5}$	
1200	1,66	$2,66 \cdot 10^{-5}$	1,93	$3,09 \cdot 10^{-5}$	2,18	$3,49 \cdot 10^{-5}$	3,20	$5,12 \cdot 10^{-5}$	
1300	1,81	$2,90 \cdot 10^{-5}$	2,17	$3,47 \cdot 10^{-5}$	2,50	$4,00 \cdot 10^{-5}$	3,50	$5,60 \cdot 10^{-5}$	
1400	2,06	$3,30 \cdot 10^{-5}$	2,25	$3,60 \cdot 10^{-5}$	3,06	$4,90 \cdot 10^{-5}$	3,87	$6,19 \cdot 10^{-5}$	
1500	2,20	$3,52 \cdot 10^{-5}$	2,50	$4,00 \cdot 10^{-5}$	3,27	$5,23 \cdot 10^{-5}$	4,13	$6,61 \cdot 10^{-5}$	
1600	2,33	$3,73 \cdot 10^{-5}$	2,73	$4,37 \cdot 10^{-5}$	3,55	$5,68 \cdot 10^{-5}$	4,37	$6,99 \cdot 10^{-5}$	
1700	2,57	$4,11 \cdot 10^{-5}$	2,83	$4,53 \cdot 10^{-5}$	3,93	$6,29 \cdot 10^{-5}$	4,75	$7,60 \cdot 10^{-5}$	
1800	2,70	$4,32 \cdot 10^{-5}$	3,05	$4,88 \cdot 10^{-5}$	4,23	$6,77 \cdot 10^{-5}$	4,87	$7,79 \cdot 10^{-5}$	

entnommen und in den Leitfähigkeitsofen eingesetzt. Die Vorausschau gelingt zur Zeit noch nicht ganz, weil die Kokssorten zu häufig wechseln; der Betriebsleiter kann aber zumindest nachträglich gewisse Hinweise auf die Ursachen aufgetretener Schwierigkeiten im Ofengang erhalten. Bei der Beurteilung neu angebotener elektrothermischer Reduktionsstoffe dürfte neben der chemischen Analyse die beschriebene Leitfähigkeitsmessung von großem Wert sein.

Wir haben uns auch mit einer rein laboratoriumsmäßigen Leitfähigkeitsmessung an fein gepulverten Materialien befaßt und die im Bild 6 gezeigte Apparatur entwickelt. Es werden — ebenso wie beim Betriebsofen — zuverlässige reproduzierbare Meßergebnisse gewonnen. Der Meßbereich geht allerdings nur bis 900 °C.

In der Tabelle 3 sind für den gleichen Koks die Vergleichswerte verzeichnet. Die spezifische Leitfähigkeit κ liegt bei diesem Meßverfahren über 20- bis 30mal so hoch. Dies ist kein Wunder, da der Kontakt der einzelnen Körner hier viel inniger ist. Wir bevorzugen auf jeden Fall die praxisnahen Ergebnisse der Betriebsmeßanordnung.

Einen Mangel in unserer eigenen Arbeit über den elektrischen Widerstand der Kokssorten sehen wir darin, daß es uns bisher noch nicht gelungen ist, trotz Vorliegens eines sehr umfangreichen experimentellen Materials gesetzmäßige Beziehungen zwischen den verschiedenen Eigenschaftswerten herauszufinden.

Wir haben daher unser Augenmerk auch der Reaktionsfähigkeit einzelner Kokssorten zugewandt und in der Apparatur (Bild 7) das Reduktionsvermögen verschiedener Kokssorten gegenüber Kohlendioxyd bei 700, 800 und 900 °C untersucht. Im wesentlichen dient uns die Methode dazu, die Qualitätskonstanz des BHT-Kokses zu überwachen. Unmittelbare Analogieschlüsse aus der Reaktivität eines Kokses gegenüber Kohlendioxyd bei 800 oder 900 °C auf

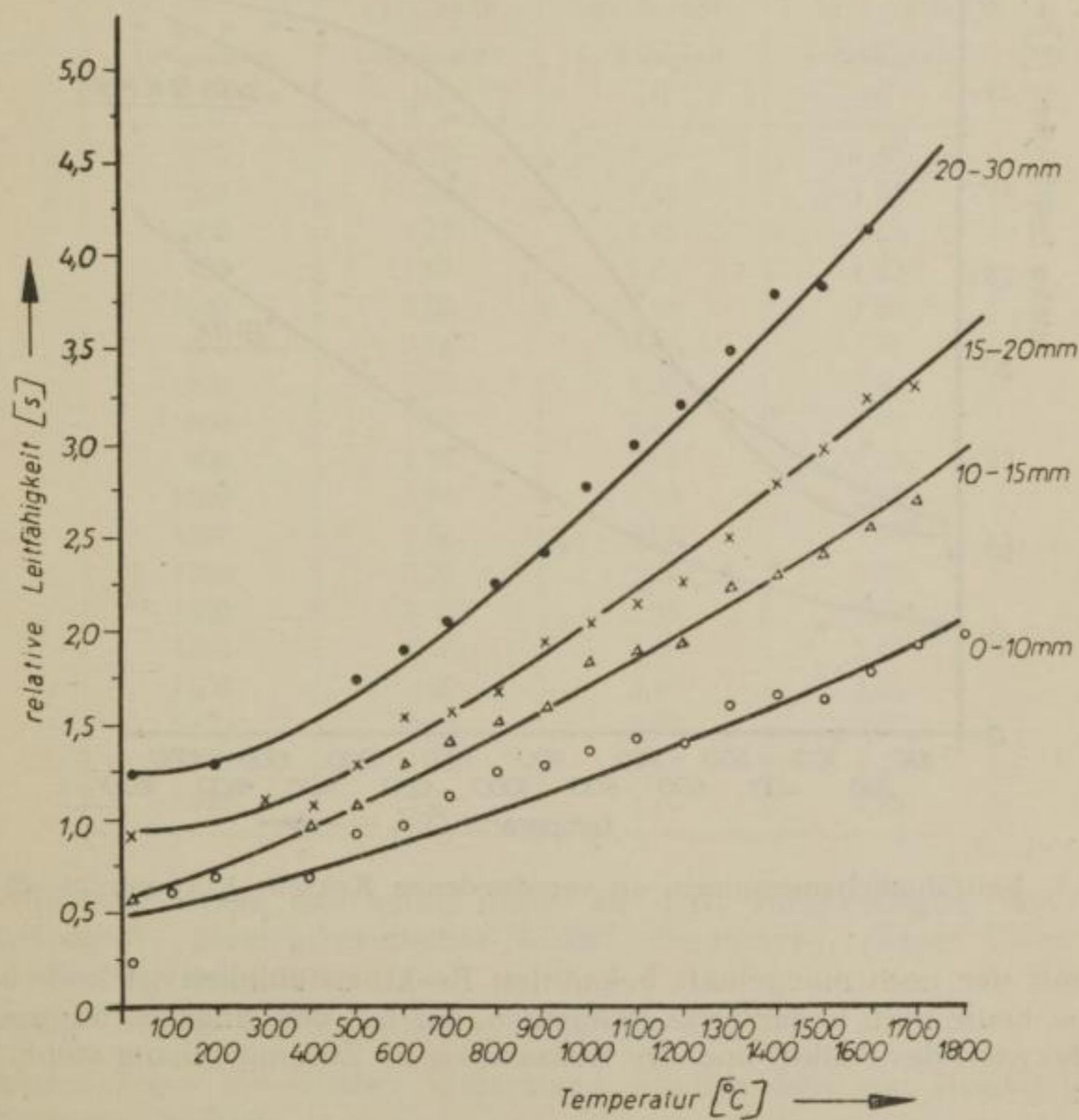


Bild 4. Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Körnung (am Beispiel eines BHT-Kokses)

dessen Reaktionsfreudigkeit gegenüber Calciumoxyd zunächst im festen Zustand bei 1600 – 1700 °C und schließlich in den Phasen fester Kohlenstoff in der flüssigen Kalk-Carbid-Schmelze bei 2000 °C zu ziehen, erscheint beim heutigen Stande unserer Kenntnisse nicht möglich.

Leider müssen wir sagen, daß unsere heutigen Kenntnisse über die Reaktionsfähigkeit des Kohlenstoffes im Carbidprozeß noch recht lückenhaft sind und wir noch dankbare und schwierige Aufgaben vor uns haben. Im Zusammen-

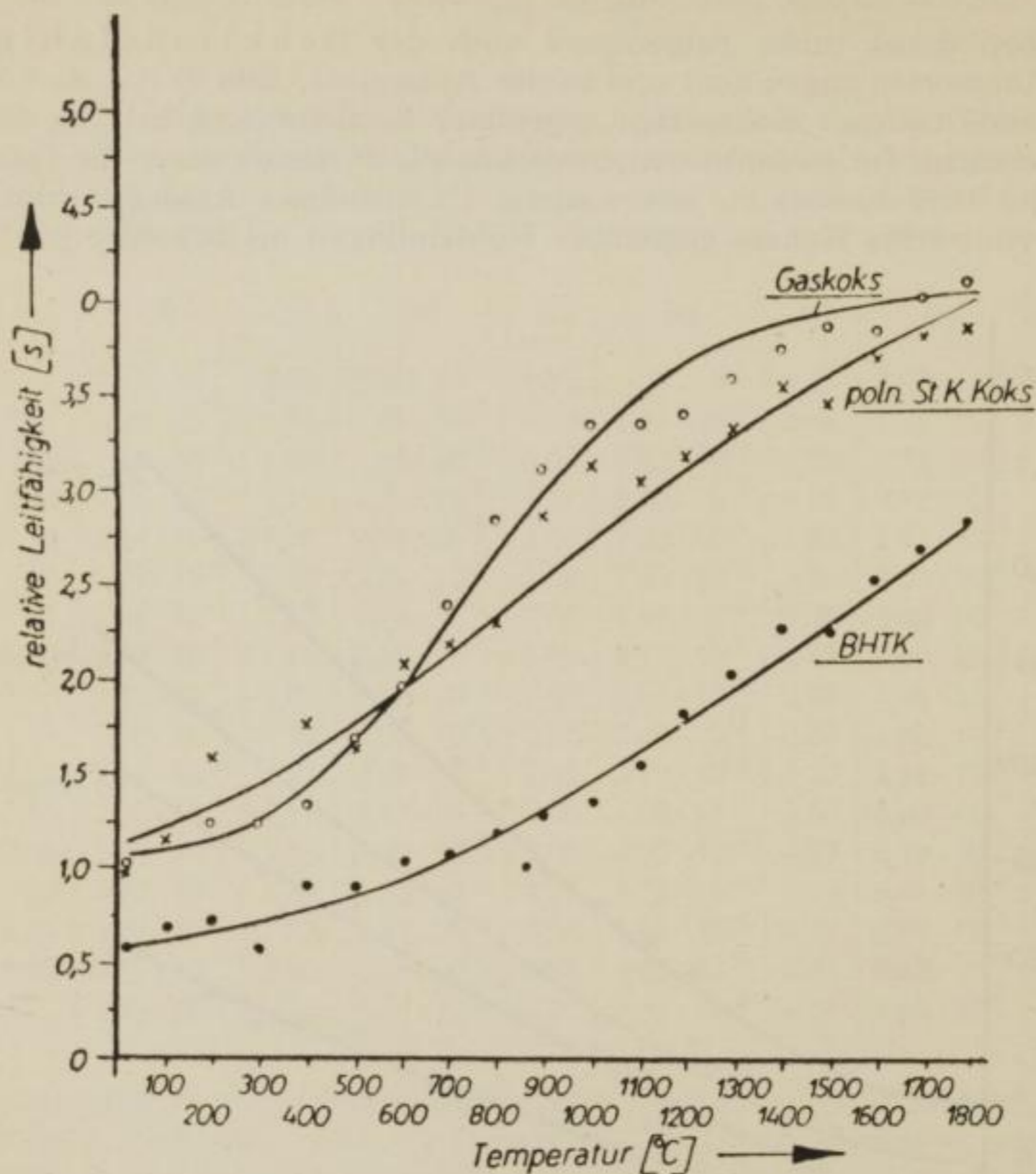


Bild 5. Leitfähigkeitsmessungen an verschiedenen Koks; Körnung 20—25 mm

hang mit der noch mangelhaft bekannten Reaktionsfähigkeit ist noch auf ein anderes, heute noch ungeklärtes Phänomen, das mit den eingangs besprochenen Fremdoxyden des Kalkes und der Koksaschen im Zusammenhang steht, hinzuweisen.

Bei unseren ersten Versuchen mit BHT-Koks haben wir gleichzeitig Anthrazit mit sehr wechselnden Aschegehalten eingesetzt. Wir beobachteten starke Verkrustungen des Möllers an den Elektroden in einem Bereich, in dem die Mischung normalerweise völlig lose und gut gasdurchlässig ist. Wir fanden für dieses Verhalten keine zureichende Erklärung und ersetzten den Anthrazit durch Gas- und Hüttenkoks; die Störungen ließen nach, traten aber von Zeit zu Zeit immer wieder auf.

Mit Recht werden die Koksfachleute fragen, welche Forderungen stellen die Carbiderzeuger an unser Produkt? Wir wollen sie so formulieren:

Koks für den elektrischen Schmelzofen ist nicht fester Brennstoff schlechthin. Wie aus der Formel für die Carbidbildung zu ersehen ist, spielen die rein brenn-

Tabelle 4. Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Leitfähigkeitswerte

Versuchsbedingungen:			
Material: Steinkohlenkoks		Meßspannung: 30 [V] \pm 0,5 [V]	
Körnung: 3–20 [mm]		Füllgewicht: je Versuch 50 [kg]	
Temperatur [°C]	gemessen am: 15. 5. 1957	gemessen am: 20. 5. 1957	gemessen am: 30. 5. 1957
	Leitfähigkeit [s]	Leitfähigkeit [s]	Leitfähigkeit [s]
20	1,33	1,27	1,30
200	1,67	1,45	1,45
300	1,77	1,45	1,65
400	1,83	1,63	1,73
500	2,00	1,87	1,80
600	2,16	1,87	1,95
700	2,33	2,20	2,10
800	2,50	2,22	2,30
900	2,70	2,46	2,50
1000	3,06	2,93	2,93
1100	3,06	2,97	3,08
1200	3,22	3,44	3,22
1300	3,30	3,35	3,30
1400	3,46	3,58	3,48
1500	3,50	3,44	3,52
1600	3,60	3,50	3,60
1700	3,65	3,53	3,45
1800	3,75	3,70	3,65

stofftechnischen Dinge gar keine Rolle. Es wird vorgeschlagen, den neuen Qualitätsbegriff „Elektrothermischer Koks“ einzuführen. Dieser Koks muß folgende Vorzüge aufweisen:

1. aschearm – unter 8 % – am besten ohne jede Asche!
2. möglichst hoher elektrischer Widerstand, ähnlich dem von Holzkohle oder aschearmen Torfkoks

BHT-Koks ist, wie die Messungen gezeigt haben, in dieser Hinsicht günstig.

3. frei von grafitischen Anteilen und der Neigung, leicht zu grafitieren
4. Zündpunkt nicht unter 400 °C

Erwünscht sind ferner:

5. eine Trommelfestigkeit von nicht unter 45 % nach Micum

6. hohe Reaktionsfähigkeit gegenüber gebranntem Kalk, d. h. nach bisherigen Vorstellungen eine verhältnismäßig niedrige Garungstemperatur bei der Herstellung
7. Wasserarmut, d. h. unter 2 % H_2O
8. ofengerechte Körnung, d. h. 5/20 mm oder 8/15 mm

Von den in der DDR bisher zur Verfügung gestellten Kokssorten kommt heute der BHT-Koks diesen Forderungen am nächsten.

Natürlich hat der BHT-Koks auch Mängel. Der erste ist der immer noch große Feinanteil in der Körnung 3/20 mm, wie wir sie zum Beispiel beziehen.

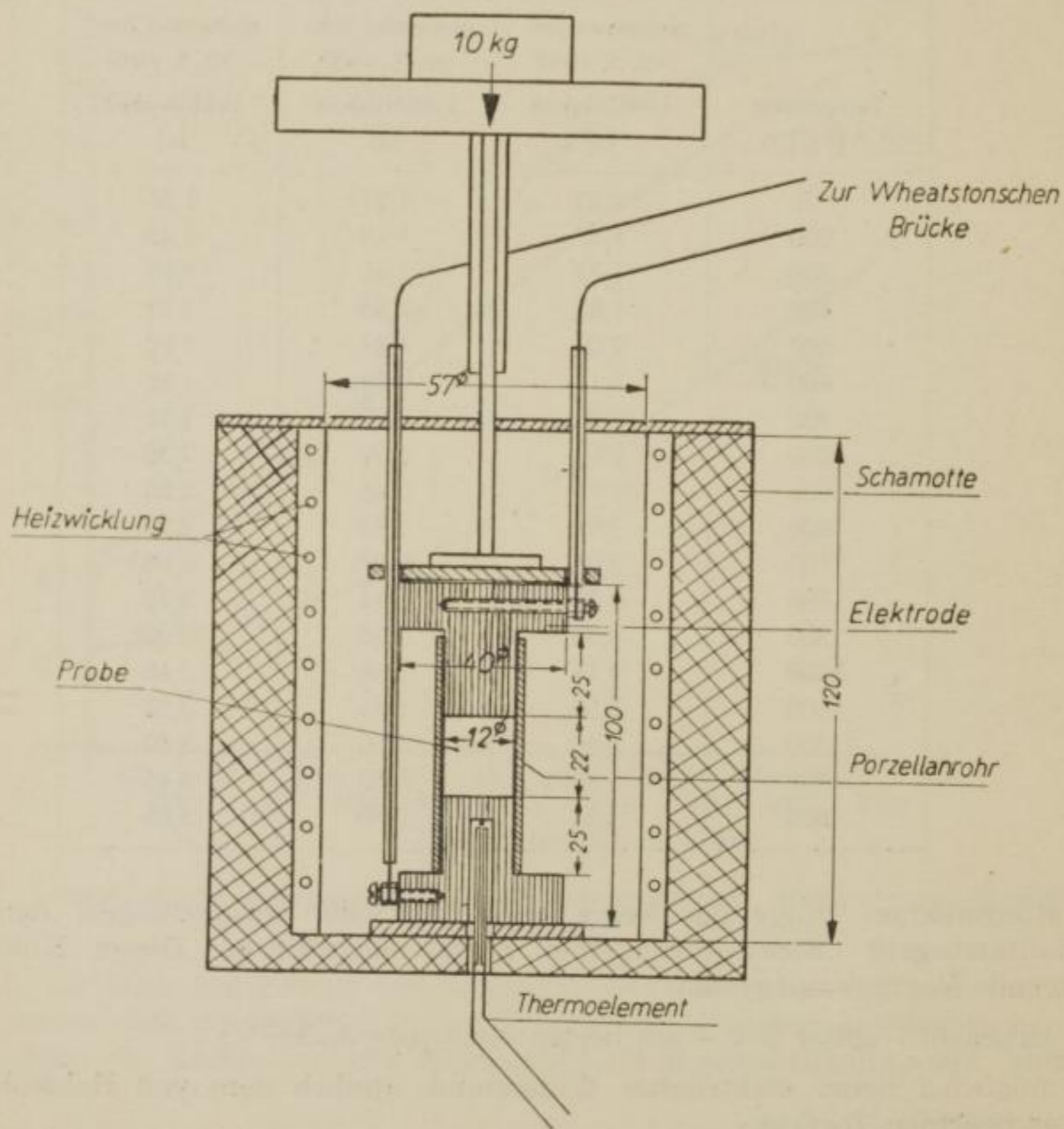


Bild 6. Apparatur zur Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit

Dieser Fehler kann zweifellos in der Zukunft leicht durch Aufstellung ausreichender, gut überwachter Siebanlagen vermieden werden.

Der zweite Fehler ist schon ernster. Der BHT-Koks staubt sehr heftig bei der Entladung und beim Umschlag vom Lager zur Verbrauchsstelle, der Wiege-

station. Der Transport in Spezialwagen dürfte zur Beseitigung dieses Mangels beitragen.

Zum Schluß noch einen Exkurs in das Traumland des Carbidgeherstellers. Das wirklich ideale Beschickungsgut für den vollautomatisierten Carbidgefen ist das Rohstoffbrikett; fest, hart, staubfrei enthält es Kalk und Kohlenstoff im ge-

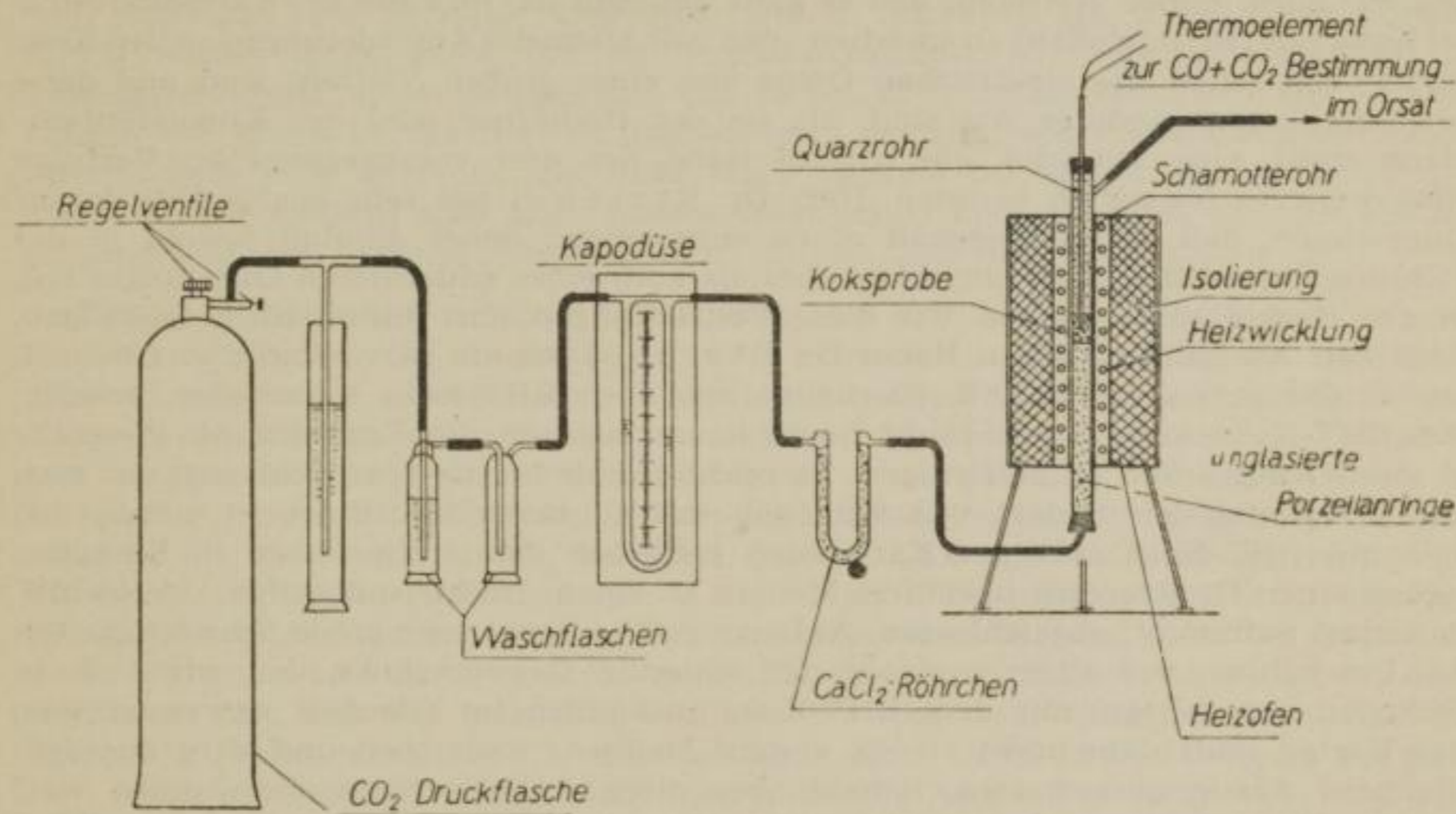


Bild 7. Apparatur zur Bestimmung der Reaktionsfähigkeit von Koks

wünschten Verhältnis. Es hat einen außerordentlich hohen elektrischen Widerstand, gestattet eine wunderbare Entgasung der Herdbeschickung. Wir wissen heute noch nicht, wie man solche Briketts herstellen kann. Doch der Traum von heute ist die Technik von morgen.

Literatur

- [1] KAESS und VOGEL: Chem. Ing. Techn. 28 (1956) S. 759.
 EBSTER, F.: Chem. Techn. (1958) H. 10, S. 400 ff.
 2 WOTSCHKE, J.: Grundlagen des elektrischen Schmelzofens. Knapp-Verlag Halle/S., 1933.

Diskussion

Dr. EBSTER, Schkopau:

Ich möchte zu den Ausführungen von Herrn Dr. Striebel noch einiges hinzufügen, zwar nichts Wesentliches, aber ich möchte doch einige Hinweise geben. Erstens hat Herr Dr. Striebel den Standpunkt ganz überzeugend zum Ausdruck gebracht, den wir auch immer vertreten, daß es ganz abwegig ist, im Falle der Karbidindustrie bei Koks von „Brennstoffen“ zu sprechen, daß vor allem die Anforderungen an den Koks gerade von seiten des elektrischen Ofens von einer großen Vielzahl sind und diese gewöhnlich ganz anderer Art sind, als sie der Hochöfner oder der Kupolofenfachmann stellt, eine Tatsache, die wir an Hand der drei vorangegangenen Vorträge ohne weiteres feststellen konnten. Herr Dr. Striebel hat sehr ausführlich darauf hingewiesen, daß der Aschegehalt einen ausnehmend hohen Einfluß sowohl in der Richtung eines höheren Stromverbrauches als auch eines schlechteren Ofenganges hat. In der Karbidfabrik können wir diese Feststellungen nur vollinhaltlich bestätigen. Nach den Ausführungen von Herrn Dr. Striebel könnte es vielleicht so scheinen, als ob wir in naher Zukunft überhaupt nur noch BHT-Koks verarbeiten werden. Das BHT-Koks-Aufkommen reicht heute kaum aus, um die Karbidfabrik Piesteritz in ihren Ansprüchen zu befriedigen. Es reicht jedoch bei weitem nicht aus, um auch nur annähernd den Bedarf von Schkopau mit zu bestreiten. Eines ist sicher, daß man mit BHT-Koks sehr gut Karbidöfen betreiben kann. Wir haben in Schkopau soeben einen Großversuch über drei Monate an einem Hochleistungs-ofen, der 40 MW Dauerlast aufnimmt, abgeschlossen. Anfangs gab es dabei sehr große Schwierigkeiten der Umstellung, vor allem so lange der schlechte Gaswerkskoks, den wir z. Z. in Schkopau verarbeiten, mit dem BHT-Koks zusammen im Ofenbett anwesend war. Das Karbid läuft dann nicht ab. Es kommt vielmehr nach oben und wird aus dem Ofenherd flüssig ausgeworfen. Sobald aber diese Anlaufperiode überwunden war, lief der Versuch immer besser und nach etwa einem Monat sogar großartig. Man muß allerdings den Ofen etwas anders führen, muß auch dem Ofen größere Aufmerksamkeit widmen, aber dann arbeitet er einwandfrei.

Auf Grund dieser Ergebnisse müßte die weitere Entwicklung in der Richtung verlaufen, daß die Karbidfabrikation nur noch BHT-Koks als Schwarzmaterialeinsatz. Die Aussichten dafür sind jedoch meines Wissens und nach den mir zugänglichen Informationen nicht so, daß der Bedarf schon in den nächsten Jahren gedeckt wäre. Auch wenn die Kokerei des Kombines „Schwarze Pumpe“ produzieren wird, wird dennoch das Aufkommen an BHT-Koks in der Körnung, die die Karbidindustrie braucht (3–20 mm), bei weitem nicht ausreichen, um auch nur annähernd den Bedarf befriedigen zu können. Inwieweit es möglich sein wird, die größeren Körnungsklassen durch Einschaltung eines nachträglichen Brechvorganges zu zerkleinern, hängt unseres Erachtens nicht so sehr von den technischen Möglichkeiten hierfür, als vielmehr von einer klaren, den Erfordernissen der Karbidindustrie Rechnung tragenden Planung der zuständigen Stellen ab. Aus allem ergibt sich jedoch der Schluß, daß die Karbidindustrie auch in den nächsten Jahren immer noch in der Hauptsache auf den Steinkohlenkoks, der in unseren Wunschträumen nur Zechenkoks sein sollte, angewiesen sein wird. Ich möchte aber nicht sagen, daß es grundsätzlich nur mit Zechenkoks im Karbidofen geht. Wir wären auch, entsprechend den zur Zeit vorliegenden realen Verhältnissen auf dem Gebiet der Koksversorgung, bereit, einen guten und gleichmäßigen Gaswerkskoks zu akzeptieren. Aber dieses in seinen Qualitätseigenschaften so sehr schwankende und uneinheitliche Material, das uns heute unter dem Sammelbegriff „Koks“ angeliefert wird und das wir vor allem in Schkopau verarbeiten müssen, kann beim besten Willen nicht als ein den hohen Anforderungen, die besonders im Rahmen des Chemieprogrammes an die Karbidherzeugung gestellt werden, gerecht werdender Rohstoff bezeichnet werden.

Ich habe hier zur Kenntnis genommen, daß auch die Eisen- und Stahlindustrie wohl sehr große Sorgen in Richtung einer Versorgung mit qualitätsgerechtem Koks hat und daß sie alle möglichen Forderungen für die Zukunft noch angemeldet hat. Aber ich habe mit großer Freude auch festgestellt, daß diese Industrie der Verwirklichung ihrer Forderungen verhältnismäßig sehr nahe gekommen ist. Demgegenüber ist die Karbidindustrie und ganz besonders die Karbidfabrik der chemischen Werke in Buna von einer auch nur angenäherten Erfüllung der Forderungen noch sehr weit entfernt. Zum Beispiel verarbeiten wir in Schkopau zur Zeit in der Karbidfabrik wieder einen Koks, der im Tagesdurchschnitt, ich sage, wohlgemerkt, im Tagesdurchschnitt, einen Aschegehalt von 18 bis 21 % aufzuweisen hat. Die Ausführungen von Herrn Dr. Striebel machen recht deutlich, wie schlecht der elektrische Strom, diese sehr wertvolle und sehr teure Energie bei uns ausgenützt wird und zweitens, wie schlecht aber auch unsere Öfen gehen und wie hoch dadurch die Beanspruchung der Arbeitskräfte und nicht zuletzt auch die Unfallgefahr ist.

Zunächst stehen wir auf dem Standpunkt, der auch heute immer wieder von den Hochofenfachleuten zum Ausdruck gebracht worden war: Wir wollen als Soforthilfe nicht so sehr einen extrem guten Koks als vor allem einen extrem gleichmäßigen Koks. Unser Wunsch, einen Koks mit maximal 8 % Asche zu erhalten, ist von heute auf morgen nicht zu realisieren. Zunächst wäre uns geholfen mit einem Koks, der 12 bis 13 % Asche enthält, wobei jedoch die Schwankungen von Waggon zu Waggon nicht größer als maximal 2 % betragen dürften. Es ergibt sich demgegenüber in Schkopau sehr häufig folgende Lage: Wenn ich am Monatsende die Bilanz ziehe und den mittleren Aschegehalt des im Monat verarbeiteten Kokses errechne, dann liegt dieser zwischen 14 und 15 %. Sieht man sich aber die Spitzenwerte näher an, dann stellt man fest, daß fast jeden Tag vielleicht 30 oder mehr Waggons dabei sind, die über 20 % Asche enthalten. Wir erhalten auch, Herr Dr. Grüner hat es ebenfalls zum Ausdruck gebracht, Waggonladungen mit 30 % Asche, und sogar 34 % sind zeitweise keine Seltenheit.

Es wurde schon zum Ausdruck gebracht, daß sich guter Koks und schlechter Koks für den Ofenbetrieb zu einem Mittelwert vereinen. Im Gegenteil wirkt sich bei einer solchen Kombination der minderwertige Anteil des Schwarzmateriale in solcher Weise auf den Ofengang aus, als wäre nur er allein vorhanden, und ein verbessernder Einfluß untergeordneter Mengen an qualitativ besseren Rohstoffen ist nicht festzustellen. Ein Ofen, der mit einem Koks mit 20 oder gar 30 % Asche beschickt wird, der geht nicht mehr einwandfrei. Er arbeitet auch dann nicht wieder einwandfrei, wenn er am nächsten und übernächsten Tag vorübergehend einen Koks mit nur 11 % Asche erhält, weil inzwischen das Ofenbett verdorben ist, d. h., große Teile des Ofens erkaltet bzw. verkrustet sind, und dadurch der Karbidabstich zeitweise zum Erliegen kommt. Die Folge davon ist, daß man nicht bei der hohen Spannung arbeiten kann, wie es Herr Dr. Striebel richtig gefordert hat und wie es sein müßte, um gute Energieausbeuten zu erzielen. Denn wenn die Spannung zurückgeht, steigt die Stromstärke, und sowohl die Energieausbeute als auch der Ofengang werden schlecht.

Wir erhalten bei uns in Schkopau aus 70 verschiedenen Gasfabriken Koks. Dabei ist technisch keine Möglichkeit gegeben, diese qualitativ äußerst inhomogenen Zufuhren an Koks nach Qualitätsmerkmalen getrennt auszuladen und zu verschneiden. Wenn wir das wollten, brauchten wir mindestens einen dreimal so großen Bahnhof, als er in Schkopau schon vorhanden ist; wir brauchten einen noch vielmal größeren Kokslageplatz und eine wesentlich größere Bunkeranlage. Demgemäß können wir nur den Koks, wie er angeliefert wird, hereinnehmen und verarbeiten. Der Karbidofen erhält dann das angeboten, was gerade da ist, und er reagiert dann eben so, wie er auf Grund eines solchen Rohstoffes reagieren muß.

Ich möchte zum Schluß noch auf Leitfähigkeitsmessungen am Schwarzmateriale etwas näher eingehen. Die Leitfähigkeitsmessungen sind ein Teil der Entwicklung der Untersuchungsmethoden, die auch die Karbidfabrik in Schkopau sehr interessiert und die sie selbst auch seit Jahren betreibt. Ich habe jedoch im Prinzip gegenüber den Darlegungen von Dr. Striebel nichts Neues zu sagen. Wir haben auch in Schkopau einen ähnlichen Ofen zur Leitfähigkeitsbestimmung entwickelt. Die kleinen Unterschiede gegenüber dem Piesteritzer Ofen haben jedoch weiter nichts zu bedeuten.

Interessant war bei den von uns durchgeführten Untersuchungen jedoch folgendes: Wir haben unter anderem auch den Anthrazit aus der Sowjetunion untersucht. Wir mußten in den Jahren 1957 und 1958 in der Karbidfabrik in größerem Maßstab sowjetischen Anthrazit einsetzen. Wir haben damit keine guten Erfahrungen gemacht, da die Öfen mit diesem Rohstoff überhaupt nicht richtig arbeiteten; wie Herr Dr. Striebel bereits angedeutet hat. Ursprünglich führten auch wir diese Tatsache auf die unterschiedlichen Aschebestandteile zurück. Jedoch haben eingehende analytische Untersuchungen keinerlei Anhaltspunkte für diese Auffassung gegeben. Andererseits hat aber die Leitfähigkeitsmessung einen interessanten Hinweis gegeben. Dabei hat sich nämlich gezeigt, daß der spezifische elektrische Widerstand dieses Anthrazits enorm hoch ist, und zwar etwa das Zweihundertfache bis Tausendfache bei normaler Temperatur und bei hohen Temperaturen, also bei 1400° bis 1500° C, immerhin noch das Zehnfache von Zechenkoks. Nun möchte man nach den Ausführungen von Herrn Dr. Striebel vielleicht annehmen, daß ein so extrem hoher elektrischer Widerstand eigentlich das Erwünschte sein müßte; suchen wir doch gerade einen Ofenmüller mit möglichst hohem Widerstand. Wenn man aber die Zusammenhänge konsequent durchdenkt, so liegen die Verhältnisse nicht ganz so einfach. Der in Rede stehende Anthrazit, der nicht in der geeigneten Körnung angeliefert wurde, liefert beim Brechen eine äußerst weitverzweigte Kornzusammensetzung, bei der vor allem die Unterkorngrößen sehr stark vertreten waren. Da Abriebeanlagen in Schkopau nicht vorhanden sind, mußte das Material den Öfen so zugeführt werden, wie es aus dem Brecher kam. Dadurch aber läßt es sich nicht vermeiden, daß in den großen Ofenbetten eine gewisse Entmischung der Körnung eintritt. Weist jedoch das Schwarzmateriale, der Stromleitungsträger im Elektroofen, einen extrem hohen elektrischen Widerstand auf, dann reicht, besonders in den Teilen des Ofenbettes, in denen sich sehr viel Feinzeug angehäuft hat, die, gemäß der von Herrn Dr. Striebel angeführten Gleichung (Joulesches Gesetz), entwickelte Wärme nicht aus, um den Herd an dieser Stelle auf die für die Karbidbildung erforderliche Temperatur zu bringen, da die mit dem gegebenen Ofentransformator zu erreichende Sekundärspannung ebenfalls nur begrenzt ist. Dadurch aber verlagert sich der Wärmeumsatz mehr in die Lichtbogenzone des Ofens (unterhalb der Elektroden). Dort treten aber so hohe Temperaturen auf, daß das primär gebildete Kalziumkarbid zu einem erheblichen Anteil bereits wieder dissoziiert und demgemäß erhebliche Energieverluste auftreten. Diese Erscheinung konnten wir auch 100prozentig in der Praxis bestätigen. Der wegen des Anthraziteinsatzes schlecht gehende Ofen arbeitete nämlich in dem Augenblick besser, als — entgegen der andernfalls erforderlichen Kalkzugabe — ein Mehr an Koks zugeschlagen wurde, ein Zeichen dafür, daß große Teile des Ofenbettes bereits kalt waren und diese durch die verstärkte Kokszugabe erst wieder warm wurden. Aus der geschilderten Sachlage ersieht man folgendes: Es ist nicht nur wichtig, einen möglichst hohen Widerstand des Ofenbettes zu erreichen, sondern es ist ebenso wichtig, daß das Material dann von äußerst gleichmäßiger physikalischer Beschaffenheit ist. Aus diesem Grund setzen auch wir sehr große Hoffnungen auf das „Rohstoffbrikett“. Die Vereinigung von Kohlenstoff und Kalk im richtigen Verhältnis in einem Brikett ermöglicht einen Ofenmüller mit extrem hohem elektrischem Widerstand bei gleichzeitiger Vermeidung einer jeden Entmischungserscheinung der Komponenten im Ofenherd.

Dr. MOLL, Schkopau

In den letzten zehn Jahren ist immer wieder die Karbidproduktion als absterbend bezeichnet worden.

Daß dies nicht der Fall sein wird, ist am besten daran zu sehen, daß die Karbidproduktion zur Zeit in der DDR etwa 700 000 bis 750 000 Jahrestonnen beträgt und sie bis 1965 auf etwa 1,2 Millionen t/Jahr gesteigert werden soll. Es lohnt sich schon, dafür etwas am Koks zu tun.

Wir verbrauchen in Buna z. Z. rund und reichlich gerechnet 300 Megawatt, um Karbid zu erzeugen. In der Karbidproduktion gilt als Faustregel, daß 1 Prozent Verunreinigungen mehr im Koks einen Mehrverbrauch von 2 % an Strom bedeuten. Sie hörten, daß wir jetzt etwa im Durchschnitt 15 % Verunreinigungen haben. Wir sind viele Jahre gefahren mit 8 % Asche, das sind also 7 % Steigerung. Sie bedeuten einen Mehrverbrauch an Strom von 14 %, d. h., daß durch dieses Ansteigen des Aschegehaltes im Koks 42 Megawatt nutzlos aufgewendet werden. Die Stadt Halle hat einschließlich aller industrieller Verbraucher einen Verbrauch von etwa 20 Megawatt. Mit dem Strom, den wir durch den höheren Aschegehalt nutzlos vertun, könnte man also zweimal die Stadt Halle versorgen. Wir wissen, wie knapp Strom ist, und es wäre doch ein hohes Ziel, diesen Strom — wenigstens zum Teil — einzusparen.

Wir kennen die Schwierigkeiten, die die Kokserzeuger durch die Lieferanten der Kohle usw. haben. Wir möchten aber doch anregen, alles zu versuchen, um mit den vorhandenen Rohstoffen wirklich den optimalen Koks zu erzeugen. Wir wissen nicht, ob dies geschieht, wir kennen das zu wenig. Wir glauben aber, daß auch da die Wissenschaft einen wesentlichen Beitrag leisten kann. Aus den Ausführungen von Herrn Prof. Gruson war zu entnehmen, daß die Wissenschaft in der Analytik des Kokes und in der Überwachung uns Praktikern schon beträchtlich voraus ist. Man sollte die Kokserzeuger unterstützen bei der Herstellung besseren Kokes aus den vorhandenen Rohstoffen. Wir haben im Buna-Werk aber noch einen anderen Großverbraucher an Koks: Zur Erzeugung von Branntkalk, neben Koks der zweite wichtige Rohstoff für die Karbiderzeugung, wird ebenfalls Koks benötigt. Zwischen unserer Karbidfabrik und unseren Branntkalkherzeugern wird ein harter Kampf geführt um die wenigen Prozente guten Koks, die wir bekommen. Die Karbidfabrik braucht ihn nicht als Brennstoff, sondern als chemischen Rohstoff, die Kalkwerke benötigen ihn, um guten Kalk liefern zu können. Die Branntkalkherzeugung erfolgt in der ganzen Welt im wesentlichen in Schachtöfen. Der theoretische Verbrauch liegt bei etwas über 800 Kalorien pro Kilogramm Branntkalk. Die besten Kalkwerke liegen z. Z. bei etwas über 900 Kalorien, wir liegen bei 1200 Kalorien. Wir erzeugen etwa 1500 Tagedestonnen Kalk und verbrauchen dafür 300 t Koks. Könnten wir auf 900 Kalorien kommen, die Möglichkeiten wären durchaus gegeben, dann könnten von diesen 300 Tagedestonnen Koks 80 t eingespart werden. Wir wissen, daß ein Teil der Einsparungen durch uns zu erbringen ist, d. h. durch Verbesserung der Technologie des Kalkbrennens. Bisher wurde sogenannte Lagenfeuerung angewandt. Das bedeutet natürlich in den Koksschichten eine Anhäufung des Brennstoffes. Wir sind jetzt zu der sogenannten Mischfeuerung übergegangen. Kalk und Koks werden vorher gemischt und auch gemischt in den Ofen eingebracht. Dazu brauchen wir aber selbstverständlich einen sehr gleichmäßig gekörnten Koks, sonst rieselt der feine Koks durch die groben Bestandteile durch. Wir brauchen einen Koks, der ungefähr die halbe Korngröße des eingebrachten Kalkes hat. Der Kalk hat eine Korngröße von 60 bis 150 mm. Wir brauchten also Koks zwischen 30 und 70 mm, wobei wir nicht jeden Ofen mit dem ganzen Band beschicken, sondern aussieben. Der eine Ofen bekommt das feinere, der andere das gröbere. Wir wünschen uns also einen groben, aber gut klassierten Koks.

Wir wünschen uns außerdem einen harten Koks, denn das Mischen des Kalkes mit dem Koks geht nicht ohne Beanspruchung des Kokes ab. Es entsteht dabei viel

Abrieb. Wir wünschen uns dann auch einen möglichst aschearmen Koks, um wenig Asche in den Kalk zu bekommen. Ein größerer Teil davon geht trotzdem mit dem Kalk in den Karbidofen ein. Wir wünschen uns weiter die Verrechnung des Kokses als Trockenkoks. Er kann naß geliefert werden, denn bei uns liegt er, bevor er eingesetzt werden kann, doch erst auf Halde oder im Kokslager. Die Forderung für die Branntkalkproduktion lautet: Einen harten, grobstückigen, gut klassierten Koks mit niedrigem Aschegehalt.

Dir. JUNG, Berlin:

Wenn man die heutigen Vorträge gehört hat und das Bewußtsein hätte, daß die Schuld an der schlechten Koksqualität bei uns liegt, so glaube ich, wir wären alle vor Scham in die Erde versunken. Aber so ist das nicht. Ich könnte jetzt als Erzeugungsbetrieb wahrscheinlich genauso wie Sie die Schwierigkeiten aufzeigen, die wir in unseren Werken haben. Aber damit wäre das Problem nicht gelöst. Um einen guten Koks herstellen zu können, benötigen wir die entsprechenden Kohlen, d. h. eine Kohle, die gut backt und wenig Asche besitzt. Setzen wir diese Kokskohle in der entsprechenden Höhe in unseren Öfen ein, dann sind wir auch durchaus in der Lage, Ihnen einen Koks zu geben, der dann einen Wassergehalt von 3 oder 4 % aufweist. Wir haben sogar schon Koks geliefert, der nur 2 % H₂O hatte. Ich glaube, die Frage darüber, ob 2 % oder 6 % bezahlt werden, brauchen wir hier nicht zu erörtern. Damit mögen sich andere Stellen befassen. Ausschlaggebend ist doch, daß Verbraucher und Erzeuger gemeinsam den Weg gehen, den wir zu gehen haben. Wer Gelegenheit hatte, sich mit unseren polnischen Kollegen zu unterhalten, der wird feststellen, daß auch sie einen schweren und harten Kampf führen müssen, da die Förderung gegenüber 1949 um das Dreifache und noch mehr angestiegen ist. Ihnen fehlt es auch an dem nötigen Bedienungspersonal. Außerdem zeigen sich Schwierigkeiten bei den Aufbereitungsanlagen. Wir müssen auch dieses sehen. Wir können den Sprung vom einen zum andern nicht von heute auf morgen machen, sondern wir müssen uns zunächst mit dieser Tatsache abfinden. Wir als Erzeugerbetrieb bemühen uns, Ihren Forderungen gerecht zu werden. Die erste Norm für Koksqualität wurde von den Erzeugerbetrieben herausgebracht. Aus der Erkenntnis, daß die Industrie einen besseren Koks braucht, entsprang die Dienstanweisung für die Koksqualität, die auf der damaligen Grundlage der Kohlenlieferung ausgearbeitet wurde. Inzwischen hat sich die wirtschaftliche Lage auf dem Kohlenmarkt geändert, so daß die Kohlenqualität, mit der gerechnet worden war, nicht mehr geliefert wurde. Heute müssen Kohlen mit 17 und 20 % Asche verarbeitet werden. Diese 17 % Asche werden nach dem Entgasungsprozeß wieder im Koks erscheinen. Es ist klar, daß dann aus den 17 % Asche in der Kohle 23 % im Koks geworden sind. Wir müßten die Schlußfolgerungen aus den heutigen Ausführungen ziehen, und es käme jetzt darauf an, diese enormen Aufwendungen, die beispielsweise die Karbidindustrie infolge des höheren Wärmeverbrauches hat, für alle Verbraucher zu erfassen und an unsere Regierung heranbringen, damit unsere Forderungen erfüllt werden.

Die Anlieferung der Kohle muß, soweit sie nicht aufbereitet ist, zur Aufbereitung an einen zentralen Platz erfolgen. Denn es geht nicht an, daß jedes Werk eine Aufbereitung baut, was volkswirtschaftlich nicht zu vertreten wäre.

Dann noch eins: Ich möchte auch die Verbraucher um ihre Unterstützung bitten. Es hat keinen Sinn, daß wir einen Stab von Leuten beschäftigen, die die Koksanalysen herstellen. Ich hatte vorhin Gelegenheit, mit einem Kollegen von Ihnen zu sprechen, der mir sagte: „Wissen Sie, wir haben es uns schon überlegt, ob es wirklich noch notwendig ist, die vielen Analysen zu machen. Seit wir Ruhrkoks und Koks von Magdeburg bekommen, die jetzt die Möglichkeit haben, dementsprechend eine bessere Kohle einzusetzen, stellen wir immer die gleichen Analysenwerte fest.“ Es geht also nicht an, daß vielleicht jedes Gaswerk mit einem Stab von 20 Mit-

arbeitern seine eigenen Analysen macht und feststellt, daß der Aschegehalt 13 % beträgt. Diese sieben Gaswerke schicken dann ihre einzelnen Analysenwerte an den Verbraucherbetrieb, und dieser stellt dann auch noch einmal dasselbe mit Hilfe seiner Gütekontrolle fest. Das kostet uns, volkswirtschaftlich gesehen, wertvolle Arbeitskräfte, die wir anderweitig dringend brauchen. Daher ging gerade von den Berliner Gaswerken der Vorschlag aus, ob wir uns nicht einigen können. Wir als Erzeuger müssen die Kohlen untersuchen. Wir sind daran interessiert, die Verhältnisse so zu gestalten, daß wir mit dem vorhandenen Material die besten Erzeugnisse erzielen. Sie als Verbraucher sind daran interessiert, den Koks, den Sie in Ihren Öfen einsetzen, zu analysieren. Denn Sie brauchen die Analyse für den Einsatz. Nun, ich denke, wir sind alle ein Betrieb, und es wäre doch richtig, wenn man festlegen würde, die Analysen, die der Verbraucher feststellt, werden der Berechnung zugrunde gelegt. Wir werden selbstverständlich, soweit es erforderlich ist, unsere eigenen betrieblich notwendigen Analysen machen. Ich denke aber, daß, wenn wir den Aufwand zusammenrechnen, wir, volkswirtschaftlich gesehen, einen sehr großen Erfolg erzielen könnten. Arbeitskräfte, die uns und Ihnen fehlen, ständen uns dann ausreichend zur Verfügung. Wir würden auf diesem Gebiet einen großen Schritt weiterkommen. Als Schlußfolgerung möchte ich feststellen, daß wir gewillt sind, gemeinsam mit den vorhandenen Mitteln das Beste herauszuholen. Dazu sind, wie schon gesagt, Arbeitsgemeinschaften sehr zweckmäßig. So haben wir von uns aus mit Piesteritz und anderen Betrieben schon früher einmal Verbindungen aufgenommen, die sehr fruchtbringend waren. Es ist klar, daß etwas geschehen muß, Brech I sortengerecht herzustellen. Dieser Brech I geht dann nach Piesteritz oder irgendwo anders hin und wird dort noch einmal durch die Mühle gedreht und gebrochen. Ich möchte doch bitten, daß vom Institut aus die Verhältnisse geprüft und festgestellt werden und dieser Unsinn abgestellt wird.

Ing. MITTAG, Leipzig:

Gestatten Sie mir, zu dem Punkt Stellung zu nehmen, der die Verwendung des 5prozentigen Anteiles des in unserer Republik verbrauchten Koks, wie Herr Prof. Gruson erwähnte, in den Gießereien betrifft.

Zu den Schwierigkeiten, die durch viele heterogene Grund- und Hilfsstoffe sowie die einfachen Schmelzaggregate hervorgerufen werden, gesellen sich die, welche durch den Gießereischmelzkoks verursacht werden.

Wenn die 5 % Koks in guter gleichmäßiger Qualität der Gießerei zur Verfügung gestellt werden, kann man mit beträchtlichen Einsparungen rechnen. Ich greife bestimmt nicht zu hoch, wenn ich die Summe von 16 Millionen DM nenne. (Hierbei ist nur $\frac{1}{5}$ des Ausschusses der Gußwerkstoffe, der im Kupolofen erschmolzen wird, auf den nicht den TGL-Entwurf entsprechenden Koks zurückgeführt.) Die große Zahl der ca. 500 Gießereien unserer Republik sind ein Faktor bei unserem Maschinenexport.

Ich komme aus einem Betrieb, der 90 % seiner Erzeugnisse exportiert. Unsere Gießerei hat in den vergangenen drei Jahren eine gute Ausschußsenkung zu verzeichnen.

1956 = 10,0 % Ausschuß

1957 = 8,0 % Ausschuß

1958 = 6,9 % Ausschuß

I. Quartal 1959 = 3,9 % Ausschuß

Diese Anteile lassen erkennen, daß wir den Durchschnitt der VVB Gießereien unterschritten haben.

An dieser Ausschußsenkung ist im wesentlichsten die gute Schmelzkoksversorgung, die wir uns durch Vertragsgerichtsverhandlungen erkämpft hatten, beteiligt.

Vom II. bis IV. Quartal 1958 erhielten wir folgende Mengen und Qualitäten:

70 t High carbon-Koks	90 mm
ca. 100 t Gießereikoks — (Ruhr)	90 mm
ca. 300 t Vitezny Unor (meist)	90 mm
ca. 300 t Hochofenkoks (Ruhr)	00 mm

Im Jahre 1959 erhalten wir keinen High carbon-Koks mehr.

Aus der Diskussion des heutigen Tages muß ich erkennen, daß wir uns etwas im Kreis drehen. Die Güteforderungen der einzelnen Verbraucher sind unterschiedlich, d. h., was der eine braucht, wurde dem anderen zugewiesen.

Unsere Handelsorgane und die Verteilerorganisationen hätten einen gewissen Teil der ungleichmäßigen Lieferungen vermeiden können, wenn eine Kontrollorganisation bestünde, die die richtigen Qualitäten dem Verbraucher zugestellt hätte.

Ich erlaube mir, die zahlreichen Handelsorgane, die in der durchschnittlichen Gießerei in Erscheinung treten, zu nennen:

Bergbau — Handel
VEB Steinkohlenvertrieb
VEB Kohlehandel

An der Qualitätsverteilung wirken mit:

das staatliche Guß- und Schmiedebüro,
die VVB Gießereien,
das Zentralinstitut für Gießereitechnik,
die jeweiligen Fachministerien und eventuell auch noch
der Rat des Bezirkes.

Alle diese Institutionen sehen den Koks, den die Gießerei erhält, nicht. Die Verträge der Handelsorgane lauten dann so:

Import, Zwickau oder Gaskoks, Stückgröße über 40 mm.

Bei diesen Gütedefinitionen ist eine Reklamation unmöglich. Im praktischen Sinne verteilt den Koks die Übergabestation an der Grenze.

Diese wird außer dem Sortenverteilerschlüssel hauptsächlich den Tonnageforderungen Rechnung tragen.

So kommt es immer wieder vor, daß Koks, der nicht den TGL-Entwürfen entspricht, in den Gießereien landet.

Die Qualitätsmängel der Zechen und Kokereien dürfen natürlich nicht unterstützt werden, sie erschweren nur die Arbeit unserer Handelsorgane.

So bin ich persönlich der Meinung, daß eine Steigerung der Koksproduktion nicht eine Erhöhung des Aschegehaltes des Kokses verursachen muß.

Der Wassergehalt des Kokses kann auf ein Minimum verringert werden, er ist nur unnötiger Transportballast.

Meine Vorredner haben eindeutig auf die Kosten hingewiesen, die durch diese Mängel entstehen. Der Schaden ist bestimmt noch größer, denn hier wurde nur von den Störungen gesprochen und nicht von der Produktion, die zusätzlich gewonnen wäre, wenn ein kontinuierlicher Prozeß mit geringstem Aufwand möglich wäre.

Den technischen Güte- und Lieferungsbedingungen TGL für Gießereikoks ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Unsere Handelsorgane müssen sie beim Abschluß von Verträgen im Auslande beachten und mit dem Lieferer oder Erzeuger die Qualitätsmerkmale sowie Stückgrößen vereinbaren. Diese müssen äußerlich am Waggon erkenntlich sein, damit richtige Zuweisungen und eventuell auch Reklamationen erfolgen können.

Die Beachtung der notwendigen Güte des Gießereischmelzkokes läßt einen sparsamen Verbrauch der in geringen Mengen vorhandenen Fettkohle in der Welt zu. Der Gießereiauschuß wird verringert und Störungen und Kosten im Maschinenbau werden vermieden. Einwandfreie Maschinen geben uns die Möglichkeit, mehr zu exportieren und durch Importe unseren Lebensstandard zu erhöhen.

Das ist zugleich die ökonomische Hauptaufgabe.

Dr.-Ing. HARLOS, Karl-Marx-Stadt:

Es ist heute sehr oft betont worden, daß die Gleichmäßigkeit des Kokes in bezug auf den Aschegehalt von außerordentlicher Wichtigkeit ist. Wie sollen wir aber dazu kommen?

Als Gas- und Kokserzeuger sind wir ja in der glücklichen Lage, 90 % der Schuld auf andere abwälzen zu können, 10 % wollen wir vielleicht noch auf uns nehmen. Damit ist aber auch nicht geholfen. Wir bekommen die Kohlen aus 30 bis 50 Gruben in ständig wechselnder Qualität. Wenn die Kohle einrollt, wissen wir nicht, welcher Aschegehalt vorliegt. Ehe die Analyse fertig ist, liegt die Kohle bereits auf einem Platz, auf dem sie nach den durchschnittlichen Erfahrungen hingehört. Wenn sie die angenommenen Eigenschaften aber nicht hat, ist die Mischung unbrauchbar. Ich möchte einmal an die Koksverbraucher, die an einem Kokeinsatz mit gleichmäßigem Aschegehalt interessiert sind, die Frage stellen: Ist es Ihnen denn möglich, aus den mit unterschiedlichen Aschegehalten anrollenden Kokssendungen durch Analysierung und entsprechende Lagerung Mischungen mit annähernd gleichen Aschegehalten herzustellen? Es müßte Ihnen viel leichter möglich sein als uns, denn Sie haben nur einen Faktor, die Asche, zu berücksichtigen, während die Kokereiindustrie vier Faktoren bei der Herstellung der Kohlenmischung berücksichtigen muß.

Aber ich sehe ein, das ist für Sie genauso wenig möglich, wie es für uns in der Kokereiindustrie möglich ist, aus diesem unterschiedlichen Einsatzmaterial einen gleichmäßigen Koks zu erzeugen.

Wir kommen also auf diesem Wege nicht weiter.

Kollege Gesell hat uns eben gesagt, daß aus den Erfordernissen der Produktionssteigerung im sozialistischen Lager auch in den nächsten Jahren noch keine wesentliche Besserung zu erwarten ist. Nun, wir haben schon oft darüber diskutiert, und ich habe erst kürzlich auf einer Tagung in Karl-Marx-Stadt wieder die Frage gestellt: Ist es denn unter diesen Umständen nicht doch notwendig, auf eine zentrale Aufbereitungsanlage zuzukommen? Herr Professor Gruson hat bereits vorhin von der Notwendigkeit eines zentralen Lagers gesprochen. Dort könnte die Kohle in Ruhe analysiert und gewaschen werden, so daß den Werken dann eine gleichmäßige bzw. nur in gewissen Grenzen schwankende Kohle zugeführt werden könnte. Es ist uns als Gegenargument gesagt worden, daß wir es uns — wenn z. B. die Kohle aus der UdSSR kommt — nicht leisten könnten, die Asche erst einige tausend Kilometer zu transportieren, um sie dann erst auszuwaschen. Die Aufbereitung müßte gleich am Gewinnungsort vorgenommen werden. Wenn das aber auf Jahre hinaus nicht möglich sein wird, kommt es meiner Ansicht nach doch darauf an, daß wir die Asche, selbst wenn sie schon einige tausend Kilometer transportiert wurde, überhaupt einmal abfangen, und wenn es erst 10 Meter vor dem Verbrauchsort ist. Die Hauptsache ist doch, daß sie nicht in die Produkte gelangt.

Ich möchte daher immer wieder die Frage aufwerfen, ob eine zentrale Aufbereitungsanlage nicht doch das einzige Mittel ist, um die ungeheuren Schwierigkeiten und Schäden, die uns heute hier geschildert wurden, zu beseitigen!

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Ich glaube, ich kann wohl etwas zusammenfassen. Ich brachte in der Einführung schon eine Zusammenstellung der verschiedenen prozentualen Verbrauchsmengen und die verschiedenen Stufen in der Härte der Anforderungen, die von den einzelnen Industriezweigen gestellt werden. Es zieht sich wie ein rotes Band durch unsere gesamte heutige Tagung, daß der jetzige Zustand durchaus unbefriedigend ist und daß wir alle zusammenarbeiten müssen, um hier das Übel an der Wurzel zu packen und zu beseitigen. Herr G e s e l l hat uns heute morgen schon kurz über den Stand der Verhandlungen unterrichtet, die im Rate der gegenseitigen Wirtschaftshilfe gepflogen worden sind, und dem Ascheproblem für dieses Jahr schon Besserungen versprochen.

Wir müssen real bleiben. Wenn ich einmal versuche zusammenzufassen und die Forderungen der einzelnen Industriezweige unter unserem Aspekt zu betrachten, so steht zunächst die Forderung der Karbidwerke nach einem möglichst schlecht leitenden Steinkohlenkoks, neben dem Braunkohlenkoks, der ideale Bedingungen bietet. Ich führte bereits in meinem Vortrag aus, daß nach der Literatur die Anisotropie oder, parallel damit laufend, auch die Leitfähigkeit in etwa eine Eigenschaft des Fettkohlenkokes ist. Was in der Karbidindustrie gebraucht wird, ist ein möglichst schlecht leitender isotroper Koks. Es wäre hier der gegebene Rohstoff ein Koks aus einer Gasflammkohle, die ja auch reichlich in Polen vorhanden ist. Nun läßt sich gerade Gasflammkohle außerordentlich schlecht verarbeiten und bringt zu einem sehr großen Teil Grus. Wir haben ja alle die entsetzlichen Jahre 1947, 1948 und 1949 hinter uns, in denen wir nur mit schlechtest backenden Kohlen arbeiten konnten. Wir haben die Katastrophe in den Werken erlebt. Die Generatoren für die Ofenbeheizung wurden noch mit dem eigenen schlechten Koks beschickt. Die Öfen wurden kalt und gingen nicht mehr.

Aber ich möchte meinen, daß heute, da die Entwicklung schon etwas weiter ist, diese Frage doch einmal überlegt werden könnte. Man müßte prüfen, wie die Ausbeuten sind, man müßte prüfen, was effektiv möglich ist. Die Forderung nach einer Korngröße von 3 bis 20 mm, könnte vielleicht technisch realisiert werden, wenn wir die Dinge nur theoretisch betrachten. In unseren Horizontalkammeröfen kann Gasflammkohle unmöglich durchgesetzt werden, weil die Öfen in kurzer Zeit zerstört würden. Für den Durchsatz in Vertikalkammeröfen müßte man prüfen, wie sich eine derartige Kohle verhält. Das würde ein Experiment, das sich sicher einmal außer Turnus durchführen ließe in Zusammenarbeit mit dem Versuchsgaswerk oder mit einzelnen Werken, die man dafür einmal vorsehen könnte.

Das zweite Problem, mit dem wir fertig werden müssen, ist das Problem der schwefelreichen Zwickauer Kohle. Wir haben im vorigen Jahr hier eine sehr ernsthafte Konferenz gehabt. Sie hat auch einen schriftlichen Niederschlag gefunden, der auch nicht ganz ohne Erfolg war. Wir müssen das Schwefelproblem lösen, das uns auf der Gasseite (nicht nur auf der Koksseite) außerordentlich Schwierigkeiten bereitet.

Leider sind die Kollegen aus Mansfeld heute nicht anwesend. Ich war vor einigen Wochen dort und überzeugte mich an Ort und Stelle, daß sie einen sehr harten Koks brauchen, der nicht schwefelarm zu sein braucht. Die Anforderung an die Härte ergeben sich bei den dortigen Bedingungen durch den Sturz aus 6 m Höhe von der Gicht auf das Reaktionsbett herunter. Dazu soll der Koks möglichst unten nur vor der Form verbrennen, ähnlich wie wir es heute in den Ausführungen von Herrn F r i e d e l von den Kupolöfen gehört haben.

Hier bietet sich vielleicht eine Möglichkeit. Wenn wir einmal zu einem großen Plan kämen, der sich technisch realisieren ließe, wäre mit den einzelnen Verbrauchern abzustimmen, wie sie die kleineren Körnungen eines derartigen Kokes aufnehmen können. Das wäre die zweite technische Frage, die ansteht und die zu bearbeiten ist.

Weiter kann ich immer wieder nur das betonen und wiederholen, was in allen Beiträgen deutlich wurde. Die allererste Voraussetzung ist die Gleichmäßigkeit der Versorgung und der Qualität, die Gleichmäßigkeit der Kohle, die Gleichmäßigkeit des Kokses. Ich möchte die Herren von der Staatlichen Plankommission und von den Vertriebsgesellschaften sehr herzlich darum bitten, die Frage sehr ernsthaft noch einmal zu klären, ob man nicht zugleich mit den neuen Lagerplätzen, die im Entstehen sind, auch die bestehenden Lagerplätze der Staatsreserve mit benutzen kann unter Hinweis auf die großen Schwierigkeiten, die hier entstanden sind.

Wir haben eben aus dem Beitrag des Kollegen vom VEB Buchungsmaschinen gehört, daß allein bei 5 % des Kokses der Volkswirtschaft ein Schaden von jährlich 16 Millionen DM entsteht. In dieser Zahl ist nur der Ausschuß enthalten und nicht, was auch in den Ausführungen von Herrn Friedel zum Ausdruck kam, daß wir schlecht dünnwandige Stücke gießen können, wenn die Koksqualitäten nicht da sind, und daß die von uns allen bedauerten überaus kompakten Ausführungen unserer Maschinen letzten Endes hierauf mit zurückzuführen sind.

Dieser Schaden ist überhaupt nicht zu beziffern. Wir haben aus den Ausführungen von Herrn Dr. Striebel und von Dr. Moll gehört, daß durch den Aschegehalt 40 MW (ich hatte nur mit 25 MW gerechnet) täglich, stündlich für unsere Versorgung ausfallen. Das ist die Leistung des Kraftwerkes Nachterstedt. Diesen 40 MW entspricht ein Stromverbrauch von nahezu 1 Million KWh und ein Kohleverbrauch von weit über 2000 t Braunkohle täglich, die nutzlos unter die Kessel gejagt werden. Wenn man die Rechnung durchführt, ergibt sich eine Kettenreaktion, die sehr ernsthaft bearbeitet und verhindert werden muß. Der überhohe Verbrauch in den Hochofenwerken ist zu einem guten Teil auf die ungleichmäßige Qualität zurückzuführen.

Für die Verbesserung der Versorgung dürften mit allem Ernst und mit allem Nachdruck die Fragen der besseren Verteilung über die entsprechenden Lagerplätze in Angriff zu nehmen und zu bearbeiten sein. Ich glaube, hier ist ein wesentlicher Punkt, ein Knotenpunkt, soweit ich es sehe. Aber hier liegt auch eine der großen Schwierigkeiten unserer ganzen Entwicklung. Wenn ich Ihre Zahlen einmal weiter verfolge und sie addiere — ich nannte heute morgen in meiner Einführung bescheiden einen jährlichen Verlust von ungefähr 25 Millionen DM —, dürfte der effektive Wert ein Mehrfaches dieser Summe betragen.

BEGRÜSSUNG

2. Tag

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Zum Kolloquium „Gasverteilung und Gasanwendung“ in unserem Institut darf ich Sie herzlich begrüßen. Insbesondere möchte ich die Herren Vortragenden begrüßen und Ihnen schon vorweg für Ihre Bereitschaft danken, zu uns sprechen zu wollen.

Ich begrüße Herrn Dr. H e r n i n g aus Essen, Herrn Dr. K i e s e l aus Leipzig und Herrn Dipl.-Ing. S c h e f f l e r aus Dessau.

Das Schwierige bei solchen Veranstaltungen in unserem Fach ist bekanntlich nicht der Termin – oder die Raumfrage, sondern die Frage der Themengestaltung. Ich bin Herrn Dr. H e r n i n g sehr dankbar, daß er sich bereitgefunden hat, auch in diesem Jahre wieder zu uns zu sprechen, und zwar nicht über ein Thema aus seinem engeren Fachgebiet der Gasfortleitung, sondern über die Frage der „Industriellen Gasanwendung“.

Herr Dr. K i e s e l wird in seinem Vortrag eine Frage, die uns alle in irgendeiner Weise Sorgen bereitet, besonders herausstellen, das ist die Frage der Gasheizung.

Herr Dipl.-Ing. S c h e f f l e r wird in seinem Vortrag eine Frage behandeln, die heute als ein internationales Problem angesehen werden muß. Das ist die Frage der Gasqualität bzw. die Frage der Austauschbarkeit von Gasen. Dabei wird es Sie bestimmt interessieren, von Herrn S c h e f f l e r Näheres über das von ihm entwickelte Wobbezahl-Meßgerät zu hören. Ich darf zunächst Herrn Dipl.-Ing. S c h e f f l e r bitten, das Wort zu ergreifen.

Das Austauschbarkeitsproblem der Brenngase und die Bedeutung der Wobbezahl

Von PETER SCHEFFLER, Dessau

Die Entwicklung zur verbreitetsten und differenziertesten Anwendung der Gaswärme, die in erhöhtem Maße auch in der Deutschen Demokratischen Republik zu verzeichnen ist, stellt das Problem der Austauschbarkeit der Brenngasarten verschiedener Zusammensetzung wieder in den Vordergrund. Mit steigendem Bedarf entwickelt sich auch die Notwendigkeit, von den herkömmlichen und standardisierten Brenngasarten und Erzeugungsverfahren abzuweichen und weitgehend alle auch aus andersartigen, aber wirtschaftlichen Erzeugungsverfahren anfallenden Brenngasarten einschließlich der Erdgase zu verwenden.

Leider ist die Gleichmäßigkeit der Energieart Gas in bezug auf das Brennverhalten der damit betriebenen Brenner meistens sehr unzulänglich und auch in günstigen Fällen noch nicht z. B. mit der des elektrischen Stromes zu vergleichen. An dem Problem der einwandfreien Austauschbarkeit verschiedener Brenngasmischungen, das eng mit dem der Konstanzhaltung des Brennverhaltens durch geregelte Zuspeisung von Zweitgas verbunden ist, ist im letzten Jahrzehnt wieder international intensiv gearbeitet worden, und es sind trotz der noch fehlenden allgemein anerkannten Lösung beachtliche Fortschritte zu verzeichnen.

In den folgenden Darlegungen soll dieses Problem vor allem bezüglich geeigneter physikalischer Kennzahlen, nach denen das Gas beurteilt und nach denen auch geregelt werden kann, betrachtet werden.

Es sei vorausgeschickt, daß das Brennverhalten von physikalisch meßbaren Eigenschaften des Gases bestimmt wird [6], nämlich

Heizwert (H_o, H_u)
Wichteilverhältnis (δ)
und Zündgeschwindigkeit (u),

wobei die letztere noch wesentlich von der Luftzuteilung, Turbulenz und außerdem stark von der Temperatur abhängt.

Im Brenner wirken alle Größen zusammen und beeinflussen sich gegenseitig, ohne daß infolge der unsicheren Bestimmungsmöglichkeiten für die Zündgeschwindigkeit dieses Zusammenwirken in seiner Auswirkung auf das gesamte Brennverhalten genau vorausbestimmt werden kann.

Im Gasgerät bzw. im Brenner oder Ofen kommen ja noch Einflüsse hinzu, die nichts mit dem Gas an sich zu tun haben, aber selbstverständlich trotzdem das Brennverhalten stark beeinflussen können.

Das sind vor allem die Ausströmgeschwindigkeit, die direkt mit dem Druck vor dem Brenner zusammenhängt, und die Turbulenz, die von der Bauart des Brenners und seinen relativen Abmessungen abhängt. Das sind aber gerätetechnisch bedingte und auch von der Geräteseite her verstellbare oder einstellbare – oder

auch zu verbessernde – Einflüsse, die von vornherein getrennt betrachtet werden müssen. Auch der Druck wird ja vor empfindlichen Geräten meist nochmals genau geregelt.

Es erscheint deshalb zweckmäßig, als Ausgangspunkt der Betrachtungen noch einmal die Forderungen zusammenzufassen, die an das „Brennverhalten“ der herkömmlichen Gasgeräte und Brenner gestellt werden. Sofern der Brenner konstant eingestellt bleibt, soll

1. die Wärmeleistung konstant bleiben,
2. der Luftbedarf konstant bleiben,
3. die Flammenlänge konstant bleiben,
3. a) die Flammentemperatur konstant bleiben,
4. die Verbrennung vollständig sein – die Abgase dürfen keinesfalls CO enthalten –
4. a) die Bunsenflamme vollständig „entleuchtet“ sein; sie soll keine „gelben“ Spitzen haben,
4. b) die Flamme nicht zum Rußen neigen,
5. die Flamme nicht zum Abheben neigen,
6. die Flamme nicht zum Rückschlagen neigen,
6. a) die Flamme im Injektorbrenner auch bei plötzlicher Minderung der Gasausströmung (Sparflamme) nicht zurückschlagen oder erlöschen.

Welche „Brenneigenschaften“ muß nun ein Gasgemisch haben bzw. behalten, um in richtig konstruierten und richtig eingestellten Brennern dieses gleichmäßige Brennverhalten zu garantieren?

Wonach soll man beispielsweise regeln? Der Heizwert erfaßt weder Wichte- noch Zündgeschwindigkeitsänderungen. Im Ottbrenner und Prüfbrenner wirken alle drei Größen „irgendwie“ schwer definierbar zusammen, so daß auch damit z. B. die Konstanz der Wärmeleistung nicht kontrolliert werden kann.

Nun ergibt sich aber eine ganz wesentlich erscheinende Vereinfachung der Betrachtungsweise dadurch, daß man diejenige Kennzahl einführt, die bei konstantem Druckgefälle in der Gasausströmdüse der „Wärmeleistung in der Zeiteinheit“ proportional ist. Das ist die nach ihrem Initiator benannte Wobbezahl

$$W_o = \frac{H_u}{\sqrt{\gamma}}$$

Es ergeben sich folgende einfache Zusammenhänge für die Wärmeleistung Q

$$Q = H_u \cdot V \quad H_u = \text{unterer Heizwert (Kcal/m}^3\text{)}$$

$$V = \text{pro s ausströmendes Gasvolumen (m}^3\text{/s)}$$

$$V = F \cdot \alpha \cdot \sqrt{2g \cdot \frac{p}{\gamma}} \quad F = \text{Düsenquerschnitt (m}^2\text{)}$$

$$\alpha = \text{Düsenbeiwert}$$

$$p = \text{Druck (kg/m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{Gaswichte (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{Erdbeschleunigung (m/s}^2\text{)}$$

Wenn F , α , p und g konstant bleiben, wird mit $F \cdot \alpha \cdot \sqrt{2g \cdot p} = C$

$$V = C \sqrt{\frac{1}{\gamma}} \quad \text{und}$$

$$Q = C \frac{Hu}{\sqrt{\gamma}} = C \cdot W_o \text{ (kcal/s) } \cdot$$

Statt der exakten Definition $W_o = \frac{Hu}{\sqrt{\gamma}}$ hat sich vorwiegend die meßtechnisch bisher etwas einfacher zu verfolgende Definition $W_o = \frac{Ho}{\sqrt{\delta}}$ eingeführt, über deren Unzulänglichkeit meist hinweggesehen wird.

Die Wobbezahl berücksichtigt also außer dem Heizwert noch den Einfluß einer nach dem *Bunsen-Schilling*-Gesetz mit der Wichte veränderlichen Gasausströmung auf die Wärmeleistung, wie dies praktisch bei jedem Brenner der Fall ist, bei dem der Druck konstantgehalten wird.

Zieht man nun hierzu in Betracht, daß der Luftbedarf (zwar nicht ganz exakt, aber genügend genau) dem Produkt aus Heizwert und Gasverbrauch proportional ist, so ergibt sich, daß er auch der Wobbezahl proportional ist, womit die Forderungen 1, 2, und damit auch 4, 4a und 4b – also nach Gleichmäßigkeit von Wärmeleistung, Luftbedarf (nicht zu verwechseln mit „Luftverhältnis λ “) und vollständiger Verbrennung – erfüllt bleiben, wenn die Wobbezahl konstantgehalten wird.

Daß damit auch eine gleichmäßige Glühofenatmosphäre zu halten ist, ergibt sich aus der damit verbürgten Konstanz des Produktes Heizwert mal sekundlich ausströmendes Gasvolumen (also auch der konstanten Kalorienlieferung pro Zeiteinheit) bei gleichbleibender Luftzuführung.

Es ergibt sich darüber hinaus aber auch – zumindest für einigermaßen gleichartige „Gasfamilien“ – eine angenäherte Konstanz des sekundlich erzeugten Abgasvolumens und der spezifischen Wärme und damit der theoretischen Flammentemperatur. Das führt bei nicht zu großen Unterschieden in der Zündgeschwindigkeit offenbar auch zur angenäherten Gleichmäßigkeit der Flammenlänge und damit Erfüllung der Forderung zu 3.

Weiterhin wird bei Brennern mit Erstluftzumischung als wichtiger Änderungseinfluß auf die *Zündgeschwindigkeit* derjenige eines unterschiedlichen Luftverhältnisses λ_1 für die Erstluftzuteilung ausgeschieden, wobei unter der Verhältniszahl λ_1 das Verhältnis Erstluftzuteilung zur stöchiometrischen Luftmenge (L_o) verstanden sei.

Hierzu muß besonders erwähnt werden, daß die Erstluftansaugung eines Injektorbrenners sowohl theoretisch als auch nach den bestätigenden Versuchen, z. B. von *Holmquist* und *Engstfeld* [1] [2], in weiten Grenzen konstant bleibt, auch wenn (bei gleichbleibendem Druck) sich die Wichte des ausströmenden Gases ändert. Somit bleibt bei konstanter Wobbezahl und damit auch konstanter Kalorienlieferung des Brenners die Erstluftzuteilung ebenfalls konstant, und die Zündgeschwindigkeit wird sich hier jedenfalls nicht infolge eines anderen λ_1 ändern.

Es ergibt sich weiter, daß für die meisten herkömmlichen Gasarten mit hohem H_2 - und gewissem Inertengehalt - Änderungen der Gaszusammensetzung sich meistens im gleichen Sinne sowohl auf die Wobbezahl als auch auf die maximale Zündgeschwindigkeit auswirken.

So erhöht der H_2 -Anteil gegenüber CO und ebenfalls der Anteil der leichteren brennbaren Bestandteile gegenüber den schweren Inerten sowohl die Wobbezahl als auch die Zündgeschwindigkeit.

In diesem Zusammenhang sind Versuchsreihen recht aufschlußreich, die vom Verfasser 1956 im VEB Junkalor durchgeführt wurden, sowie die Ende 1957 veröffentlichten Ergebnisse der sehr ausführlichen Untersuchungen von Brückner-Hafner [3].

Die Versuche im VEB Junkalor wurden mit einem Meker-Brenner nach Bild 1 durchgeführt, wie er etwa bei Automaten in der Glasverarbeitung benutzt wird. Es wurde das ankommende Stadtgas zu einer Zeit verwendet, in der es relativ starken Schwankungen in der Zusammensetzung unterworfen war.

Tabelle 1 zeigt in den Spalten 1 und 2 die Analysenwerte zweier extremer Zustände. Da eine zeitliche Übereinstimmung der Probeentnahmen nicht durchzuführen war, wird sich bei der Nachrechnung keine absolute Identität der gerechneten mit den gemessenen Heizwerten und Wichtewerten ergeben.

Die Werte sollen auch nur den Grad der Schwankungen charakterisieren.

Außerdem wurden einem „schlechteren“ Stadtgas vorübergehend etwa 45 % Wasserstoff zugemischt, um den Einfluß der sehr starken Verschiebung des brennbaren Anteils mit extrem hoher Zündgeschwindigkeit (H_2) gegenüber dem mit niedriger (CO , CH_4) zu beobachten (Spalte 3).

Als „Zusatzgas“ zur Konstanthaltung der Wobbezahl wurde Luft genommen.

Die Ergebnisse sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Als charakteristisch kann die gut meßbare Kernlänge e angesehen werden.

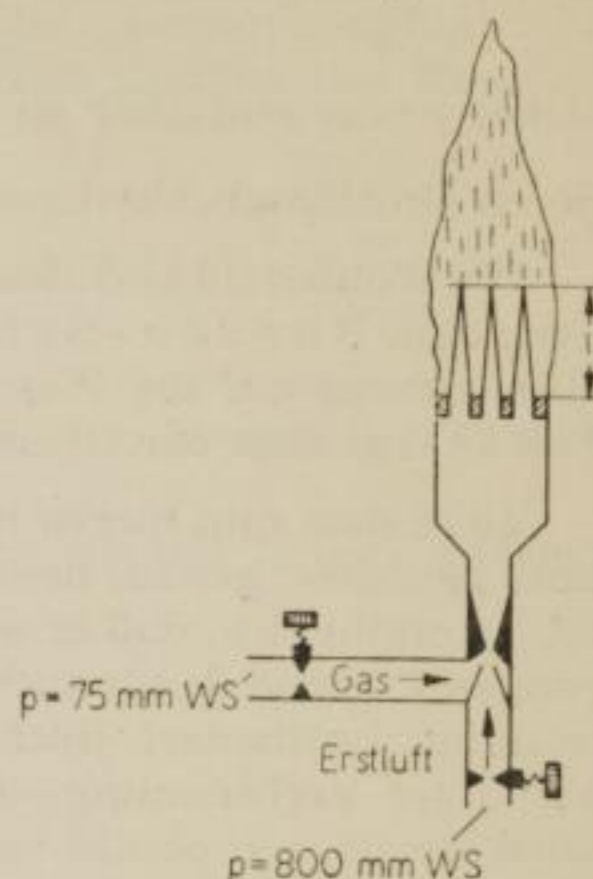


Bild 1. Versuchs Brenner

Tabelle 1. Gasanalysen

Gasart	Nr.	1. gutes Gas	2. schlechtes Gas	3. 2. + 45% H_2	4. H_2
H_2	%	47	41,8	67	100
CO	%	16,3	10,9	7,5	—
$C H_4$	%	15,3	15,1	10,4	—
$C_m H_n$	%	1,7	1,5	1,04	—
N_2	%	11,1	24,2	16,7	—
O_2	%	1,1	1,5	1,03	—
CO_2	%	7,5	5	3,45	—
Wichte γ	kg/Nm^3	ca. 0,65	ca. 0,74	—	0,09
Verbr. Wärme	$H_o Kcal/Nm^3$	ca. 3960	ca. 3550	ca. 3200	3020
Wobbezahl	$\frac{H_o}{\sqrt{\gamma}}$	ca. 5580	ca. 4440	ca. 6650	11600

Tabelle 2. Auswirkung des Ausgleichs von Wobbezahlschwankungen durch geregelten Zusatz von Luft
Wobbezahl nach Zusatz einheitlich ca. 4000

Versuch	Erstgas	Luftzusatz für Regelung %	Kernlänge l	
			geregelt mm	ungeregelt mm
1a)	schlechtes Gas Nr. 2	ca. 5,5	23,5	23,5
b)	gutes Gas Nr. 1	ca. 17	24	39
2a)	schlechtes Gas etwa wie Nr. 2	ca. 1,5	30	30
b)	Gas wie 2a) + 45% H ₂	ca. 9,8	26	18,5
3a)	Stadtgas	ca. 9	33	33
b)	Gas wie 3a) + ca. 2% Propan	ca. 17	48	55

Unter 3b — Tabelle 2 — ist noch das Ergebnis einer Propanzumischung festgehalten, wofür jedoch keine Analyse vorgenommen wurde.

Es zeigt sich also, daß die Auswirkungen der ganz erheblichen Schwankungen der Stadtgaszusammensetzung auf die Kernlänge tatsächlich durch Luftzumischung und Regelung auf konstante Wobbezahl fast völlig aufgehoben werden konnten (Tabelle 2, Versuch 1). Der Ausgleich dürfte nach dem Vorhergesagten hier auch die Konstanthaltung der Zündgeschwindigkeit und damit der Flammenbildung bewirken.

Interessant ist demgegenüber die Ausgleichsmöglichkeit eines sehr stark schwankenden H₂-Anteils auf die Kernlängen durch die Wobbezahlregelung mit Luft als Zusatzgas (Tabelle 2, Versuch 2). Das Ergebnis ist für die allerdings sehr extremen Schwankungen (50 % Heizleistung) nicht ganz befriedigend, dürfte aber bei geringeren Schwankungen noch genügen, zumal die Flammenlänge nur unwesentlich beeinflußt wird.

Recht unbefriedigend ist dagegen das Ergebnis mit reiner Propanzumischung zum Stadtgas (Tabelle 2, Versuch 3).

Während bei der Wasserstoffzumischung und ihrem Ausgleich durch Luftzumischung die Erhöhung der Zündgeschwindigkeit durch eine Verringerung bei der Regelung wenigstens zum großen Teil wieder ausgeglichen wird, wirken Propanzumischung und Luftzumischung erniedrigend auf die Zündgeschwindigkeit und verändern trotz gleichgehaltener Wobbezahl das Flammenbild ganz erheblich.

Es kann demnach gefolgert werden, daß für die praktisch bedeutungsvollen Fälle der Gasverwendung mit schwankenden Inerten und Wasserstoffanteilen durch Wobbezahlregelung mit Luft oder gereinigtem Rauchgas oder stark inerthaltigem Schwachgas (Generatorgas) als Zusatzgas durchaus auch eine gleichmäßige Flammenausbildung zu erreichen ist.

Dagegen ist — wie auch in anderer Beziehung — Vorsicht geboten, wenn der schwankende Anteil etwa aus einem langsam brennenden Gas mit hohem Heizwert, wozu außer Propan auch Erdgas zu rechnen ist, besteht.

Ergänzend hierzu zeigt nun die Tabelle 3 einen Auszug und vom Verfasser durchgeführte weitere Auswertungen der Ergebnisse, die von Brückner-

Tabelle 3

Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften und Brenneigenschaften von Brenngasen nach BRÜCKNER-HAFNER

Nr.	5	14	15	17	8	10	2	1	6	19	3	4	—
Gasart	Karbur. Wasser-gas	Steink.-Gas + W. G.	Steink.-Gas entb. + W. G.	Steink.-Gas entb. + Gen.	Steink.-Gas entb. + W. G.	Steink.-Gas entb. + Gen.	Steink.-Gas entbenz.	Steinkohlen-Gas	Karbur. Wasser-Gas	Propan + Wasser-Gas	Koks-Wasser-Gas	Generatoren-Gas	H ₂
H ₂ %	39,7	50,6	50,3	43,4	51,8	49,4	52,5	51	39,7	47	49	12	100
CO %	29,3	22,2	20	11,4	12,7	9,7	7,9	8,4	33	44,7	41	22,5	—
CH ₄ + C _m H _n %	22,8	19,4	20,9	26,7	27,8	29,6	32,9	33,2	16,7	6(C ₃ H ₆)	0,8	0,4	—
Inerte %	10	7,5	8,6	18,2	7,2	11,2	6,2	7	10,1	1,9	9,2	62,1	—
W ₀	6150	6250	6280	6130	7380	7310	8300	8310	5500	5390	3800	1265	11530
dv	0,623	0,466	0,454	0,492	0,411	0,424	0,383	0,417	0,610	0,610	0,55	0,897	0,07
V _w $\frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3}$	4850	4280	4220	4300	4740	4750	5130	5370	4280	4200	2820	1200	3050
U _{max.} cm/s	65	88	77	56,6	65	62	66	61,5	76	85	155	29	267
% Gas cm/s	21,5	23,6	23	22,5	20,7	20	20	18,3	24,5	28	38	60	44
l _{max.} cm/s	>1140	1605	1330	1045	1200	1045	1200	1075	1485	1840	>3840	400	—
Bunsenflamme													
Kegelhöhe cm	2,7	3	3,9	6,6	10,8	12,4	14,5	16,5	1,2	Rück-schlag	Rück-schlag	Ab-heben	Rück-schlag
Flammenhöhe cm	21	21	20	20	25	25	27	30	15				
Ottzahl (Flackerpkt.)	54	58	63	70	82	88	105	125	47	38	25	18	Rück-schlag
Abgasmenge Nm ³													
A ₁ (pro Nm ³)	5,134	4,451	4,402	4,668	5,069	5,224	5,395	5,734	4,47	4,21	2,781	1,741	2,88
$\lambda = \frac{A_1 \cdot \text{Gas}}{V \cdot C}$ (pro Zeiteinheit)	6,5	6,52	6,54	6,68	7,9	8,02	8,75	8,9	5,7	5,35	3,8	1,85	10,9

Peter Scheffler

H a f n e r über das Brennverhalten von 19 verschiedenen Brenngasgemischen veröffentlicht worden sind [3].

Außer der Zusammensetzung wurden die Heizwerte, das Wichteilverhältnis, die maximale Zündgeschwindigkeit nebst zugehörigem Gasanteil im Gemisch, die maximale spezifische Flammenleistung, Ottzahl (und Prüfbrennerzahl) bestimmt sowie die Wobbezahl und die Abgasmengen pro Normalkubikmeter und pro Zeiteinheit errechnet. Gemessen wurde außerdem Flammenhöhe und Kegelhöhe eines Bunsenbrenners von 12 mm Durchmesser l. W. bei 172 mm Mischrohrlänge und 2 mm Durchmesser der Brennerdüse sowie einem Ringluftspalt für die Erstluftansaugung von 29 mm Durchmesser und 1,8 mm Höhe bei einem Gasdruck von 60 mm WS.

Bei den Gasarten handelt es sich um Steinkohlengase und Mischungen mit Generatorgas sowie um ein Propan-Wasserstoff-Gemisch.

In der Tabelle sind in den ersten Rubriken die Gase mit annähernd gleichen Wobbezahlen nebeneinander geordnet aufgeführt.

Außer dem zu erwartenden Zusammenhang zwischen Ottzahl, Prüfbrennerzahl und Zündgeschwindigkeit ist aber noch zu erkennen:

1. Die Flammenhöhe des fest eingestellten Bunsenbrenners ändert sich *n i c h t - r e z i p r o k* zur maximalen Zündgeschwindigkeit.
2. Die erwähnte Flammenhöhe ändert sich gleichlaufend mit der Wobbezahl.
3. Die Flammenhöhe bleibt annähernd gleich, wenn die Wobbezahl gleich bleibt, obwohl die Höhe des Innenkegels sich zum Teil um mehr als 100 % ändert. (vergl. Gas Nr. 5 und 14 mit Nr. 17)
4. Das in der Zeiteinheit erzeugte Abgasvolumen ist ebenso wie der Luftbedarf angenähert der Wobbezahl proportional.

Diese Ergebnisse sind im wesentlichen eine Bestätigung der von dem Holländer v. d. L i n d e 1956 veröffentlichten Erkenntnisse [4], die von der Holländischen Kommission für „Qualitätsanforderungen“ an Gas 1957 bestätigt wurden [5] und die teilweise eingangs bezüglich Vereinfachung der ganzen Betrachtungsweise durch Einführung der Wobbezahl angeführt wurden.

Es ergibt sich hiernach die Wobbezahl – mindestens in weiten Bereichen, also innerhalb der hauptsächlichen Gasfamilien – als bestimmend für folgende Größen:

Wärmeleistung und Wärmebelastung
 Primärluftzufuhr
 Sekundärluftzufuhr
 Flammenlänge
 Flammentemperatur

Es können weiter die Behauptung v. d. L i n d e n s als bestätigt angesehen werden, daß darüber hinaus durch die Z ü n d g e s c h w i n d i g k e i t die Kernlänge bei Flammen mit Erstluftzumischung und damit die Grenzen der Ausströmgeschwindigkeit (und auch des Druckes) für Abheben und Rückschlagen bestimmt werden.

Veränderungen der Zündgeschwindigkeit bei k o n s t a n t e r W o b b e z a h l werden aber erst dann bemerkbar, wenn diese Grenzen überschritten sind. Wahrscheinlich darf man diese Grenzen nicht ganz so weit fassen, wie es v. d. L i n d e n tut. Grundsätzlich vertragen sie aber sicher weit mehr Toleranz als die Wobbezahl.

Alle diese Erkenntnisse waren die zwingende Veranlassung zur Entwicklung des Wobbezahlregistrier- und Gebergerätes im VEB Junkalor [10], das an

Hand des Schemas (Bild 2) kurz erläutert werden soll:

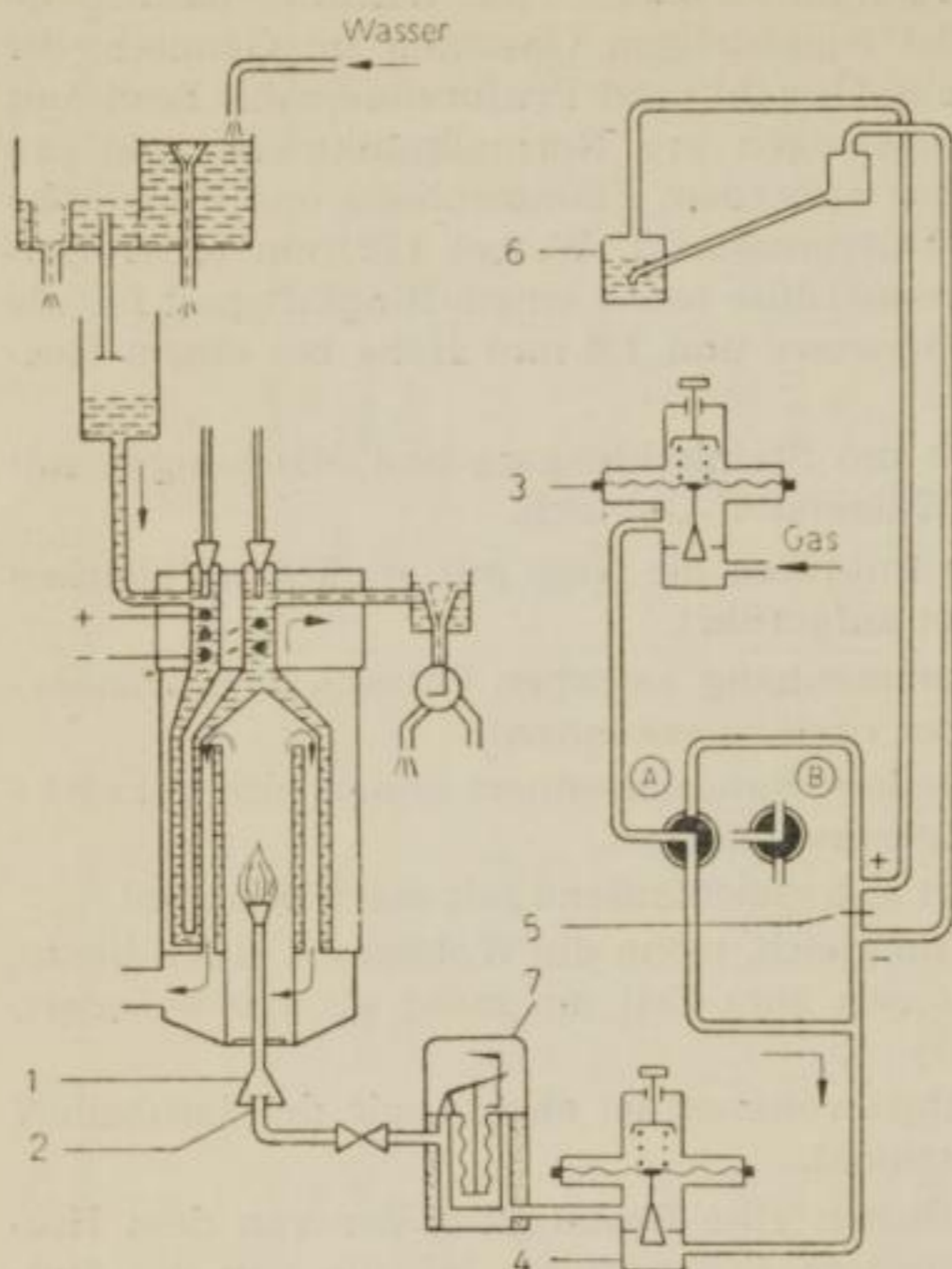


Bild 2. Junkalor - Wobbezahlgerät

Im Grunde genommen ist dieses Gerät ein vereinfachtes registrierendes Heizwertgerät, bei dem jedoch die genaue Volumendosierung des verbrennenden Gases im gleichbleibenden Verhältnis zum gleichmäßigen Wasserstrom fortfällt.

Statt dessen wird der Druck vor dem Brenner (1) und damit das Druckgefälle in der auch für niedrigere Reynoldssche Zahlen richtig profilierten Brennerdüse (2) sehr genau konstantgehalten. Der Gasdurchlaß wird mit dem Wichte-Verhältnis 1 – also mit Luft – einreguliert. Das Volumen des ausströmenden Gases folgt dann dem Bunsen - Schilling - Gesetz und ist umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Wichte. – Man kann den Gasstrom vor der letzten Stufe der Druckregelung (3), (4) kurzzeitig umschalten und über eine Blenden - Meßstrecke (5) leiten. Der an einem

eingebauten Schrägrohr (6) gemessene Differenzdruck ist dann unabhängig von Wichteänderungen. Er stellt das Kontrollmaß für den Gasdurchlaß dar, das sich ändert, wenn der Druck vor dem Brenner nicht mehr stimmt oder der Durchlaß der Brennerdüse (2) sich (etwa durch Verschmutzung) ändert.

Das Gerät hat also den großen Vorzug der Selbstkontrollierbarkeit sowohl des Gasstromes (in der erwähnten Art) als auch des Wasserstromes, dessen Gleichmäßigkeit wie beim automatischen Junkers-Kalorimeter durch Auffangen einer minutlichen Menge in einem Meßglas (oder durch Auswiegen) kontrolliert werden kann.

Das Gerät arbeitet außerdem mit der hohen Meßgenauigkeit des automatischen Kalorimeters.

Es hat den Vorzug, daß es für betriebliche Regelzwecke die Unzulänglichkeit der bisherigen Definition der Wobbezahl vermeidet, die auf der Division des Heizwertes durch die Wurzel aus dem Wichte- oder Dichteverhältnis anstatt der Wichte selbst beruht. Hier ändert sich das ausströmende Gasvolumen tatsächlich umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Wichte, die sich also auch mit Barometerstand und Temperatur ändert, während der Wasserstrom davon unabhängig immer konstant bleibt.

Außerdem ist aber das Gerät auch mit einer Reduziervorrichtung (7) versehen, die Registrierungen auf den vereinbarten Normalstand von 0° und 760 Torr vorzunehmen vermag, wenn der Thermosstrom durch Umschaltung über einen von einer Aneroiddose betätigten Verstellwiderstand geleitet wird. Dann erhält man die bisher definierte Wobbezahl

$$\frac{V_{w \text{ red}}}{\sqrt{\delta}}$$

Die nicht reduzierte Wobbezahl ist aber den Kalorien-Leistungen der Geräte- oder Öfenbrenner proportional, die bei gleichbleibendem reduziertem Heizwert und gleicher reduzierter Wichte tatsächlich auch mit dem jeweiligen Tageszustand von Temperatur und Absolutdruck hinter der Düse schwanken können. Für ein Konstanthalten der Kalorienleistung ist also eine betriebliche Regelung nach der nicht-reduzierten Wobbezahl richtiger. Dagegen ist zum Vergleich von Gasgemischen und zur Kontrolle der Erzeugung selbstverständlich die Reduktion auf Normalzustand notwendig.

Das Gerät weist infolge der gegenüber dem automatischen Kalorimeter fortfallenden großen Speicherräume des voluminösen Gasmessers und der großen Druckregler auch nur sehr kurze Übergangszeiten und eine Totzeit von nur etwa 15 Sekunden auf, was für die Regelung von Vorteil ist.

Mit der Schaffung dieses Wobbezahlgerätes sind nunmehr neue, bisher nicht vorhandene Möglichkeiten für die Konstanthaltung einer wichtigen Brenneigenschaft geschaffen worden. Hierbei sei unter der bereits von Schuster eingeführten Definition „Brenneigenschaft“ eine genau meßbare und reproduzierbare physikalische Größe eines Gases bzw. Gasgemisches verstanden, die das „Brennverhalten“ in den Brennern bestimmt bzw. mitbestimmt [6].

Es wurde bereits dargelegt, wie weitgehend mit dieser einzigen und sehr eindeutigen Kennzahl schon gearbeitet werden kann, um auch nachträglich ein Gasgemisch schwankender Zusammensetzung mit Hilfe einer nach ihr geregelten Zumischung eines Zweitgases, wozu sogar Luft genommen werden kann, in ein Gas mit gleichmäßigen Brenneigenschaften überzuführen.

Es fehlt aber neben den Erkenntnissen über den Einfluß der Zündgeschwindigkeit auf Rückschlagen, Abheben und (allerdings nur für extrem langsame Zündgeschwindigkeit) auch unvollständige Verbrennung noch eine genauso eindeutige Kennzahl für die Zündgeschwindigkeit.

In diesem Zusammenhang soll nun zunächst ein Überblick gegeben werden über zwei moderne Austauschbarkeitsmethoden, die auf sehr umfassenden Beobachtungen, Messungen und Rechnungen aufgebaut sind und die deshalb auch für die eingangs erwähnte Zielsetzung wichtige Hinweise geben können.

Das französische Delbourg-Verfahren wird schon im Jahre 1953 erwähnt, ist jedoch laufend verbessert worden und wird 1958 ausführlich in deutscher Übersetzung von seinem Initiator, dem Franzosen Delbourg, unter dem Blickwinkel französischer Verhältnisse beschrieben [7].

Es ist ein graphisches Verfahren, wobei auf der Ordinate die Wobbezahl und der Abszisse eine Kennzahl für die Zündgeschwindigkeit, von Delbourg „Verbrennungspotential“ C genannt, aufgetragen wird.

Letztere wird aus der Zusammensetzung (auf Grund zahlreicher empirisch ermittelter Werte) bestimmt, kann aber auch mit Hilfe der Delbourg-Brenner-

gruppe ebenso wie Verbrennungswärme und Wobbezahl aus direkten Messungen unter Verwendung von Hilfstafeln ermittelt werden.

Fällt der im Diagramm ermittelte Schnittpunkt innerhalb eines bestimmten Kennfeldes, so ist das Gas für diejenigen Geräte ohne weiteres verwendbar, für die dieses Kennfeld ermittelt wurde. Fällt er nach oben heraus, so ist unvollständige Verbrennung zu befürchten.

Fällt er nach links heraus, so ist Abheben der Flamme zu erwarten, wogegen Rückschlagen eintreten wird, wenn er nach unten herausfällt.

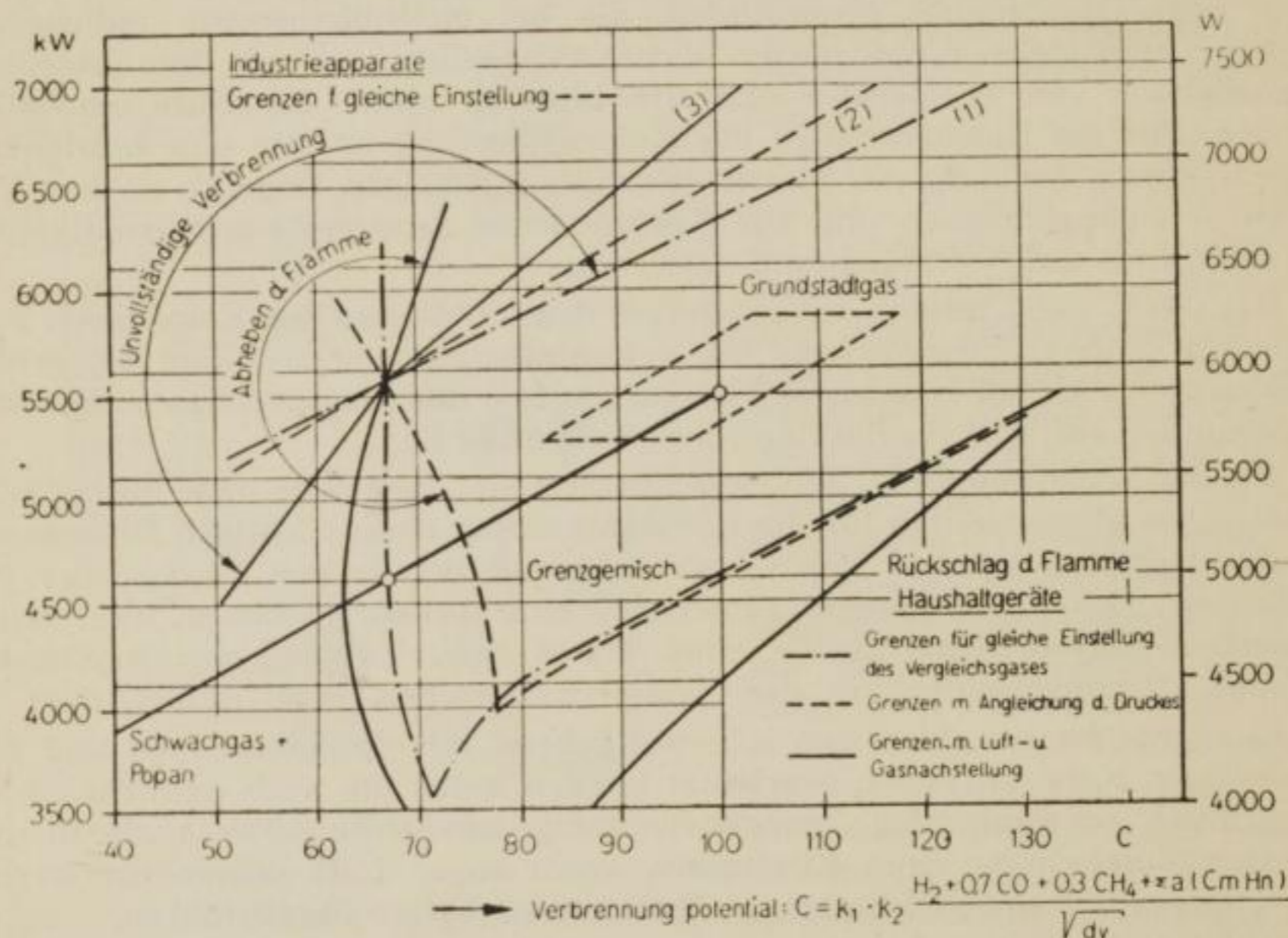


Bild 3. Austauschbarkeitsbereiche der 1. Familie (Stadtgase) nach Delbourg

In Bild 3 ist ein solches Diagramm für den Stadtgasbereich dargestellt, während Bild 4 a den ganzen Bereich für alle vorkommenden Gase nach Delbourg zeigt, in dem die Kennfelder für drei „Gasfamilien“

a) Stadt- und Ferngas, b) Erdgase, c) Reichgase
enthalten sind.

Die Darstellung von Delbourg enthält schon die Verbesserungen, die er mit den Korrekturfaktoren für die Wobbezahl und den C-Wert eingeführt hat.

Für Näherungsbetrachtungen können die Korrekturfaktoren vernachlässigt werden.

Die Abszisse wird

$$C = k_1 \cdot k_2 \frac{H_2 + 0,7 CO + 0,3 CH_4 + \sum a (C_n H_m)}{\sqrt{d}}$$

(= korrigierte Delbourg-Zahl),

wobei k_1 vom O_2 -Gehalt und Heizwert und k_2 sowie die a-Werte vom Methan-gehalt und den Reichgasen abhängig sind.

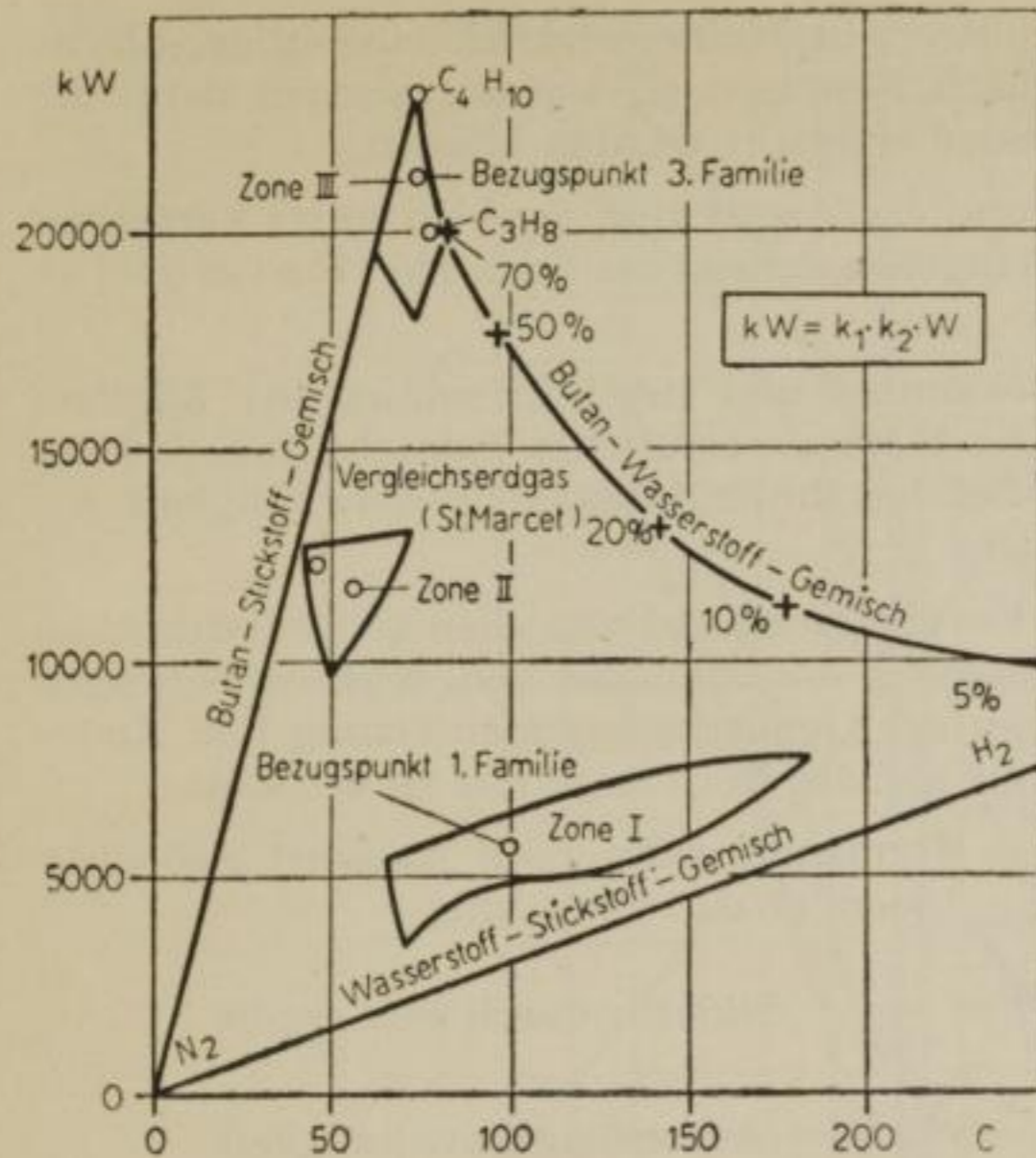


Bild 4 a.
Austauschbarkeitsbereiche der 3-Gasfamilie nach Delbourg

Dieses Verfahren liefert wichtige Hinweise, wie von der Zusammensetzung des Gasgemisches her die Brenneigenschaften korrigiert werden können.

Bild 4 a läßt aber auch besonders für das Kennfeld der 1. Gasfamilie (mit höherem Wasserstoffgehalt) erkennen, daß die die Zündgeschwindigkeit charakterisierende Kennzahl C (als Abszisse) in weit größeren Grenzen schwanken kann als die Wobbezahl (als Ordinate). Diese Feststellung stimmt also ebenfalls mit dem über die Brückner-Hafner-Messungen Gesagten sowie den Erkenntnissen der Holländer überein.

Besondere Beachtung verdienen weiterhin die Kennlinien für Butan-Wasserstoff-, Butan-Stickstoff- und Wasserstoff-Stickstoff-Gemische. Es

ist zu erkennen, daß mit keinem dieser Gemische, gleich welcher prozentualen Zusammensetzung, herkömmliche Gasgeräte mit fest eingestellten Saugbrennern betrieben werden können, da alle Punkte dieser Kurven außerhalb des Kennfeldes für Stadtgasgeräte (Zone I) liegen.

Im übrigen ist es aber gewagt, von der Zusammensetzung her präzise Voraussagen für die Zündgeschwindigkeit machen zu wollen. Selbst der Wasserstoffgehalt ist nicht immer ein zuverlässiges Maß, wie die Untersuchungen von Gebert im Labor der Ruhrgas ergeben haben [8].

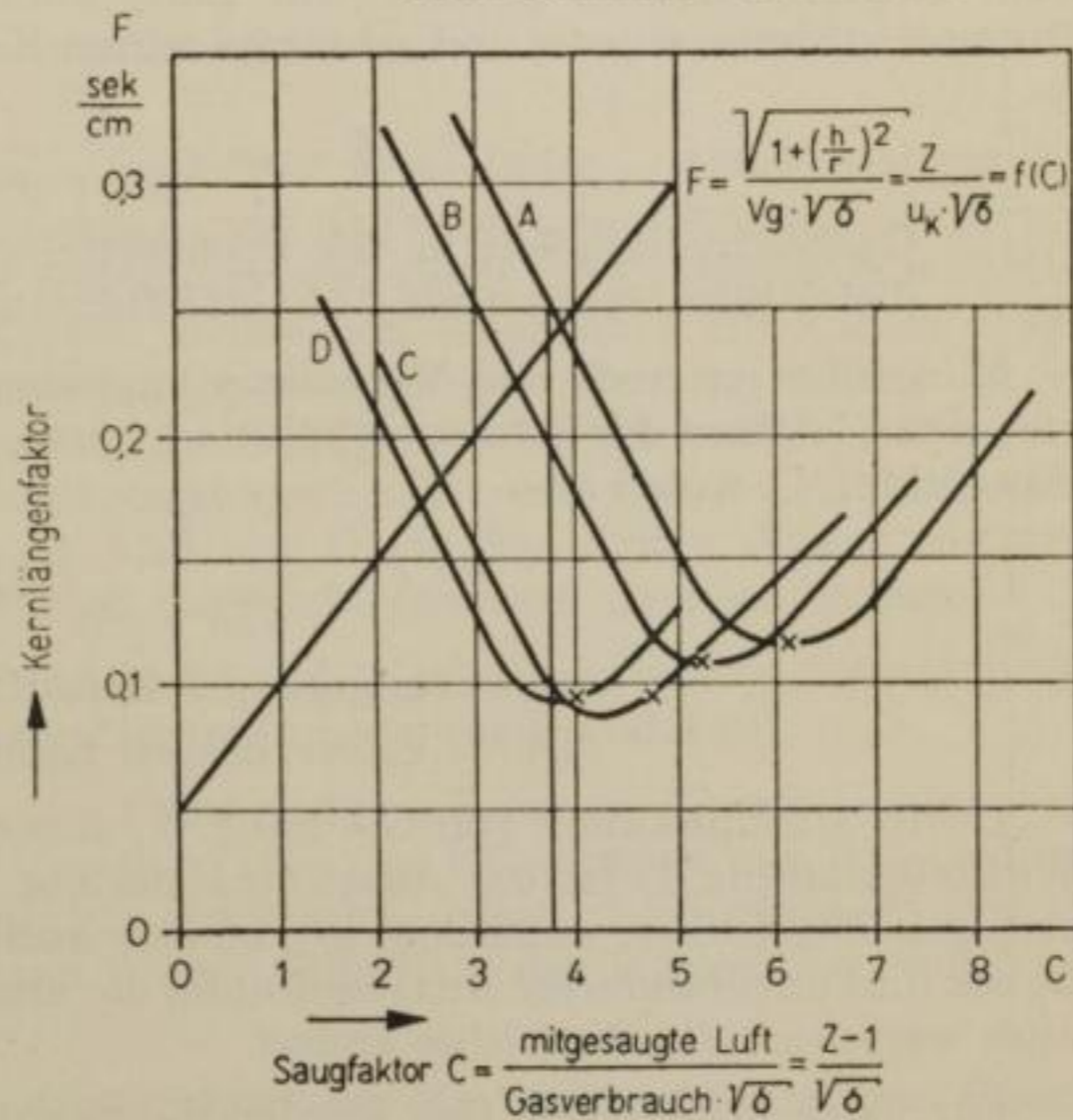


Bild 4 b. Kernlängenkurven nach Holmquist

Es erscheint vielmehr zweckmäßiger, hier eine wirklich eindeutige, physikalisch meßbare und reproduzierbare Kennzahl zu suchen, wonach dann die Einflüsse der Zusammensetzung besser erforscht werden können.

Überaus wertvoll, wegweisend und ergänzend zum Delbourg-Verfahren scheint in dieser Hinsicht das Kernlängenverfahren des Schweden Holmquist zu sein [1] [2] [9].

Holmquist geht von der bekannten und zur Bestimmung der Zündgeschwindigkeit nach der dynamischen Methode benutzten Tatsache aus, daß die Kernlänge eines Bunsenbrenners bei bekannter Ausströmgeschwindigkeit ein Maß für die Zündgeschwindigkeit ist.

Nun bemüht er sich aber, diese Kernlänge einmal von allen gerätetechnischen Einflüssen frei zu machen, zum anderen die Einflüsse von Wichteänderungen und damit verbundenen Änderungen der Gemischzusammensetzung und Änderungen der Ausströmgeschwindigkeit auf die Kernlänge mit zu erfassen.

Er reduziert also die gemessene Kernlänge rechnerisch zunächst auf einen Einheitsradius der Brennermündung, indem er das Verhältnis

$$f = \frac{h}{r} \quad \text{bildet, wonach sich ergibt}$$

$$\sqrt{1 + f^2} = ca \cdot f = \frac{V}{u} \cdot V = \text{Ausströmgeschwindigkeit}$$

$$u = \text{Zündgeschwindigkeit.}$$

Dann dividierte er weiter durch eine gedachte Ausströmgeschwindigkeit, welche sich ergäbe, wenn beim gleichen (vereinbarten) Brennerdruck nur Gas vom Dichteverhältnis 1, also wie Luft, ohne Erstluftansaugung durch den Brenner strömen würde, und erhält so seinen Kernlängenfaktor F zu

$$F = ca \frac{f}{V_g \cdot \sqrt{\delta}}$$

V_g = Gasgeschwindigkeit in der Brennermündung
(beim Wichteverhältnis δ ohne Luftansaugung)

Nun führt er noch das Verhältnis angesaugte Erstluftmenge zu Gasmenge ein, wenn letztere das Wichteverhältnis 1 hätte, und nennt dieses Verhältnis den Saugfaktor C , wobei also

$$C = \frac{L_1}{GA \cdot \sqrt{\delta}} \text{ ist.}$$

L_1 = angesaugte Erstluftmenge

GA = Gasverbrauch beim Wichteverhältnis δ

Durch Multiplikation von GA mit $\sqrt{\delta}$, also durch die Reduzierungen auf das Wichteverhältnis 1, ist die Ausströmänderung nach dem Bunsen-Schilling-Gesetz gekennzeichnet; außerdem ergibt sich auch, daß sich bei gleichbleibendem Druck und unveränderter Ansaugöffnung die angesaugte Luftmenge nicht ändert, auch wenn sich die Gaswichte ändert.

Für jedes zu prüfende Gas werden die Kernlängenkurven des Wertes F über dem sich ändernden Saugfaktor C ermittelt (Bild 4 b) [1].

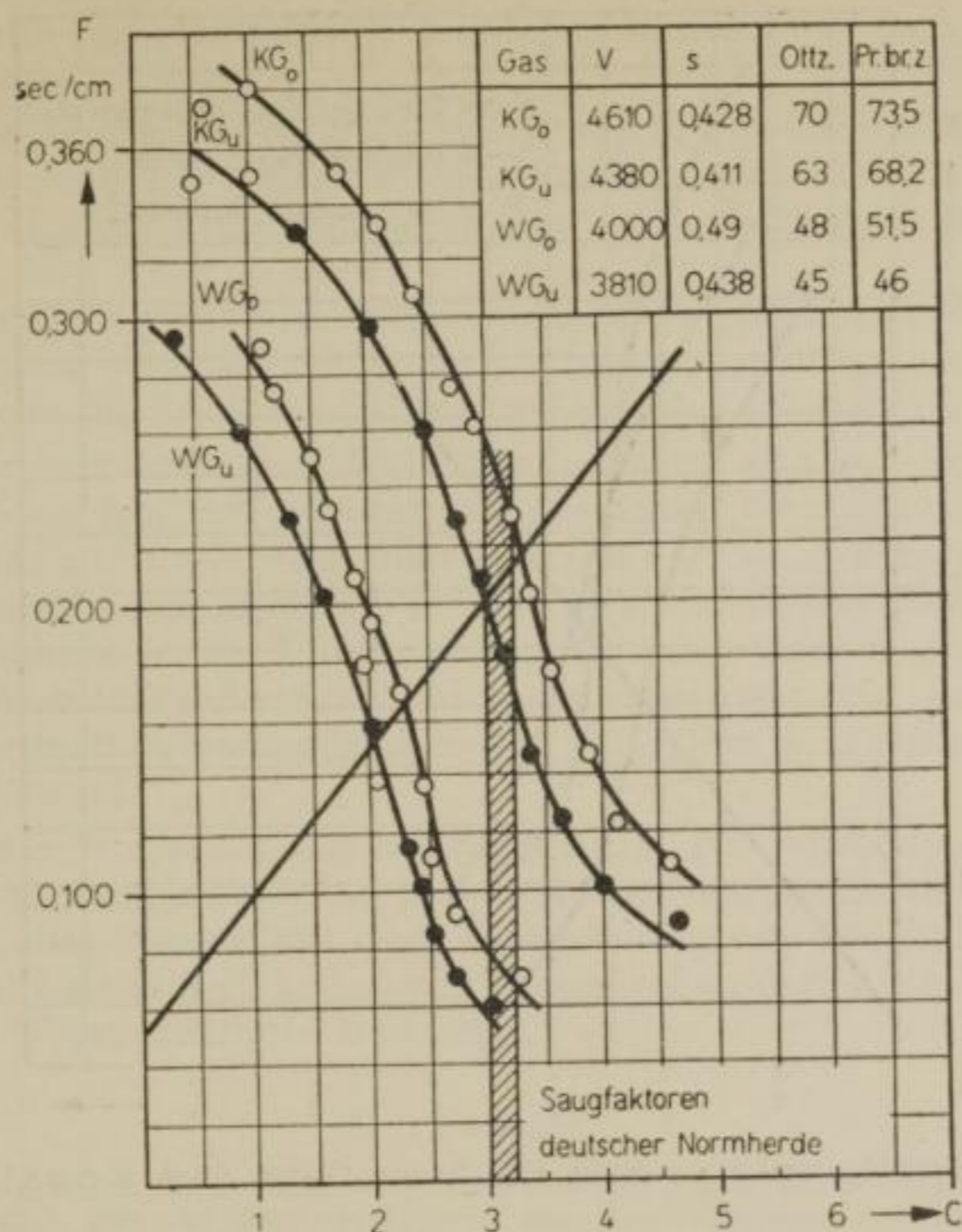


Bild 5. Kernlängenkurven von Normgrenzgasen nach Engstfeld

Jede Brennerbauart hat aber – bei fester Einstellung – einen bestimmten Saugfaktor. Der Schnittpunkt der erhaltenen Kurve mit der Ordinate des Brennersaugfaktors muß also gleiche Werte ergeben, wenn zwei Gase ohne weiteres austauschbar sein sollen. Die Kurven sollen sich sogar über ein kurzes Stück decken oder mindestens im Schnittpunkt etwa gleiche Steigung haben. Da es sich um eine Art reziproker, reduzierter Zündgeschwindigkeitskurven handelt, ist es einleuchtend, daß der Schnittpunkt genügend weit von den Grenzen für Rückschlagen (untere Kuppe) und Abheben (Ende des linken Astes) entfernt bleiben muß, wenn die Saugfaktoren innerhalb gewisser Grenzen streuen.

Dieses Verfahren wurde von Engstfeld (Karlsruhe) recht erfolgreich zur Ermittlung geeigneter Prüfgase für Gerätebrenner angewendet [9].

Bild 5 zeigt solche von Engstfeld aufgenommenen Kernlängenkurven. Man sieht, wie sehr man beim Übergang von der KG-Gruppe zur WG-Gruppe die Saugfaktoren ändern müßte, um ein Rückschlagen zu vermeiden, obwohl diese Gase bezüglich Heizwert und Wichte innerhalb der vorgeschlagenen Normen liegen.

Bild 6 zeigt anschaulich den Unterschied der Kernlängenkurven von Gasen mit und ohne Wasserstoff. Ohne Wasserstoff wird der Verlauf viel zu steil, so

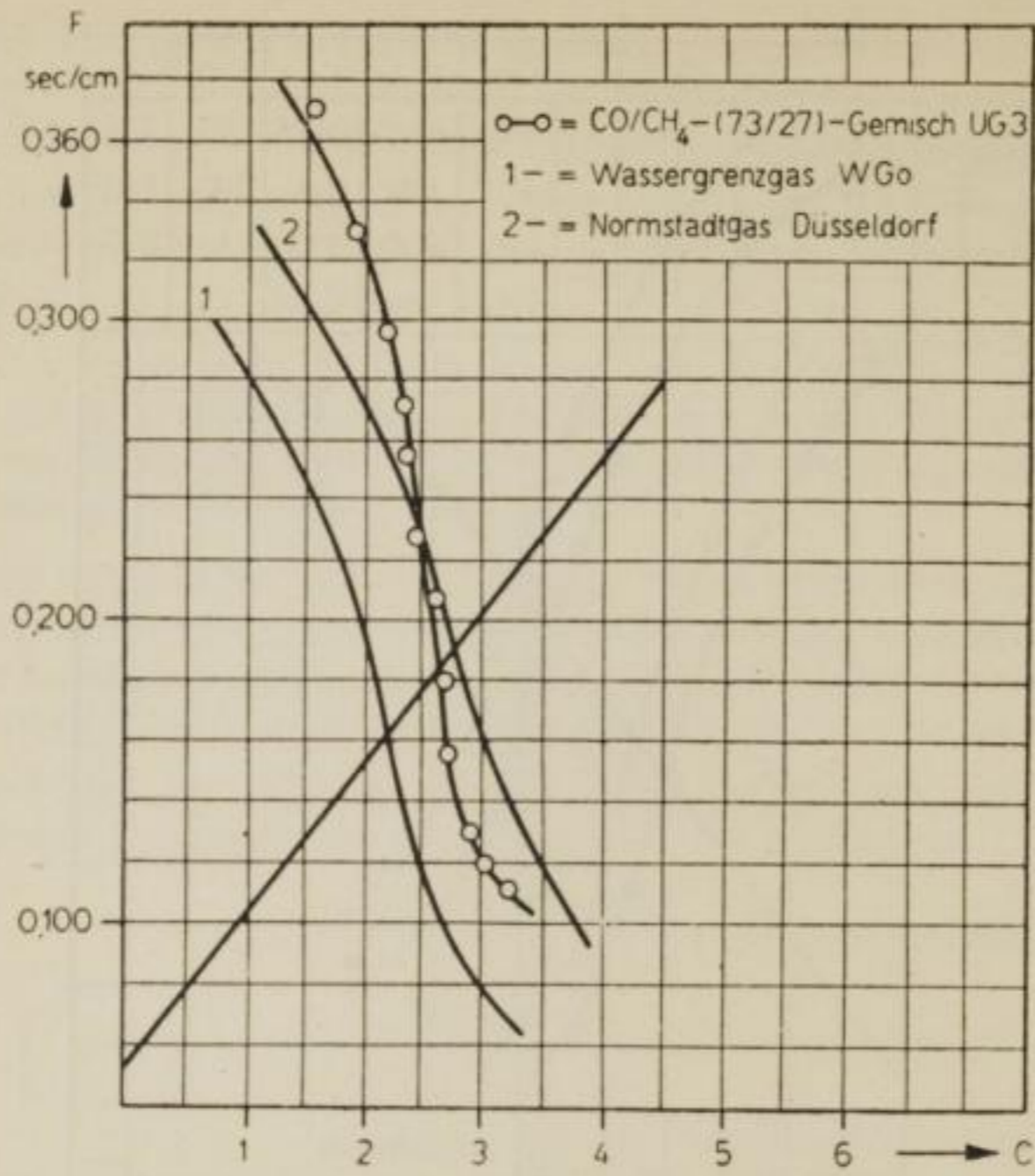


Bild 6. Kernlängenkurve eines H₂-freien Gases nach Engstfeld

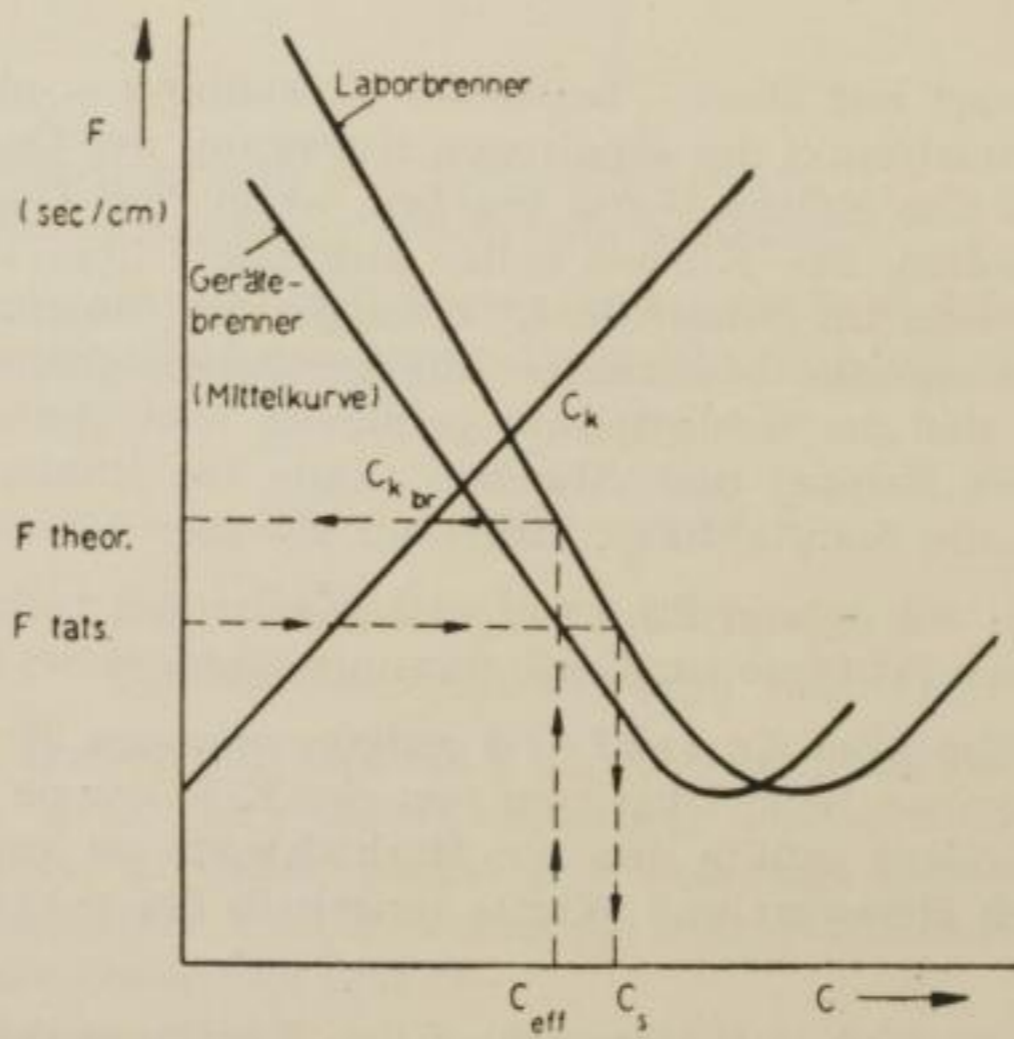


Bild 7. Effektiver und scheinbarer Saugfaktor nach Engstfeld

daß relativ geringe Änderungen der Erstluftzuteilung schon zum Rückschlagen oder Abheben führen können.

Das Verfahren ermöglicht nach Vorschlag von Engstfeld durch Vergleich der Gerätebrenner mit Hilfe eines solchen Prüfbrenners auch die Prüfung und Beurteilung von Bunsen-Brennern, bei denen ja immer Turbulenz angenommen werden muß [2].

In Bild 7 sind von Engstfeld aufgenommene Vergleichskurven eingetragen. Beim Gerätebrenner ergeben sich immer kürzere Kernlängen als beim Prüfbrenner, auch wenn die Erstluftzuteilung und das Gas vollständig gleich bleiben.

Das Kernlängenverfahren von Holmquist kann also bei sinngemäßer Anwendung bereits als frei von apparativen Einflüssen betrachtet werden. Es ist aber ausschließlich auf die – wenn man so sagen darf – „sichtbaren Eigenschaften“ der Verbrennung und auch nur für den Injektorbrenner zugeschnitten und enthält keine Bindung an die Wärmeleistung und den theoretischen Luftbedarf. Es liefert auch noch keine Kennzahl, nach der registriert oder geregelt werden kann. Dennoch enthält es wahrscheinlich den „Kern“, in dem diese noch fehlende Kennzahl enthalten ist.

Nachdem in der Wobbezahl die erste eindeutige gut reproduzierbare und für Registrierung und Regelzwecke so ausgezeichnet verwendbare Kennzahl gefunden ist, wird aller Voraussicht nach die noch fehlende für Zündgeschwindigkeit und Ausströmgeschwindigkeit durch Weiterverfolgen des von Holmquist eingeschlagenen Weges gefunden werden.

Literatur

- [1] KORTING-REITH: Über die Austauschbarkeit von Gasen. GWF (1954) H. 15, S. 473–478.
- [2] ENGSTFELD: Das Kernlängenverfahren zur Kennzeichnung von Brenneigenschaften und Austauschbarkeit von Gasen. Gaswärme (1957) H. 5, S. 184–188.
- [3] BRÜCKNER-HAFNER: Beiträge zur Frage der Gasbeschaffenheit. Gaswärme (1957) H. 12, S. 377–385.
- [4] v. d. LINDEN (Holland): Moderne technische Möglichkeiten der Gasversorgung. Het Gas (1956) H. 4, S. 77–82. Auszug: Gaswärme (1956) H. 5, S. 205.
- [5] SCHUSTER: Über Vorschläge der Holländischen Kommission: Qualitätsforderungen an das Gas. Gaswärme (1957) H. 4, S. 166.
- [6] SCHUSTER: Gasqualität, Brennverhalten und Reinheit. GWF (1953) H. 19, S. 544–551.
- [7] DELBOURG: Die Austauschbarkeit der Gase. Gaswärme (1958) H. 10, S. 342–357.
- [8] GEBERT: Neuer Vorschlag zur Klassifikation von Brenngasen. Gaswärme (1956) H. 5, S. 195–199.
- [9] ENGSTFELD: Zweckmäßigkeit vorgeschriebener Prüfgase und Flaschengase. Dissert. Karlsruhe, Februar 1957.

Diskussion

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Scheffler für seinen interessanten Vortrag. Mit der Frage der Austauschbarkeit der Gase hat er ein Problem angeschnitten, das in zunehmendem Maße die Fachleute aller Länder, die in den Ferngasversorgungen arbeiten, beschäftigt.

Ich möchte darauf hinweisen, daß Herr Scheffler mit diesem Vortrag eine Anzahl Fragen aufgeworfen hat, die in der nächsten Zeit in unserem Institut im Rahmen einer größeren Arbeit behandelt werden und die uns zweifelsohne Stoff für eine Aussprache zum nächsten Kolloquium bieten werden.

Dr.-Ing. HERNING, Essen:

Bei den interessanten Ausführungen des Herrn Scheffler hatte ich den Eindruck, daß man bei der Wobbezahlmessung vielleicht mehr den praktischen Wert

zum Ausdruck bringen sollte. So ist z. B. mit der theoretischen Definition des Begriffes „Saugfaktor“ dem Praktiker wenig gedient, während die Wobbezahl als solche große Bedeutung im Hinblick auf die Austauschbarkeit von Gasen erlangt hat.

Am Ofen muß die Wärmeleistung eines Brenners konstant sein. Man regelt daher den Druck und muß ferner dafür sorgen, daß auch der Ausdruck „Heizwert / $\sqrt{\gamma}$ “, also die Wobbezahl, unverändert bleibt. Im praktischen Betrieb ist es aber so, daß schon die Konstanthaltung des Druckes schwierig wird, wenn mehrere Öfen an einem Ringnetz angeschlossen sind. Wird in diesem Fall ein Ofen auf volle Leistung gebracht, dann kann trotz des Reglers der Druck am Nachbarofen absinken, so daß der Brenner nicht mehr seine Leistung beibehält. Das darf natürlich nicht sein, denn hier hilft auch die Konstanz der Wobbezahl nichts. Andererseits ist es ein großer Fortschritt, daß nunmehr ein gutes Gerät zur Messung der Wobbezahl auf dem Markt erscheint. Damit ist es möglich, zwei Gase verschiedener Zusammensetzung — vor allen Dingen beim Gaslieferanten — so zu mischen, daß die Wobbezahl des Mischgases konstant bleibt. Die Möglichkeit ist gegeben, die Zumischung zu regeln oder, wie es die Ruhrgas durchgeführt hat, den Druck am Brenner so zu verändern, daß die Wobbezahl und damit die Wärmeleistung konstant bleibt. Mehr sollte man zunächst von einem solchen Gerät praktisch nicht erwarten, denn im Brenner gehen ganz andere Dinge vor sich, die rein strömungstechnischer Natur sind und die sich nicht durch einen Wobbezahlregler beeinflussen lassen. Dagegen wird beispielsweise die Temperaturregelung wesentlich vereinfacht, wenn die Wobbezahl gleich bleibt, d. h., wenn jede Ventilstellung einer bestimmten Wärmemenge entspricht.

Ich wollte mit meinen kurzen Hinweisen als Praktiker davor warnen, zu viel von einer Wobbezahl-Messung bzw. Regelung zu verlangen und zu erwarten. Es ist schon damit viel erreicht, daß uns überhaupt ein solches Gerät zur Verfügung gestellt werden kann.

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Dr. Herning für seine Ergänzungen. Wir haben bei uns an verschiedenen Stellen des Fernleitungsnetzes Schwankungen in der Gasbeschaffenheit, weil Gasarten verschiedenen Ursprungs in das Verbundnetz eingespeist werden.

Dipl.-Chem. REINHARDT, Leipzig:

Die Bereitstellung eines Gerätes zur Wobbezahlregelung berührt die Frage, ob die Wobbezahl in die neu herauszugebenden Vorschriften (TGL) für die Beschaffenheit des Stadtgases aufgenommen werden soll. In den jetzt vorliegenden Vorschriften ist eine als Gütewert des Gases bezeichnete Kenngröße enthalten; sie ergibt sich aus der Verbrennungswärme des Gases, multipliziert mit der Wurzel des Quotienten aus Gasdruck in mm WS, und Dichteverhältnis des Gases. Dieser Gütewert ist bei einer Verbrennungswärme des Gases von 3800 kcal/Nm³ auf 36 000 festgelegt.

Die Forderungen der TGL sollten nicht so weit gehen, daß sie unerfüllbar sind. Schwierigkeiten hinsichtlich der Einhaltung einer festgelegten Wobbezahl sind dadurch zu erwarten, daß vielfach Speicher für die Zumischgase zum Entgasungsgas fehlen, so daß lediglich das fertige Mischgas gespeichert werden kann. Die Einhaltung einer vorgeschriebenen Wobbezahl setzt in vielen Fällen eine Erweiterung der technischen Anlagen mit einem nicht unbeträchtlichen Koksauwand voraus.

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Wir können die von Herrn Reinhardt angeschnittene Frage hier natürlich nicht lösen. Auf jeden Fall schlage ich vor, daß wir zumindest teilweise die Wobbezahl im Vorschriftenwerk berücksichtigen. Im übrigen sind ja Vorschriften nichts Unumstößliches; denn sie spiegeln immer den Zustand des augenblicklichen Hoch-

standes wider und müssen im Zuge der fortschreitenden Entwicklung ergänzt werden. Solche Vorschriften sind keine Bremse, sondern eine Garantie nach unten. Keinesfalls darf dieses Problem außer acht gelassen werden.

Dipl.-Ing. OECHELHAEUSER, Dessau:

Kollege Scheffler hat recht interessante Perspektiven aufgezeigt, aber er ist leider, wahrscheinlich auf Grund der zur Verfügung stehenden knappen Zeit, nicht auf die praktische Bedeutung und Anwendbarkeit eingegangen.

Ich möchte dazu einen kleinen Beitrag theoretisch-praktischer Art liefern.

Wir alle wissen, daß sämtliche erzeugten oder anfallenden Brenngase zur Nutzanwendung kommen sollen und müssen. Für die Gasanwender ist das leider immer ein heikles Problem. Zunächst gilt es die Gasverhältnisse an dem Ort zu prüfen, wo das Gas zur Anwendung kommen soll. Leider ist dabei sehr oft festzustellen, daß sehr stark schwankende Gasqualitäten vorliegen.

Diese Schwankungen liegen nicht allein in der Erzeugung eines Werkes, sondern auch in der Art der Verteilung von Gasen verschiedener Erzeugungsstellen begründet.

Ich möchte das einmal an einem Beispiel darstellen:

Das Walzwerk Burg liegt an der Hochdruckgasleitung, in die einmal die Großgaserei Magdeburg und zum anderen Wattenstedt einspeist. Dabei erfolgt die Einspeisung nicht kontinuierlich, sondern ist an zeitlich bedingte Betriebsverhältnisse gebunden. An den Wochentagen speist Wattenstedt in die Leitung ein. Zum Wochenende, an dem ein großer Teil der Industrie aus der Produktion herausgeht und damit kein voller Verbrauch mehr da ist, wird Wattenstedt abgedrosselt und nur die Großgaserei speist ein, um ihr Gas über Samstag und Sonntag unterzubringen. Das bedeutet, daß in dem Verbrauchsnetz des Walzwerkes Burg dauernd schwankende Gasverhältnisse auftreten. Natürlich ist der Übergang von Wattenstedter Gas auf das Gas der Großgaserei nicht plötzlich, sondern schleichend.

Ich möchte Ihnen die Verhältnisse an Hand von Zahlen theoretisch-rechnerisch erläutern.

	Wattenstedt	Magdeburg	
Verbrennungswärme	4630	3751	kcal/Nm ³
Heizwert	4112	3343	kcal/Nm ³
Wichte	0,524	0,662	kg/Nm ³
Wichteverhältnis	0,405	0,513	
Wobbezahl	7350	5250	
Luftbedarf L/min	3,85	3,33	Nm ³ /Nm ³ Gas
Inerte	12,2	22,1	%

Es handelt sich um zwei Gase mit sehr großen Unterschieden.

Wie sich das in der Praxis auswirkt, möchte ich folgendermaßen darlegen:

Nehmen wir an, eine Ofenanlage ist auf das Wattenstedter Gas eingestellt. In dem Ofen wird eine gleichbleibende Wärmeleistung verlangt. Es wird angenommen, an dem Ofen werden keinerlei Verstellungen an den Brennern vorgenommen. Der Gasdruck bleibt konstant. Was geschieht, wenn jetzt eine plötzliche Umstellung von Wattenstedter auf Magdeburger Gas eintritt?

Das Magdeburger Gas hat

1. einen niedrigeren Heizwert,
2. eine höhere Wichte.

Diese beiden Komponenten führen dazu, daß die Wärmeleistung absinkt, und zwar um 30 %. Diese Verminderung der Wärmeleistung ist rechnerisch zu ermitteln. Der Bedienungsmann am Ofen merkt die Veränderung nicht so ohne weiteres. Es ist aber nicht nur die Wärmeleistung, die sich ändert, sondern auch die zur Verbrennung

notwendige Luftmenge wird anders. Der Ofen, der bei Wattenstedter Gas auf ein Luftverhältnis $\lambda = 1$ eingestellt war, fährt jetzt bei Magdeburger Gas mit einem $\lambda = 1,35$, d. h., die Ofenatmosphäre in den Stoßöfen und den Glühöfen für die Dynamobleche hat sich in technologisch untragbarer Weise verändert.

Wie würden die Verhältnisse in dem Betrieb aussehen, wenn eine Wobbezahlregelung eingebaut wäre?

Zur Angleichung des Wattenstedter Gases an das Magdeburger sei Luft verwendet. Es sei außer Betracht gelassen, ob das Gemisch in den gefährlichen Explosionsgrenzen liegt oder nicht.

Nach der Berechnung müßten ungefähr 19 % Luft mit 81 % Wattenstedter Gas gemischt werden. Diese Mischung hätte folgende Kennwerte:

Verbrennungswärme	3752	kcal/Nm ³
Heizwert	3330	kcal/Nm ³
Wichte	0,67	kg/Nm ³
Wichte-Verhältnis	0,518	
Wobbezahl	5200	
Luftbedarf L/min	3,18	Nm ³ /Nm ³ Gas
Inerte	24,38	%

Die Wobbezahl dieses Gemisches entspricht der Wobbezahl des Magdeburger Gases.

Bei Einstellung der Ofenanlage auf das Magdeburger Gas würden bei dem Übergang auf Wattenstedter Gas durch die Wobbezahlregelung keine Veränderungen auftreten. Die geforderte Wärmeleistung würde konstant bleiben. Auch der gleitende Übergang von der einen Gasart auf die andere würde durch die Regelung keinerlei Einfluß mehr haben auf die Ofenführung.

Welche Bedeutung hat die Wobbezahlregelung in diesem Falle?

1. konstante Wärmeleistung
2. konstante Ofenatmosphäre

Ohne Wobbezahlregelung würde sich eine laufende Veränderung an der Ofenanlage ergeben, die Stunden dauern kann.

Innerhalb dieser Zeit ist eine Ofeneinstellung auf das Luftverhältnis $\lambda = 1$ gar nicht möglich.

In einem Großbetrieb mit 30–40 Ofenanlagen wäre eine Regelung der Gasverhältnisse im obigen Sinne ein großer Erfolg, der technologisch und energiewirtschaftlich nicht unbeachtet bleiben darf.

Ing. BURKHARDT, Berlin-Johannisthal:

Im Anschluß an die Worte des Kollegen *Oechelhaeuser* kann ich Ihnen mitteilen, daß ich in meinem Labor einen Wobbezahlregler bereits so weit fertiggestellt habe, daß er der Industrie zur Verfügung gestellt werden kann. Bei den Versuchen wurde als Zuzugsgas Luft verwendet. Luft steht jederzeit zur Verfügung, während es, wie Kollege *Reinhardt* erwähnte, nicht immer einfach ist, ein geeignetes Zuzugsgas bereitzuhalten. Es müßten erforderlichenfalls Behälter errichtet werden, um dieses Gas in ausreichender Menge speichern zu können. Es wäre nicht von der Hand zu weisen, das Brenngas bei der Erzeugung in seine Komponenten aufzuspalten und diese einzeln zu speichern, so daß man jederzeit das gewünschte Gemisch herstellen könnte. Die jetzigen brenntechnischen Schwierigkeiten würden damit wegfallen.

Einige Worte noch zum Wobbezahlregler. Eine ausführliche Erläuterung des Reglers ist einem besonderen Vortrag vorbehalten, in dem der Aufbau des Reglers im Lichtbild gezeigt werden soll. Es muß erwähnt werden, daß die thermische Regelung Schwierigkeiten bereitet, weil an der Meßstelle mit einer großen Totzeit gerechnet

werden muß. Kollege Scheffler gab bekannt, daß das Wobbezahlanzeigergerät eine Totzeit von einer viertel Minute habe; wir ermittelten jedoch eine solche von dreiviertel Minuten. Für den Wobbezahlregler wurde das Anzeigegerät von Junkalor verwendet, da das Bestreben bestand, ein einwandfreies Meßwerk vorzusehen. Es gibt eine Reihe anderer Meßmöglichkeiten, z. B. den Ausdehnungsstab, die Ätherkapillare, die meines Wissens von der Firma Reinicke, Bochum, verwendet wird, und weitere.

Alle thermischen Messungen erfordern eine gewisse Zeit, bis eine Anzeigeänderung feststellbar ist. Bei der Konstruktion des Wobbezahlreglers mußte darauf Rücksicht genommen werden. Nehmen wir an, die Wobbezahl soll durch Zumischung von Luft konstantgehalten werden, dann kann bei plötzlicher Mengenänderung an der Verbrauchsstelle der Fall eintreten, daß das eingestellte Mischverhältnis über die lange Totzeit hinweg in der Gefahrenzone liegt. Es wurde deshalb in den Regler ein Verhältnistransmitter eingebaut, der unabhängig von der thermischen Regelgröße ohne Verzögerung arbeitet. Wird z. B. die Entnahmemenge auf die Hälfte gedrosselt, so wird das Zumischgas ebenfalls nur der neuen Menge entsprechend beigegeben. Wir haben also einen vermaschten Regler, der als Folgeregler arbeitet. Das Gemischverhältnis wird an Hand der kalorischen Messung vorgegeben und die Zumischmenge durch den Verhältnistransmitter proportional gehalten. Das dynamische Verhalten des Reglers wurde eingehend geprüft. Leider konnten nur Stoßfunktionen durchgeführt werden, d. h., die Änderung des Frischgases erfolgte sehr rasch, z. B. von 5000 auf 8000 Wobbeeinheiten. Die Regelkurve war hier zufriedenstellend, so daß der Regler in der Industrie eingesetzt werden kann.

Zum Schluß soll noch kurz auf die Einhaltung des Regler-Sollwertes hingewiesen werden. Das Meßwerk von Junkalor Dessau zeigte bei unseren Messungen eine gewisse Hysterese. Hierzu kommen zusätzlich noch geringe Abweichungen durch das P-Verhalten des Reglers, so daß die Regelabweichung \approx etwa ± 100 Wobbeeinheiten beträgt.

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Burkhardt für seinen wertvollen Hinweis. Wir sind überzeugt, daß er mit dem gleichen Erfolg wie auf anderen Gebieten auch die mit dem Wobbe-Zahl-Gerät zusammenhängenden Regelfragen lösen wird.

Dipl.-Ing. SCHEFFLER, Dessau:

Die Diskussionsbeiträge haben eins bestätigt, was besonders Herr Dr. Herning hervorhob: Die Konstanthaltung der Wobbe-Zahl muß gegeben sein. Ob wir darüber hinaus überhaupt noch allgemein auf die Zündgeschwindigkeit besondere Rücksicht nehmen sollen, ist zu bezweifeln. Für mich steht fest, daß es in den meisten Fällen nicht nötig sein wird. Aber es gibt auch Fälle, wo es nötig sein wird. Vergewärtigen Sie sich folgendes: Flamme als Werkzeug einer Glühlampenfabrik. In diesem Fall werden wir wohl nicht umhin können, auch dafür noch irgendwie eine Zusatzregelung zu schaffen. Also dürfen wir das Problem der Zündgeschwindigkeit nicht fallen lassen, sondern müssen auch daran noch weiterarbeiten.

Wärmewirtschaftliche Grundlagen industrieller Gasfeuerungen

Von FRITZ HERNING, Essen (Ruhr)

Die deutsche Ferngasversorgung konnte in den vergangenen drei Jahrzehnten einen schnellen Aufschwung nehmen und behauptet auch heute noch ihre hervorragende Stellung als industrieller Wärmelieferant. Diese Tatsache ist nicht so ohne weiteres als selbstverständlich hinzunehmen, denn bei Einführung des Ferngases Ende der zwanziger Jahre mußten schließlich erst andere bislang in der Industrie gebräuchliche Wärmeträger verdrängt werden, und da der Konsument die Brennstoffwahl nach betrieblichen Vorteilen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu entscheiden hat, müssen somit günstige wärmewirtschaftliche Voraussetzungen bei industriellen Ferngasfeuerungen vorliegen. Im Zusammenhang hiermit sollen im folgenden einige wärme- und energiewirtschaftliche Betrachtungen angestellt werden.

Eine Verbrennung bezweckt stets eine Energieumwandlung, und zwar die der im Brennstoff chemisch gebundenen Energie in physikalische Energie der fühlbaren Wärme. Mit welchem Nutzeffekt dies gelingt, ist in erster Linie eine Frage der brenntechnischen Eigenschaften des betreffenden Wärmeträgers. Aufschluß hierüber gibt der feuerungstechnische Wirkungsgrad, der aussagt, wieviel Prozent der zugeführten Wärme im Arbeitsraum des Ofens nutzbar verbleiben, um dort den beabsichtigten Wärmeprozess durchzuführen. Er wird bestimmt durch die Höhe der ungenutzt aus dem Ofen abziehenden Wärmemenge, die ihrerseits von der Menge und der Temperatur der aus dem Arbeitsraum abziehenden Abgase abhängt. Die Abgasmenge schließlich wird außer von der Zusammensetzung des Brennstoffes noch von der Verbrennungseinstellung, d. h. von der Höhe des Luftüberschusses, bestimmt. Bild 1 veranschaulicht diese Verhältnisse an Hand des Beispiels Ferngas mit einem Heizwert von $H_u = 4000 \text{ kcal/Nm}^3$. Bei luftsatter Verbrennung beträgt, in runden Zahlen, der Brennluftbedarf $4,1 \text{ Nm}^3$ und die Abgasmenge $4,8 \text{ Nm}^3$, jeweils bezogen auf 1 Nm^3 Brenngas. Falls nicht gerade eine ausgesprochen reduzierende Ofenatmosphäre erwünscht ist, erfolgt bei Gasen allgemein die Verbrennung bei ca. 10% Luftüberschuß, also bei $n = 1,1$. Hierfür beträgt die den Ofen verlassende Abgasmenge $5,2 \text{ Nm}^3$, wenn man zunächst von etwaigen Ausflammverlusten absieht. Ist weiterhin die Temperatur am Ende des Ofenraumes 1000°C — sie richtet sich nach der Höhe der Arbeitstemperatur, — so werden von den in einem Nm^3 Brenngas zugeführten 4000 kcal

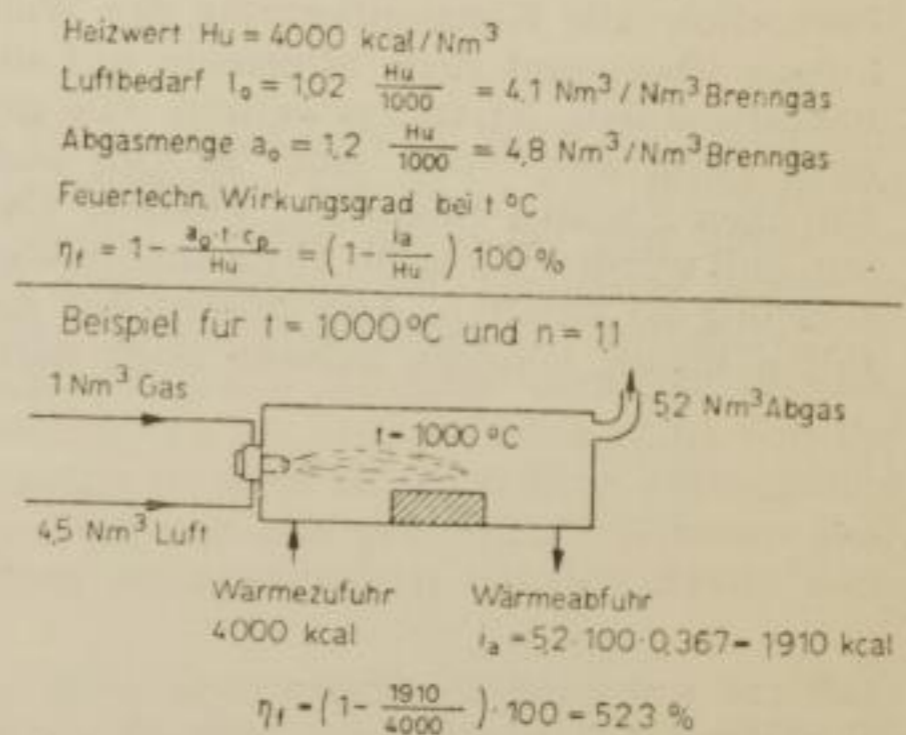


Bild 1. Ermittlung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades (Ferngas)

aus dem Ofen 1910 kcal ungenutzt abgeführt, und der feuerungstechnische Wirkungsgrad beträgt in diesem Falle 52,3 %.

Mit Hilfe des feuerungstechnischen Wirkungsgrades besteht nun die Möglichkeit, auf einfache Weise theoretisch zu ermitteln, welche wärmewirtschaftlichen Vor- oder Nachteile bei der Umstellung eines Industrieofens auf einen anderen Brennstoff zu erwarten sind. Betrachten wir zunächst die direkte Kohlefeuerung, mit der damals u. a. das einzuführende Ferngas im Wettbewerb stand, so ergeben sich folgende Verhältnisse. Während, wie erwähnt, ein gasförmiger Brennstoff infolge der möglichen guten Durchmischung mit der Brennluft allgemein nur Luftüberschußzahlen von etwa 10 % erfordert, müssen bei festen Brennstoffen 50 % und mehr zur Erlangung eines guten Ausbrandes eingestellt werden. Diese Tatsache deutet schon darauf hin, daß bei Kohle der feuerungstechnische Nutzeffekt geringer sein muß. Bleiben wir bei dem vorigen Beispiel, dem eine Abgastemperatur von 1000 °C zugrunde gelegt war, so ergibt sich für Steinkohle mit $H_u = 7000$ kcal/kg und für $n = 1,6$ ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad von 35,8 %. Bezeichnet man letzteren mit η_k und den für Ferngas mit η_g , so läßt sich der prozentuale Wärmegewinn bei Umstellung von Kohle auf Gas einfach ermitteln aus $(1 - \eta_k/\eta_g) \cdot 100$ %. Für das vorliegende Beispiel beträgt diese Wärmeersparnis 32 %, d. h., zur Durchführung des gleichen Wärmeprozesses braucht nur eine Wärmemenge in Form von Gas zugeführt zu werden, die 32 % unterhalb der bei Kohlebeheizung liegt. Oder mit anderen Worten, der Wärmepreis des Ferngases dürfte in erster Näherung um diesen Prozentsatz höherliegen. Ermittelt man weitere Werte bei anderen Temperaturen, so ergibt sich die in Bild 2 aufgezeichnete Kurve b. Man erkennt, daß die theoretisch erreichbare Wärmeersparnis erheblich mit der Abgastemperatur anwächst und eine wärmewirtschaftliche Verbesserung insbesondere bei den industriellen Hochtemperaturöfen zu erwarten ist. Dagegen wird man kaum auf den Gedanken kommen, bei einem Dampfkessel die Kohle durch Ferngas zu ersetzen. Hier, im Bereich niedriger Abgastemperaturen, ist der Effekt der Energieumwandlung bei allen Brennstoffen nahezu gleich.

Sind nun tatsächlich solche Ersparnisse in der Praxis festgestellt worden? Darüber gibt die darüber liegende Kurve a des Bildes 2 Auskunft. Sie enthält einige der in den ersten Jahren der Ferngasversorgung bekannt gewordenen Erfolgswerte bei der Umstellung von Kohle auf Gas und erstreckt sich vom Verzinnungskessel mit 400 °C bis zum Schmiedeofen mit 1100 °C Abgastemperatur¹. Danach ist die praktisch erreichte Wärmeersparnis noch wesentlich größer, wobei zu bedenken ist, daß eine Ersparnis von 50 % den Ersatz von zwei Kohlekalorien durch eine Gaskalorie bedeutet und daß bei 75 % sogar vier Kohlekalorien durch eine Gaskalorie ersetzt werden. Bei der Umstellung eines Hüttenwerkes konnte für die gesamte Wärmebehandlung des erzeugten Stahles eine Relation von 3,3 Kohlekalorien = eine Gaskalorie erreicht werden, was einer Wärmeersparnis von 70 % entspricht. In dieser gegenüber den theoretischen Werten vermehrten Einsparung kommen Einflußgrößen zum Ausdruck, die vom feuerungstechnischen Wirkungsgrad nicht erfaßt werden. Dazu gehören bei der Kohle u. a. zusätzliche Verluste durch Anheizen und Warmhalten, durch Abstrahlung des Feuerraums, durch schlechten Ausbrand, Rostdurchfall usw., alles Mängel, die die Kohle als direkten Brennstoff in Industrieöfen als minderwertig

¹ Vergl. u. a. die Mitteilungen der Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute: Nr. 136 (1930), Nr. 150 (1931), Nr. 221 (1935), Nr. 226 (1936), Nr. 300 (1942), Nr. 371 (1951).

erscheinen lassen. Wegen ihres nicht verbrennungsreifen Zustandes macht die Kohle vor ihrer Umwandlung in fühlbare Wärme zunächst einen Ent- und Vergasungsprozeß in der Feuerung durch, der sich unter sehr ungünstigen und schlecht zu beeinflussenden Bedingungen vollzieht. Eine Verlagerung dieser Prozesse außerhalb des Feuerraumes unter gleichzeitiger Aufbereitung des

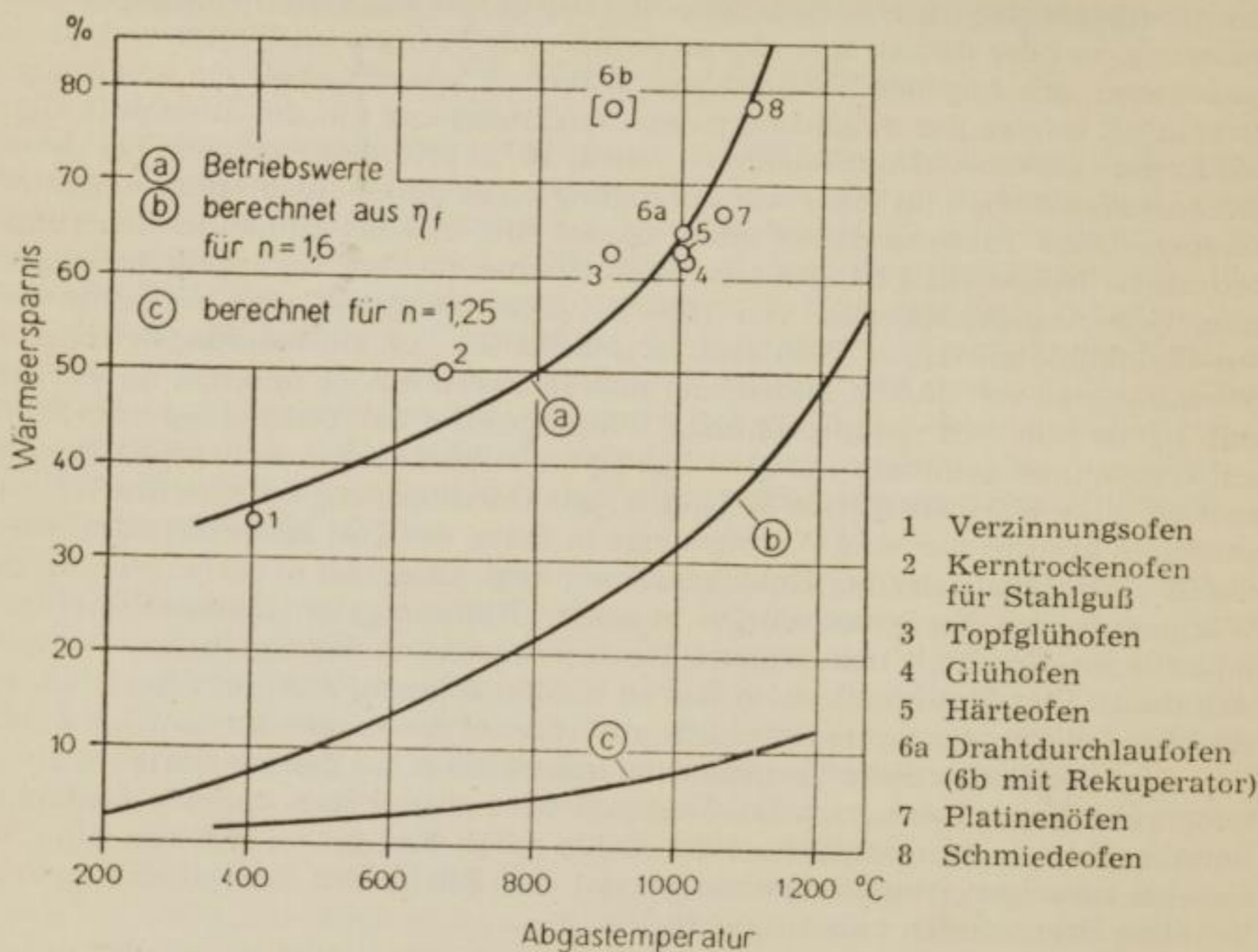


Bild 2. Wärmeersparnis bei Ferngas gegenüber Kohle

anfallenden Gases muß daher mit Recht als eine Veredlung bezeichnet werden; denn man erhält einen Brennstoff, der schon auf Grund seiner guten Verbrennlichkeit, außerdem durch Wegfall von Rauch, Ruß, Asche und Schlacke als ideal bezeichnet werden muß. Es kommt hinzu, daß ganz allgemein ein gasförmiger Brennstoff die Möglichkeit bietet, der Flamme nach Bedarf eine bestimmte Gestalt, Richtung und Größe zu geben, womit eine sehr gleichmäßige und genau einstellbare Wärmeentwicklung erzielt werden kann.

Diese wärmewirtschaftlich ungünstigen Verhältnisse beim Brennstoff Kohle werden besser, wenn sie als Staub verfeuert wird. Dadurch, daß die einzelnen Brennstoffteilchen in feiner Verteilung sich mit der Brennluft gut zu mischen vermögen, ist eine Verbrennungseinstellung mit nur etwa 20% bis 30% Luftüberschuß möglich. Damit wird der feuerungstechnische Wirkungsgrad erhöht und entsprechend die bei Ferngas erreichbare Wärmeersparnis verringert. Sie liegt selbst bei hohen Temperaturen nicht viel höher als 10%, Kurve c in Bild 2. Eine gut geführte Kohlenstaubfeuerung ist also wärmewirtschaftlich durchaus als ernsthafter Konkurrent des Ferngases zu betrachten. So hat man beispiels-

weise bei der früher teilweise vorkommenden Verknappung der zur Verfügung stehenden Ferngasmengen Walzwerköfen zusätzlich mit Kohlenstaubbrennern versehen und das Ferngas in Mangelzeiten mit gutem Erfolg ersetzen können. Natürlich bleibt auch bei der Staubfeuerung der Nachteil unsauberer Betriebes und der unangenehmen Verschmutzung des Ofens durch Asche bestehen.

Bei unserem wärmewirtschaftlichen Vergleich zwischen den Brennstoffen Kohle und Ferngas wollen wir uns noch einem anderen Punkt zuwenden. In Bild 2 fällt auf, daß ein unter 6 b eingezeichneter Wert aus der Kurve a herausfällt und eine besonders hohe Wärmeersparnis bei der Umstellung auf Ferngas aufweist. Diese Ersparnis wurde dadurch erreicht, daß ein Teil der aus der Ofenanlage abziehenden Verlustwärme zur Vorwärmung der Brennluft ausgenutzt wurde. Durch diese Verminderung der Abgasverluste wird der feue-

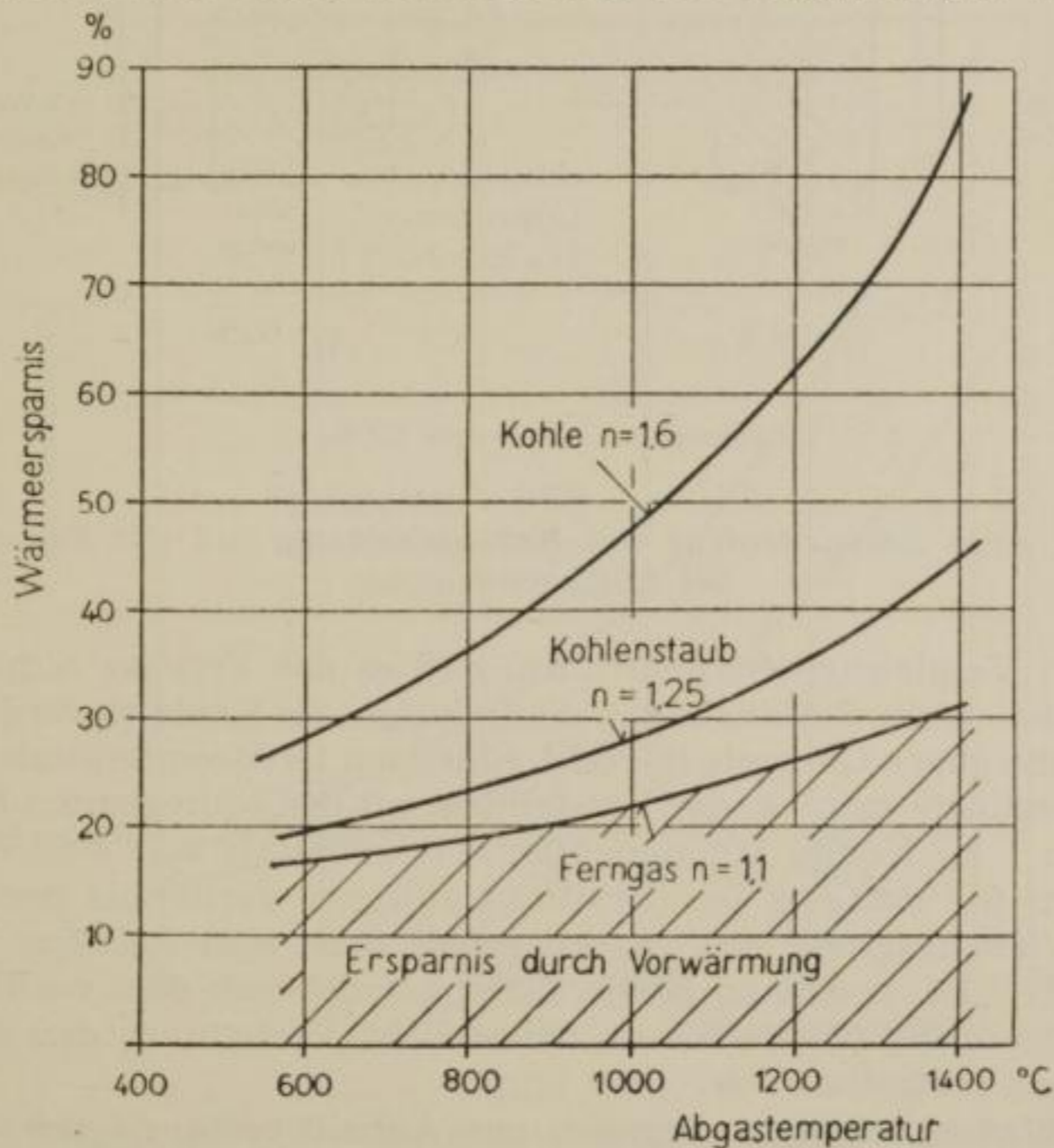
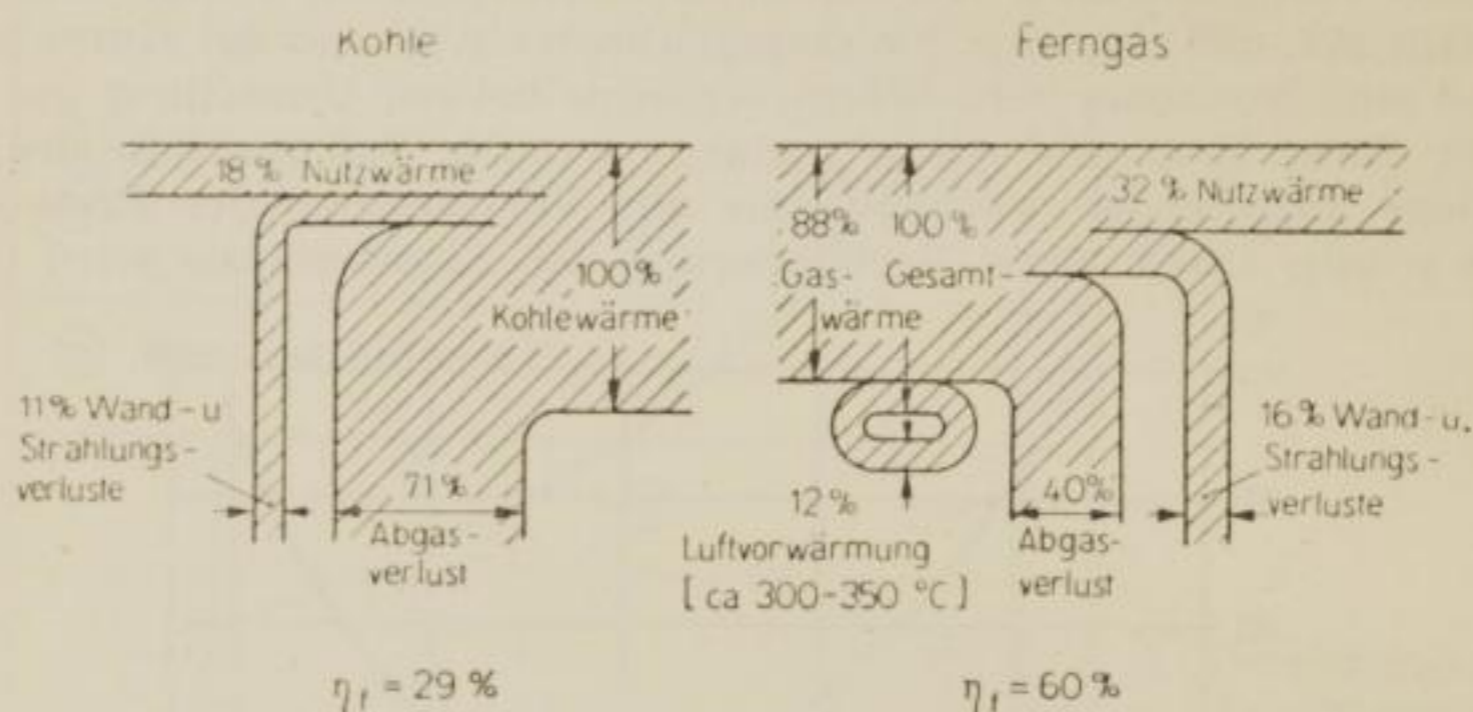


Bild 3. Wärmeersparnis bei Ferngas mit Luftvorwärmung auf 400 °C

rungstechnische Wirkungsgrad erhöht. Da im Gegensatz zur Kohlebeheizung die Voraussetzungen zur Aufstellung von Rekuperatoren gerade beim Ferngas wegen der staub- und rußfreien Abgase besonders günstig liegen, ergeben sich hier weitere wärmewirtschaftliche Vorteile. Würde man beispielsweise die Brennluft für das Ferngas auf 400 °C vorwärmen, so zeigt zunächst die untere Kurve in Bild 3 die Einsparung an Gaswärme gegenüber einer Beheizung mit Kaltluft. Weiter wird natürlich, wie die obere Kurve zeigt, durch die Vorwärmung die Wärmeersparnis gegenüber Kohle gesteigert. Bei 1000 °C Abgastemperatur ist sie von vorher 35 % auf 50 % angestiegen und für Kohlenstaubfeuerung (mittlere Kurve) von 10 % auf 30 %. Um auch hierfür ein praktisches Beispiel

zu geben, sind in Bild 4 zwei aus Leistungsversuchen ermittelte Wärmeflußbilder von Schmiedeöfen aufgezeichnet [1]. Legt man für diesen Ofen eine mittlere Temperatur am Ofenende von 1100°C zugrunde, so ergibt sich nach der eben gezeigten theoretischen Kurve eine Ersparnis von 55% und durch Vergleich der beiden Wärmebilanzen ein Wert von 52% , wobei noch zu ergänzen wäre, daß die Luftvorwärmung weniger als 400°C betrug.



Wärmeersparnis bei Ferngas 52%

Bild 4

Wärmeflußbild eines Schmiedeofens mit Kohlebeheizung und mit Ferngasbeheizung bei Luftvorwärmung

Aus diesen Vergleichen ist ersichtlich, daß es das Ferngas nicht sonderlich schwer hatte, bei seiner Einführung in die Industrie die Kohle zu verdrängen, und daß sich der anlegbare Gaspreis in recht günstigen Grenzen bewegte. Für grobe Schätzungen rechnete man bei der Umstellung mit der äquivalenten Faustformel $1 \text{ Nm}^3 \text{ Gas} = 1 \text{ kg Kohle}$. Mit dem Heizwertverhältnis von $4000/7000 = 0,57$ und mit einem für mittlere Temperaturen gültigen Verhältnis der feuerungstechnischen Wirkungsgrade von ca. 1,5 erhält man eine Relation von $1 \text{ Nm}^3 \text{ Ferngas} = 0,57 \cdot 1,5 = 0,86 \text{ kg Kohle}$. Dazu kommt nach dem vorher Gesagten noch ein Wertzuschlag für besondere betriebliche Vorteile, so daß diese Faustformel durchaus vertretbar war.

Natürlich bleiben all diese Angaben nur Anhaltswerte, da sich die wärmewirtschaftlichen Vergleichsgrundlagen zum Teil durch bauliche Veränderungen der Ofenanlagen, durch verschiedene Herdbelastungen, verschieden hohe Ausflam- und Strahlungsverluste usw. verschieben können. Sie genügen aber durchaus für eine erste Beurteilung. Ihr Genauigkeitsgrad wird größer, wenn das Ferngas nicht mit festen, sondern mit ebenfalls gasförmigen Brennstoffen, die es ja auch zu verdrängen galt, verglichen wird. Bild 5 zeigt beispielsweise die Wärmeersparnis, die sich ergibt, wenn einmal kaltes Kohlen-Generatorgas und zum anderen Hochofengas durch Ferngas – in allen Fällen $n = 1,1$ – ersetzt wird. Man erkennt wieder, daß bei Temperaturen unterhalb etwa 400°C kein besonderer Anreiz besteht, Ferngas zu verwenden, daß dieser aber bei höheren Arbeitstemperaturen durchaus gegeben ist. Die angegebene Kurve für das Hochofengas deckt sich fast genau mit der für Kohlefeuerung, während ein Ersatz

von Generatorgas geringere Ersparnisse bringt. Bei 1200°C machen sie beispielsweise 30% aus. In Wirklichkeit ist jedoch – ähnlich wie bei der Kohle – der Vorteil des Ferngases wesentlich größer, denn die Generatoren sind nicht immer mit ihrem optimalen Wert ausgenutzt, und bei unterbrochenem Betrieb müssen sie mit Verlusten warmgehalten werden. So wurden z. B. aus der keramischen Industrie Erfahrungswerte mitgeteilt, wonach nahezu vier Kohlekalorien durch eine Gaskalorie ersetzt werden konnten, also ähnliche Ersparnisse wie bei Kohlefeuerungen vorlagen. Dazu muß noch erwähnt werden – und damit kommen wir zu einem nächsten wichtigen Punkt, – daß allgemein die Ofenleistung bei Ferngasbeheizung erhöht wird. Durch einen größeren Durchsatz aber werden neben einer Senkung des spezifischen Wärmeverbrauchs auch

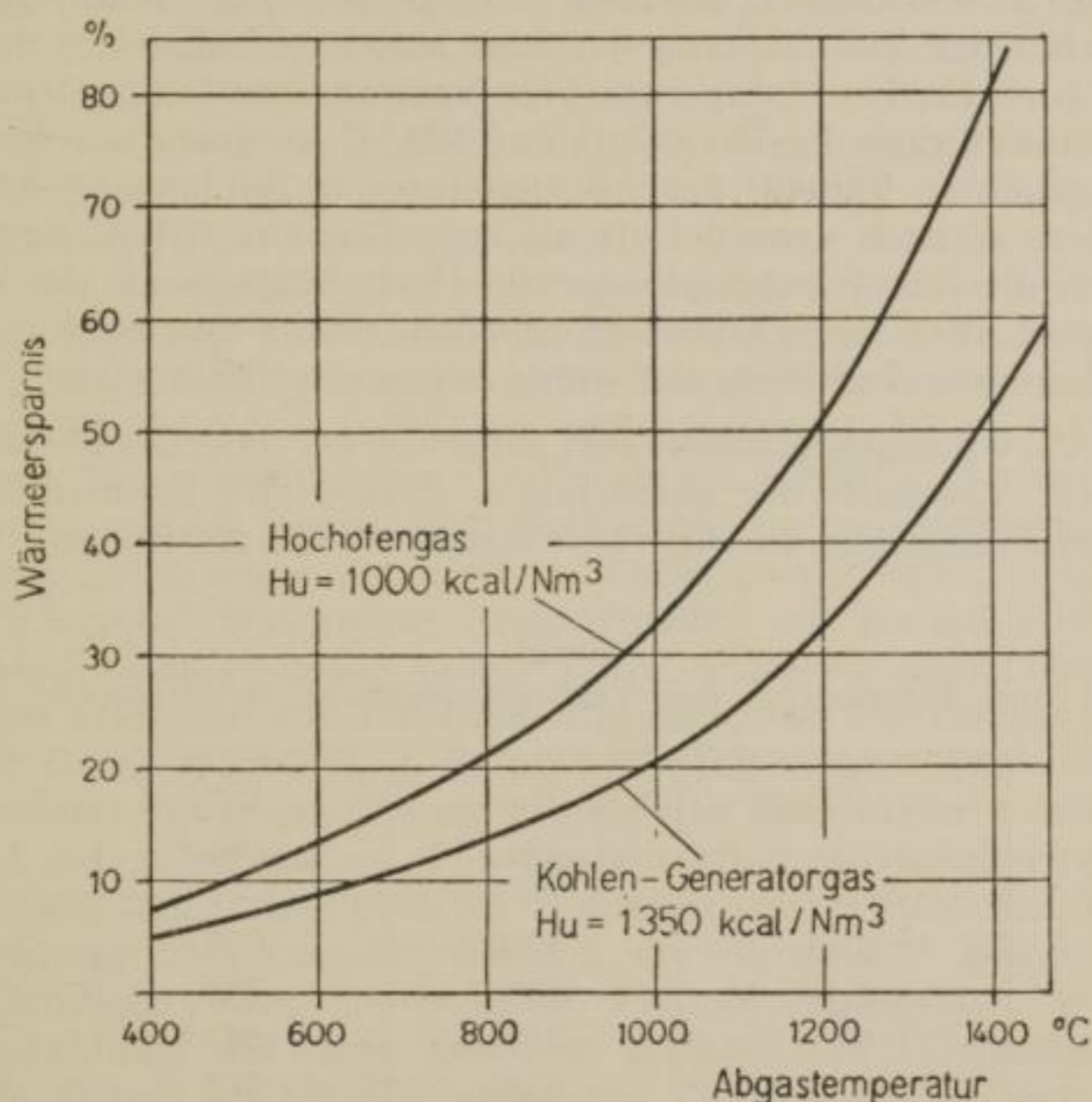


Bild 5

Wärmeersparnis bei Ferngas gegenüber Generatorgas und Hochofengas

alle anderen Betriebsmittel, wie Strom, Dampf, Wasser, auch die Aufwendungen an Löhnen spezifisch gesenkt und damit die Selbstkosten verringert. Darüber hinaus muß jeder Betriebsleiter größten Wert darauf legen, daß nicht etwa die Ofenlage einen Engpaß für die Produktion bildet und daß beispielsweise in einem Walzwerk der Ofen die Straße treibt und nicht umgekehrt Walzpausen wegen zu „kalter“ Blöcke eingelegt werden müssen. Dieser Vorzug der Leistungssteigerung beim Ferngas beruht darauf, daß auf Grund der höheren Flammentemperatur ein größeres Temperaturgefälle zwischen den Heizgasen und dem Einsatzgut zur Verfügung steht. Die Flammentemperatur hängt aber von der Höhe der in 1 Nm^3 Verbrennungsgas enthaltenen Wärmemenge ab, die durch $i_0 = H_u/a_0$ bestimmt ist. In Tabelle 1 sind diese i_0 -Werte

für die in den gasförmigen Brennstoffen enthaltenen brennbaren Einzelgase angegeben. Man erkennt, daß keineswegs der Heizwert ausschlaggebend ist und daß ein heizwertarmes Gas, das viel CO, aber wenig CH₄ enthält, sehr wohl einen hohen i₀-Wert aufweisen kann. So liegt bekanntlich die Verbrennungstemperatur des Wassergases höher als die des reicheren Ferngases. Die hier zum Vergleich herangezogenen technischen Brenngase weisen jedoch wesentlich niedrigere Temperaturen auf. Bei den in runden Zahlen angegebenen theoretischen Verbrennungstemperaturen ist der Zerfall von CO₂ und H₂O nicht berücksichtigt; die wirklichen Betriebswerte liegen ohnehin infolge sofortiger Wärmeabgabe an die Umgebung um 20 % bis 25 % tiefer. Daraus ergibt sich, daß manche Wärmeprozesse mit Schwachgasen, die praktisch nur Temperaturen von 1200 °C bis 1300 °C erreichen, nicht ohne weiteres durchführbar sind. Mit der Vorwärmung hat man jedoch ein Mittel in der Hand, die Schwachgase auch für Hochtemperaturöfen verwendungsfähig zu machen. Wird z. B. beim Generatorgas die Brennluft auf 800 °C vorgewärmt, so kann damit nach den Angaben in Tabelle 1 ohne weiteres die Temperatur des Ferngases erreicht werden. Werden sowohl Luft als auch Gas auf 800 °C vorgewärmt, so übertrifft sogar die Flammentemperatur des Hochofengases die des kalten Ferngases. Dazu sind aber teure Öfen erforderlich, deren Betrieb mit angebauten Regenerativkammern erschwert und wenig anpassungsfähig wird.

Durch die Vorwärmung erhöhen sich natürlich die feuerungstechnischen Wirkungsgrade, ein Vergleich der gasförmigen Brennstoffe kann aber nur unter denselben Voraussetzungen durchgeführt werden. Wird die Brennluft sowohl bei

Tabelle 1

Wärmeinhalt und Temperatur der Verbrennungsgase verschiedener Brennstoffe

	Hu kcal/Nm ³	i ₀ kcal/Nm ³
CO	3020	1050
C _n H _m	17000	908
H ₂	2570	893
CH ₄	8560	813

Wärmeinhalt je Nm ³ Verbrennungsgas	Theoretische Verbrennungstemperatur
$i_0 = \frac{Hu}{\alpha_0}$	$t_v = \frac{i_0}{cp_d}$

Gasart	Hu kcal/Nm ³	i ₀ kcal/Nm ³	Theoretische Verbrennungstemperatur °C			
			ohne Vorwärmung	800° Luft	800° Gas Luft	400° Luft
Ferngas	4000	835	2100	—	—	2350
Generatorgas	1350	675	1700	2100	—	—
Hochofengas	1000	615	1500	—	2200	—

Generatorgas als auch bei Ferngas auf 400°C vorgewärmt, dann beträgt in beiden Fällen bei 1000°C Abgastemperatur die Gasersparnis etwa 19%. Vor allem aber wird bei 400°C Vorwärmung die Flammentemperatur des Ferngases auf ein Niveau gebracht (Tabelle 1), das eine weitere Leistungssteigerung und damit eine vergrößerte Anpassungsfähigkeit an den Betrieb ermöglicht.

Neben der Einhaltung einer bestimmten für den Wärmeprozess erforderlichen Flammentemperatur ist die Art der Wärmeübertragung auf das zu beheizende Einsatzgut von Bedeutung. Während die konvektive Wärmeübertragung bei allen Brennstoffen etwa gleichzusetzen ist, bestehen wesentliche Unterschiede in der Übertragung durch ultrarote Gasstrahlung von CO_2 und H_2O in den Heizgasen. Dieses Strahlungsvermögen ist gerade beim Ferngas infolge des hohen H_2O -Gehaltes der Verbrennungsgase besonders groß und bewirkt eine höhere Temperatur der Feuerraumflächen, die ihrerseits wieder empfangene Wärme im verstärkten Maße auf das Einsatzgut abstrahlen vermögen. Da die Wandstrahlung mit der 4. Potenz und die der H_2O -Strahlung mit der 3. Potenz der absoluten Temperatur wachsen, wirkt sich der Vorteil erhöhter Wärmeübertragung insbesondere bei hohen Arbeitstemperaturen aus. So ist beispielsweise als Folge des unterschiedlichen Strahlungsvermögens bei einem mit Hochofengas beheizten Stoßofen eine höhere Abgastemperatur zu beobachten als beim Ferngasofen. Das Ferngas benötigt mithin bei gleicher Leistung ein geringeres Temperaturgefälle zwischen Heizgasen und Einsatzgut. Diese Tatsache trägt zu einer weiteren Temperaturreserve und zu einer erhöhten Anpassungsfähigkeit bei, die schon durch die höhere Flammentemperatur gegeben war. Bei höchsten Arbeitstemperaturen, wie sie speziell im SM-Ofen vorliegen, steigt die Temperatur des Wärmegutes, also die der Stahlschmelze, fast bis auf 1700°C . Hier wie auch bei Glasschmelzöfen liegen andere Verhältnisse vor als im normalen Wärmefofen, denn mit Rücksicht auf die Ofenhaltbarkeit sind der Temperatursteigerung der Heizgase Grenzen gesetzt, d. h., im SM-Ofen müssen große Wärmemengen bei einem relativ niedrigen Temperaturgefälle übertragen werden. Die Konvektion geht daher bis auf ca. 5% der gesamten Wärmeübertragung zurück, während die Wandstrahlung etwa 40% ausmacht. Der Rest von 55% muß von der Gasstrahlung übernommen werden, die durch das besonders intensive Strahlungsvermögen einer leuchtenden Flamme unterstützt wird [2]. Hier stoßen wir erstmalig auf einen gewissen Nachteil des Ferngases, nämlich auf den geringen Gehalt an Leuchtkraftträgern (2 bis 3 Vol.-% Schwere Kohlenwasserstoffe), während z. B. im heißen Generatorgas Teermengen enthalten sind, die etwa 14% des Gasheizwertes ausmachen.

Es gab daher anfangs gewisse Schwierigkeiten bei der Ferngasbeheizung von SM-Öfen, die aber z. T. durch Zugabe von Karburierungsmitteln, wie Teer oder Öl, sehr bald beseitigt werden konnten. Heute wird ein hoher Anteil an der gesamten SM-Stahlerzeugung durch Ferngas bzw. Kokereigas erschmolzen, wobei vor allem höhere Ofenleistungen erzielt werden als beim Generatorgasbetrieb.

Damit können wir den Vergleich des Ferngases mit anderen gasförmigen Brennstoffen abschließen und feststellen, daß zwar verwendungsmäßig die Schwachgase durchaus mit dem Ferngas in Wettbewerb treten können, daß sie aber in wärmewirtschaftlicher Hinsicht übertroffen werden. Dazu kommt noch — insbesondere beim Vergleich mit den Generatorgasen — die unüber-

troffene Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung und der hohe Reinheitsgrad des Ferngases. Beide Eigenschaften ermöglichen nicht nur eine genaue meßtechnische Kontrolle des sparsamsten Brennstoffverbrauchs, sie haben auch den Ofenkonstruktoren den Weg freigemacht für eine Entwicklung, die den Industrieöfen mehr und mehr das Gepräge einer automatisch arbeitenden Wärme-

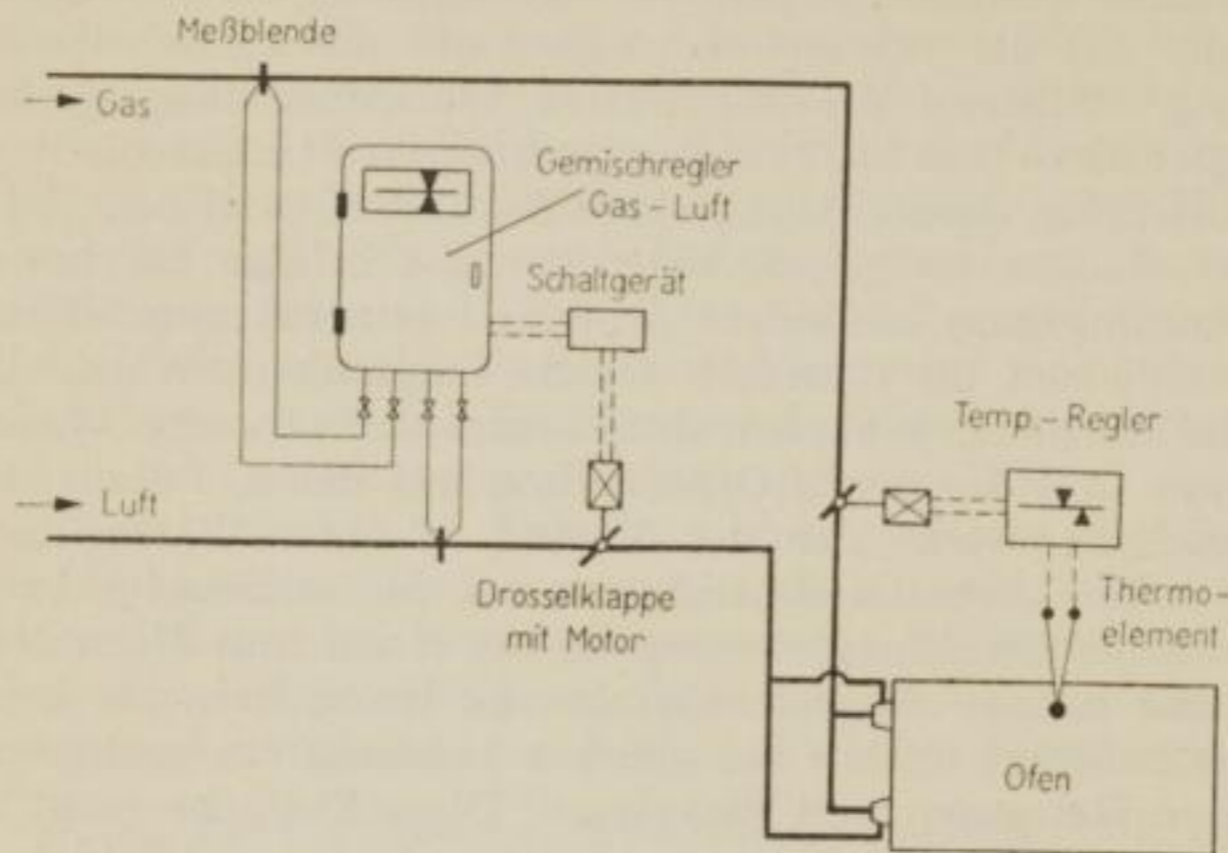


Bild 6
Automatische Regelung
der Ofentemperatur
und des Gas-Luft-
Verhältnisses

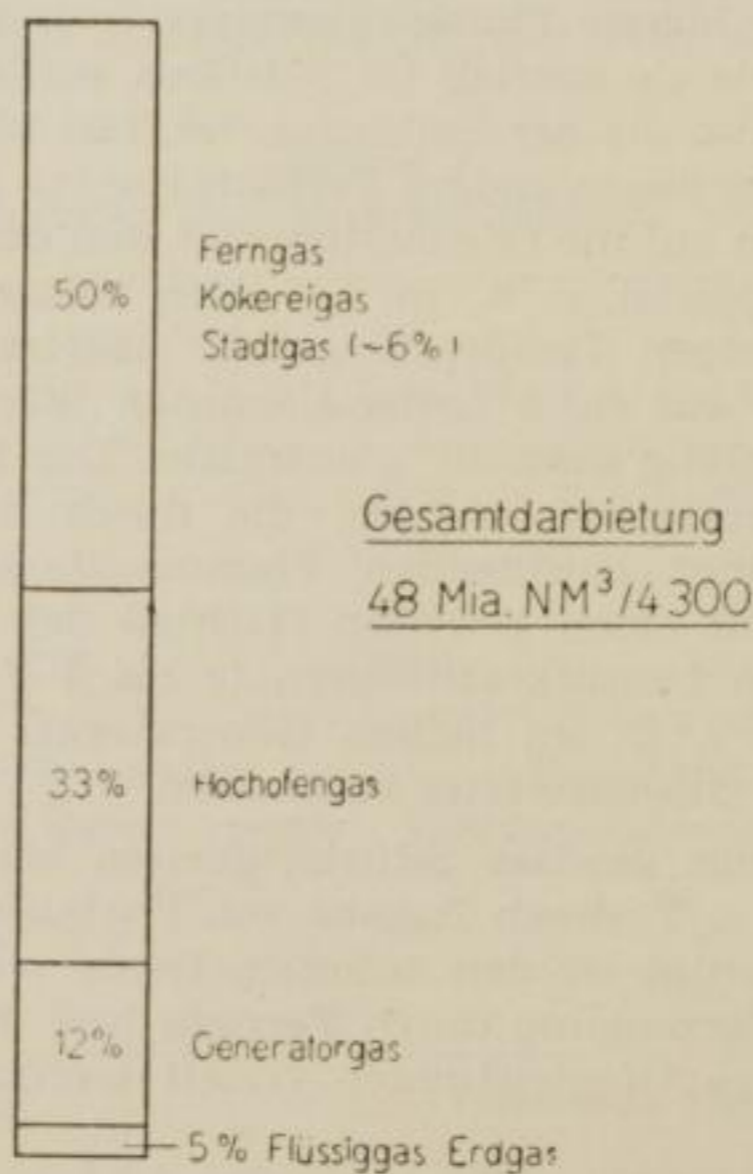


Bild 7
Gasförmige Brennstoffe
im Bundesgebiet 1957

maschine gegeben hat. Sie boten die Möglichkeit zur Anwendung selbsttätiger Regler für die Wärmezufuhr, für die Verbrennung und die Ofenraumtemperatur. In Bild 6 ist eine solche kombinierte Regelung von Temperatur, Wärmezufuhr und Verbrennung schematisch dargestellt. Abschließend muß noch ein weiterer

Vorzug des Ferngases hervorgehoben werden, nämlich der Fortfall aller wertmindernden Einflüsse auf das Wärmegut infolge weitgehender Schwefelfreiheit. Darüber hinaus bietet das Ferngas gegenüber einem beim Verbraucher erzeugten Generatorgas den besonderen Vorteil, daß jeder Ballast von Schlacke, Asche und Ruß entfällt. Damit sind genau wie gegenüber der Kohlebeheizung sowohl eine Reihe von Annehmlichkeiten als auch von Kostenersparnissen verbunden, da jede Arbeit mit dem Brennstoff selbst und dessen Rückständen überflüssig wird. Schließlich ist die stetige Betriebsbereitschaft des Ferngases ein Vorzug, der für diskontinuierlich arbeitende Betriebe von ganz besonderem Wert ist. Welche Position heute das Ferngas und das Kokereigas als Direktbezug im Rahmen der übrigen gasförmigen Brennstoffe einnimmt, zeigt Bild 7. Der Anteil beträgt 50 %, und zwar bezogen auf Nm^3 mit einer Verbrennungswärme von 4300 kcal. Einen relativ hohen Prozentsatz macht das Hochofengas aus, das bei der Roheisenerzeugung zwangsläufig anfällt und natürlich auch untergebracht werden muß. Dagegen ist der Anteil des Generatorgases, das auch das Unterfeuerungsgas für die Kokereiöfen enthält, verhältnismäßig gering.

Mit der Bewertung des Ferngases allein nach dem Effekt der Energieumwandlung an der Verwendungsstelle ist die Betrachtung der wärmewirtschaftlichen Grundlagen noch nicht abgeschlossen. Wie Tabelle 2 zeigt, betrug 1956 der Anteil der Kohle an der dargebotenen Primärenergie insgesamt 92 %, während die anderen Energieträger eine untergeordnete Rolle spielten. Da mithin alle in Frage kommenden Brenngase aus der Kohle hervorgegangen sind, ist bei einem wärmewirtschaftlichen Vergleich letztlich ausschlaggebend, welche Energiemenge primär in Form von Kohle notwendig ist, um über irgendeinen Wärmeträger eine bestimmte Wärmemenge beim Verbraucher nutzbar zu machen. Das entspricht der Ermittlung des Gesamtwirkungsgrades, der sich ergibt bei der ersten Umwandlung aus der Ursprungsenergie Kohle (Entgasung, Vergasung) und aus der bereits besprochenen zweiten Umwandlung in fühlbare Wärme (Verbrennung). Dazu zeigt Tabelle 2 noch die interessante Tatsache, daß nur 48 % einer Veredlung, die ja neben der Stromerzeugung jede Gas-erzeugung aus der Kohle zweifellos darstellt, zugeführt werden. Betrachtet

Tabelle 2. Primärenergieträger im Bundesgebiet 1956

Primärenergie	Anteil %
Steinkohle	77,0
Braunkohle	15,0
Wasserkraft	3,3
Erdöl, Erdgas, Grubengas	3,2
Holz, Torf	1,5
Kohleenergie	$1150 \cdot 10^{12}$ kcal
a) Direkt verfeuert	52 %
b) Veredelt über Kokereien, Gaswerke, öffentl. Eltwerke	48 %
Gesamtenergie	$1250 \cdot 10^{12}$ kcal

man nun zunächst das aus der Entgasung der Kohle stammende Ferngas, so ist hier der erste Umwandlungswirkungsgrad gleich dem Entgasungswirkungsgrad, der sich aus der Kokereibilanz ergibt. Legt man Schwachgasbeheizung mit Koks-Generatorgas zugrunde, erhält man aus 100 % Einsatzkohle folgende Wärmeanteile in runden Zahlen:

Gas	20 %
Koks	59 %
Teer, Benzol	5 %
Sa.:	<u>84 %</u>

Der Umwandlungswirkungsgrad bei der Gaserzeugung beträgt somit 84 %. Mit diesem Wert sind die feuerungstechnischen Wirkungsgrade zu multiplizieren, um die thermische Ausnutzung der Primärenergie Kohle über den Wärmeträger Ferngas bis zur Nutzwärme

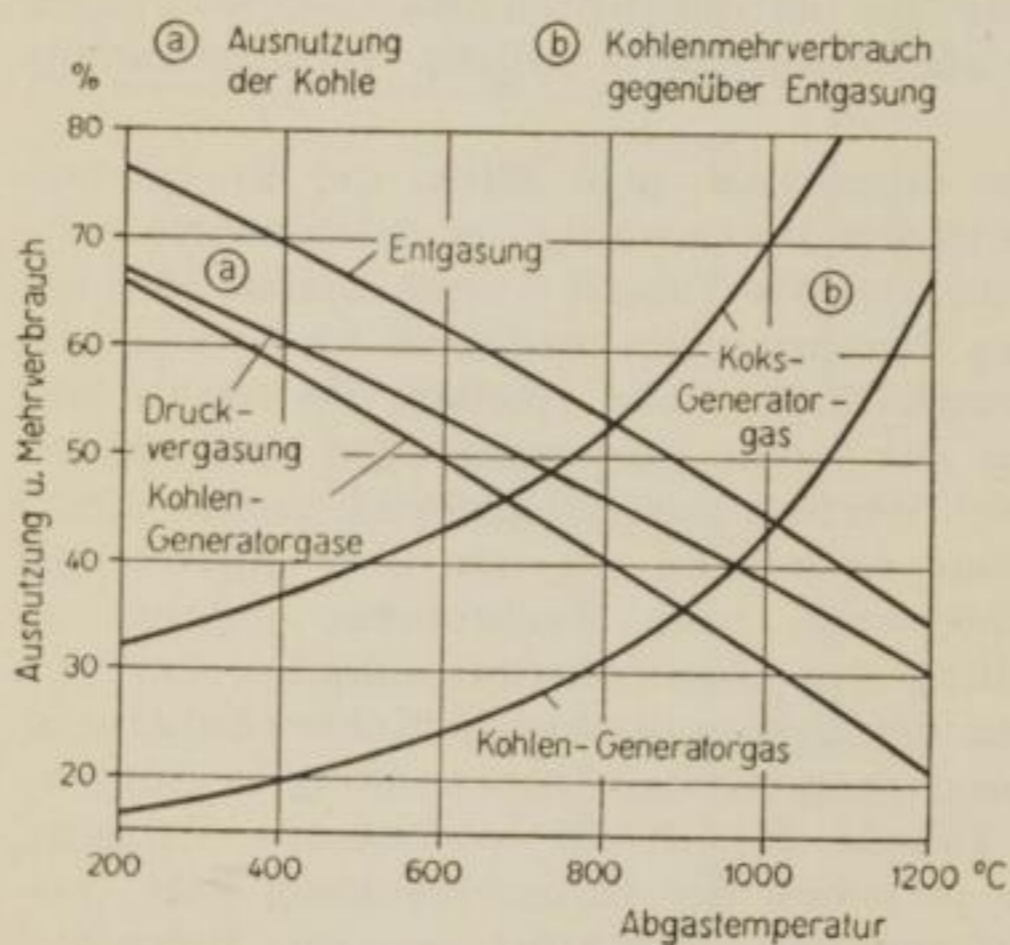


Bild 8. Ausnutzung der Primärenergie Kohle über verschiedene Wärmeträger

in der Ofenlage zu erhalten. In Bild 8 ist die Ausnutzung in % über der Abgastemperatur aufgetragen. Untersucht man die Verhältnisse über einen anderen Wärmeträger, z. B. über Generatorgas, so ergibt sich hier der Wirkungsgrad der 1. Umwandlung offenbar aus der Vergasungsbilanz. Letztere ist in hohem Maße abhängig von der Kohlenqualität, von der Betriebsweise (Dauerbetrieb oder nicht) und vor allem von der Belastung. Wenn bei voller Belastung Wirkungsgrade von 80 % erzielt werden können, so betragen sie bei halber Last nur noch etwa 50 %. Daher ist das hier eingesetzte Mittel von 75 % für Kohlen-Generatorgase schon ein recht günstiger Wert. Die Ausnutzung der Kohle (Kurve a) über Generatorgas zeigt die untere und die über Ferngas die obere Kurve. Aus beiden erhält man einen Mehrverbrauch an Kohle über den Wärmeträger Kohlen-Generatorgas, der stark mit der Abgastemperatur anwächst und bei 1000 °C ca. 45 % beträgt. Bei Koks-Generatorgas ist der Mehrverbrauch noch größer, da hier der Wirkungsgrad der 1. Umwandlung durch den des Kokes (84 %) verringert wird und nur etwa 65 % beträgt. Aus diesen Angaben geht hervor, daß die Hochtemperaturentgasung eine hohe thermische Ausbeute liefert, die von anderen Kohleveredlungsverfahren nicht erreicht wird. Dieses wärmeökonomisch hervorragende Ergebnis der Entgasung wird oft von der Stromseite mit dem Einwand angegriffen, daß nur das Gas als „Ausbringen“ betrachtet werden dürfe und der Koks und die Kohlenwertstoffe mit ihren Wärmegehalten von dem der eingesetzten Kohle in Abzug gebracht werden müßten. Eine solche Betrachtungsweise, bei der der Kokereiofen nur als „Gaserzeuger“ angesehen wird, ist abwegig, denn

Koks
verkn
kon
W
kan
gang
Damp
Endp
wird
ander
Endst
brauch
Koppel
wärme
Entgas
wärme
rücksi
mit 80
Linie
der 2.
Summe
viel an
gang

Bild 8

Koks, Gas und Kohlenwertstoffe sind als Kuppelprodukte eng miteinander verknüpft, und der Wert des einen Produktes bestimmt sowohl wärme- wie kostenmäßig den Wert des anderen. Da alle Erzeugnisse gleichermaßen an dem Wärmeverbrauch für die Unterfeuerung und an den Verlusten beteiligt sind, kann man nicht beliebig ein Produkt davon ausnehmen. Bei der Stromerzeugung liegen die Verhältnisse insofern einfacher, als der Veredlungsprozeß im Dampfkraftwerk bis zur Asche durchgeführt wird und der Strom alleiniges Endprodukt ist. Die Wirkungsgrade beider Umwandlungsprozesse – der Strom wird hier als Wärmeträger betrachtet – können daher sinngemäß nur miteinander verglichen werden, wenn neben gleicher Ausgangsstufe auch gleiche Endstufe zugrunde gelegt wird. Letztere ist die Nutzwärme beim Endverbraucher, d. h., alle bei der Umwandlung erzeugten Wärmeträger, also auch die Kuppelprodukte des Gases, in erster Linie der Koks, müssen bis zur Nutzwärme bilanzmäßig erfaßt werden. Das ist in Bild 9 geschehen. Der bei der Entgasung anfallende Koks und das Gas wurden auf ihrem Wege bis zur Nutzwärme beim Endverbraucher verfolgt, während die Kohlenwertstoffe unberücksichtigt blieben. Als Endverbraucher für das Gas wurde ein Industrieofen mit 800 °C Abgastemperatur angenommen und für den Koks, der in erster Linie im Hochofen und im Heizungskessel eingesetzt wird, ein Wirkungsgrad der 2. Umwandlung von nur 60 % zugrunde gelegt. Trotzdem ergibt sich als Summe der Nutzwärme eine Ausnutzung der Einsatzkohle von 48 %, also nicht viel anders als bei der vorherigen Ermittlung nach Bild 8. Bei der Stromerzeugung beträgt der mittlere Wirkungsgrad der 1. Umwandlung laut Statistik

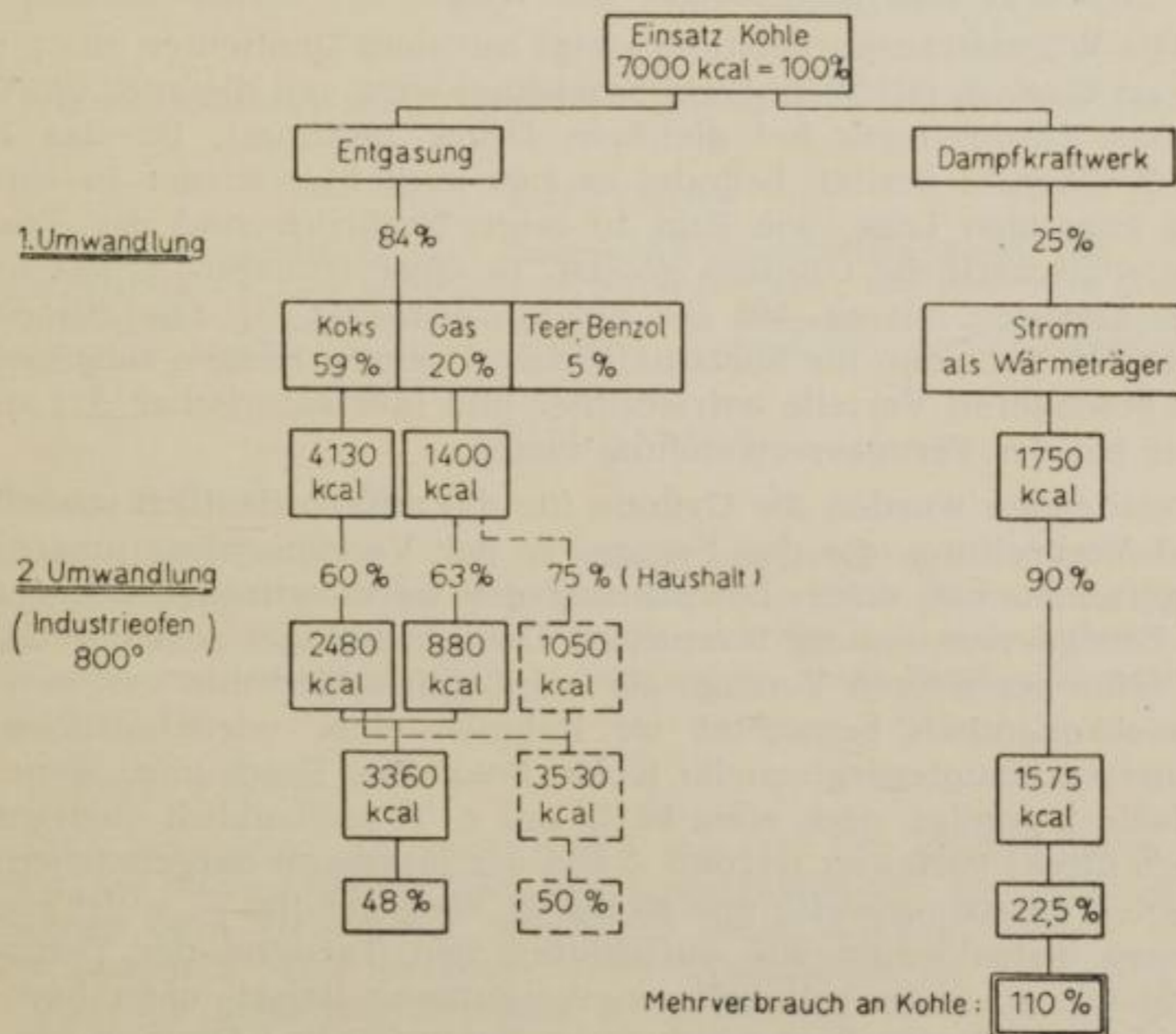


Bild 9. Kohleausnutzung über die Wärmeträger Ferngas (Entgasung) und Strom

etwa 25 % und für den bei der 2. Umwandlung (in Wärme) in Betracht kommenden Wirkungsgrad können etwa 90 % als Mittelwert für industrielle Wärmeanwendung angesetzt werden. Damit erhält man eine thermische Ausnutzung der Kohle über Strom als Wärmeträger von nur 22,5 %, d. h., es muß primär etwa die doppelte Kohlenmenge eingesetzt werden, wenn der gewünschte Wärmeprozess mit Strom anstatt mit Kokereigas durchgeführt wird.

Nach dieser kurzen Abschweifung — es sollte ja nicht der Strom als Wärmeträger behandelt werden — bliebe noch eine kurze Betrachtung des aus der Druckvergasung mit Sauerstoff stammenden Ferngases. Dieses Gas ist, gleich, ob es aus der Steinkohle oder aus der Braunkohle stammt oder ob es mit Methan angereichert werden muß oder nicht, qualitätsmäßig durchaus dem Entgasungsgas gleichzusetzen. Der Wirkungsgrad der ersten Umwandlung ist allerdings niedriger, und die Kurve der Kohleausnutzung bis zum Endverbraucher liegt nach Bild 8 entsprechend tiefer. Bei hohen Arbeitstemperaturen ist jedoch der Unterschied zum Ferngas, das aus der Entgasung stammt, nicht erheblich, so daß die hier besprochenen wärmewirtschaftlichen Vorteile mehr oder weniger auch auf die Druckvergasung zutreffen.

Auf Grund der durchaus günstigen Position des Ferngases innerhalb der übrigen Brennstoffe konnte es nun auch, wie die Vergangenheit gelehrt hat, ohne weiteres zusätzliche Belastungen durch Aufwendungen beim Ferntransport vertragen. Hier ist die Tatsache von Bedeutung, daß durch eine Rohrleitung bestimmten Durchmessers und bestimmter Länge bei gleichem Energieaufwand eine um so größere Wärmemenge transportiert werden kann, je höher der Heizwert und je niedriger die Wichte des fortzuleitenden Brenngases ist. Die Wärmetransportleistung steigt mit dem Quotienten $Hu/\sqrt{\gamma}$, eine Größe, die im Gasfach mit Wobbezahl bezeichnet wird und die auch die Wärmeleistung eines Gasbrenners bei gleichem Druck bestimmt. Da das Ferngas eine hohe Wobbezahl besitzt, befindet es sich auch hier wieder in einer ausgesprochen günstigen Lage, wie Bild 10 zeigt. Natürlich sind der Transportentfernung wirtschaftliche Grenzen gesetzt. In einer früheren Arbeit hat Verfasser diese Grenzen mit ca. 300 bis 400 km ermittelt [3]. Das gilt natürlich nur näherungsweise, denn die wirtschaftlichen Grenzen hängen sehr viel davon ab, welche besonderen Vorteile betrieblicher und fabrikatorischer Art sich dem Gasbezieher bei der Ferngasverwendung bieten.

Im Vorstehenden wurden die Gründe für die außerordentlich schnelle Aufnahme und Verbreitung, die das Ferngas in der Vergangenheit innerhalb der Industrie gefunden hat, durch Betrachtung der wärmewirtschaftlichen Grundlagen der Ferngasverwendung beleuchtet. Danach zeichnet sich das Gas nicht nur durch seine besonderen Vorzüge als Brennstoff schlechthin aus, es verdient auch wärmeökonomisch betrachtet im Rahmen einer wirtschaftlichen Ausnutzung unserer Hauptenergiequelle Kohle besondere Beachtung. Wenn heute, wie in Tabelle 2 gezeigt, noch etwa 52 % mit z. T. unglaublich niedrigen Wirkungsgraden direkt verfeuert werden — von der insgesamt dargebotenen Kohlewärme werden schätzungsweise nur 35 bis 40 % ausgenutzt —, so ist angesichts dieser ebenso bedenklichen wie aufschlußreichen Tatsache der Beitrag, den die Gasindustrie zu einer rationelleren Ausnutzung liefert, nicht hoch genug zu veranschlagen. Ob das Ferngas auch in Zukunft seine Position als überall geschätzter Industriebrennstoff im gleichen Umfange beibehält, weiß man nicht.

Schon zeichnen sich bestimmte Verlagerungen ab, die auf vermehrte Anwendung von Heizölen zurückzuführen sind, und es bleibt abzuwarten, ob diese Konkurrenz auf die Dauer fühlbar wird. Nur eins ist sicher; sie wird es bestimmt nicht auf allen Gebieten der Wärmeverwendung sein.

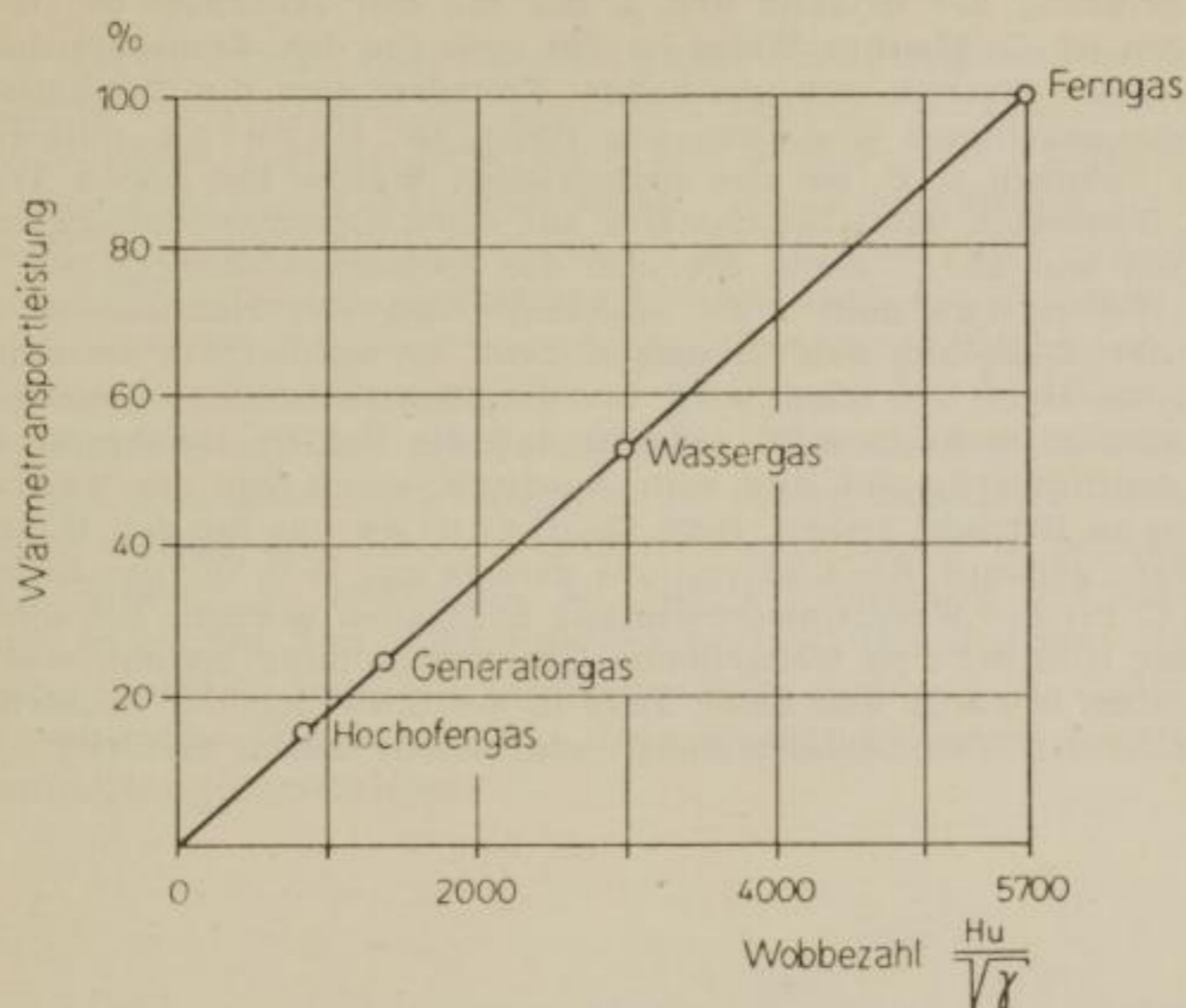


Bild 10. Wärmetransportleistung bei der Fortleitung von Brenngasen (Ferngas = 100 %)

Literatur

- [1] Aus der Festschrift: 25 Jahre Ruhrgas Aktiengesellschaft. Essen, 1951.
- [2] HERNING, FR.: Die Leuchtflamme in Industrieöfen. Gas (1942) H. 8 und 9.
- [3] HERNING, F.: Besondere hydraulische und wirtschaftliche Gesichtspunkte beim Entwurf und Betrieb von Ferngasleitungen. Gesammelte Berichte — Ruhrgas (1953) H. 3.

Diskussion

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Dr. Herning für seinen interessanten Vortrag. Ich darf darauf hinweisen, daß eine Anzahl der gezeigten Bilder in ihrer Darstellung für uns recht wertvolle Anregungen bringen. Ihr Vortrag war für uns eine Dokumentation des übergeordneten energiewirtschaftlichen Denkens in einer Form, die entschieden neu und interessant ist.

Dr.-Ing. KIESEL, Leipzig:

Von ganz besonderem Interesse waren mir an den Ausführungen von Herrn Dr. Herning seine Angaben über den Endwirkungsgrad der verschiedenen Gase bzw. Energien beim Verbraucher. Wir haben selbst in dieser Hinsicht schon Untersuchungen angestellt, und ich habe in der „Energietechnik“ vom April 1955 eine Tabelle über die gesamtenergetischen Wirkungsgrade verschiedener Energieträger für verschiedene Wärmezwecke veröffentlicht, abgeleitet aus den Erzeugungs-, Verteilungs- und Verbrauchswirkungsgraden, und zwar bezogen auf Rohbraunkohle. Es

ist sicher interessant, die Ergebnisse, zu denen Herr Dr. Herning gekommen ist, und unsere eigenen Ergebnisse ganz kurz miteinander zu vergleichen. Bei diesem Vergleich ist aber zu berücksichtigen, daß bei unseren eigenen Zahlen von der Rohkohle ausgegangen worden ist, daß also, wenn wir z. B. von den Briketts ausgehen, bereits 1. der energetische Aufwand für die Gewinnung der Rohkohle, 2. der für die Verpressung der Briketts und 3. der für den Transport der Briketts usw., mit einbezogen ist. In gleicher Weise ist das auch für den Transport des Gases, für den Transport des Stromes usw. geschehen. Trotzdem sind die Ergebnisse, zu denen wir seinerzeit gekommen sind, den von Herrn Dr. Herning mitgeteilten recht ähnlich. Wir kommen z. B. bei der industriellen Wärme mit hohen Temperaturen, für Glühen, Schmelzen usw., für das Gas auf einen Gesamtwirkungsgrad von 30 %, für den Strom von 15 %. Wenn Sie also die Zwischenwirkungsgrade, die in den Zahlen Dr. Hernings noch nicht enthalten sind, mit einbeziehen, nämlich die Gewinnung der Rohkohle, den Transport usw., so werden Sie feststellen, daß zu den 22,5 %, die Herr Dr. Herning für die Elektroenergie angegeben hat, kein großer Unterschied mehr besteht, sondern daß die Zahlen annähernd übereinstimmen. Noch deutlicher kommt dies zum Ausdruck, wenn wir die Wärmeversorgung des Haushalts in Betracht ziehen. Herr Dr. Herning hat für den Haushalt Zahlen von 48 bis 50 % genannt. Sie sind von uns damals mit 35 % für das Kochen und mit ungefähr 50 % für die Warmwasserbereitung angegeben worden. Sie sehen also, daß auch in dieser Hinsicht eine weitgehende Übereinstimmung besteht, was die beiderseitigen Angaben bestätigt und beide Teile in der Sicherheit der Beurteilung, die sie diesen energetischen Verhältnissen haben angedeihen lassen, bestärkt.

Technische und wirtschaftliche Probleme der Lieferung von Raumheizgas

Von HANS KIESEL, Leipzig

Wenn ich hier feststelle, daß bei dem gegenwärtigen Stand der Versorgung der Bevölkerung unserer Republik mit festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen eine Vorliebe für die Beheizung von Wohn- und Fabrikräumen, von öffentlichen Gebäuden und Klima-Anlagen, von Treibhäusern und ähnlichen Objekten mit Gas besteht, die sich in einer zum Teil geradezu leidenschaftlichen Nachfrage nach Raumheizgas äußert, so bin ich auch in der Lage, diese Feststellung mit konkreten Angaben zu belegen. Diese rege Nachfrage beruht einmal auf den unzweifelhaften praktischen Vorzügen, die das Gas als Heizstoff besitzt, zum anderen auf den wirtschaftlichen Vorteilen, die das Gas bei dem in unserer Republik geltenden Gaspreis zu diesen ideellen Vorzügen in die Waagschale zu werfen hat. Heizgas abzusetzen, ist heute in unserer Republik keine Kunst. Worauf es ankommt, ist, die Verwendung des Gases für die Raumheizung in einem den kapazitativen und wirtschaftlichen Belangen der Gasversorgung unserer Republik angemessenen Umfang zu halten und zugleich eine natürliche Überleitung zu dem Einsatz größerer Mengen von Gas für die Raumheizung anzubahnen.

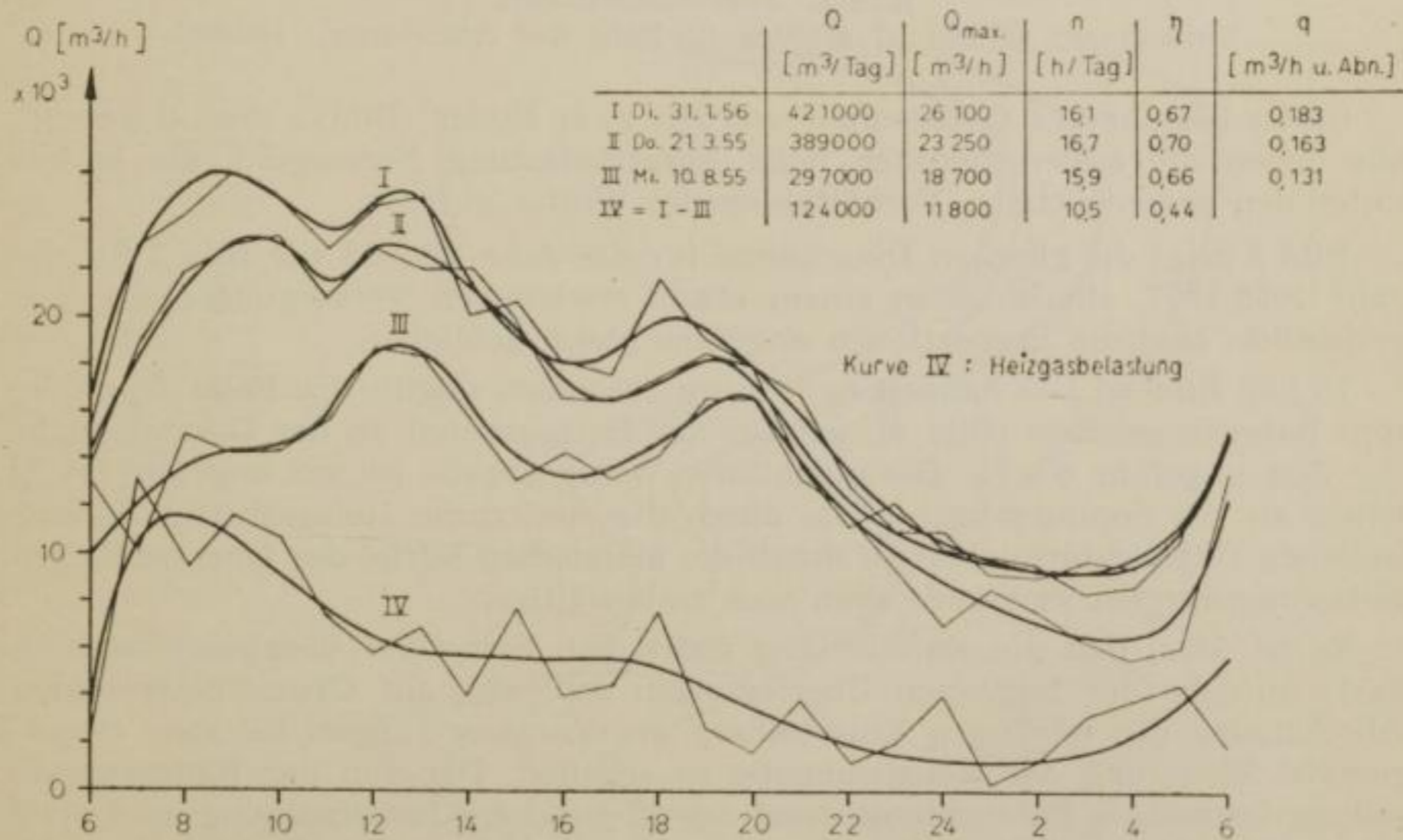


Bild 1. Tagesbelastungen

Einwohner: 620 000, Gaszähler (△ Zahl der Abnehmer): 148 000

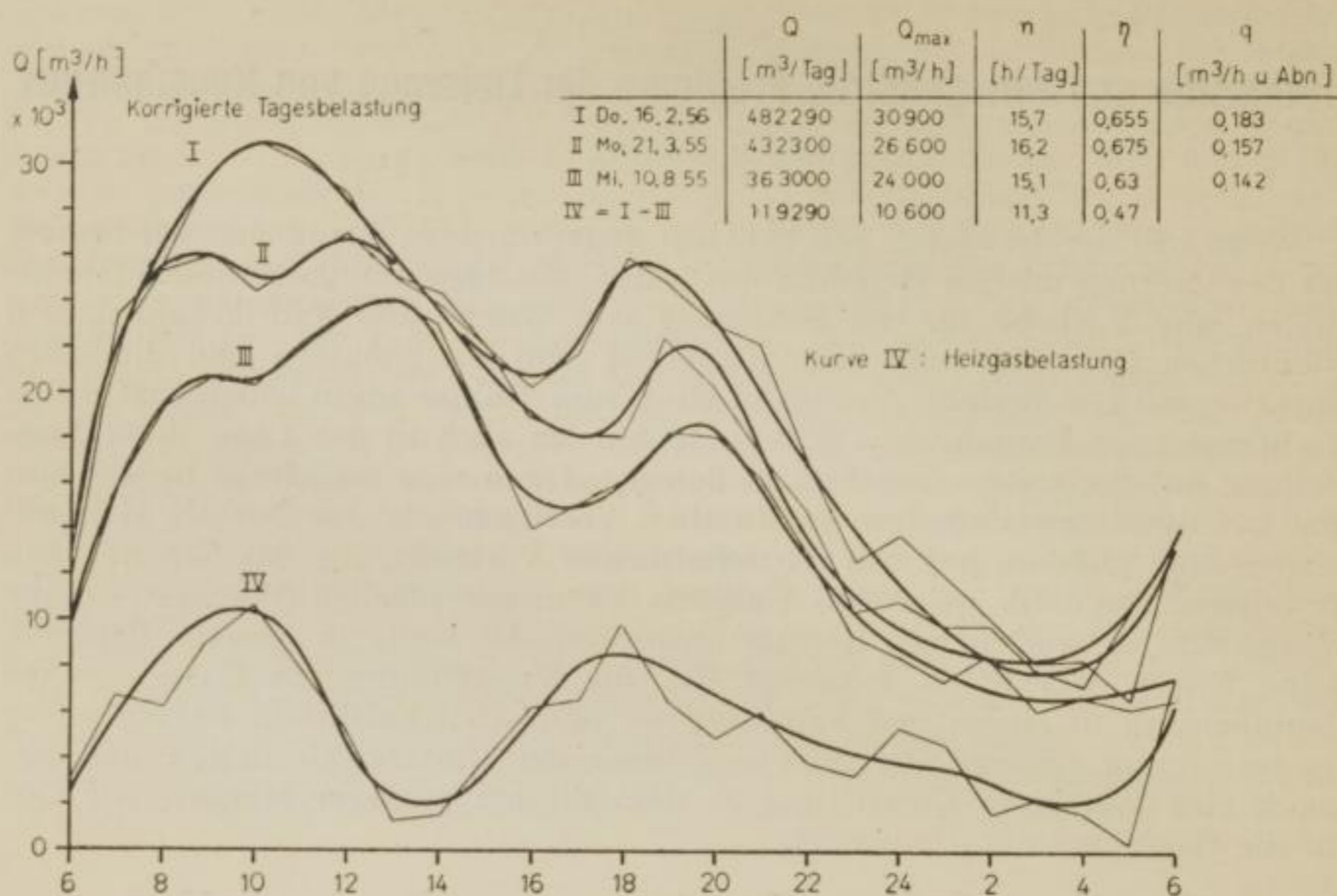


Bild 2. Tagesbelastungen,
Einwohner: 497 000, Gaszähler (Δ Zahl der Abnehmer): 169 000

Schon bei anderer Gelegenheit wurden zwei Bilder (Bild 1 und 2) gezeigt, aus denen die außerordentlich hohe Zusatzbelastung hervorgeht, die bereits unter den gegenwärtigen Verhältnissen im Winter auftritt.

Bild 3 zeigt die gleichen Diagramme für das Jahr 1959/58 wie Bild 2 für das Jahr 1958/1957, allerdings in einem etwas erweiterten Versorgungsraum. Wie ersichtlich, sind die Proportionen ungefähr gleich geblieben.

In den Bildern 1–3 handelt es sich um besonders ungünstige Fälle. In größerem Rahmen gesehen (Bild 4), beträgt der Heizgasanteil an der Gesamtabgabe zur Zeit ungefähr 6,6 %. Die monatliche Winterabgabe ist um ungefähr 14 % höher als die Sommerabgabe. Die durch die zusätzliche Heizgasbelastung entstehende Ungleichförmigkeit ist durch die klassischen Mittel des jahreszeitlichen Belastungsausgleiches gerade eben noch zu bewältigen.

Es ist klar, daß die Entwicklung nicht dem Selbstlauf überlassen werden darf. Aufgabe der folgenden Überlegungen soll sein, auf Grund einer realen Abschätzung der künftigen Entwicklung die Voraussetzungen für eine zweckgemäße Steuerung der Heizgasabgabe zu schaffen. Der von der Hauptgasverteilung festgelegte Entwicklungstrend der öffentlichen Gasversorgung wird etwa folgendermaßen verlaufen (Bild 5 und 6). Der angenommene Verlauf trägt der Tatsache Rechnung, daß der Einsatz größerer Mengen von Raumheizgas erst möglich ist, wenn die Gasdarbietung eine entsprechende Steigerung erfahren hat. Es kann wohl sein, daß die Steigerung der Heizgasabgabe früher eintritt als die Trendkurven aufzeigen. Für die folgende Betrachtung ist jedoch ihr zeitlicher Ablauf ohne wesentliches Interesse. Die Entwicklung wurde auf eine

	Q [m ³ /tag]	Q_{max} [m ³ /h]	n	η
I Do. 12,259	773 600	48 400	16,0	0,667
II Do. 22,159	682 500	41 000	16,6	0,692
III Mi. 9,758	536 100	36 600	14,6	0,609
IV = I - III	237 500	15 400	15,4	0,643

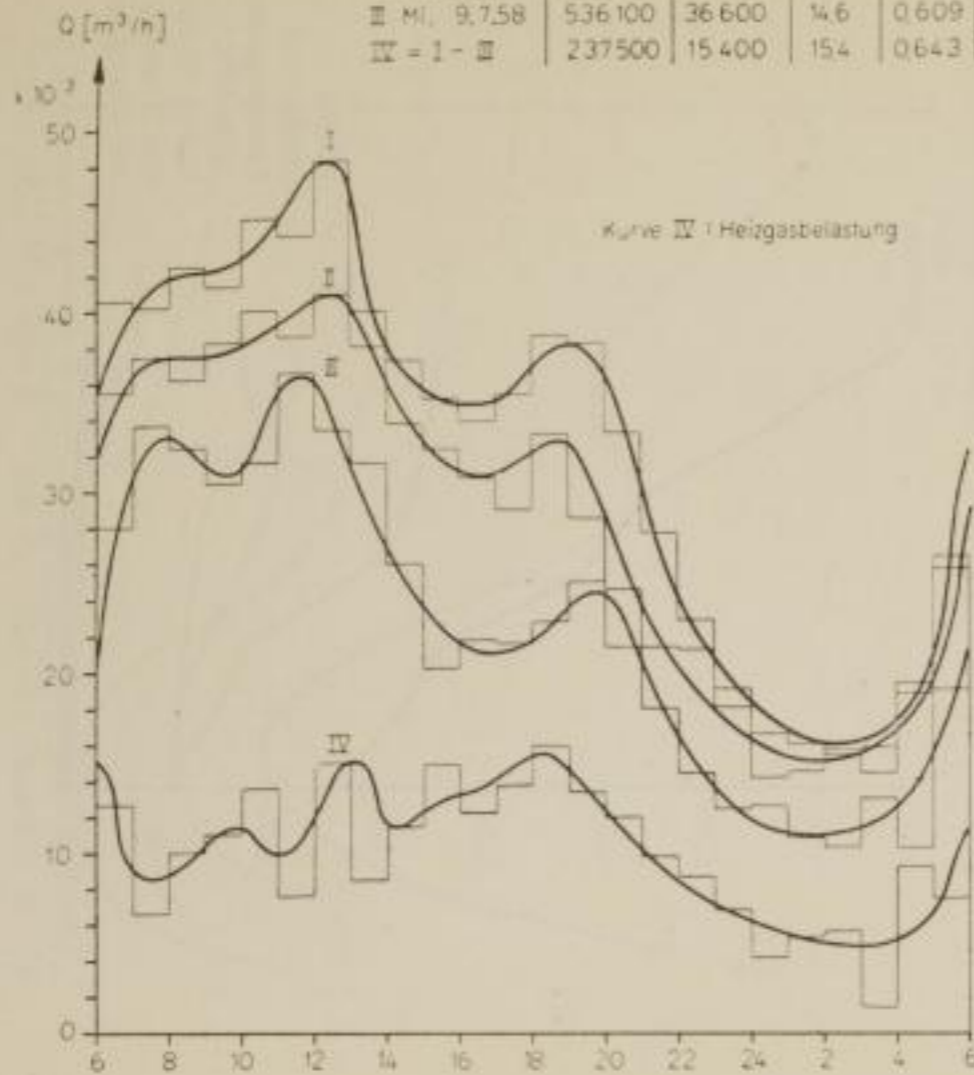


Bild 3. Tagesbelastungen

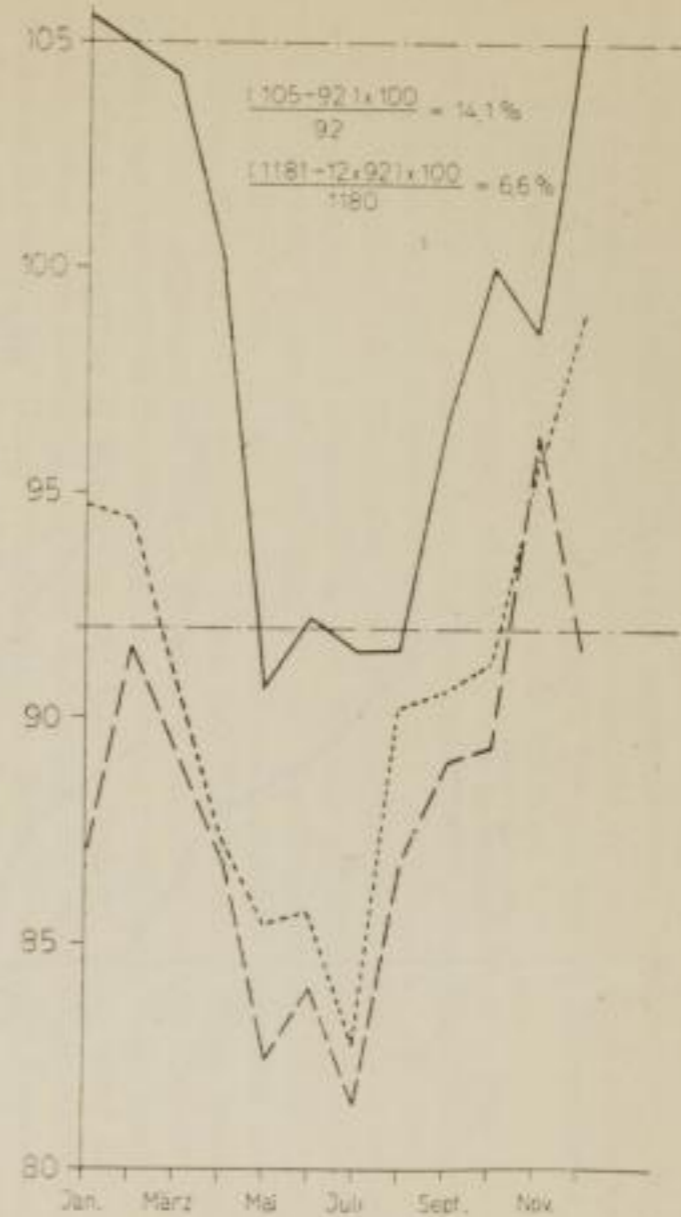


Bild 4. Gasabgabe eines Versorgungsbereiches in der DDR 1956-1958

Probleme der Lieferung von Raumheizgas

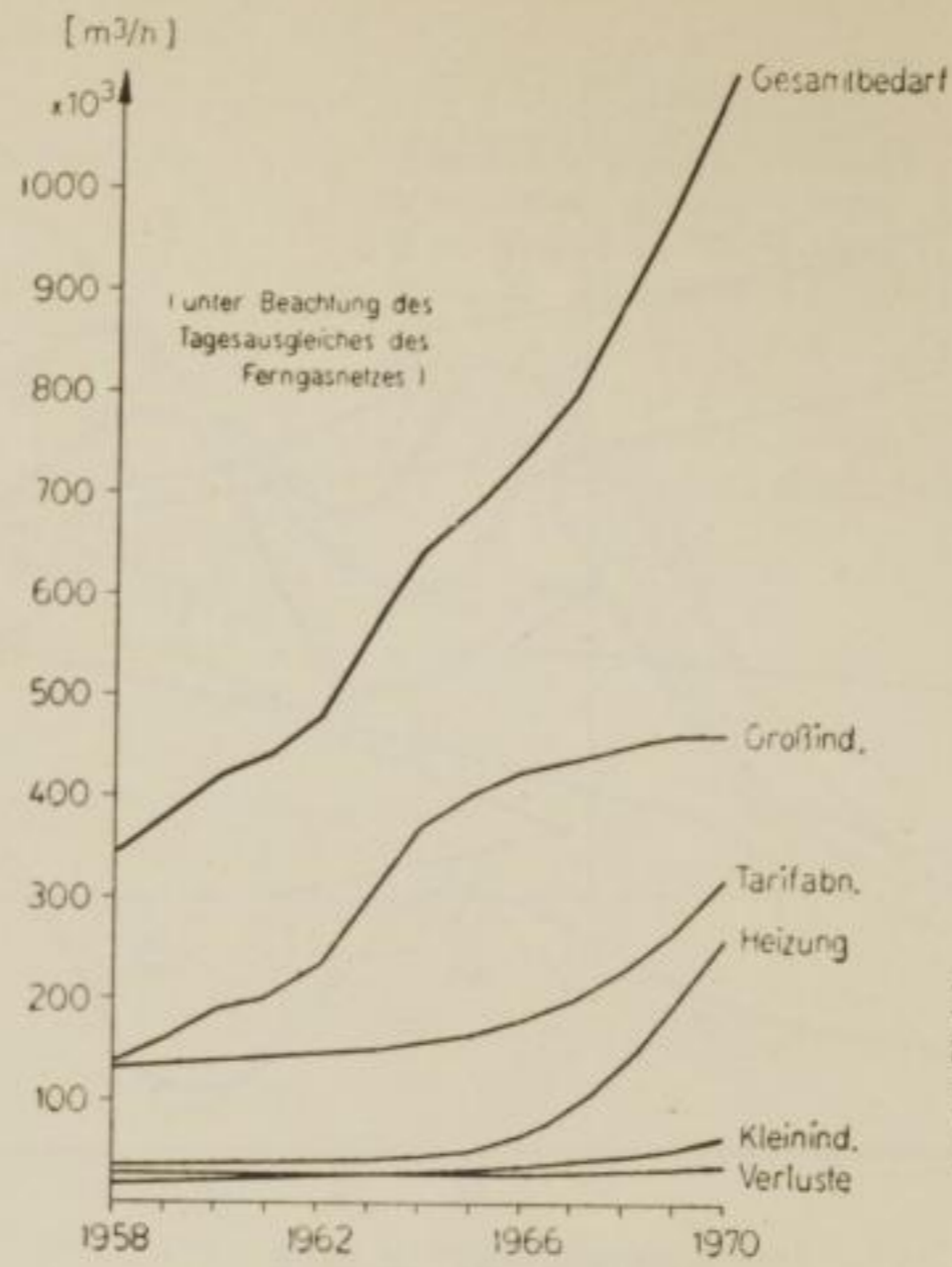


Bild 5
Stadt- und
Ferngasabsatz
1958–1970

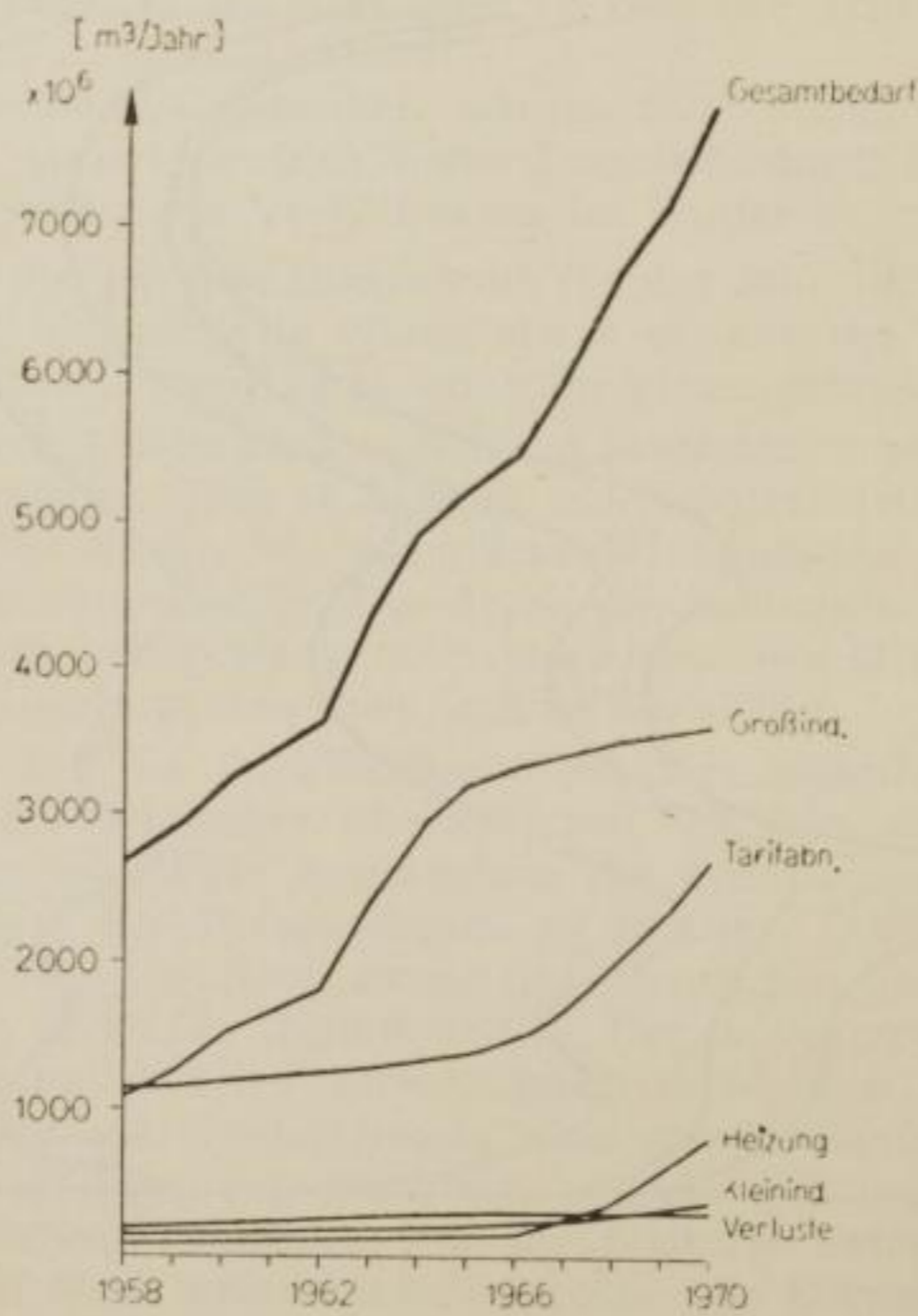


Bild 6
Stadt- und
Ferngasabsatz
1958–1970
(unter Beachtung
des Tagesausgleiches
des Ferngaswerkes)

Heizung
An
der
zu
In
Löhne
auf de
ung
kung
Ein C
schätz
Million
1,5 t B
geset
völker
gaben
Indust
ungefä

Heizgasabgabe abgestellt, die von dem gegenwärtigen, bei etwa 6 0/0 liegenden Anteil des Raumheizgases an der Gesamtabgabe im Laufe der Zeit bis zu 10 0/0 der gesamten Gasdarbietung, die ihrerseits für den Zweck dieser Betrachtung zu 7,8 Milliarden m³/Jahr angesetzt wurde, ansteigt.

In Laienkreisen herrschen vielfach unklare Vorstellungen über die Möglichkeiten, die der Gasraumheizung geboten sind. Diese Vorstellungen fußen auf den vor einigen Jahren herausgegebenen Mitteilungen, die einer Berichtigung bedürfen. Das Maximum des Raumheizbedarfs liegt bei voller Deckung des gesamten Wärmebedarfs, der für die Raumheizung benötigt wird. Ein Überschlag dieser Mengen genügt, um die Grenzen des Möglichen abzuschätzen. Wir haben in der Deutschen Demokratischen Republik mit rund 6 Millionen Haushalten zu rechnen. Wenn der Winterbedarf eines Haushaltes zu 1,5 t Briketts angenommen und 1 kg Brikett äquivalent einem Kubikmeter Gas gesetzt wird, so würde die Befriedigung des Raumheizbedarfs der gesamten Bevölkerung wenigstens 9 Milliarden m³ Gas erfordern. Man wird nicht fehlgehen, wenn man annimmt, daß die Beheizung der öffentlichen Gebäude, der Industriebetriebe, der Unternehmungen des Handels und des Gewerbes usw. ungefähr die gleiche Summe in Anspruch nehmen dürfte. Der industrielle und

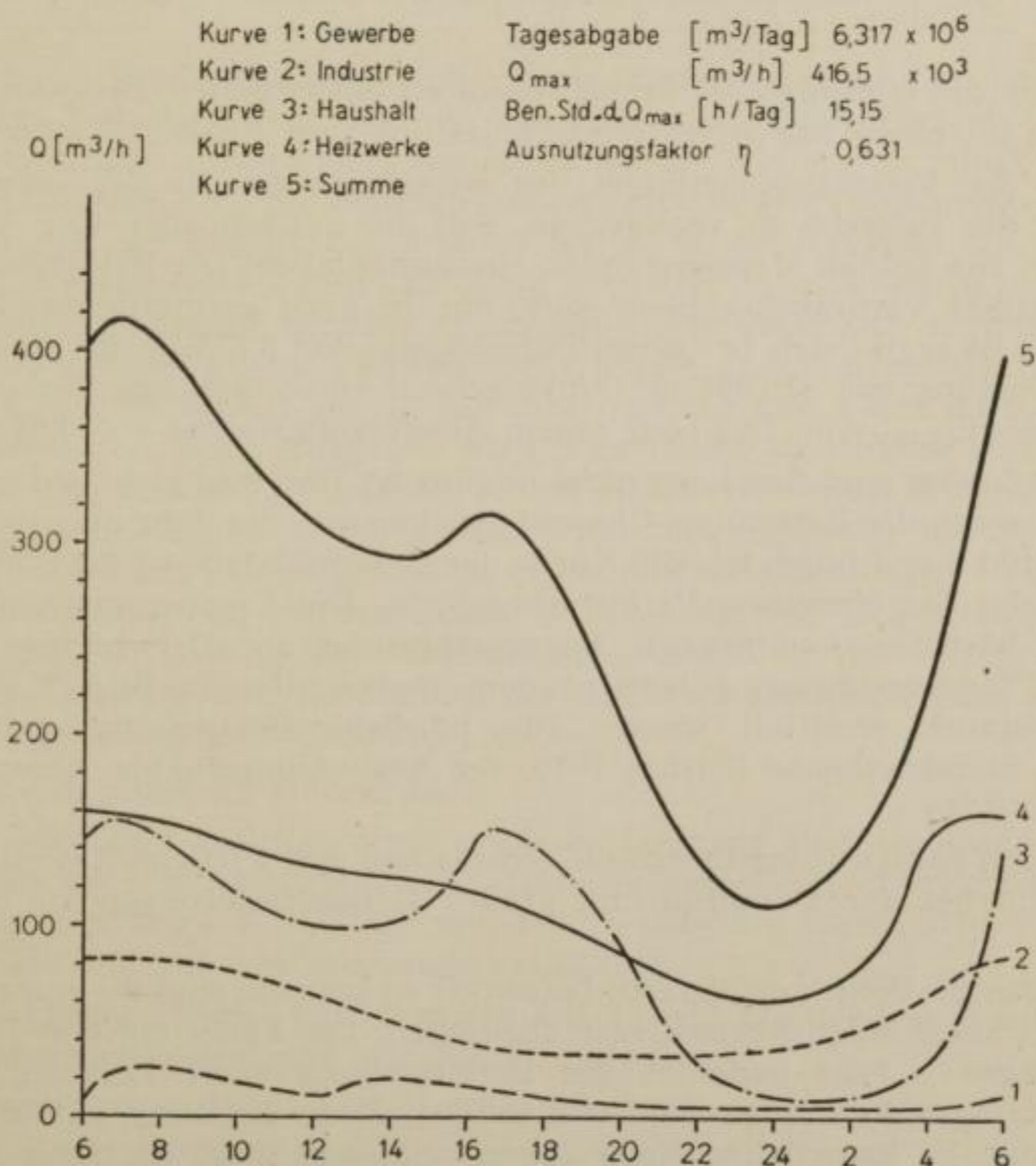


Bild 7. Tagescharakteristik der Heizgasabgabe Winterbelastung : Werktag

gewerbliche Wärmebedarf, der jetzt zum Teil aus Ferngas, zum Teil aus Generatorgas, zum Teil durch Kohle direkt gedeckt wird, wird mindestens die gleiche Summe betragen. Hinzu kommt der Haushaltbedarf für Küche, Bad, Kühlung etc., so daß sich ein Gesamtbedarf von rund 30 Milliarden m^3 Gas/Jahr ergibt. Wenn auch diese Zahl keinen Anspruch auf Genauigkeit erhebt, so gibt sie doch zweifellos einen Begriff von der Größenordnung der in Frage stehenden Wärmesumme.

Es ist bekannt, daß gegen Ende des vierten Fünfjahrplanes mit einer in der öffentlichen Gasversorgung umzuschlagenden Produktion von rund 8 Milliarden m^3 /Jahr zu rechnen ist. Im Rahmen dieser Summe habe ich in den folgenden Überlegungen für die Raumheizung 780 Mill. m^3 /Jahr angesetzt. Diese 780 Mill. m^3 /Jahr sollen sich wie folgt verteilen (Tabelle 1).

Tabelle 1

Haushalt- Einzel-Anlagen		Gewerbe- Einzel-Anlagen		Heizwerke		Industrie		zusammen	
10^6 $\text{m}^3/\text{J.}$	10^3 m^3/h	10^6 $\text{m}^3/\text{J.}$	10^3 m^3/h	10^6 $\text{m}^3/\text{J.}$	10^3 m^3/h	10^6 $\text{m}^3/\text{J.}$	10^3 m^3/h	10^6 $\text{m}^3/\text{J.}$	10^3 m^3/h
270	156	30	24	355	160	125	83	780	416,5

Die für die einzelnen Verbrauchssektoren entwickelten Belastungs-Charakteristiken für einen Tag voller Winterbelastung sind aus Bild 7 zu ersehen.

Trotz der Verschiedenartigkeit des Belastungsverlaufs der einzelnen Sektoren ist die Tatsache zu verzeichnen, daß die Spitzen aller vier Verbrauchsgebiete in den frühen Morgenstunden zusammenfallen. Die Belastung innerhalb der einzelnen Verbrauchsgebiete wird nur in ganz geringfügigem Maße ausgeglichen. Es ergibt sich bei einer Tagesabgabe von 6,3 Mill. m^3 eine maximale Stundenleistung von 416 000 m^3 , entsprechend einer täglichen Benutzungszahl des Q_{max} von 15,2 resp. einem Ausnutzungsfaktor von 0,63.

Diese Zahlen sind durchaus nicht ungünstig. Das Bild sieht jedoch ganz anders aus, wenn die Belastungs-Charakteristiken auf das Jahr abgestellt werden, wie aus Bild 8 ersichtlich ist. Die Kurve der Gesamtabgabe ist die Summenkurve der Abgabe der einzelnen Verbrauchsgebiete. Die Treppenkurve gibt die jeweiligen höchst-vorkommenden Tagesverbrauche an. Der höchste hier dargestellte Tagesverbrauch entspricht dem Bedarf, der in Bild 7 als höchster Tagesverbrauch ermittelt wurde. Die jährliche Benutzungszahl der höchsten Stundenabgabe beträgt 1875, der Ausnutzungsfaktor, bezogen auf das Jahr, also 0,214.

In diesen Zahlen spiegeln sich die technischen und wirtschaftlichen Schwierigkeiten, die bei der Durchführung großer Heizgaslieferungen zu überwinden sind.

Um Energie-Politik erfolgreich betreiben zu können, sind die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten klar abzusehen. Die Lieferung von 780 Mill. m^3 Raumheizgas / Jahr bedeutet die Bereitstellung einer Leistung von rund 400 000 m^3/h ; und nicht nur die Bereitstellung dieser Leistung, sondern auch ihre Fortleitung. Es kann keine Rede davon sein, daß diese Leistung aus irgend-

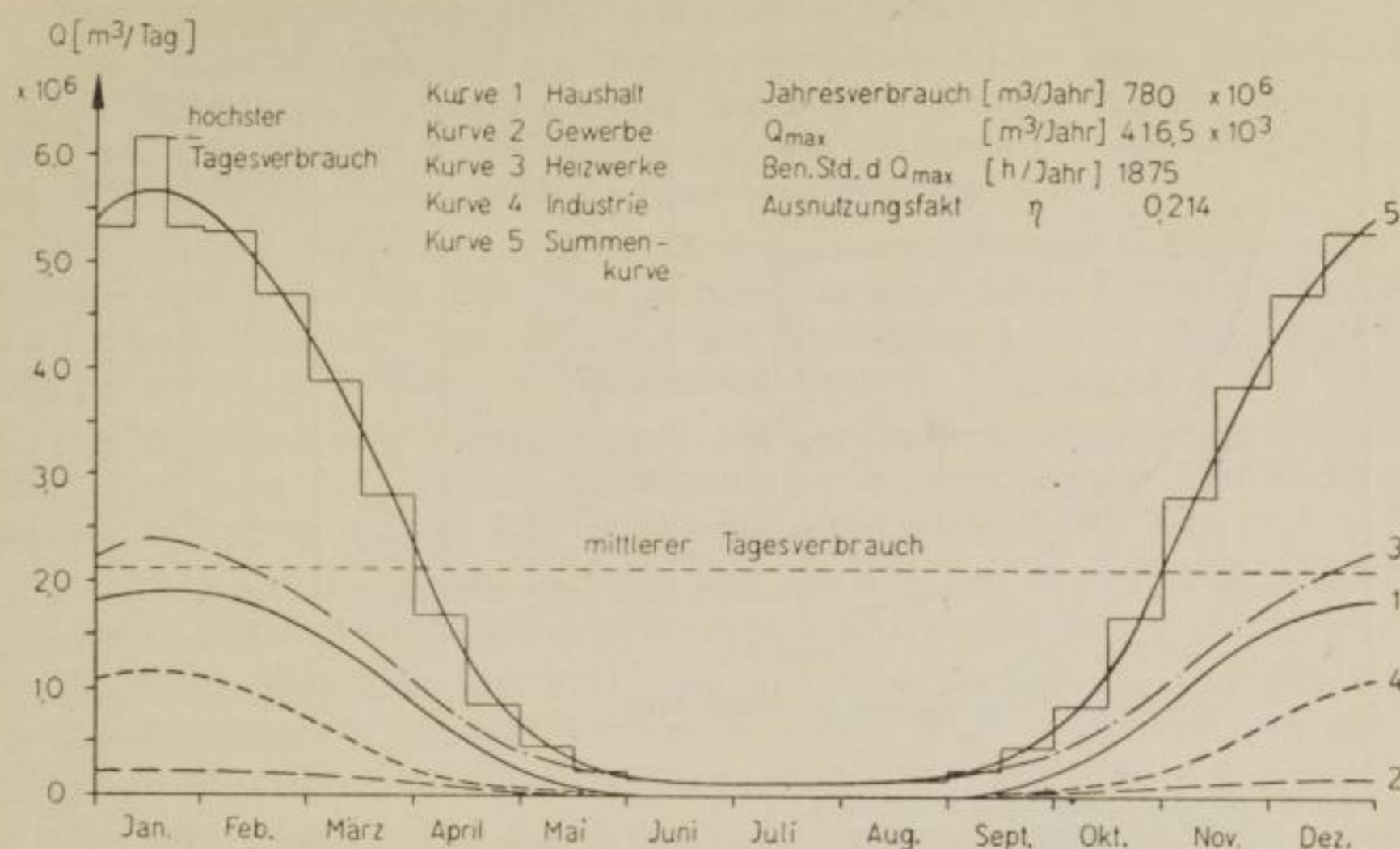


Bild 8. Jahrescharakteristik der Heizgasabgabe

welchen anderen Produktionskapazitäten bzw. Lieferverpflichtungen ganz oder auch nur zum Teil abgezweigt werden kann. Der Industrieverbrauch läuft das ganze Jahr praktisch unverändert durch. Er ist im Winter um einige Prozent höher als im Sommer, weil die kälteren Außentemperaturen einen etwas höheren Wärmeverbrauch der Produktionsprozesse bedingen. Im Haushalt hat man für Küche, Warmwasserbereitung und Kühlung nach den Beobachtungen der letzten Jahre ebenfalls mit einem ziemlich gleichbleibenden Verbrauch zu rechnen. Es mag sein, daß der spezifische Verbrauch für Küche und Warmwasserbereitung im Winter etwas höherliegt als im Sommer, bedingt vor allem durch kältere Wassertemperaturen. Zum Ausgleich wird man jedoch annehmen können, daß da oder dort im Winter an Stelle des Gases Kohle verwendet wird. Auch der Gasverbrauch zum Einkochen im Sommer trägt zum Ausgleich bei. Der Unterschied wird auf keinen Fall so groß sein, daß nennenswerte Mengen Haushaltgas für die Raumheizung frei würden. Auch die Verluste sind jahreszeitlich unabhängig. Sobald man also größere Raumheizgasmengen in Betracht zieht, muß man die Bereitstellung und Fortleitung des Raumheizgases in vollem Umfange als selbständige Leistung in Rechnung stellen.

Es ergibt sich folgender Überschlag:

Für ein Sauerstoff-Druckgaswerk größerer Leistung sind an festen Kosten, das heißt Kosten für Abschreibungen, feste Löhne, technische Gemeinkosten und ähnliche ungefähr 170 DM/Jahr und 1 m^3/h -Leistung anzusetzen, von denen allein rund 120 DM auf Abschreibungen entfallen.

Die beweglichen Kosten belaufen sich auf etwa 2 Pfg/ m^3 . Die gesamte technischen Produktionskosten sind aus Bild 9 zu ersehen.

In der graphischen Darstellung tritt besonders deutlich der ungünstige Einfluß des fallenden Ausnutzungsfaktors auf die Kosten hervor.

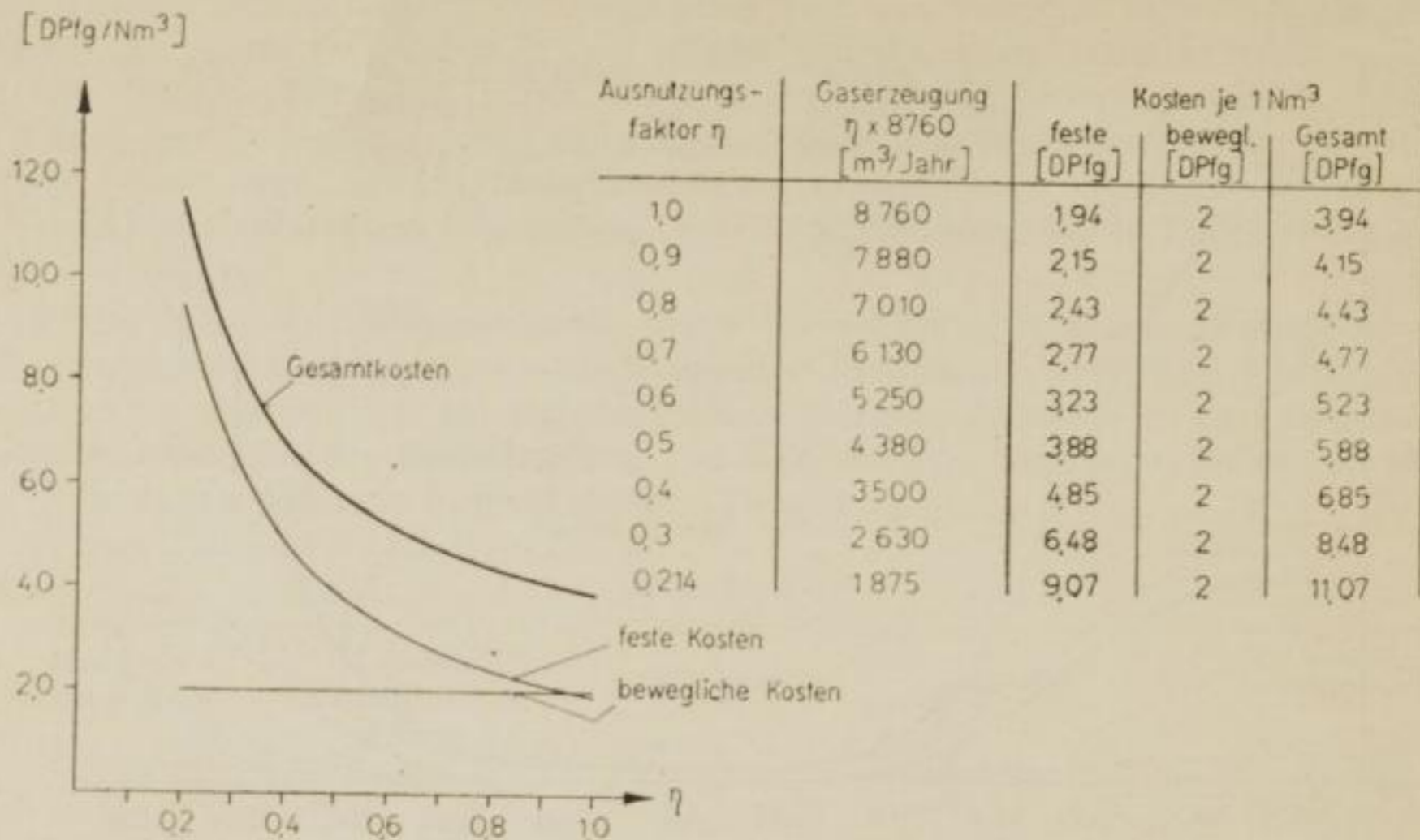


Bild 9. Technische Produktionskosten des O₂-Druckgases

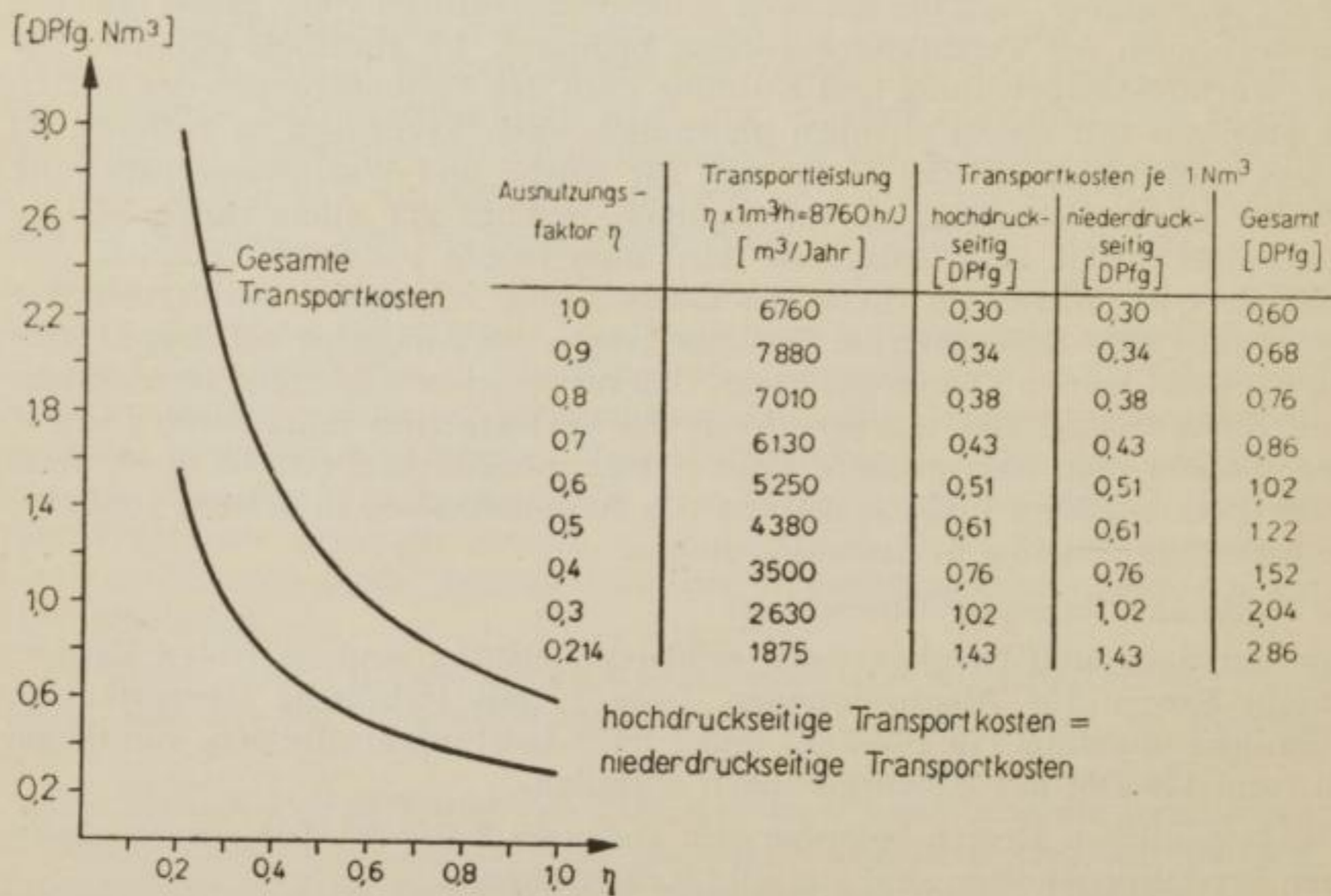


Bild 10. Transportkosten des Ferngases auf 180 km (ohne Verdichtung)

Vom Transport her betrachtet, sieht die Sache folgendermaßen aus:

Die großen Mengen an Raumheizgas, die hier zur Diskussion stehen, werden aus der Ferngasversorgung stammen, und zwar vor allem aus der Lausitz, zum Teil vielleicht auch aus Mitteldeutschland. Ein mittlerer Transportweg des Gases von 180 km wird eher zu niedrig als zu hoch gegriffen sein.

Die mittlere Leitungsdimension im Ferngasnetz unserer Republik wird mit 500 mm NW gerechnet. Die Transportleistung einer 500er Leitung auf 180 km bei einem Druckgefälle von 20 auf 0 atü entsprechend einem $(p_a^2 - p_e^2)$ -Wert von rund 400 ata² beträgt ungefähr 60 000 m³/h.

Die Betriebskosten einer solchen Leitung können einschließlich der Abschreibungen auf 4 0/0 des Anschaffungswertes angesetzt werden. Der letztere beträgt etwa 220 000 DM/lfd. km, für 180 km somit etwa 40 Mill. DM.

Die Transportkosten belaufen sich also auf 4 0/0 von 40 Mill. DM = 1,6 Mill. DM/Jahr, umgelegt auf 60 000 m³/h = 26,66 DM/m³/h und Jahr.

Die Transportkosten des Ferngases auf eine Entfernung von 180 km in einer Ferngasleitung von 500 mm NW bei einem $(p_a^2 - p_e^2)$ -Wert von 400 ata² ohne Verdichtungskosten (O₂-Druckvergasung) gehen aus Bild 10 hervor.

Man wird zweifellos in der Größenordnung der Kostenverhältnisse bleiben, wenn man für die Verteilung zwischen Hochdruck-Übergabestation und Verbraucher in den örtlichen Verteilungsnetzen gleiche Werte annimmt wie für den Hochdrucktransport, so daß sich also die gesamten Transportkosten des Gases zwischen 0,6 und 2,86 Pfg/m³ bewegen, entsprechend Ausnutzungsfaktoren von 1,0 bis 0,214.

Die Kalkulation für das Heizgas ergibt nach diesen Feststellungen, immer unter der Voraussetzung, daß die Lieferung des Heizgases als selbständige Leistung betrachtet wird, einen Gestehungspreis für die technischen Produktions- und Transportkosten von 13,93 Pfg/m³, der sich aus Produktionskosten von 11,07 Pfg und Transportkosten von 2,86 Pfg zusammensetzt.

Dieses Ergebnis befriedigt nicht. Zweifellos günstiger läßt es sich dadurch gestalten, daß mindestens für die Produktionsleistung ein günstigerer Ausnutzungsfaktor herbeigeführt wird. Dies kann nur geschehen auf dem Wege über einen möglichst vollständigen Jahresausgleich, der wiederum am einfachsten durch eine leistungsfähige Speicherung bewerkstelligt wird. Bei vollem Ausgleich würden die Produktionskosten für das Raumheizgas von vergleichsweise 11,07 Pfg/m³ auf 3,94 Pfg/m³ zurückgehen. An zusätzlichen Kosten würden entstehen die Kosten für die unterirdische Speicherung des Gases, das im Sommer auf Lager gelegt, im Winter vom Lager entnommen wird.

Wenn die 780 Mill. m³ Raumheizgas, wie angenommen und zu Eingang der Arbeit dargelegt, innerhalb des Gesamtverbrauchs, also neben dem Haushalt, dem Gewerbe, der Industrie usw., einen Anteil von 10 0/0 ausmachen, so ergibt sich folgendes Jahresbelastungsbild (Bild 11).

Die Ausgleichsleistung, das heißt die Gasmenge, die im Sommer unter, im Winter über dem Jahresmittel liegt, beträgt 375 Mill. m³.

Ein bescheidener Teil dieser 375 Mill. m³ kann durch die üblichen Jahresausgleichsverfahren bewältigt werden. Der Anschaulichkeit halber wird jedoch die folgende Betrachtung auf die vollen 375 Mill. m³ abgestellt. Aus Bild 11

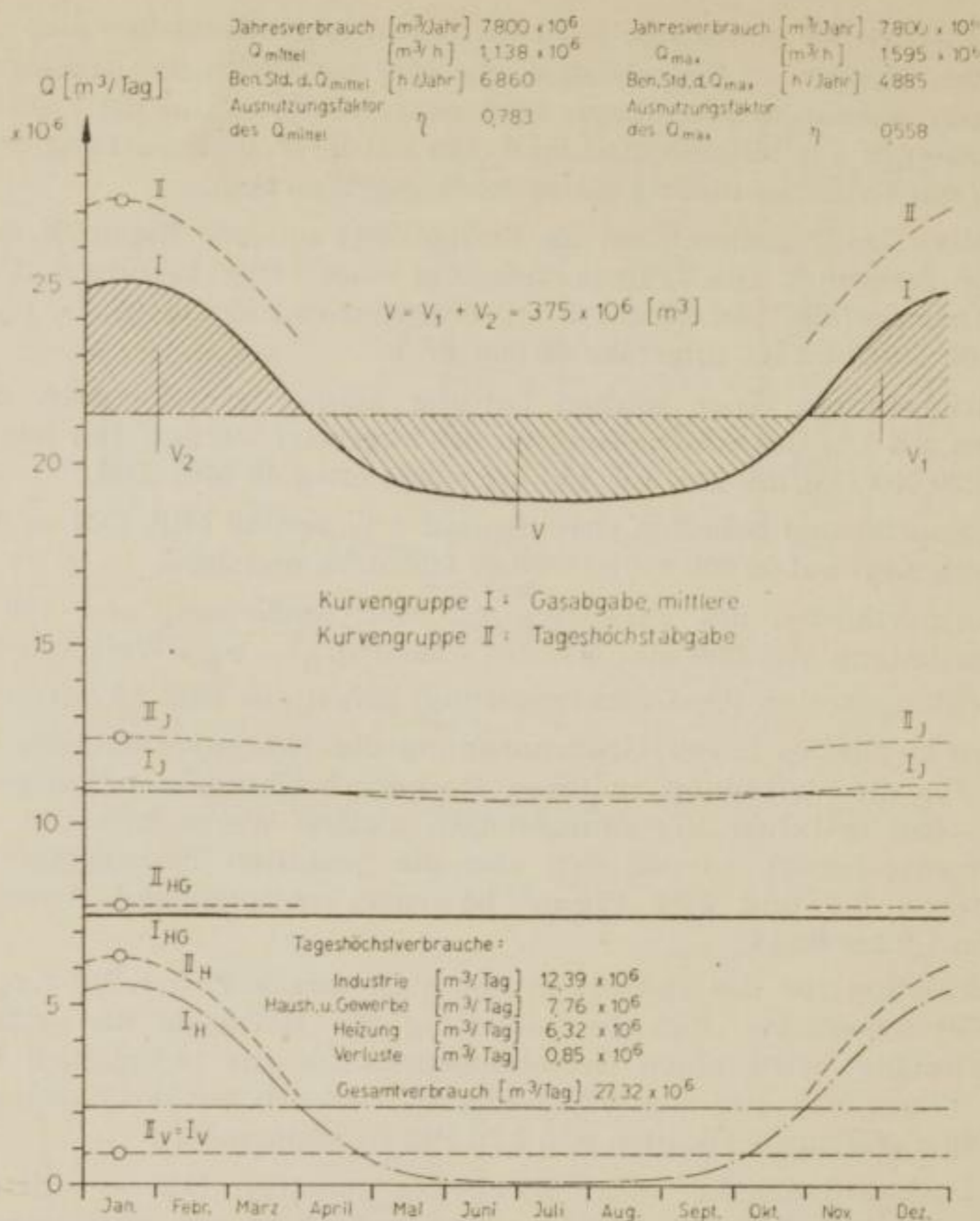


Bild 11. Jahrescharakteristik der Gesamtabgabe (Status 1970, Sta 70)

geht hervor, daß in der Tat das Raumheizgas fast ausschließlich die jahreszeitliche Ungleichförmigkeit hervorruft.

Der unterirdische Speicher soll also ein nutzbares Fassungsvermögen von 375 Mill. m³ erhalten. Die von ihm zu fordernde Leistung ergibt sich aus folgender Darstellung (Bild 12).

In diesem Bild ist ein Werktag höchster Belastung eingetragen, wie er dem gewählten Stand der Perspektive entspricht. Die Tagesabgabe beträgt 27,32 Mill. m³.

Es darf nach zuverlässigen Ermittlungen damit gerechnet werden, daß der Tagesausgleich durch die Speicherkapazität des Ferngasnetzes und die Speicher klassischer Bauart in vollem Umfang gewährleistet ist. Der mittlere Leistungsbedarf beträgt also für diesen Werktag höchster Belastung

$$\frac{27,32 \text{ Mill.}}{24} = 1\,138\,000 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Die gesamte Jahres-Gasproduktion soll 7,8 Milliarden m³ betragen. Die mittlere Produktions-Stundenleistung ergibt sonach

$$\frac{7,8 \text{ Milliarden}}{8760} = 891\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die Differenz zwischen den beiden Werten,

nämlich	1 138 000 m ³ /h
minus	891 000 m ³ /h
	247 000 m ³ /h

ist die Leistung, die von dem Speicher zu fordern ist.

Die Feststellung dieser Zahl ist sehr wichtig, weil für die Installation eines unterirdischen Speicherraumes nicht nur das nutzbare Speichervermögen, sondern auch die Abgabeleistung eine Rolle spielt und für die technische Gestaltung und die Kosten der Anlagen, besonders aber für die Fortleitung des gespeicherten Gases, von Bedeutung ist.

Die Kosten eines unterirdischen Speichers von 375 Mill. m³ Fassungsvermögen werden zu rund 150 Mill. DM veranschlagt. Die Betriebskosten lassen sich wie folgt abschätzen (Tabelle 2).

Diese 2,0 Pfg sind auf die oben errechneten Produktionskosten von 3,94 Pfg/m³ aufzuschlagen.

Es wäre noch zu untersuchen, wie sich die Transportkosten unter dem Einfluß einer unterirdischen Speicherung verändern. An Hand des Bildes 13 lassen sich eine Reihe von Feststellungen treffen.

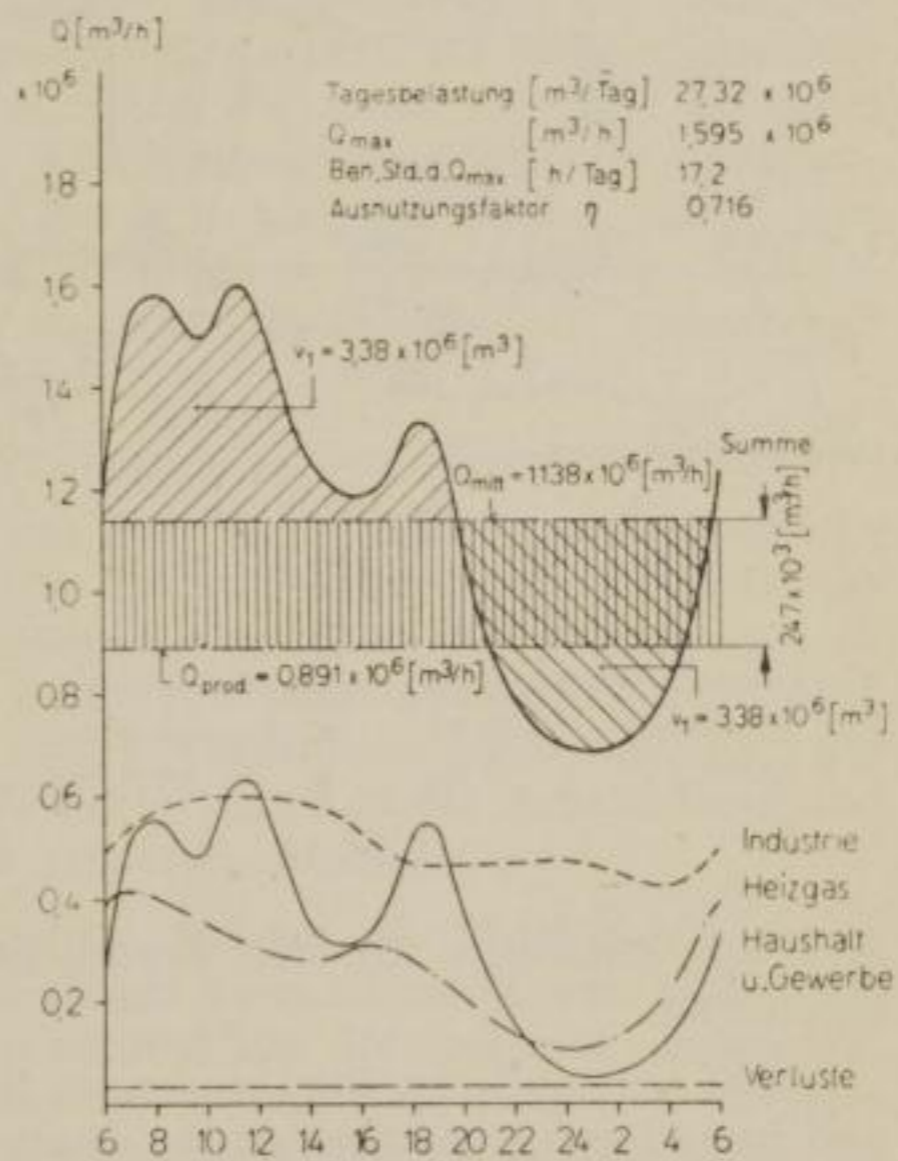


Bild 12. Tagescharakteristik der Gesamtgasabgabe Winterbelastung : Werktag

Tabelle 2

Abschreibungen, 5 % pro Jahr von 150 Mill. DM = 7,5 Mill. DM	
verteilt auf 780 Mill. m ³ Heizgas	1,0 Pfg/m ³
Einspeicherungskosten für 375 Mill. m ³ Heizgas = rd. 2 Pfg/m ³	
verteilt auf 780 Mill. m ³ Heizgas	1,0 Pfg/m ³
Gesamtkosten der Einspeicherung	2,0 Pfg/m ³

Von vornherein steht fest, daß sich eine Leistung von 250 000 m³/h nicht einfach irgendwo anhängen läßt, sondern daß Netz und Speicher aufeinander abgestimmt sein und mit dem Bedarf einerseits, der Produktion andererseits

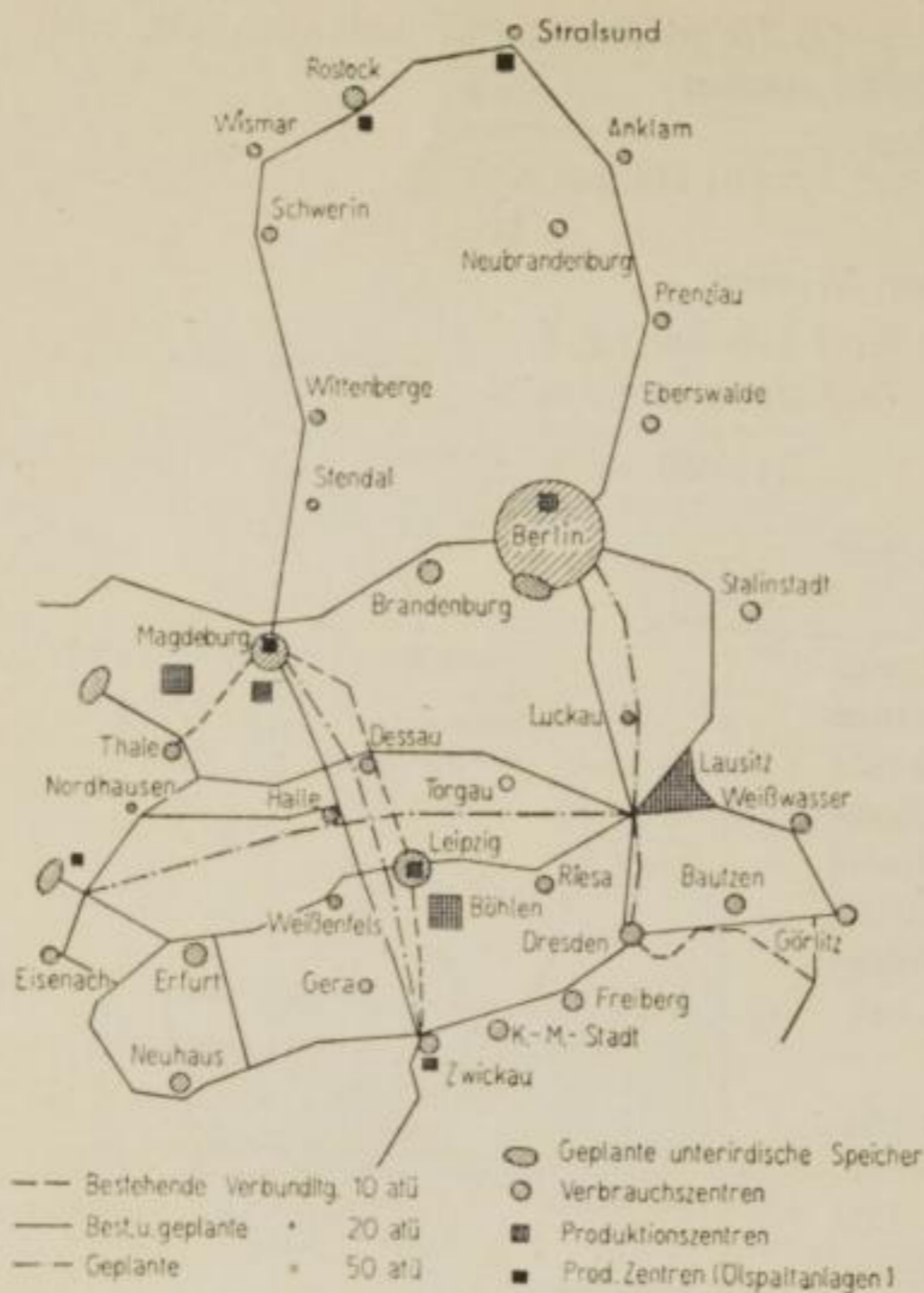


Bild 13

ders aussichtsreich für die Erschließung einer unterirdischen Gaslagerstätte bezeichnet.

Auch von anderen Strukturen, z. B. nördlich des Harzes, südlich von Berlin und in anderen Gebieten wurde schon gesprochen. Nach Lage der Dinge scheint es nicht ausgeschlossen, daß die Arbeiten der Geologischen Kommission durch bestimmte Zweckmäßigkeitserwägungen der Gasverteilung in Gebiete gelenkt werden, die vom verteilungstechnischen Standpunkt aus als besonders günstig gewertet werden können. Es wird deshalb im folgendem eine Beurteilung der Lage unterirdischer Speicher zum Ferngasnetz hinsichtlich ihrer transporttechnischen Eignung versucht.

Vom verteilungstechnischen Standpunkt aus betrachtet, bestehen prinzipiell mehrere Möglichkeiten. Ihr Grundinhalt ist kurz zusammengefaßt folgender:

- a) Wahl einer Struktur, die entgegengesetzt den Hauptproduktionsstätten der Lausitz liegt, um durch den unterirdischen Speicher wichtige Teile des Netzes von Westen her zu erfassen und auf diese Weise zu erreichen, daß das Ferngasnetz weder durch die Füllung des Behälters noch durch seine Entleerung eine zusätzliche Belastung erfährt.

Für Betrieb und Dimensionierung des Netzes würden sich unter dieser Voraussetzung zweifellos optimale Bedingungen ergeben. Die Einspeisung in

sowohl mengenmäßig als auch ihrer geographischen Gliederung nach im Gleichgewicht stehen müssen.

Die Lage eines unterirdischen Speichers ist von zwei Gesichtspunkten aus zu beurteilen,

1. vom Standpunkt der geologischen Gegebenheiten,
2. vom Standpunkt der Verteilung des Gases.

Zum ersten Punkt wäre zu sagen, daß eine ursprünglich von seiten der Gasverteilung in Aussicht genommene Struktur in der Gegend von Mühlhausen von der Geologischen Kommission vorläufig als ungeeignet verworfen wurde. Es scheint über diese Struktur jedoch noch nicht das letzte Wort gesprochen zu sein.

Eine zweite Struktur wird in der Gegend westlich Berlins, nördlich der Havel-Seen vermutet.

Von der Geologischen Kommission wurde die Lausitz als besonders

das Netz wäre ohne wesentliche zusätzliche Leitungen bei voller Ausnutzung der Speicherleistung mit 250 000 m³/h möglich. Insofern wäre also ein unterirdischer Speicher in West-Thüringen, etwa in der Gegend von Mühlhausen, besonders günstig gelegen (Bild 13). Der Speicher würde in direkter Verbindung mit der 40-atü-Leitung Lauchhammer-Thüringen stehen und einen Hauptknoten des 20-atü-Netzes erfassen.

- b) Wahl einer Struktur in der Lausitz, also in der Nähe der Hauptproduktionsstätten.

Es liegt auf der Hand, daß das Gas, das aus der Speicherung kommt, den Transport der normalen Produktion zusätzlich beaufschlagen würde, d. h. also, daß, wenn die Leitungen von der Lausitz nach Westen für die maximale Produktionsleistung der Perspektive ausgelegt werden, sie nicht ausreichen würden, um die Speicherleistung abzuführen. Da immerhin eine Leistung von 250 000 m³/h zur Diskussion steht, würde dieses Problem nur durch zusätzliche Fernleitungen zu lösen sein. Es wäre also zu prüfen, ob und in welcher Dimension etwa eine weitere Leitung in Richtung eines Hauptbedarfszentrums geführt wird oder ob und inwieweit mit zusätzlicher Zwischenverdichtung auszukommen wäre.

- c) Unterbringung des unterirdischen Speicherraumes an verschiedenen Punkten.

Sofern diese Punkte in bezug auf das Ferngasnetz günstig, das heißt in der Nähe von Netzknoten liegen, würde dieses Verfahren ähnlich wie das unter a) einen sehr guten Effekt bringen und irgendwelche Folgerungen in bezug auf die Dimensionierung der Leitungen oder auf Nachverdichtung nicht nach sich ziehen. Der Nachteil dieses Verfahrens wäre nur, daß die Installation mehrerer kleinerer Speicher sicher teurer in der Anschaffung und im Betrieb ist als die Einrichtung eines größeren Speichers.

Grundsätzlich müßte man darauf ausgehen, daß bei der Einrichtung unterirdischen Speicherraumes nicht nur mit einem Speicherraum von etwa 400 Mill. m³ gerechnet wird, sondern daß, zumindest für die Zukunft, angestrebt wird, den Speicherraum beträchtlich zu erhöhen. Man muß sich deshalb jetzt schon mit den transportmäßig entstehenden Notwendigkeiten beschäftigen. Da aber die schon heute zugänglichen Überlegungen eindeutig zeigen, daß bereits ein verhältnismäßig kleiner Speicher zusätzliche Vorkehrungen im Netz erfordert, muß das Problem der Abförderung des Gases unmittelbar mit jedem Projekt der Einrichtung eines unterirdischen Speichers verknüpft werden.

Um auf den Ausgangspunkt der hier verfolgten Überlegungen zurückzukommen, kann festgestellt werden, daß bei günstiger Platzierung des unterirdischen Speicherraumes die technischen Kosten des Raumheizgases folgendermaßen aussehen werden:

a) an Produktionskosten gemäß Bild 9	3,94 Pfg/m ³
b) an Transportkosten gemäß Bild 10	0,6 Pfg/m ³
c) an Speicherkosten gemäß Tabelle 2	2,0 Pfg/m ³
	zusammen 6,54 Pfg/m ³

Wenn eine durchaus günstige Platzierung des unterirdischen Speicherraumes nicht gelingt, werden sich diese Kosten etwas erhöhen, entsprechend dem er-

höhten Transportaufwand, der durch eine ungünstige Speicherlage bedingt sein wird.

Die Rechnung läßt klar erkennen, daß dem Problem der Raumheizung mit Gas eine hohe technische und wirtschaftliche Realität zukommt. Es sind nicht nur Gründe der Steigerung des Lebensstandards der Bevölkerung und ähnliche, die für die Raumheizung mit Gas sprechen, es gibt auch eine Reihe von anderen Überlegungen, die eindeutig für eine Vergasung der Kohle und Weiterleitung der Wärme in Gasform statt in fester Form sprechen. Uns Gasfachleute interessieren in erster Linie die hier angedeuteten Zusammenhänge. Wenn wir uns vor Augen halten, daß die technischen Gestehungskosten des Raumheizgases bei Vorhandensein eines Speicherraumes ausreichender Leistung $6,54 \text{ Pfg/m}^3$ betragen, ohne unterirdischen Speicher $13,93 \text{ Pfg/m}^3$, so sollte es keiner weiteren Begründung bedürfen, um alle beteiligten Kreise zu mobilisieren, diesen Speicherraum zu schaffen. Wenn wir die unterschiedlichen $7,4 \text{ Pfg/m}^3$ mit 780 Mill. m^3 multiplizieren, so ergibt sich ein Nutzen der unterirdischen Speicherung von annähernd 58 Mill. DM/Jahr , ein Betrag, der es lohnt, daß mit vollem Einsatz an finanziellen und materiellen Mitteln ans Werk gegangen wird. Das Problem der unterirdischen Gasspeicherung ist das Problem der Raumheizung mit Gas. Es geht die breiteste Öffentlichkeit an. Es ist Zeit, mit seiner Verwirklichung Ernst zu machen.

Diskussion

Ing. DITTRICH, Karl-Marx-Stadt:

Ich bin an sich über die Ausführungen, die Herr Dr. Kiesel gemacht hat, etwas enttäuscht; nicht deshalb, weil sie nicht gut gewesen wären, sondern weil sie uns vor Augen halten, daß in absehbarer Zeit nicht daran gedacht werden kann, Heizgas in größerem Maße der Bevölkerung zur Verfügung zu stellen. Ich bin um so mehr enttäuscht, nachdem Herr Dr. Herning doch eine Perspektive für das Gasfach aufgezeigt hat und auch klar zum Ausdruck brachte, wie wirtschaftlich die Verwendung von Gas im Haushalt und in der Industrie gegenüber den anderen Brennstoffen ist.

Nach meinem Dafürhalten ist es eine dringende volkswirtschaftliche Notwendigkeit, daß wir uns nicht bloß als Gasfachleute betrachten, sondern auch zum energie-wirtschaftlichen Denken übergehen.

Ein Diskussionsredner hat bereits ausgeführt, daß doch gerade die Verwendung von Rohbraunkohle in unseren Haushalten zum großen Teil zur Bildung von Hauschwämmen, zur Versottung von Essen und zur Vernichtung unserer Gebäude beigetragen hat.

All diese Dinge müssen wir dabei beachten und nach volkswirtschaftlich günstigsten Lösungen suchen.

Herr Dr. Kiesel ist der Meinung, daß wir erst dann in größerem Umfange zur Heizgasversorgung übergehen können, wenn eine Erdspeicherung für das Gas vorhanden ist. Wann diese Erdspeicher zur Verfügung stehen werden, ist im Moment noch nicht abzusehen.

Herr Dr. Kiesel geht auch davon aus, daß die Erzeugerkurve in Zukunft eine gerade Linie sein soll. Ich glaube doch, daß das eine Illusion ist, denn wir wollen uns nicht einbilden, daß Erdspeicher uns in die Lage versetzen, in unseren Gaswerken und Kokereien Strich zu fahren.

Man kann dieses Problem nicht von der Seite der Speicherung aus lösen, sondern dazu gehört auch das Schaffen von Spitzengasanlagen. Wenn man auf der anderen

Seite sieht, welche Mittel für den Bau von Heizwerken in unseren Städten ausgegeben werden zur Versorgung unserer Neubauwohnungen mit Warmwasser und Heizdampf, möchte ich bezweifeln, ob das der richtigere und rentabelere Weg ist, wenn man das Problem in der Gesamtheit sieht, angefangen vom Kohletransport, der Kohleverwendung bis zum Aschetransport.

Auch auf der Seite der Elektroenergie geht man — obwohl die Großkraftwerke Lübbenau, Berzdorf usw. gebaut werden — dazu über, Spitzenkraftwerke auf der Basis von Dieselöl zu bauen. Diese Spitzenwerke, wo auch 1 MW 1 Million DM kostet, werden sich auf alle Fälle bis zu dem Zeitpunkt, zu dem durch die Großkraftwerke genügend Energie zur Verfügung steht, bezahlt machen.

Was bei uns auf der Gasseite jetzt getan wird bzw. unterlassen wird, kommt einem Stillstand gleich, und Stillstand bedeutet Rückschritt.

Wir erinnern uns noch des Bildes 13, auf dem das Ferngasnetz der Deutschen Demokratischen Republik und die noch verbleibenden Erzeugerstätten dargestellt waren. Die Gaserzeugung war hauptsächlich auf Böhlen und „Schwarze Pumpe“ konzentriert, soweit ich mich erinnern kann. Stillgelegt waren die Werke Karl-Marx-Stadt, Dresden usw.

Was haben wir in der Vergangenheit, wenn wir ehrlich sein wollen, getan, um die Erzeugerkapazität unserer am Verbundnetz liegenden Werke zu steigern? Wir haben Reserven ausgenutzt, wir haben auch beachtliche Erfolge in der Steigerung der Arbeitsproduktivität erzielt, aber wir haben noch nicht den entscheidenden Schritt getan, um das, was z. B. der XXI. Parteitag der Kommunistischen Partei der Sowjetunion fordert, die Brennstoffwirtschaft der Republik zugunsten der Gasversorgung umzustellen, zu verwirklichen. Wir bauen zwar ein Gaswerk Pasewalk, aber in unseren am Verbundnetz liegenden Werken tut sich, bis auf die Errichtung einiger Ölspaltanlagen, im wesentlichen nichts.

Da diese Meinung der Gasfachleute wahrscheinlich bis in die höchsten Kreise unserer Regierung gedrungen ist, hilft man sich auf andere Art, z. B. durch den Bau von Heizwerken mit einem, nach meinem Dafürhalten viel größeren volkswirtschaftlichen Aufwand, sowohl geld- als auch materialmäßig, wie das bei einer Gasversorgung in größerem Umfange möglich wäre.

Wenn ich daran denke, daß für 150 Millionen DM, die der Erdspeicher kosten soll, in der Übergangszeit, jetzt, wo die Not am größten ist, 75 Kohlenwassergasanlagen mit einer Leistung von ca. 20 000 bis 30 000 m³/Tag gebaut werden könnten, so sollte man doch an diesem Problem nicht achtlos vorübergehen. Dann würde man wahrscheinlich an die Heizgasverwendung ganz anders herangehen.

Wenn ich mir auch darüber im klaren bin, daß die Spitzengasversorgung mit Kohlenwassergasanlagen allein nicht geregelt werden kann, so wäre das doch ein Beitrag dazu. Dann kommen auch keine Transportstrecken des Gases von 180 km in Frage, sondern dann haben wir das Gas dort, wo es verbraucht wird.

Ich bin auch nicht der Meinung, daß man sogenannte Heizwerke in der Perspektive mit Gas heizen soll, sondern man sollte die spezifische Eigenart des Gases auch sofort ausnutzen und nicht nochmals über den Wärmeträger Dampf die Wärme an den Haushalt heranführen.

Auch unsere Kollegen der Elektroenergieseite denken heute daran, Werke, die jetzt noch als Grundlastwerke gefahren werden, später als Mittellastkraftwerke und in der Perspektive als Spitzenkraftwerke zu fahren. Es ist teilweise heute schon so, daß diese Kraftwerke, bei denen die kW-Stunde 30 bis 50 Pfennig kostet, nur noch in der Abendspitze gefahren werden. Hier kostet also die kW-Stunde 30 bis 50 Pfennig, und 860 kcal kann ich dem Abnehmer zur Verfügung stellen. Selbst wenn, wie Herr Dr. Kiesel das vorrechnet, 1 m³ Gas 13 Pfennig kostet, stellen wir damit immer noch 3800 kcal zur Verfügung. Das ist doch ein wesentlicher Unterschied.

Daraus ersehen wir aber auch, welche Reserven für unsere Volkswirtschaft auf der Gasseite noch bestehen. Diese nutzbar zu machen, ist eine Aufgabe, die wir als Gasfachleute zu erfüllen haben und der wir nach meiner Meinung z. Z. bei weitem noch nicht gerecht werden.

Es ist kein Geheimnis, daß trotz bestehender Schwierigkeiten in der Versorgung mit Elektroenergie viel mehr Elektrogeräte auf dem Markt zu haben sind als Gasgeräte. Ich bin der Meinung, daß man beim volkseigenen Handel jährlich mehrere kleinere Kraftwerke in Form von Elektrogeräten verkauft, ohne daß sich aber bisher jemand gefunden hat, der hier versucht, einen Ausgleich herbeizuführen, indem mehr Gasgeräte angeboten werden. Allerdings scheinen sich derzeit Erkenntnisse in dieser Richtung durchzusetzen; ich verweise hierbei auf den Artikel in der „Energietechnik“, Heft 4/59 — „Mehr Haushaltgeräte — geringe Spitzenbelastung“.

Ich habe den Eindruck, daß man in Kreisen der Gasfachleute der Meinung ist, die „Schwarze Pumpe“ stellt die alleinige und allumfassende Ideallösung für die Gasversorgung der Deutschen Demokratischen Republik in der Zukunft dar, und alles andere gleicht man mit Erdspeichern aus.

Man sollte jetzt, nachdem schon viele kostbare Zeit verlorengegangen ist, den gesamten Rekonstruktionsplan der Gaswirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik noch einmal in einem größeren Kreis von Fachleuten diskutieren und beraten und sich darüber klar werden, wo man in Zukunft die Spitzenkapazitäten investieren und erzeugen will.

Prof. Dr.-Ing. GRUSON, Freiberg:

Ich habe bereits in meinem Vortrag darauf hingewiesen, daß wir der Gefahr des Hausschwammes und der Versottung der Essen durch die nasse Rohbraunkohle außerordentliche Beachtung schenken müssen. Es dürfte darauf noch nicht genügend hingewiesen worden sein, welche Gefahren in dieser Hinsicht bestehen. Ich hatte auch angeregt, eine gründliche Untersuchung hierüber anzustellen. Ich möchte das erneut betonen. Wie sieht es praktisch aus? Ich hatte bei meiner kurzen Zusammenstellung der Koksverwendung bewußt die Gasgeneratoren der Gaswerke und die Zentralheizung ausgelassen. In Westdeutschland beträgt der Zentralheizungsverbrauch zwischen 28 und 30 % des gesamten Aufkommens, obwohl man schon weitgehend Ölheizungen eingeführt hat und noch weiter einführt — trotz der Kohlenkrise. Aber das Vordringen der Ölheizung ist verständlich.

Die Ölheizung hat gewisse technische Vorzüge und Vorteile. Es wird immer wieder die gleiche Frage gestellt, ist es besser, erst das Öl zu spalten mit einem Wirkungsgrad von 70 % und dann durch das Rohr in die Haushalte zu führen, oder ist es richtiger, das Öl gleich in die Zentralheizung hineinzubringen.

Jedenfalls möchte ich auch von meinem Standpunkt aus beiden Rednern recht geben. Einen Erdspeicher in der Suhler Gegend würde ich außerordentlich begrüßen, damit diese Gegend eine solide Speicherung erhält. Nicht nur für das Heisgas, sondern vor allem dafür, daß die Industrierversorgung dort endlich stabilisiert wird.

Die Erdspeicherung ist also unbedingt notwendig. Vielleicht finden die Geologen in absehbarer Zeit eine geeignete Stelle. An die Darstellung (Bild 13), daß es nur noch in der Lausitz, in Magdeburg, Berlin, Leipzig, Böhlen und Zwickau Produktionsstätten geben wird, glaube ich nicht. Vielmehr wird der Gasbedarf derartig ansteigen, daß ein Teil der anderen Erzeugerwerke auch späterhin noch nötig sein wird. Ich möchte Kollegen Ditttrich, in dessen Werken wir mit einer Bearbeitung einiger Fragen der Kohlenwassergasanlagen angefangen haben, unbedingt zustimmen, daß auf diesem Wege — unter Ausschaltung des mehr oder weniger schwierig unterzubringenden Kuppelproduktes Koks — ein Gas erzeugt werden kann, das mit Sicherheit zur Verfügung steht und das nach Einführung einiger Verbesserungen mit gutem Gewissen als Stadtgas angesprochen werden kann.

Dipl.-Ing. RÖPER, Seestadt Rostock:

Zunächst, ehe ich auf die anderen Fragen eingehe, ein Wort zu der Tabelle, die Kollege Dr. Kiesel gebracht hat und in der aufgezeigt wird, wie in den Jahren 1956 bis 1970 neben dem steigenden Heizgasbedarf auch ein sehr starkes Anwachsen bei den Tarifabnehmern zu verzeichnen ist. Vielleicht kann Herr Dr. Kiesel am Schluß noch etwas dazu sagen.

Nun zu der vorangegangenen Diskussion:

Tatsächlich hat jeder der Vorredner in gewisser Beziehung recht. Eines muß jedoch klargestellt werden: Meiner Auffassung nach kann man nicht, wie Kollege Dittrich vorschlug, derartige Spitzen mit Kohlewassergasanlagen abdecken. Man kann in örtlichen Bereichen, wo schon ein Zusammenhang mit dem Verbundnetz besteht und wo von dort auch bereits gewisse Spitzenmengen im Winter bezogen werden, nicht noch eine zusätzliche Spitzenanlage aufstellen. Das erleichtert die Angelegenheit. Im Falle von Inselbetrieben aber, wie sie in den nördlichen Bezirken unserer Republik noch zu finden sind, die also völlig auf sich gestellt sind, sehen die Dinge ganz anders aus. Wir haben z. B. in Rostock bereits im Winter 45 % mehr Gasabgabe als im Sommer, und wir müssen deshalb auch heute noch größte Zurückhaltung mit der Genehmigung von Heizgasmengen üben. Das hat schon dazu geführt, daß Kollegen von der Elektro-Seite glaubten, wir seien gegen die Gasheizung als solche eingestellt. Aber klar ist, daß man nicht zusehen kann, wie der Bedarf über die vorhandenen Kapazitäten hinaus ansteigt. Wenn wir zur Zeit in Rostock Ölsplatanlagen bauen, dann stellen diese nur in einem beschränkten Umfange Spitzengasanlagen dar; in Wirklichkeit sind es nur Erweiterungen unserer Kapazitäten, die den gestiegenen Bedarf decken helfen. Deshalb auch meine Meinung, daß es unbedingt richtig und notwendig ist, auf schnellstem Wege zu einer Großraumspeicherung zu kommen. Eine solche müssen wir so bald als möglich errichten, um dann, wenn die „Schwarze Pumpe“ in Betrieb ist und die entsprechenden Gasmengen verfügbar sind, auf diesem Wege einen Jahreszeitausgleich zu schaffen. Sonst besteht nach meinem Dafürhalten überhaupt keine Möglichkeit, den Bedürfnissen nachzukommen. Es ist tatsächlich so, wie Herr Dr. Kiesel bereits betonte, daß vor einiger Zeit eine Fehlpropaganda gestartet wurde: man müßte alles mit Gas beheizen. Herr Professor Dr. Gruson hat auch sehr richtig darauf hingewiesen, daß ja nicht unbedingt mit Gas, sondern unter Umständen auch mit Öl geheizt werden kann. Allerdings muß ich ihn etwas berichtigen. Denn in Westdeutschland wird zur Ölfeuerung kein schweres Heizöl verwendet, sondern ein Öl, das etwa den Qualitäten unseres Dieselkraftstoffes entspricht. Solche Öle stehen uns z. Z. nicht zur Verfügung. Auf der anderen Seite fehlt es uns leider im Augenblick auch noch an geeigneten Brennern, das bei uns verfügbare Heizöl in kleineren Anlagen einzusetzen. Zur Messe wurde ein Dampfkessel aus Übigau gezeigt, für 600 kg Dampf pro Stunde eingerichtet, der nach einem amerikanischen Muster gebaut war. Ich glaube, die minimale Leistung für unsere Ölbrenner liegt zur Zeit noch bei etwa 30–40 kg pro Stunde. Diese Anlagen kommen für unsere Zwecke nicht in Frage.

Das sind die Probleme, die mich im wesentlichen bewegen, und ich möchte Nachdruck auf die Forderung legen, unbedingt eine Untergrundspeicherung so schnell und so groß als möglich zu schaffen.

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Dipl.-Ing. Röper. Wer nicht ganz kritisch ist, wird vielleicht etwas enttäuscht sein, von dem, was Kollege Röper sagte. Aber wenn Sie es genau betrachten, vertritt er doch das übergeordnete energiewirtschaftliche Denken vom besten Einsatz der Energie.

Dr.-Ing. KIESEL, Leipzig:

Zunächst einmal darf ich mit Befriedigung feststellen, daß wir alle darin einig sind, daß Mittel und Wege gesucht werden müssen, um der Bevölkerung in erhöhtem Maße, und zwar in einem fortschreitenden, den Bedürfnissen entsprechenden Umfange, Gas für die Raumheizung zur Verfügung zu stellen. Worüber wir nicht ganz einig sind, das sind die technischen Wege, auf denen dieses Ziel erreicht werden soll. Bisher, d. h. in den letzten Jahren, haben wir in unserer Republik den Standpunkt vertreten, und dieser Standpunkt ist von übergeordneter Stelle eingenommen und vorgegeben worden, daß alle Investitionsmittel finanzieller, materieller und arbeitskräftemäßiger Natur auf die großen Objekte der Kohlenwerke, „Schwarze Pumpe“, Lauchhammer usw. konzentriert werden sollen. Das ist ein Standpunkt, der mindestens, wenn auch nicht 100prozentig, so doch weitgehende Beachtung und Anerkennung verdient. Wenn wir uns fragen, was ist richtiger, Speicherung oder Spitzenproduktion, dann kann es m. E. gar keinen Zweifel geben: Speicherung! Wenn ich das Gas für 6,5 Pfennige auf dem Wege der Speicherung bereitstellen kann, dann gebe ich nicht 13,9 bzw. rd. 14 Pfennige aus, um es mit Spitzenanlagen zu erzeugen. Zwischenruf Prof. Gruson: Es muß nur da sein.

Es muß da sein, aber die Spitzenanlagen sind augenblicklich nicht da, und der Speicher ist augenblicklich auch noch nicht da. Im übrigen darf ich daran erinnern, daß ich bei meinem Vortrag im September 1958 in Markkleeberg ausdrücklich darauf hingewiesen habe, daß

1. das Problem ohne Spitzenanlagen nicht zu lösen ist und
2. die Zeit, in der man daran denken könnte, etwa alle Gaswerke stillzusetzen, noch lange, lange nicht gekommen ist.

Im Gegenteil, wir vertreten dauernd den Standpunkt, erhaltet jede, wenn auch noch so kleine Produktionskapazität, selbst wenn sie mit verhältnismäßig hohen Kosten arbeitet. Ich glaube, in dieser Hinsicht sind wir uns auch einig. Was den Vergleich mit der Elektrizität anbelangt: Wenn man die Elektrizität speichern könnte, dann hätte man das wahrscheinlich auch schon lange getan. Wenn wir in der glücklichen Lage sind, über ein Mittel zum Ausgleich, nicht nur zum Tagesausgleich, sondern sogar zum Jahresausgleich, zu verfügen, das dem Strom einfach nicht zugänglich ist, dann ist es klar, daß wir die Technologie der Produktion und der Verteilung so einrichten müssen, daß wir uns diesen uns von der Natur gegebenen Vorzug soweit als irgendmöglich zunutze machen.

Zwischenruf von Herrn Dittrich: Dann darf man nicht derartige Geräte verkaufen!

Das ist eine andere Frage. Ich habe mich heute absichtlich jeder Frage der Anwendung enthalten. Ich habe auch bewußt das Thema meiner Ausführungen nur auf die Lieferung von Raumheizgas abgestellt, weil ich diese Probleme, die mit der Anwendung zusammenhängen, gar nicht erst anschneiden wollte, vor allem, weil sie uns zu weit geführt hätten. Aber über sie kann man sich bei anderer Gelegenheit unterhalten. Wir müssen auf jeden Fall Raumheizgas liefern und so bald als möglich, aber auch so wirtschaftlich wie möglich. Wir wollen darüber nicht rechten, aber daß tatsächlich im Bereich des Ferngasnetzes schon jetzt eine ganz erhebliche Koordinierung besteht, das ist klar, und jeder von Ihnen wird erkennen, daß diese Koordinierung, dieses Zusammenwirken, wirtschaftlich ist und daß Sie jedenfalls sehr viel besser daran sind, wenn Sie das Gas aus dem Ferngasnetz nehmen können, als wenn Sie es erst in einer Spitzenanlage, die Sie zu diesem Zwecke bauen und nur 1875 Stunden im Jahre betreiben, erzeugen müssen. Lassen Sie mich bitte meine Ausführungen mit der nochmaligen Feststellung schließen, daß wir erfreulicherweise über eine ganze Reihe von Tatsachen, die mit den hier angerissenen Problemen zusammenhängen, einig sind und daß wir ver-

suchen wollen, auf dieser Basis diejenigen Fragen, über die noch nicht völlige Einigkeit besteht, in gemeinsamer Arbeit so zu lösen, wie es für unsere Versorgung richtig und für unsere Republik wirtschaftlich am günstigsten ist.

Prof. Dr.-Ing. BECHER, Freiberg:

Ich danke Herrn Dr. Kiesel für seine Schlußworte. Er hat mit gewohnter Eleganz verstanden, die Wogen der Diskussion wieder etwas zu glätten. Ich möchte aber den Kollegen Dittrich noch einmal ansprechen und ihm danken, daß er die Frage der Gerätebereitstellung angeschnitten hat. Ich hatte diese Frage mit Absicht heute nicht auf das Programm gesetzt. In der Meinung darüber sind wir uns alle einig.

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

A 103 Brennstofftechnische Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik

**Kolloquium Gasentschwefelung am 18. Oktober 1957
in Markkleeberg bei Leipzig**

Format 17×24 cm — 104 Seiten — 42 Bilder — 26 Tabellen

DM 8,—

Erschienen August 1958

SIMON/LANG: Untersuchungen zur Aufklärung des Problems der trockenen Gasentschwefelung (Auszug) — STRANKMÜLLER: Ersatz von Lautamasse — KLEIN/PIRSCHER/WILL: Entfernung von H₂S aus Industriegasen durch Koppers-Feinkoks — STRELLER: Koppers-Koks als Entschwefelungsmittel für Winkler-Wassergas — BAUER: Versuche zur Reinigung von Steinkohlenmischgas und Wassergas mit Kopperskoks — SCHMIDT/HANKE: Eignung von Kopperskoks zur Schwefelwasserstoffentfernung aus Steinkohlenmischgas.

A 112 Brennstofftechnische Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik

Gastechnisches Kolloquium 24. u. 25. April 1958 in Freiberg/Sa.

Format 17×24 cm — 152 Seiten — 96 Bilder — 25 Tabellen

DM 10,—

Erschienen März 1959

BECHER: 150 Jahre Gasfach in Freiberg — GRUSON/SKODDOW: Möglichkeiten und Grenzen des Stampfbetriebes in Steinkohlenkokereien — RAMMLER/HEIDE/BORK: Vergasungsversuche mit Braunkohlenbriketts im Drehrostgenerator — HERNING: Einige Fragen zum Gastransport in Rohrleitungen — RICHTER: Der elektrische Korrosionsschutz an erdverlegten Rohrleitungen — GARSTKA: Betrachtungen über die Steinkohlenverwendung in der Deutschen Demokratischen Republik — GÖHLER/RAMMLER: Rechnerische Untersuchung über den Ersatz des Wasserdampfzusatzes zur Vergasungsluft durch Kohlensäure bei der Vergasung von Koks im Festbettgenerator.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

A 127

TECHNISCHE BRENNSTOFFVERWERTUNG

MANFRED ENGSHUBER

Über einige Zusammenhänge zwischen Schüttdichte, Kornaufbau und Mahlbedingungen von Steinkohlen

Format 16,7×24 cm — 76 Seiten — 35 Bilder — 13 Tabellen

DM 6,—

Erschienen März 1959

Die auf die Koksqualität günstige Wirkung der Feinmahlung der Besatzkohle wird durch eine damit verbundene Absenkung des Schüttgewichtes abgeschwächt. An Hand von 24, dem Exponentialgesetz folgenden Körnungen wurde der Einfluß von Kornaufbau und Wassergehalt auf die Schüttdichte untersucht. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß auf Grund des Verhaltens der feuchten Kohlen-schüttung in der Kokskammer ein Mahlgut mit möglichst hohem Verteilungsexponenten angestrebt werden muß.

Wie weitere Versuche gezeigt haben, werden die in der Kokereitechnik vorherrschenden Mühlentypen (sieblose Hammermühle, Schleudermühle, Prallspalter) dieser Forderung nicht gerecht. Nur die Siebhammermühle liefert unter bestimmten Voraussetzungen ein Mahlgut mit hohem Verteilungsexponenten ($n = 1,2 \dots 1,4$).

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

D 26

GOTTFRIED KLEPEL

Die Gas- und Kokserzeugung aus Steinkohlen in Deutschland – Ein Rückblick auf 150 Jahre technische Entwicklung

Format 17×24 cm – 122 Seiten – 54 Bilder – 5 Tabellen

broschiert DM 8,—, Halbleinen DM 9,50

Erschienen August 1958

Einleitend wird in dieser sehr interessanten Abhandlung dargelegt, wie vor allem die Suche nach Beleuchtungsquellen und nach geeigneten Brennstoffen für die Verhüttung zur Triebkraft der Entwicklung einer modernen Kohleveredlung geworden ist. Einzelheiten der Kokerei- und Gaswerkstechnologie vom Beginn ihrer Entwicklung an lassen erkennen, welche große Schwierigkeiten zu überwinden und wieviel Vorurteile zu beseitigen waren, bevor der heutige Stand der Energieversorgung aus festen Brennstoffen erreicht wurde. In diesem Zusammenhang werden die bahnbrechenden Leistungen von MURDOCH und CLEGG, von LAMPADIUS und BLOCHMANN, von BUNSEN und AUER v. WELSBACH, von C. OTTO und H. KOPPERS entsprechend gewürdigt. Technische Einzelheiten ihrer Erfindungen, dazu ihre allgemeine Bedeutung sind so dargestellt, daß sie auch interessierten Laien verständlich werden und zum Nachdenken anregen.

Der Aufwand, der seit mehr als 150 Jahren erforderlich war, den heutigen Stand der Kokerei- und Gaswerkstechnik zu erreichen, und der volkswirtschaftliche Wert der Rohstoffe rechtfertigen die Forderung an Haushalt und Industrie, Gas und Koks sparsam zu verwenden. Schließlich ist die ausreichende Versorgung mit Energie eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Erhöhung unseres Lebensstandards.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N