

FREIBERG

10. 4.

2516/1



*Handwritten signature or name in cursive script, possibly 'H. B. K.' or similar, located in the lower right quadrant of the cover.*



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



D09 005T4

Metallhütten-Institut  
der Bergakademie  
Freiberg, Sachsen



D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung der Würde eines  
Doktor - Ingenieurs

eingereicht an der Bergakademie Freiberg  
am 25. Mai 1956

Dipl.-Ing. Joachim Holzhey



10.25.16 / 1 I

40

Vergleichende Betrachtungen über das  
metallurgische Verhalten des  
Braunkohlen - Hochtemperaturkokeses.

*[Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page]*



## Inhaltsverzeichnis

- I. Einleitung und Problemstellung
- II. Untersuchungsmaterial
- III. Untersuchung der Reaktionsfähigkeit
  - A. Kurzversuche
    1. Beschreibung der Versuchsanordnung
    2. Versuchsdurchführung
    3. Versuchsergebnisse
  - B. Hauptversuche
    1. Beschreibung der Versuchseinrichtungen
      - a) Probenfertigung
      - b) Reaktionsversuche
    2. Versuchsdurchführung
    3. Versuchsergebnisse
      - a) Zeiteinfluss
      - b) Temperatureinfluss
      - c) Einfluss der Gasart
    4. Deutung der Ergebnisse
- IV. Untersuchung der Abriebfestigkeit
  1. Versuchsanordnung
  2. Versuchsdurchführung
  3. Versuchsergebnisse
  4. Deutung der Versuchsergebnisse
- V. Einige Bemerkungen zur Druckfestigkeit des Kokes
- VI. Auswirkungen auf den Ofenbetrieb
- Anhang - Literaturverzeichnis



## I. Einleitung und Problemstellung

Der Braunkohlen-Hochtemperaturkoks (BHT-Koks) wird heute als metallurgischer Brennstoff bei der Roheisenerzeugung im Niederschachtofen mit gutem Erfolg <sup>+</sup>) eingesetzt. Demgegenüber herrschen noch unklare Vorstellungen über seine Eignung im Hochofen. Während hier bei kleineren Öfen geringe Mengen BHT-Koks ohne wesentlichen Einfluß auf den Ofengang und -betrieb gesetzt werden, wurden bei größeren Öfen die bisherigen Versuche wegen auftretender Störungen vorübergehend abgebrochen. Dabei konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden, ob die Störungsursache der Einsatz des BHT-Kokes war. Die Gründe dafür sind einmal die oft stark wechselnde Qualität der übrigen Einsatzstoffe, besonders des <sup>Stückkohlen</sup> Kokes, und zum anderen die mangelnde Kenntnis gerade derjenigen Eigenschaften des BHT-Kokes, die sein metallurgisches Verhalten in der Hauptsache bestimmen. Der Zweck der vorliegenden Arbeit soll es sein, in dieser Richtung anhand vergleichender Untersuchungen mit anderen Koks <sup>z.B.</sup> den BHT-Koks zu charakterisieren und darüberhinaus eine Basis für weitere und speziellere Untersuchungen zu schaffen. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen dabei das Reaktionsverhalten und die Frage der Festigkeit, sowohl der Druck- als auch der Abriebfestigkeit. Welche Bedeutung gerade diesen Eigenschaften für den Ofenbetrieb beizumessen ist, geht aus der Vielzahl der Arbeiten <sup>++)</sup> hervor, die auf diesen beiden Sektoren der Koksprüfung und -bewertung vorliegen. An erster Stelle ist es also notwendig, einen Überblick über das Reaktionsverhalten des BHT-Kokes zu gewinnen, da ein einwandfreier Schachtofenbetrieb ganz entscheidend von diesem abhängig ist und zudem die während der Betriebsversuche aufgetretenen Störungen fast ausschliesslich auf eine Reaktionsträgheit des BHT-Kokes zurückgeführt wurden. Darüberhinaus spielt selbstverständlich im

+ ) Neue Hütte 1, H. 4 (1956)

++ ) Siehe Literaturverzeichnis *speziell aufgeführt!*



gleichen Rahmen die Koksfestigkeit keine nur untergeordnete Rolle.

Es galt also, entsprechende Prüfmethoden zu finden, deren Ergebnisse ein zwar zwangsläufig relatives, jedoch stets richtiges Bild über das Verhalten des Kokses im Ofen ergeben.

Es sei nur erwähnt, daß es wohl nie möglich sein wird, außerhalb des Ofens den Koks <sup>primär</sup> absolut zu kennzeichnen.

Zur Untersuchung der Reaktionsfähigkeit werden grundsätzlich zwei Wege beschritten. Einmal in Richtung eines Kurzverfahrens an einer robusten Apparatur, die es gestattet, den betreffenden Koks innerhalb kurzer Zeit unter bestimmten Bedingungen zu beurteilen. Diese Apparatur soll bei entsprechender Eignung als Betriebs-test Verwendung finden. Die besonderen Kennzeichen sind ein relativ großes Einsatzgewicht, eine Stückgröße des zu prüfenden Gutes, die annähernd den Gegebenheiten im Betrieb entspricht und schließlich eine kontinuierliche Beobachtung des Reaktionsablaufes während der Versuchsdauer durch direkte Messung des Gewichtsverlustes.

Das zweite Verfahren soll über einen großen Temperaturbereich, der praktisch alle im Schachtofen auftretenden Temperaturen umfaßt, unter den verschiedensten Bedingungen Unterlagen für die Beurteilung des Reaktionsvermögens des BHT-Kokses erbringen. Als Versuchsapparatur dient ein Röhrenofen bzw. ein horizontal gestellter Tammann-Ofen. Der zu untersuchende Koks wird zwecks Einhaltung einer konstanten geometrischen Oberfläche als Basis für die Auswertung in Würfelform verwendet.

Zur Charakterisierung des BHT-Kokses wird dieser nicht allein untersucht, sondern gleichzeitig und unter den gleichen Bedingungen ~~mit anderen~~ Kokssorten, womit die Grundlage für eine richtige Deutung geschaffen wird.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Die Festigkeit des Kokes wird sich mit dem Fortgang der Reaktion je nach der Art des Kokes unterschiedlich ändern. Es soll <sup>man</sup> deshalb mittels einfacher Verfahren, die in dieser Richtung ein erstes Tasten bedeuten, sowohl die Druck- als auch die Abriebfestigkeit unter Reaktionsbedingungen ermittelt werden.

## II. Untersuchungsmaterial

Für die Untersuchungen wurden außer dem BHT-Koks vier weitere Kokssorten vorgesehen. Es handelt sich dabei um Steinkohlenkokssorten, die anhand von Vorversuchen aus einer größeren Sortenzahl so ausgewählt worden sind, daß sie in den zu untersuchenden Eigenschaften möglichst weit auseinanderliegen. Somit standen insgesamt 5 Sorten zur Verfügung:

- Braunkohlen-Hochtemperaturkoks (BHT) +)
- Westfälischer Koks (W)
- Polnischer Koks aus Chrobry (Chr)
- Tschechischer Koks (CSR)
- Zwickauer Koks (Z)

Das Ergebnis der Vorversuche ist zahlenmäßig in Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Reaktionsfähigkeit der Koke wurde in einer der in Bild 17 dargestellten ähnlichen Apparatur gegen Kohlen-  
säure an Proben von 600 gr. Gewicht und einer Körnung von 45 - 60 mm ermittelt.

- +)
- Die Klammerbezeichnungen werden in den folgenden Ausführungen als Kurzzeichen für den jeweiligen Koks verwendet.

*füllt sich 2. granit  
s. P. 2  
Ob auf  
mitte (habe)*

*provo. polypol fest?*

The first part of the paper deals with the  
theoretical aspects of the problem. It is  
shown that the problem is solvable in  
the case of a certain class of functions.  
The second part of the paper deals with  
the numerical solution of the problem.

### 3. Numerical Solution

In the numerical solution of the problem  
it is assumed that the functions are  
continuous and differentiable. The  
numerical solution is obtained by  
using the method of finite differences.  
The results of the numerical solution  
are compared with the analytical solution.

The numerical solution of the problem  
is obtained by using the method of  
finite differences. The results of the  
numerical solution are compared with  
the analytical solution. The numerical  
solution is obtained by using the  
method of finite differences. The  
results of the numerical solution are  
compared with the analytical solution.



Tabelle 1

Kokssorte	Gewichtsverlust in g bei min		
	20	40	60
BHT-Koks	49	93	135
Zwickauer Koks	20	45	72
Magdeburger Koks	25	49	73
Tschechischer Koks I	18	35	52
" " II	17	36	54
Poln. Koks Makoschau	21	46	70
" " Chrobry	15	31	47
" " Gliwice	32	66	98
" " Viktoria	18	34	49
Westfälischer Koks	12	24	37

*mit Verlust  
des*

Über die chemische und physikalische Beschaffenheit und einige andere Kennwerte, wie die Reaktionsfähigkeit nach KOPPERS und das Ascheschmelzverhalten der im Folgenden zu untersuchenden Kokse, geben die Tabellen 2 und 3 sowie die Bilder 1a bis 1e Auskunft.

In der Tabelle 2 sind die chemischen Daten zusammengefaßt. Es zeigt sich, daß der BHT-Koks besonders im Wassergehalt, im Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und dem Kalk-, Kieselsäure- und Eisengehalt erheblich von den anderen Kokssorten abweicht, die ihrerseits in der chemischen Zusammensetzung nur geringfügig unterschiedlich sind. Lediglich der Zwickauer Koks zeichnet sich durch einen beträchtlich hohen Eisenoxyd Gehalt aus, der zum Teil auf Kosten eines etwas niedrigeren Kieselsäurewertes einen zweifachen Vorteil bedeutet.

*Wassergehalt  
wenig mit 20-  
BHT-Koks?  
Kieselsäure?*

*a  
a  
BHT-Koks?*

Tabelle 3 bringt die physikalischen und die physikalisch-chemischen Werte. Erhebliche Abweichungen zeigen sich hier beim BHT-Koks in Form eines sehr geringen Porenvolumens bei entsprechend hohem Raumgewicht und hoher

Table

Year	1870	1880	1890	1900
Population	100	110	120	130
Production	100	115	130	145
Consumption	100	110	120	130
Export	100	110	120	130
Import	100	110	120	130

The following table shows the results of the investigation into the economic conditions of the district of Freiberg from 1870 to 1900. The data is presented in a tabular form, with the years 1870, 1880, 1890, and 1900 as columns. The rows represent different economic indicators: Population, Production, Consumption, Export, and Import. The values are given in relative terms, with 1870 as the base year (100). The population shows a steady increase over the period. Production and consumption also show growth, with production increasing more rapidly than consumption. The export and import figures remain relatively stable, indicating a balanced trade situation.

Druckfestigkeit. Der Zwickauer Koks fällt mit sehr niedrigen Druck- und Abriebsfestigkeitswerten aus dem üblichen Rahmen heraus. Die Reaktionsfähigkeitswerte liegen so, daß der BHT-Koks, der westfälische und der tschechische Koks als etwa gleichwertig bezeichnet werden können, während der Zwickauer und besonders aber der polnische Koks in ihren Werten erheblich höher liegen.

Die Bilder 1a bis 1e zeigen das Ascheschmelzverhalten der 5 Kokssorten. Die Untersuchungen erfolgten in der Apparatur nach BUNTE-BAUM-REERINK. *Wof?*

Charakteristisch für das Schmelzverhalten der BHT-Koksasche ist das ausgesprochen große Erweichungsintervall. Bereits bei 850-870 °C beginnt die Erweichung der Asche und erst bei 1300 °C tritt haltloses Erweichen ein. Der Übergang erfolgt stetig. Der westfälische Koks beginnt ebenfalls schon bei 840-870 °C zu erweichen. Der Steilabfall der Kurven liegt bei etwa 1000 °C, das Gebiet der allmählichen Erweichung ist stark eingeengt. Ganz anders ist der Schmelzverlauf der Asche des polnischen Kokes. Bis 1015 °C ist überhaupt keine Änderung der Beschaffenheit der Asche wahrnehmbar und bei dieser Temperatur erweicht die Probe unmittelbar und schroff. Ähnlich verhält sich die Asche des tschechischen Kokes, die bis 975 °C nur unwesentlich zusammengedrückt wird, dann aber mit sehr kurzem Übergang unmittelbar schmilzt. Schließlich zeigt die Probe 1e das Schmelzverhalten der Asche des Zwickauer Kokes. Bis 950 °C bleibt die Probe unverändert, um nach ganz kurzem, stetigem Übergang bei 1000 °C haltlos zu erweichen. *Wof?*

Von allen untersuchten Kokssorten schmilzt demnach die Asche des Zwickauer Kokes am schnellsten, während die des westfälischen- und des BHT-Kokes am frühesten erweicht und die BHT-Koksasche erst sehr spät schmilzt.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

a

Die äußere Form der zu untersuchenden Koks<sup>auf. unvollst. faulth. Koks</sup> ist an einigen a  
Durchschnittsstücken aus den Bildern 2 bis 6 und deren  
Makrostruktur aus den Bildern 7 bis 11 zu ersehen. Sehr  
aufschlußreich sind für die weiteren Untersuchungen bezw.  
zur Deutung der Ergebnisse die Strukturbilder. In diesen  
ist trotz der verkleinerten Darstellung die Porenverteilung,  
die Ribbildung und die Homogenität der Kokssubstanz  
an sich, gut zu erkennen. So zeigt der Schnitt des BHT-  
Kokses, makroskopisch betrachtet, keine Porenbildung. Die  
auf dem Bild sichtbaren porenähnlichen Gebilde sind Löcher,  
die beim Trennen der Koksstücke oder auch beim nachfolgenden  
Anschleifen durch Herausreißen einzelner Koks-  
körner entstanden sind. Eine sehr starke Ribbildung ist  
beim Zwickauer Koks zu erkennen, wobei betont sei, daß  
die vorliegenden Stücke keine Ausnahme darstellen. Dem-  
gegenüber ist der westfälische Koks annähernd ribfrei.  
Schließlich ist beim tschechischen und auch beim polni-  
schen Koks eine starke Inhomogenität in der Kokssubstanz  
zu sehen, die sich gleichzeitig in einer stark unter-  
schiedlichen Porenverteilung ausdrückt. Deutlich sind die  
nicht eingeschmolzenen, sehr groben Körner zu erkennen,  
die keinerlei Makroporen aufweisen. Demgegenüber gibt  
es Körner, deren Umrisse eben noch erkennbar sind, mit  
sehr feinen, aber noch sichtbaren Poren. Auf diese Er-  
scheinung wird später noch zurückzukommen sein.

Die Mikrostruktur der verschiedenen Kokssorten ist mit  
ihren erheblichen Unterschieden in den Bildern 12a), b)  
bis 16a), b) dargestellt. Die Vergrößerung ist 30-fach.  
Die Bilder 12 zeigen die Struktur des BHT-Kokses. Teil-  
weise sind noch die ursprünglichen Korngrenzen zu ersehen.  
Sehr kleine Poren sieht man innerhalb der einzelnen Kör-  
ner. Von den Steinkohlenkoksen ist der westfälische in  
den Bildern 13, der polnische in den Bildern 14, der  
tschechische in den Bildern 15 und der Zwickauer Koks  
in den Bildern 16 dargestellt. Diese unterscheiden sich

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

in der Struktur vom BHT-K<sub>0</sub>ks grundsätzlich und untereinander ebenfalls stark in der Porenverteilung, der Porengröße und der Zellwanddicke. Besonders dünne Zellwände zeigt hier der Zwickauer Koks bei relativ gleichmäßiger Porenverteilung, während beim tschechischen Koks die Zellwanddicke sehr unterschiedlich ist. Der westfälische und der polnische Koks zeichnen sich durch große Zellwanddicken aus.

### III. Untersuchung der Reaktionsfähigkeit

#### A. Kurzversuche

##### 1. Beschreibung der Versuchsanordnung.

Entsprechend den gestellten Forderungen nach möglichst großem Einsatzgewicht, technischer Stückgröße des Prüfgutes und einer kontinuierlichen Beobachtung des Gewichtsverlustes bei der Reaktion wurde eine Apparatur entwickelt, die in Bild 17 dargestellt ist. Das Reaktionsgefäß selbst ist ein vertikal gestelltes VIIA - Rohr, das im unteren Teil, kurz unterhalb der Heizzone der Siliciumstäbe, durch einen Boden fest abgeschlossen ist. Durch den Boden hindurch erfolgt über einen Verteiler und einen Vorwärmer die Gaszufuhr in den Reaktionsraum. Vor Eintritt in den Ofen durchläuft das Reaktionsgas ein Trockensystem. Über der Heizzone und schon außerhalb des eigentlichen Ofens befindet sich ein Zwischenboden, der nur eingelegt ist und als Leitblech und Strahlungsschutz dient. Unmittelbar unter diesem ist die Gasabführung angebracht. Den oberen Abschluß des Reaktionsrohres bildet ein Gußdeckel, durch den das Gehänge für den Korb führt, in dem sich das Prüfgut befindet. Für das

*Kurz gemacht*

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

III. Zusammenfassung der Ergebnisse

Main body of faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.



Thermoelement ist im Deckel und dem Zwischenboden eine Durchführung vorgesehen. Das Stahlrohr reicht nach unten über den Boden hinaus bis auf einen planen Teller, an dem das Rohr angezogen wird. Der Ofen ist allseitig durch Schamottesteine bzw. Schamottestampfmasse isoliert. Die Öffnung für das Korbgehänge ist nicht abgedichtet. Um dort das im teilweise austretenden Abgas <sup>infolge</sup> enthaltene Kohlenoxyd unschädlich zu machen, ist am Deckel ein kleiner Leuchtgas-Zünder angebracht. Eine Beeinflussung der Wägung infolge Gasaustrittes und des Abbrennens wird durch drei über dem Deckel bzw. am Gehänge angeordnete Blenden auf ein Minimum beschränkt. Zur Messung des Gewichtsverlustes dient eine einfache, arretierbare Hebelwaage, deren oberer Teil um die vertikale Achse drehbar ist.

## 2. Versuchsdurchführung

Die Probemenge beträgt 600 g, die Versuchstemperatur 900 °C und die lineare Strömungsgeschwindigkeit des Reaktionsgases 2,37 cm/s.

Während Anlage und Proben für die Versuche vorbereitet werden, wird der Ofen aufgeheizt. In den Trocknern und auch in den O<sub>2</sub> - Absorptionsgefäßen zur Reinigung des Spülstickstoffs werden die Reagenzien nach einer bestimmten Anzahl von Versuchen, mindestens aber täglich vor dem ersten Versuch, erneuert. Wenn der Ofen das Temperaturgleichgewicht erreicht hat, wird das Reaktionsgefäß 10 Minuten lang mit Stickstoff gespült und dann weiterhin unter Stickstoffstrom die Probe eingehängt. Der durch das Austreiben von Wasser und anderen flüchtigen Bestandteilen bedingte Gewichtsverlust wird kompensiert und kann wie der bei der eigentlichen Reaktion auftretende, ständig ermittelt werden. Nach 15 Minuten hat sich das ge-

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and mostly illegible due to fading and bleed-through.

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and mostly illegible due to fading and bleed-through.

störte Temperaturgleichgewicht im Reaktionsgefäß wieder eingestellt und auch das Gewicht der Probe bleibt praktisch konstant. Der Stickstoffstrom wird unterbunden und das Reaktionsgas eingeleitet. Die Messung des Abtrages erfolgt so, daß auf der Seite der Probe zu Beginn des Versuches ein bestimmtes Gewicht aufgelegt, oder auf der anderen Seite abgenommen wird, so daß die in Nullstellung befindliche Waage ausschlagen muß. Die Zeit, die notwendig ist, bis die Waage wieder die Ausgangsstellung erreicht hat, wird jeweils gemessen und sodann neuerdings ein Gewicht aufgelegt. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum Abbruch des Versuches. Diese Messung kann ohne Schwierigkeiten durch selbsttätige Registrierung erfolgen.

### 3. Versuchsergebnisse

In den Tabellen 4 und 5 sind die Zahlenwerte der Kohlensäure- und Luftreaktionsversuche mit den einzelnen Kokssorten zusammengefaßt. Jeder Versuch wurde dreimal durchgeführt, um ~~nochmals~~ die Reproduzierbarkeit der Werte zu überprüfen.

Es ist ersichtlich, daß die Streuung der einzelnen Versuchspunkte in engen Grenzen liegt. In den zugehörigen graphischen Darstellungen wurden jeweils die Mittelwerte zugrunde gelegt. In Bild 18 ist der bei der Reaktion mit Kohlensäure, in Bild 19 der bei der Reaktion mit Luft auftretende Gewichtsverlust über der Zeit dargestellt.

Bei der Reaktion mit Kohlensäure ist die unter den genannten Bedingungen gegenüber den anderen Koksen weitaus bessere Reaktionsfähigkeit des BHT-Kokses offensichtlich. Die Neigung der Kurve für den BHT-Koks weist eine leicht fallende Tendenz auf, die im Anfangsstadium der Reaktion etwas stärker ausgeprägt

*mit % vom  
BHT-Koks*

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

Main body of faint, illegible text, appearing to be several paragraphs of a document.

ist, als bei längeren Reaktionszeiten. Zum Teil kann das auf ein neuerliches Austreiben von noch vorhandenen flüchtigen Bestandteilen unter oxydierender Atmosphäre zurückgeführt werden. Man muß bedenken, daß gerade diese Stoffe im BHT-Koks in etwa acht- bis zehnfacher Menge enthalten sind als in den anderen Koksen. <sup>+) Bei längeren Versuchszeiten zeigt es sich, daß die Kurve über Zeiten von 60 - 90 Minuten hinaus fast geradlinig weiterverläuft. Von den Steinkohlenkoksen ist der Zwickauer Koks der reaktionsfähigste, während der westfälische Koks am trägsten ist. Auch der polnische und der tschechische Koks, die zusammen mit dem westfälischen Koks in der vorliegenden Auswahl die eigentlichen Hochofenkokse darstellen, sind in der Reaktion gegen Kohlensäure verhältnismäßig träge. Bei keinem der Steinkohlenkokse ist wie beim BHT-Koks eine fallende Tendenz in der Neigung der Kurven feststellbar, auch nicht bei längeren Versuchszeiten. Im Gegenteil ist diese beim Zwickauer Koks sogar steigend, d. h. daß die Reaktionsgeschwindigkeit mit der Zeit größer wird.</sup>

Die Versuche mit Luft ergeben ein völlig anderes Bild. Sämtliche Kokse liegen in der Reaktionsfähigkeit unter den vorliegenden Bedingungen ziemlich dicht beieinander. Es ist hier so, daß die Reaktionsfähigkeit gegen Luft, oft auch als Verbrennlichkeit bezeichnet, beim Zwickauer Koks und besonders stark beim BHT-Koks geringer geworden ist, und bei den als Hochofenkokse bezeichneten Steinkohlenkoksen größer, wovon der westfälische Koks die erheblichste Steigerung erfuhr.

Bezeichnet man den Abtrag des betreffenden Kokses bei einer bestimmten Zeit als seine Reaktionsfähigkeit, so lassen die beiden Darstellungen erkennen,

<sup>+) siehe Tabelle 2</sup>

*2. westf. Koks*

*später  
Lithol  
entgegen  
sind  
ausgeführt  
(Kocher 20/10)*

*2*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

daß das Reaktionsvermögen der Kokse bei 900 °C gegen Kohlensäure weitaus unterschiedlicher ist, als gegen Luft und daß die Reihenfolge in der Reaktionsfähigkeit der verschiedenen Kokssorten bei der Reaktion mit Kohlensäure und mit Luft nicht in jedem Falle übereinstimmt. Es bleibt zunächst festzustellen, wie und ob sich diese Verhältnisse bei höheren Versuchstemperaturen ändern.

## B. Hauptversuche

### 1. Beschreibung der Versuchseinrichtungen

#### a) Probenfertigung.

Nachdem durch Vorversuche festgestellt wurde, daß die Untersuchung an würfelförmigen Prüfkörpern gegenüber anderen Methoden gewisse Vorteile bringt und neben der Ermittlung des Gewichtsverlustes durch den Abbrand eine weitere, zwar grobe, aber aufschlußreiche Auswertung zuläßt, war zunächst die Frage der Würfelfertigung zu klären, die infolge der Härte, vor allem der Steinkohlenkokse, anfangs erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Als am günstigsten erwies sich für diesen Zweck die Bearbeitung des Kokses mit Trennscheiben aus Karborundum. Bild 20 zeigt die komplette Maschine, die eigens zur Herstellung der Kokswürfel gebaut wurde. Auf der Maschinenwelle sitzen 2 Trennscheiben, deren gegenseitiger Abstand 17,5 mm beträgt. Die Scheiben laufen in einer Führung. Der zu schneidende Koks wird durch eine Haltevorrichtung fest auf den Transportschlitten gespannt, dessen Vorschub von Hand betätigt wird. An den Scheiben sind zur Minderung der Staubbelästigung Saugkästen angebracht, durch

*Handwritten mark*

Das am 1. April 1900 erlassene Gesetz über die  
Rechtsstellung der Arbeiter in den  
Betrieben und Gewerkschaften ist ein  
wichtiges Stück der deutschen  
Rechtsgeschichte. Es hat die  
Rechtsstellung der Arbeiter  
wesentlich verbessert und  
die Gewerkschaften als  
gesetzliche Körperschaften  
anerkannt.

Handwritten title

Handwritten subtitle

(Handwritten text)

Das Gesetz über die  
Rechtsstellung der Arbeiter  
in den Betrieben und  
Gewerkschaften ist ein  
wichtiges Stück der  
deutschen Rechtsgeschichte.  
Es hat die Rechtsstellung  
der Arbeiter wesentlich  
verbessert und die  
Gewerkschaften als  
gesetzliche Körperschaften  
anerkannt. Das Gesetz  
ist ein wichtiges Stück  
der deutschen  
Rechtsgeschichte. Es  
hat die Rechtsstellung  
der Arbeiter  
wesentlich verbessert  
und die Gewerkschaften  
als gesetzliche  
Körperschaften  
anerkannt.



die ein großer Teil des anfallenden Staubes abgeführt wird. Zur Nachbearbeitung ist, von der Hauptwelle getrennt, eine weitere Scheibe vorgesehen. Die Anordnung der Schutzvorrichtungen ist aus dem Bild gut zu ersehen.

b) Reaktionsversuche

Als Ofen wird eine <sup>Luft</sup>Silitstabuffel verwendet, die Versuchstemperaturen bis zu 1350 °C<sup>zu</sup> erreichen gestattet (Bild 21) und für die höheren Temperaturen ein horizontal gestellter TAMMANN-Ofen. Das Reaktionsrohr besteht in beiden Fällen aus Sinterkorund. Der Durchmesser ist jeweils gleich groß. Die Reaktionsgase und das Spülgas durchlaufen vor Eintritt in den Reaktionsraum besondere Reinigergruppen und einen Vorwärmer. Die Kohlensäure, die Einzelbestandteile der Gichtgasmischung ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) und der Stickstoff als inertes Spülgas werden aus Flaschen entnommen; die Luft wird von einem kleinen Gebläse geliefert. Die Gasmenge wird an Strömungsmessern abgelesen, die in jeder Leitung eingebaut sind und durch Betätigung der Regulierventile eingestellt bzw. konstant gehalten. Die Wasserabsorptionsgefäße sind so eingeschaltet, daß jedes Gas gleichmäßig getrocknet wird. Besonders Augenmerk mußte auf die Reinigung des Spülgases von Sauerstoff und evtl. vorhandenen anderen oxydierenden Bestandteilen gelegt werden. Nach vielen Versuchen mit Unterstützung des Institutes für chemische Kohleveredlung wurde die in Bild 21 schematisch dargestellte Anordnung gebaut, mit deren Hilfe die letzten noch meßbaren Spuren Sauerstoff aus dem Gas beseitigt werden können. Die Absorption

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

erfolgt durch Aktiv-Kupfer. Die Gase treten, wenn sie aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzt sind, schon gemischt in das Rohr ein, wo sie zunächst den Vorwärmer durchströmen. In der Mitte des Rohres befindet sich die Probe, die so auf einem besonderen Schlitten liegt, daß sie allseitig annähernd gleichmäßig von den Gasen umspült wird. Am gekühlten Gasaustritt ist ein Feinstmeßmanometer angebracht, das jede Druckschwankung anzeigt, und so eine evtl. notwendige Druckregulierung gestattet. Für die Temperaturmessung sind zwei Thermoelemente vorgesehen. Die Lötstelle des zum Regeltrafo führenden befindet sich unmittelbar über dem Würfel und die des Kontrollgerätes wenige Millimeter hinter diesem.

*manfred  
Anschluss ?*

Für die Versuche bei Temperaturen oberhalb 1350 °C im TAMMANN-Ofen wurden ebenfalls Sinterkorundrohre gleichen Durchmessers verwendet. Auch die übrige Versuchseinrichtung, von der Gaszuführung bis zum Gasaustritt, abgesehen von der Länge der Heizzone, entspricht der beschriebenen. Die Temperaturmessung erfolgt bis 1500°C mittels eines Pt/Pt-Rh-Thermoelementes und bei höheren Temperaturen mit einem empfindlichen Ardometer.

## 2. Versuchsdurchführung

Zur Untersuchung gelangen nur Proben gleicher Grösse (Volumen  $V_0 = 5,25 \text{ cm}^3$ ), die bei 120°C getrocknet wurden. Unmittelbar vor dem Versuch werden diese gewogen und nochmals ausgemessen. Der Reaktionsraum steht währenddessen bei Versuchstemperatur unter Stickstoffatmosphäre. Die Probe wird dann auf einem Schlitten aus Sinterkorund in das Rohr eingeführt

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

A. Zusammenfassung

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

wo sie zunächst 10 Minuten lang, weiterhin unter Stickstoff, verbleibt. Diese Zeit genügt, um den Würfel aufzuheizen und zu durchspülen. Nach Ablauf dieser Zeit wird der Stickstoffstrom unterbunden und das Reaktionsgas mit einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit von 2,37 cm/sec eingeleitet. Das Einstellen der gewünschten Mengen bereitet auch bei dem Gasgemisch keine Schwierigkeiten. Von Zeit zu Zeit wird nach Abstellen des Stickstoffs zur Reduktion des Kupferoxyds Wasserstoff durch die Absorptionssäule geleitet, dessen Rest dann gemeinsam mit dem gebildeten Wasser <sup>lang</sup> über einen Dreiwegehahn ins Freie strömt. Wenn die Versuchszeit abgelaufen ist, wird an einem Hahn die Zufuhr der Reaktionsgase gesperrt und an einem weiteren der bereits eingestellten Menge Stickstoff der Weg durch das Reaktionsrohr freigemacht. Schon unter Stickstoff wird die Restprobe sofort in den kalten Teil des Rohres zurückgezogen, wo sie bis zur Abkühlung auf Raumtemperatur verbleibt. Die Zeit wird mit 12 Minuten konstant gehalten. Die Restprobe wird dann gewogen und ausgemessen. Die Versuche im TAILMANN-Ofen laufen in der gleichen Weise ab.

*Wasserstoff?*  
*Restprobe?*

### 3. Versuchsergebnisse

Untersucht wurde das Reaktionsverhalten der 5 Koksarten in Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur und der Gasart bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit der Gase. Jeder Versuch wurde zur Kontrolle mehrmals durchgeführt, was infolge der Inhomogenität des Kokes unumgänglich ist, wenn man den Ergebnissen überhaupt eine Verwertbarkeit zusprechen will. Die wichtigsten Versuchswerte sind in den Tabellen 6a, b, c, bis 10a, b, c zusammengefaßt, wovon die Tabelle 6 die Angaben für den BHT-Koks, 7 für den westfälischen

!



Koks, 8 für den polnischen, 9 für den tschechischen und 10 für den Zwickauer Koks enthalten. Die Rubriken 1 und 2 bringen die Versuchbedingungen, 3 und 4 die Ausgangsdaten, 5 und 6 die Meßwerte nach dem Versuch und die Rubriken 7 - 11 die für die weiteren Auswertungen errechneten Größen. Unter a) befinden sich jeweils die Daten der Reaktionsversuche mit Kohlensäure, unter b) die mit Luft und unter c) die mit dem Gichtgasgemisch.

Die unter Rubrik 7 angeführten Gewichtsverluste stellen ein Maß für das Reaktionsvermögen des betreffenden Kokes bei der zugehörigen Temperatur dar. Graphisch über der Zeit aufgetragen sind diese Zahlen für die 5 Kokssorten in den Bildern 22 - 36 und geben so den zeitlichen Reaktionsverlauf wieder, und zwar für die Reaktion mit Kohlensäure in den Bildern 22 - 26, mit Luft in den Bildern 27 - 31 und mit dem Gichtgasgemisch <sup>+) in den Bildern 32 - 36. Aufgetragen und durch die Zahlen der Rubrik 7 ausgedrückt ist jeweils der gesamte, während des Versuches festgestellte Gewichtsverlust der Probe, der sich aus den rein thermisch ausgetriebenen flüchtigen Bestandteilen des Kokes und dem eigentlichen Oxydationsverlust zusammensetzt. In der Tabelle 11 ist der Gewichtsverlust eines jeden Kokes bei verschiedenen Temperaturen und Zeiten im neutralen Stickstoffstrom, also die unter bestimmten Bedingungen ausgetriebene Menge flüchtiger Bestandteile, zusammengefaßt.</sup>

Im Folgenden werden die Einflüsse der drei Faktoren Zeit, Temperatur und Gasart auf den Reaktionsablauf bei den verschiedenen Kokssorten untersucht. Es ist offensichtlich, daß dabei eine absolute Trennung nicht

+ ) Die Gichtgasversuche konnten nicht in der Vielzahl der übrigen Versuche angestellt werden.

Gaszusammensetzung: 8% CO<sub>2</sub>, 33% CO, 59% N<sub>2</sub>.

*bezugnehmend  
auf, dass die  
meisten Gichtgas  
Kampfang gegeben*





möglich ist und dementsprechend wird bei der Behandlung des speziellen Falls stets die Wirkung der übrigen Größen berücksichtigt.

a) Zeiteinfluß

Der Verlauf der Reaktionsgeschwindigkeit und mit ihr des Abtrages über der Reaktionszeit ist bei den verschiedenen Kokssorten unterschiedlich. Die Steinkohlenkoks selbst weichen nicht beträchtlich voneinander ab, sie verhalten sich aber deutlich anders als der BHT-Koks. Die Reaktionsgeschwindigkeit eines Kokes, die hier als Neigungswinkel der Kurve bzw. deren Tangente zu einem bestimmten Zeitpunkt in Erscheinung tritt, kann demnach je nach der Kokssorte und Reaktionsbedingungen über der Zeit konstant bleiben, abnehmen oder auch zunehmen. Maßgebend für die Änderung der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Reaktionszeit ist in erster Linie die physikalische Beschaffenheit bzw. der Aufbau des Kokes und mit dieser die Oberflächenentwicklung bei der Reaktion. Durch diesen Faktor wird das praktische Reaktionsverhalten eines Kokes merklich beeinflusst.

Im Gegensatz zur Reaktion mit Luft, wobei eine Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Zeit nur beim BHT-Koks und teilweise beim Zwickauer Koks und bei der Reaktion mit dem Gichtgasgemisch, wobei gar keine Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Zeit mehr feststellbar ist, nimmt diese bei der Reaktion mit Kohlensäure bei allen Kokssorten sichtbar ab. Besonders stark ist dabei die Abnahme beim BHT-Koks. Dabei zeigt es sich, daß diese unmittelbar nach Reaktionsbeginn kurzzeitig noch gering bleibt, dann aber mit der Zeit ständig zunimmt. Die Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Zeit wird umso größer, je höher die Ver-

?  
1900° Koks

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.

Second line of faint, illegible text.

Third line of faint, illegible text.

Fourth line of faint, illegible text.

Fifth line of faint, illegible text.

Sixth line of faint, illegible text.

Seventh line of faint, illegible text.

Eighth line of faint, illegible text.

Ninth line of faint, illegible text.

Tenth line of faint, illegible text.

Eleventh line of faint, illegible text.

Twelfth line of faint, illegible text.

Thirteenth line of faint, illegible text.

Fourteenth line of faint, illegible text.

Fifteenth line of faint, illegible text.

Sixteenth line of faint, illegible text.

Seventeenth line of faint, illegible text.

Eighteenth line of faint, illegible text.

Nineteenth line of faint, illegible text.

Twentieth line of faint, illegible text.

suchstemperatur ist.

b) Temperatureinfluß

Jede Temperatursteigerung bedingt eine größere Reaktionsgeschwindigkeit, die sich in den Bildern 22 bis 36 im Neigungswinkel der Kurve und in dessen Folge in der absoluten Höhe der Kurven ausdrückt. Für verschiedene Kokssorten ist diese Änderung bei gleicher Temperatursteigerung unterschiedlich. Die vorliegenden Darstellungen geben darüber keinen klaren Überblick. In den Bildern 37 bis 42 wurde deshalb der Gewichtsverlust über der Temperatur aufgetragen, und zwar gesondert für jedes Reaktionsgas und zur Erfassung des Zeiteinflusses bei 2 verschiedenen Reaktionszeiten.

In Bild 37 ist der Gewichtsverlust der Proben bei der Reaktion mit Kohlensäure und 10 min Reaktionszeit dargestellt. Daraus läßt sich zunächst ein Anhalt über den Reaktionsbeginn bei verschiedenen Koksen gewinnen. Während demnach bei 900 °C nach einer Reaktionszeit von 10 min bei den Steinkohlenkokseneben <sup>den</sup> ein merklicher Gewichtsverlust auftritt, sind bereits annähernd 15% des BHT-Kokses, bezogen auf das Ausgangsgewicht der Probe, verbrannt. Schon bei 700 °C ist die Reaktion des BHT-Kokses etwa doppelt so weit fortgeschritten als die der Steinkohlenkoke bei 900 °C und gleicher Reaktionszeit. Bei weiterer Temperatursteigerung über 900 °C hinaus nimmt der Abtrag des BHT-Kokses bis um 1300 °C etwa linear zu, bei höheren Temperaturen dann zunehmend langsamer. Bei den Steinkohlenkoksen wird dagegen die Abtragszunahme mit steigender Temperatur ständig größer. Am stärksten ist diese Tendenz beim westfälischen Koks vorhanden, ihm folgt der polnische und schließlich der tschechische. Der Zwickauer Koks zeichnet sich durch einen zwar späten Reaktionsbeginn, aber einer unmittelbar danach schon sehr hohen

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Reaktionsgeschwindigkeit aus. Das entsprechende Diagramm für eine Versuchszeit von 20 min zeigt Bild 38. Der Abtrag konnte hier bei den Steinkohlenkoksen nur bis  $1500^{\circ}\text{C}$  bzw. sogar nur bis  $1300^{\circ}\text{C}$  verfolgt werden. Außer dem zeitbedingt größeren Abbrand ist der je Kokssorte verschiedene Einfluß der Zeit auf das Reaktionsvermögen ersichtlich, indem der Abbrand des westfälischen Kokses bereits bei  $1500^{\circ}\text{C}$ , statt, wie bei einer Reaktionszeit von 10 min erst bei  $1580^{\circ}\text{C}$ , dem bei BHT-Koks gleich ist. Hierin kommt nochmals der Zeiteinfluß auf den Reaktionsablauf bei den verschiedenen Koksen zum Ausdruck, dahingehend, daß der BHT-Koks im Verhältnis zu den Steinkohlenkoksen mit der Zeitdauer der Reaktion immer langsamer reagiert. Auf die Ursachen dieser Erscheinung wird noch zurückgekommen.

Der Umsatz der Koks bei verschiedenen Temperaturen mit Luft und einer Reaktionszeit von 10 min ist aus Bild 39 und bei 20 min Reaktionszeit aus Bild 40 zu ersehen. Bei einer Reaktionszeit von 10 min und  $900^{\circ}\text{C}$  ist die Verbrennung mit Luft bei allen Koksorten weiter fortgeschritten als unter sonst gleichen Bedingungen bei der Reaktion mit Kohlensäure, aber nicht verhältnismäßig für die einzelnen Sorten. Bei BHT-Koks ist die Steigerung nur geringfügig, beträchtlich dagegen bei allen Steinkohlenkoksen. Der weitere Verlauf der Kurven ergibt, daß die Zunahme des Abbrandes mit der Temperatur bei der Reaktion mit Luft erheblich geringer ist, als bei der Reaktion mit Kohlensäure. Erhalten, allerdings schwächer ausgeprägt bleibt die Tendenz in der Neigung der Kurven mit steigender Temperatur, also fallend beim BHT-Koks und steigend bei den Steinkohlenkoksen. Bei einer Reaktionszeit von 10 min ist demnach der Abbrand des BHT-Kokses durch Luft stets größer,

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

als der der Steinkohlenkokse und erst bei den höchsten hier untersuchten Temperaturen, findet eine teilweise Annäherung der Abbrandmengen der Steinkohlenkokse an die des BHT-Kokses statt. Deutlicher tritt diese Erscheinung in Bild 40 bei 20 min Reaktionszeit zutage. Dort ist der Unterschied im Gewichtsverlust schon bei  $900^{\circ}\text{C}$  nicht mehr so groß wie bei 10 min, und er wird mit steigender Temperatur immer geringer. Auch hier konnte die Reaktion der Steinkohlenkokse nur bis  $1500^{\circ}\text{C}$  verfolgt werden. Trotzdem ist es ersichtlich, daß bei höheren Temperaturen der Umsatz der Steinkohlenkokse schließlich den des BHT-Kokses übertrifft. Zuerst wird das beim westfälischen Koks der Fall sein, als zweiter wird dann der Zwickauer Koks und schließlich der polnische Koks den BHT-Koks übertreffen. Ein gesondertes Verhalten zeigt der tschechische Koks, dessen Abbrand durch Luft mit der Temperatur fast linear zunimmt.

*von der mit  
gut liegen!  
nicht gewöhnlich  
Hauptreaktion*

Zu beachten ist der sehr große Unterschied im Reaktionsvermögen der Kokse beim Umsatz mit Kohlensäure bei niedrigen Temperaturen bis etwa  $1300^{\circ}\text{C}$ .

*größter Unterschied  
auf dem!*

Schließlich wird in den Bildern 41 und 42 der Gewichtsverlust der Kokse über der Temperatur durch Reaktion mit dem Gichtgasgemisch dargestellt. Die Kurven ähneln im Verlauf unter Berücksichtigung des geringen Umsatzes denen der Bilder 37 und 38, also den Kurven für den Kohlensäureumsatz.

*ähnelt mir  
zu mindest  
für 37/40  
etwas weniger!*

Neben dem eigentlichen Zweck der Kennzeichnung des Kokses, besonders des BHT-Kokses, hinsichtlich des Reaktionsverhaltens geben die durch die Darstellungen 37 bis 42 veranschaulichten Ergebnisse einen gewissen Aufschluß über die Bedeutung und vor allem die Zweckmäßigkeit und Wichtigkeit einer Brennstoffprüfung bei niedrigen Temperaturen, wenn die Hauptreaktion der betreffenden Brennstoffe in Zonen ent-

*V. Melis  
W. J. J. J.*





schieden höherer Temperaturen abläuft, wie es bei metallurgischem Koks der Fall ist.

c) Einfluß der Gasart

Der Einfluß des Reaktionsgases auf den Reaktionsablauf wurde bereits im Rahmen der vorangehenden Behandlung des Zeit- und Temperatureinflusses teilweise in die Betrachtungen einbezogen. Besonders zu erwähnen wäre hier lediglich nochmals der auffällige Unterschied im Reaktionsvermögen der Kohlensäure und der Luft bei niedrigen und hohen Temperaturen.

Die Kohlensäure reagiert bei niedrigen Temperaturen entschieden langsamer als Luft. Mit steigender Temperatur nimmt dann aber der Umsatz mit Kohlensäure schneller zu, als der mit Luft, so, daß oberhalb einer bestimmten Temperatur, die für jede Kokssorte anders ist, unter sonst gleichen Bedingungen der Abtrag durch Kohlensäure weiter fortgeschritten ist als der durch Luft. Dieses Verhalten wird im wesentlichen durch zwei Faktoren bestimmt. Die träge Reaktion der Kohlensäure bei niedrigen Temperaturen ist thermo-chemisch bedingt und der im Verhältnis zur Reaktion mit Luft sehr starke Anstieg des Abbrandes durch Kohlensäure mit der Temperatur ist im vorliegenden Fall eine Frage der Konzentration der oxydierenden Bestandteile im Gas. Darüberhinaus spielt zweifellos die Beschaffenheit und Reaktionsfähigkeit der Kokse eine gewisse Rolle. Beispielgebend ist hierfür der BHT-Koks, der mit Kohlensäure auch bei niedriger Temperatur schon verhältnismäßig viel an Gewicht verliert, wobei, was bereits bemerkt wurde, ein Teil des Gewichtsverlustes auf das Austreiben flüchtiger Bestandteile zurückzuführen ist, *dermal* beim BHT-Koks größer ist als bei den Steinkohlen-

*hier*

*dermal*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

koksen, von denen wiederum der Zwickauer Koks die höchsten Werte aufzuweisen hat. Der experimentell ermittelte Anteil an flüchtigen Bestandteilen ist für jede der untersuchten Kokssorten bei verschiedenen Temperaturen und Zeiten in der Tabelle 11 zusammengefaßt dargestellt.

*in beigefügter  
Reinigung  
des Abstrahes*

Schließlich ist in den Bildern 41 und 42 der Gewichtsverlust der Kokse durch Reaktion mit dem Gichtgasgemisch in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Grundsätzlich ähneln diese Kurven denen der Bilder 37 und 38, die den Abtrag durch Reaktion mit reiner Kohlensäure darstellen. Bei niedrigen Temperaturen ist der Gewichtsverlust sehr gering. Der Abtrag nimmt mit steigender Temperatur infolge des schwächer oxydierenden Charakters des Reaktionsgases bei weitem nicht in dem Maße zu, wie bei der Reaktion mit reiner Kohlensäure. Erhalten bleibt aber die zum BHP-Koks relativ starke Zunahme des Reaktionsvermögens der Steinkohlenkokse mit der Temperatur, sowie der Einfluß der Reaktionszeit.

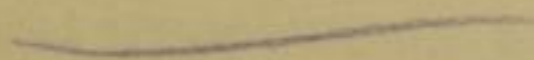
*Wdh. 2.19  
Reinigung.*

*erhalten*

#### 4. Deutung der Ergebnisse

Es ist nicht möglich, das im Vorangehenden beschriebende Reaktionsverhalten der verschiedenen Kokse unmittelbar in irgendeinen direkten Zusammenhang mit den Werten, die in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt sind, zu bringen. Das besagt nicht, daß diesen überhaupt jeglicher Einfluß abgesprochen werden müßte, wohl aber der primäre. Primär bestimmt die Art der Ausgangskohle die Reaktionseigenschaft des Kokes und diese wird durch die vielen, schon oft besprochenen und untersuchten anderen Faktoren +), die ihrerseits wiederum

+ ) siehe Literaturverzeichnis



Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

vorwiegend von den Eigenschaften der Ausgangskohle, sodann den Verkokungsbedingungen einschließlich der Kohlevorbereitung und der Weiterbehandlung der Kokse abhängen, mehr oder weniger stark beeinflußt. Je ähnlicher also die Ausgangskohle bei verschiedenen Kokssorten ist, desto größer ist der Einfluß der letztgenannten Faktoren auf die Kokseigenschaften, die auf diese Weise noch in beträchtlichen Grenzen beeinflußt werden können. Diese Möglichkeit besteht für den BHT-Koks, dessen gegenüber den Steinkohlenkoksen grundlegend anderes Verhalten ausschließlich eine Frage des Ausgangsmaterials ist, nur noch bedingt. Das heißt, daß mit den üblichen Mitteln zwar Verbesserungen der Koksqualität in Richtung der Steinkohlenkokseigenschaften in gewisser Hinsicht begrenzt möglich sind, daß aber das grundsätzliche Problem des Ausgangsmaterials und der durch dieses gegebenen besonderen Eigenschaften des Kokses bestehen bleibt.

Damit sind zwei Fragen zu klären. Einmal, auf welche spezielle Materialeigenschaft des Kokses sein besonderes Verhalten zurückzuführen ist und zum anderen, wie dieser Koks den Ofengang beeinflußt. Dem Zweck dieser Arbeit entsprechend liegt das Hauptaugenmerk auf der letzten Frage, deren Beantwortung im weiteren Verlauf der Ausführungen ein besonderer Abschnitt zugeordnet ist. Die Klärung der inneren Ursachen des Reaktionsverhaltens und der damit in Verbindung stehenden Fragen möge den Kohle- bzw. den Koksfachleuten vorbehalten sein, wohl aber sollen dazu im folgenden einige Anschauungen, die vor allem auf Grund von Beobachtungen während der Versuche und einer besonderen Versuchsdurchführung und -auswertung entstanden, dargelegt werden und die für vorzunehmende, spezielle Untersuchungen richtungweisend sein können.

*m. E.  
Kokseigenschaften  
Steinkohlen*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Stellen wir noch einmal das augenfällige Verhalten des BHT-Kokses im Vergleich zu dem der Steinkohlenkokse im Hinblick auf seine Reaktionseigenschaften heraus, ohne dabei vorerst den Zwickauer Koks mit zu berücksichtigen, der besonders im Hinblick auf die Reaktionsfähigkeit eine gewisse Zwischenstellung einnimmt.

Ganz allgemein setzt ein sichtbarer Gewichtsverlust beim BHT-Koks bei entschieden tieferen Temperaturen und auch heftiger ein, als bei den Steinkohlenkoksen. Trotz eines größeren Anteiles an flüchtigen Bestandteilen ist dieser in der Hauptsache auf sein gutes Reaktionsvermögen zurückzuführen. Dabei ist der Unterschied im Abtrag bei der Reaktion mit Kohlensäure und auch mit dem Gichtgasgemisch zwischen dem BHT-Koks und den Steinkohlenkoksen erheblich größer als bei der Reaktion mit Luft, bei welcher wiederum die Absolutwerte bei niedrigen Temperaturen allgemein höher liegen. Im Verhältnis zur Reaktion mit Kohlensäure bei  $900^{\circ}\text{C}$  ist der Gewichtsverlust bei der Reaktion mit Luft bei den Steinkohlenkoksen rund zehnmal größer geworden, beim BHT-Koks dagegen nur etwa zweimal. Mit steigender Temperatur nimmt der Gewichtsverlust der Steinkohlenkokse bei der Reaktion mit Kohlensäure und auch mit Gichtgas ab etwa  $1300^{\circ}\text{C}$  entschieden stärker, bei der Reaktion mit Luft noch merkbar stärker zu als der des BHT-Kokses. Die Folge ist, daß bei höheren Temperaturen und vor allem nach einer gewissen Reaktionszeit der BHT-Koks nicht mehr schneller abbrennt als der Steinkohlenkoks, unter bestimmten Bedingungen sogar langsamer. Diese Unterschiede im Reaktionsvermögen bei niedrigen und bei hohen Temperaturen sind bei der Reaktion mit Kohlen-

*Handwritten note:*  $\frac{20}{\text{Luft}}$

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.



säure und mit Gichtgas stärker ausgeprägt, als bei der Reaktion mit Luft.

Betrachten wir das Ausmaß der inneren Reaktion bei den verschiedenen Koksen, das heißt die Größe des Gewichtsverlustes aus dem Inneren der Probe heraus nach einer bestimmten Zeit. Die errechneten Werte sind in den Tabellen 6a, b, c bis 10a, b, c zusammengefaßt und graphisch im Kurvenblatt 43 aufgetragen.

Ermittelt wurden die Werte folgendermaßen: Vor Beginn des Versuches wurde jeder Würfel trocken gewogen und zur Volumenkontrolle nochmals ausgemessen. Aus diesen beiden Meßzahlen wurde das Raumgewicht ermittelt. Nach dem Versuch wurde der Restwürfel wiederum ausgewogen und sein Volumen bestimmt.

Aus diesem Restvolumen und dem Ausgangsraumgewicht ergibt sich durch Multiplikation ein neues Gewicht, das unter Zugrundelegung des Ausgangsraumgewichtes das Sollgewicht des Restwürfels ergibt, das in allen Fällen entsprechend den Reaktionsbedingungen und der Kokssorte mehr oder weniger größer ist als das gemessene Ist-Gewicht. Die Differenz zwischen Soll- und Istgewicht ist die innere Reaktion im Zeitpunkt des Versuchsabbruches am Restwürfel in Gewichtseinheiten.

Die Einzelwerte bei der Bestimmung der inneren Reaktion unterliegen infolge der verhältnismäßig schwierigen Volumenbestimmung der Restprobe größeren Schwankungen als die des Abtrages. Im Kurvenblatt sind die Mittelwerte des prozentualen Abtrages durch innere Reaktion am Restwürfel, bezogen auf sein Sollgewicht, über der Zeit aufgetragen.

Aus dem Verlauf der einzelnen Temperaturkurven bei verschiedenen Koksen läßt sich das besondere Verhalten des BHT-Kokses bei seiner Reaktion zum

a

*ist angepöpselt  
als Rest für ...  
(wie es nur  
große Kumpen)*

*Prof. Schmitt*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Teil erklären. Beschränken wir uns bei der Deutung zunächst auf die Reaktion mit Kohlensäure.

Für den BHT-Koks wird mit der Kurve für die Reaktions-  
temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  nachgewiesen, daß trotz fehlender  
Makroporen unter bestimmten Bedingungen eine kräftige  
Reaktion im Inneren des Würfels stattfindet. Sowohl  
bei  $900^{\circ}\text{C}$  als auch schon bei  $700^{\circ}\text{C}$  steigen die Kurven  
und damit die innere Reaktion mit der Zeit wie bei  
den Steinkohlenkoksen erwartungsgemäß an. Der Anstieg  
hat seine Ursache einmal in der rein zeitgebundenen  
Tiefenwirkung einer jeden derartigen Reaktion, die je  
nach der Kokssorte verschieden ist und zum anderen in  
der Verminderung der Würfelgröße bei der Reaktion,  
wobei angenommen wird, daß die innere Reaktion zu-  
nächst nicht die gesamte Probe durchsetzt und vor-  
wiegend nur bis in eine bestimmte Tiefe von der Ober-  
fläche aus eindringt. Mit kleiner werdender Probe wird  
dann trotz gleichbleibender Eindringtiefe ein relativ  
immer größerer Anteil des Würfelvolumens von der inne-  
ren Reaktion erfaßt, womit deren Größe über der Zeit  
scheinbar ansteigt. Beide Faktoren überlagern sich  
und es ist abhängig von der Beschaffenheit des Kokses,  
welcher von beiden für das Reaktionsverhalten bestim-  
mend wird. In welchem Maße und unter welchen Bedingun-  
gen die innere Reaktion tatsächlich nur auf oberflä-  
chennahe Schichten beschränkt ist, müßte noch genau  
geklärt werden. Bei  $1100^{\circ}\text{C}$  ist der Anstieg der Kur-  
ven über der Zeit bei den Steinkohlenkoksen erwartungs-  
gemäß größer, als bei  $900^{\circ}\text{C}$ . Das trifft nicht für den  
BHT-Koks zu. Bei diesem ist die innere Reaktion bei  
 $1100^{\circ}\text{C}$  bis zu Reaktionszeiten von 30 min nur etwa  
ebenso groß, wie bei  $900^{\circ}\text{C}$  und wird über längere Ver-  
suchszeiten hinweg sogar geringer. Auch bei weiterer  
Temperatursteigerung auf  $1300$  und  $1500^{\circ}\text{C}$  werden beim  
BHT-Koks die für die innere Reaktion bei  $900^{\circ}\text{C}$  ermit-

*Abt./Pom*

*sein  
unvollständig  
was ist*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

telten Werte nicht überschritten. Im Gegenteil zeigt der flachere Kurvenverlauf, daß die normalerweise zu erwartende Zunahme der inneren Reaktion mit der Zeit mit zunehmender Temperatur abklingt. Bei den Steinkohlenkoksen nimmt die innere Reaktion mit steigender Temperatur zu, während diese beim BHT-Koks also bereits bei  $900^{\circ}\text{C}$  ein Maximum erreicht hat. Der trotzdem hohe Gesamt- abtrag des BHT-Kokses durch Verbrennung wird somit mit steigender Temperatur und auch mit zunehmender Zeit mehr und mehr durch reine Oberflächenreaktion bestritten. Damit erklärt sich zum Teil der über der Reaktionszeit mit steigender Temperatur zunehmende Abfall der Reaktionsgeschwindigkeit dieses Kokses. Nicht geklärt bleibt indessen die Frage, warum beim BHT-Koks nach bei tiefen Temperaturen durchaus guter Entwicklung der inneren Reaktion diese mit steigender Temperatur nicht mehr zunimmt. Zweifellos ist keine derartige Steigerung der inneren Reaktion mit der Temperatur zu erwarten, wie es bei den Steinkohlenkoksen der Fall ist, bei denen durch die Reaktion infolge ihrer Porosität und Inhomogenität ständig neue Zugänge und damit neue Oberflächen für die Zufuhr und die Einwirkung von Reaktionsgas freigelegt werden. Durch diese fortlaufenden Vorgänge wird das Material innerlich und äußerlich stark zerklüftet, was dann nach Erreichen einer bestimmten Korngröße soweit führt, daß eine Unterscheidung zwischen innerer Reaktion und dem Abtrag von außen gar nicht mehr möglich ist. Der BHT-Koks ist dagegen sehr homogen und seine Poren sind zu klein, um in dieser Hinsicht wirksam zu sein. Der Abtrag erfolgt bei diesem sehr gleichmäßig und glättet im Gegenteil ursprünglich vorhandene, die reagierende Oberfläche ver-

*infolgedessen*

*Abtrag, Form*

*infolgedessen  
Abtrag, Form?*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

größernde Unebenheiten ein, was aber nicht ausschließt, daß die innere Reaktion, die bei der Steigerung der Reaktionstemperatur von 700 auf 900°C größer wird, und bei 900°C doch ein beträchtliches Ausmaß annimmt, mit weiterer Temperatursteigerung auch weiterhin zunehmen könnte. Es ergibt sich somit einerseits die Möglichkeit, daß beim BHT-Koks infolge seiner kleinen Poren bei trotzdem relativ hoher Porosität die innere Reaktion doch nur auf eine verhältnismäßig schmale, oberflächen-nahe Zone beschränkt bleibt, die auch bei Temperatursteigerung nicht größer wird, zum Teil sogar kleiner, wie es aus der Darstellung hervorgeht,

weil gleichzeitig der äußere Abtrag entsprechend oder schneller erfolgt, so daß die in diesem Fall vorwiegend zeitbedingte innere Reaktion dem äußeren Abtrag nicht folgen kann. Andererseits ist es möglich, daß die für eine Reaktion im Inneren eines Festkörpers erforderlichen Zugänge oberhalb einer bestimmten Temperatur vermindert werden, wofür auf Grund der vorliegenden Beobachtungen vor allem zwei Vorgänge in Betracht gezogen werden können.

Einmal die Schrumpfung des Kokes bei höheren Temperaturen, die um ein vielfaches größer ist, als bei Steinkohlenkoks, und die wohl vorwiegend auf Kosten der feinsten Hohlräume im Koks erfolgt.

Daneben ist es möglich, daß ein der Schrumpfung durch Temperatureinwirkung grob ähnlicher Vorgang den Feinbau des Koksgefüges beeinflußt, wodurch die Aktivität des Materials vermindert werden kann. Dazu muß jedoch betont werden, daß von einer umfassenden Passivierung nicht die Rede sein kann. Dagegen spricht das trotz geringster innerer Reaktion bei höheren Temperaturen noch größere Reaktionsvermögen des BHT-Kokes. Die zweite Möglichkeit einer Verminderung der Zugänge

(hauptsächlich)  
aufgrund der

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.



für das Reaktionsgas ist die, daß bei der Reaktion träge Restprodukte anfallen, die vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen und die mit den gasförmigen Reaktionsprodukten nicht mit ausgetragen werden und so die Hohlräume und Zugänge versetzen. Bei den Versuchen mit BHT-Koks wurde an den Proben in Oberflächennähe stets eine Anhäufung rußähnlicher Produkte festgestellt, deren Herkunft und Entstehungsursache noch nicht nachgegangen werden konnte. Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei der Schrumpfung neben der Temperatur auch chemische Vorgänge, ausgelöst durch die eigentliche Verbrennungsreaktion wirksam sind.

Alle Werte für die innere Reaktion bei der Verbrennung mit Luft sind bei den niedrigsten Versuchstemperaturen, für den BHT-Koks also bei  $700^{\circ}\text{C}$  und für die Steinkohlenkokse bei  $900^{\circ}\text{C}$  beträchtlich höher, als bei der Reaktion mit Kohlensäure. Die übrigen Werte für sämtliche Temperaturen sind dann beim BHT-Koks von denen bei der Reaktion mit Kohlensäure nicht wesentlich verschieden, während die für die Steinkohlenkokse entschieden tiefer liegen. Die innere Reaktion nimmt bei diesen nur bis  $1300^{\circ}\text{C}$  zu und fällt bei  $1500^{\circ}\text{C}$  unter den Wert für  $1300^{\circ}\text{C}$ , eine ähnliche Erscheinung, wie bei der Reaktion des BHT-Kokses bei tieferen Temperaturen. Diese Werte spiegeln in aller Deutlichkeit das Verhalten der Kokse bei der Reaktion mit Luft wieder.

Die Unterschiede in den Absolutwerten sowohl des Gesamtabtrages als auch der inneren Reaktion *hängen von der Temperatur, wie?* sind im wesentlichen thermo-chemisch bedingt und auch geklärt.

Die innere Reaktion bei der Umsetzung mit Gichtgas konnte nicht über den gesamten Temperaturbe-

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

IV.

reich verfolgt werden. Die vorliegenden Kurven zeigen aber, was auch zu erwarten war, daß die innere Reaktion wie auch die Gesamtreaktion mit Gichtgas der mit Kohlensäure im Verlauf weitestgehend entspricht, bei der Gasverdünnung entsprechend niedrigeren Absolutwerten.

#### IV. Untersuchung der Abriebfestigkeit

Der Frage des Abriebes der Einsatzstoffe für den Schachtofenbetrieb, insbesondere für den Hochofen, ist infolge der mehrfachen, zum Teil sehr starken Auswirkungen auf den Ofengang stets besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dabei steht der Koks als weichster Bestandteil des Einsatzes im Vordergrund der Betrachtungen.

Wenn auch der Ermittlung dieser Größe im üblichen Sinne in der Trommel eine Bedeutung beizumessen ist, so lassen diese Werte doch nur geringe Schlüsse auf das tatsächliche Verhalten im Ofen zu. Darüber unterrichten, u. a. neueste Arbeiten. <sup>+) Der teilweise unter hohen Drücken verschiedener Art stattfindende mechanische Abrieb wird durch eine Anzahl anderer Einflüsse zweifellos nur begünstigt, von denen der durch die chemische Umsetzung hervorgerufene der bedeutendste ist, während z. B. der rein thermische demgegenüber stark in den Hintergrund tritt. In dieser Hinsicht geben die üblichen Trommelwerte keinerlei Aufschluß, besonders dann nicht, wenn Brennstoffe vorliegen, die in ihrer Art stark voneinander abweichen, wie es beim BHT-Koks gegenüber dem Steinkohlenkoks der Fall ist.</sup>

Mittels einer einfachen Apparatur, die in dieser

<sup>+) siehe Literaturverzeichnis *unpubliziert*</sup>

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a preface or introductory section.

IV. Die Bedeutung der ...

Main body of faint, illegible text, appearing to be a detailed discussion or report.

Faint text at the bottom of the page, possibly a conclusion or signature.

Richtung ein erstes Tasten bedeutet, soll versucht werden, diesen Einfluß des chemischen Angriffs, zunächst bei einer einzigen, relativ niedrigen Temperatur, auf die Abriebfestigkeit zu erfassen.

#### 1. Versuchsapparatur

- Die zur Ermittlung des Abriebes bei verschiedenen Kokssorten unter Reaktionsbedingungen gebaute Einrichtung ist in Bild 44 dargestellt. In einem Silitstabofen befindet sich eine Trommel aus hitzebeständigem Stahl, die mittels eines Elektromotors über ein Getriebe in Rotation versetzt werden kann. Die Drehzahl ist beschränkt veränderlich. In einem <sup>Am</sup> Teil der Trommel, in dem sich die Koksprobe befindet, sind Mitnehmerleisten angebracht, die die Abriebwirkung der Schüttung erhöhen. Auf der dem Antrieb gegenüberliegenden Seite ist in dem hohlen Lagerzapfen die Gaseinführung und die Öffnung für das Thermoelement vorgesehen. Der Gasaustritt befindet sich an der Antriebsseitigen Stirnwand der Trommel

#### 2. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit Koksproben von je 200 g Gewicht und einer Körnung von 20 bis 25 mm vorgenommen. Während der Ofen ohne Trommel aufheizt, wird diese außerhalb mit dem Probegut beschickt und bei der Versuchstemperatur von  $900^{\circ}\text{C}$  in den Ofen gebracht. Wie bei den Reaktionsversuchen wird das Material zunächst im Stickstoffstrom durchgewärmt und dann das Reaktionsgas, in diesem Falle das Gichtgasgemisch, mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,37 cm/sek. eingeleitet und die Trommel mit 80 U/min in Bewegung gesetzt. Die Versuchszeit beträgt 60 Minuten. Nach Ablauf

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

Main body of faint, illegible text, appearing to be a paragraph or two of a document.

Second main body of faint, illegible text, continuing the document's content.

des Versuches wird das ausgetragene Gut gewogen und dann auf einem 5 mm-Sieb abgeseibt und der Siebrückstand und das Siebgut nochmals gesondert gewogen. Der Kornanteil unter 5 mm wird unter Berücksichtigung des Verbrannten als Abrieb bezeichnet. Die bei der Verbrennung bei 900°C anfallende Asche ist mit in den Abrieb einbezogen. Der Versuch wird beendet, indem anstelle des Reaktionsgases Stickstoff durch die Trommel geleitet und diese zum Erkalten aus dem Ofen herausgezogen wird. Nach 20 Minuten Kühlzeit wird die Probe wie beschrieben weiterbehandelt.

### 3. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Abriebversuche sind in der Tabelle 12 zusammengestellt. Die Tabelle ist in 2 Hauptteile <sup>gg</sup>zergliedert, in den Teil für den Kaltabrieb und den für den Abrieb unter Reaktionsbedingungen. Der Teil "Kaltabrieb" enthält in der ersten Rubrik den nach der Absiebung der getrommelten Probe enthaltenen Rückstand der Körnung über 5 mm und die Rubrik 2 den entsprechenden Abrieb in Gramm, der prozentual vom Einsatz ausgedrückt, in Rubrik 3 wiedergegeben ist. Im zweiten Teil der Tabelle ist in Rubrik 4 die nach der Trommlung unter Temperatur - und Reaktionseinfluß ausgetragene Gesamtmenge vermerkt, woraus der Umfang der Reaktion abzuleiten ist. Prozentual enthält diesen Rubrik 5. Schließlich bringt die Rubrik 6 den Siebrückstand über 5 mm, 7 den Abrieb unter 5 mm in Gramm und die Rubrik 8 den Abrieb, bezogen auf die nach dem Versuch ausgetragene Menge, in der Tabelle als Gesamtrückstand bezeichnet.

Q

*aus Tabelle 2  
Zusammenfassung  
Tabelle 12*

Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Die Bedeutung der...

Faint, illegible text in the middle section of the page, likely bleed-through from the reverse side.



Tabelle 13

Kokssorte		BHT	W	Chr	CSR	Z
Verbranntes	%	21,5	1,4	2,7	3,2	4,7
Abrieb Kalt	%	7,9	3,4	4,1	4,6	3,4
Abrieb unter Rebed. <i>Rebed. - bei</i>	%	20,2	3,5	4,6	5,3	6,5
Abrieبزunahme	%	156,0	2,9	12,2	15,2	91,2

Die Gegenüberstellung der jeweiligen Mittelwerte in Tabelle 13 und vor allem die daraus ersichtliche prozentuale Steigerung des Abriebes während der Reaktion, bezogen auf den Abrieb in kaltem Zustand, läßt erkennen, daß der Abrieb unter den vorliegenden Bedingungen umso stärker ansteigt, je weiter bei einem Koks die Verbrennung fortgeschritten ist.

Eine genauere Betrachtung des Abriebes zeigt einen grundsätzlichen Unterschied in der Art desselben bei BHT-Koks und bei den Steinkohlenkoks, von denen wiederum der Zwickauer Koks etwas aus der Reihe fällt. Der Abrieb des Steinkohlenkokes, wenn man von dem Ascheanteil absieht, ist stets größer als der des BHT-Kokes und besteht in der Hauptsache aus abgeriebenen und abgebröckelten Koksteilchen. Dagegen setzt sich der Abrieb des BHT-Kokes sowohl aus Kokskörnchen, die, wie sich herausstellte, bei durch Verbrennung angegriffenem Koks verhältnismäßig leicht aus der Oberfläche herauslösbaren Kohlenkörnchen der ursprünglichen Form bestanden, und einem erheblichen Teil marmartigen Kohlenstaubes sehr lockerer, voluminöser Art.

*Abrieb will  
besser  
11. 12. 1911*

*mit einem  
häufig, feinsten  
Auf der Seite!  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie  
Abrieb, wie*

*Witz!*

*zu...*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Die vorstehende Tabelle zeigt die Verteilung der ...  
 Die ...  
 Die ...

Die ...  
 Die ...  
 Die ...

Die ...  
 Die ...  
 Die ...

#### 4. Deutung der Versuchsergebnisse

Unterbricht man nach bestimmten Reaktionszeiten den Verbrennungsprozeß in ruhendem Zustand des Prüfgutes bei verschiedenen Kokssorten, läßt die Proben unter inertem Gas erkalten und untersucht sie auf ihre Oberflächenentwicklung während der Reaktion, so zeigt es sich, daß die Reaktion nur bei bestimmten Kokssorten, und zwar bei denen mit weitestgehend homogener Struktur ziemlich gleichmäßig über der gesamten Oberfläche verteilt fortschreitet. Bei den untersuchten Kokssorten ist das der Fall bei BHT-Koks und in gewissem Grade auch bei westfälischem Koks. Sobald größere Inhomogenitäten, besonders in Form eingelagerter Koks- bzw. Kohlekörner, aber auch in der Porengröße und -verteilung und in der Rissigkeit auftreten, reagiert der Koks an einzelnen bevorzugten Stellen, z.B. an Körnern mit großer Reaktionsfähigkeit oder an Rissen oder in oberflächennahen, grobporigen Bereichen schon sehr kräftig, während anderweitig noch kaum eine merkliche Reaktion oder zumindest ein Angriff eingesetzt hat. Auf diese Weise wird der Verband aufgelockert, es entstehen Hohlräume neben dem noch stehengebliebenem Material und so ein bis in beträchtliche Tiefen stark zerklüftetes Gut. Wenn ein solcher Koks einer mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, wird dementsprechend die Abriebmenge stärker ansteigen. Bei den Steinkohlenkoksen ist das besonders dann der Fall, wenn minderwertige Kokskohle verkocht wird oder die Korngröße in der Kohlenmischung zu groß ist oder die Verkokungsbedingungen nicht den Gegebenheiten angepaßt sind.

Beim BHT-Koks, der ein sehr dichtes und homogenes Gefüge aufweist, ist die starke Zermürbung und Auflockerung der Oberfläche ebenfalls auf die Tie-

*hat immer für  
auf Koks ?  
wenn möglich*

*[Faint title text]*

*[Faint main body text, illegible due to low contrast]*

fenwirkung der Reaktion zurückzuführen. Dabei ist allerdings ein erheblicher Unterschied zwischen der bei BHT-Koks und der bei Steinkohlenkoks vorhanden, nicht allein hinsichtlich der Eindringtiefe überhaupt und der verschiedenen Temperaturabhängigkeit, als vielmehr in der Art der Reaktion nach innen. Beim Steinkohlenkoks erfolgt diese entsprechend seiner Beschaffenheit, wie erwähnt, zunächst an besonders bevorzugten Stellen und sodann allgemein von den Oberflächen der von außen zugänglichen und den durch die Reaktion ständig freigelegt werdenden Poren aus in das Innere des Kokes, also wiederum deren Ausbildung entsprechend, örtlich verschieden. } e

Beim BHT-Koks entfallen einerseits die Inhomogenitäten des Materials und zum anderen die großen, von außen zugänglichen Poren. Das Gefüge ist kein Schmelzgefüge, sondern mehr ein Schrumpgefüge, worin neben der eigentlichen Kohlen-Beschaffenheit die Ursache des besonderen Reaktionsverhaltens bei niedrigen Temperaturen zu suchen ist. Die Reaktion erfolgt von außen sehr heftig, aber gleichmäßig, wobei, tiefenbegrenzt eine Reaktion im Inneren stattfindet, deren Ausmaß mittelbar von der Geschwindigkeit des äußeren Abtrages abhängig ist. Diese Reaktion schreitet, makroskopisch betrachtet, bei entsprechenden Versuchstemperaturen über die gesamte Oberfläche verteilt gleichmäßig nach innen fort, nicht aber mikroskopisch. In Wirklichkeit findet auch hier eine örtlich verschieden schnelle Reaktion statt, wobei die Stellen großen Reaktionsvermögens aber sehr dicht beisammen liegen. Das trägere Material bleibt, aus dem Verband gelöst oder zumindest stark gelockert, stehen und fällt bei geringster mechanischer Beanspruchung



als Staub verschiedenster Körnung ab. Daneben tritt ein weiterer, locker haftender Bestandteil von ruß-ähnlicher Beschaffenheit, wahrscheinlich ein träges Restprodukt einer unvollständigen Zersetzungsreaktion, in der äußeren Schicht und an der Oberfläche der Probe auf. Bei Versuchstemperaturen von 1500 und 1700°C, teilweise auch schon bei 1300°C konnte eine derartige starke Auflockerung der Oberfläche des Materials nicht mehr festgestellt werden. Die Proben waren allseitig gleichmäßig abgetragen, fest und dicht. Damit wird praktisch die Aussage belegt, daß bei genügend großer Aktivität des Koksmaterials durch Temperatursteigerung der Abtrag von außen so schnell von statten geht, daß die infolge der Dichtheit des Materials stark zeitgebundene Reaktion im Inneren gar nicht zur Geltung kommt.

Praktisch das Gegenteil ist bei dem porösen Steinkohlenkoks der Fall, dessen bei niedriger Temperatur ausgesprochen geringe Reaktionsgeschwindigkeit bei höheren Temperaturen um ein Vielfaches ansteigt. Dieser Umstand ist nur darauf zurückzuführen, daß den Gasen durch die ständig fortschreitende Reaktion durch Erweiterung der Porenräume und gleichzeitiger Freilegung neuer Poren weitere Angriffsmöglichkeiten gegeben werden, was umso schneller und umfassender erfolgt, je höher die Reaktionstemperatur ist. In entsprechendem Sinne wird das Koksgefüge geschwächt und die Festigkeit des Kokses nimmt ab. Der immer anfallende, vorwiegend gröbere Anteil des Abriebes entsteht beim BHT-Koks wie auch bei den Steinkohlenkoksen meist an schon ursprünglich rissigen Stellen des Kokstückes oder durch übermäßig starke Druckeinwirkung. Der starke Abriebanfall beim Zwickauer Koks ist außer auf die allgemein für Steinkohlenkokse zutreffenden Einflußgrößen

*Abtragungsgrad!*

*Wdh*

*früher  
muß auf  
Kohle  
bestimmt  
werden, ob  
in der  
bei übermäßig  
reaktion führt*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

1. 1



vor allem auf seine große Reaktionsfähigkeit bei niedrigen Temperaturen zurückzuführen, wodurch die schwachen Zellwände stark angegriffen werden und dementsprechend die Gefügesteifigkeit leidet. Beim BHT-Koks und auch beim Zwickauer Koks setzt somit ein stärkerer Abrieb, bedingt durch die Auflockerung seiner Oberfläche infolge des chemischen Abtrages schon im oberen Teil des Schachtes ein, sobald die Umsetzung mit den aufsteigenden Gasen merklich eingesetzt hat. Bei Steinkohlenkoks ist an der gleichen Stelle noch kaum eine Reaktion feststellbar. Die Abriebmenge wird somit im Schacht durch chemische Einflüsse nicht merklich beeinflusst.

#### V. Einige Bemerkungen zur Druckfestigkeit des Kokses

Die Tabelle 3, Blatt 1 bis 5 enthält die Werte für die Druckfestigkeit der untersuchten Kokse, die durch Zerdrücken entweder ganzer BHT-Koksbricketts oder bei Steinkohlenkoks von ausgeschnittenen Würfeln unter der LOSENHAUSEN-Presse und Umrechnung auf  $\text{kg/cm}^2$ , ermittelt wurden. Für einen normalen Steinkohlenkoks sind im allgemeinen Festigkeiten von 100 bis 160  $\text{kg/cm}^2$  geläufig. Von den vorliegenden Steinkohlenkoksen erreicht außer dem westfälischen Koks keiner diese Zahl. Der BHT-Koks hingegen liegt beträchtlich darüber.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß der Druckfestigkeit von allen mechanischen Kennwerten für Koks die geringste Bedeutung beizumessen ist, weil der von der Möllershüle auch großer Öfen ausgeübte Druck im Durchschnitt nicht die Druckfestig-

*spannung  
mit  
Blatt  
überprüfen*



keit eines normalen Kokes übersteigt. Es ist aber bekannt, daß im Ofen Spitzendrücke auftreten können, die erheblich über dem Durchschnittswert liegen und die ohne weiteres Ausmaße annehmen, denen auch ein guter Koks nicht mehr gewachsen ist. Der Koks wird dann zerdrückt oder zumindest auseinandergesprengt. Hierbei kommt es nun ganz entscheidend darauf an, wie der Koks zerfällt und welche Kornfraktionen dabei auftreten und es ist ohne weiteres möglich, und sogar anzunehmen, daß dieser Zerfall im Ofen gar keine Seltenheit ist.

*Wolfs  
Kugeln sind  
hüpfen?*

Bei den Steinkohlenkoks konnte durch Laborversuche ermittelt werden, daß der Zerfall durch Druckeinwirkung zwar eine Verminderung der Kokskörnung herbeiführt, die aber den Ofengang nicht wesentlich beeinflußt, weil die neu gebildeten Stücke ziemlich groß und mit sehr wenig Feinanteil anfallen. Ganz anders sieht die durch örtliche Druckeinwirkung bedingte Zerstörung des BHT-Kokes aus, die schon bei geringerer Belastung erfolgt, als bei den Steinkohlenkoks, entgegen-  
gesetzt zu den Erwartungen, die die oben angeführten Werte zuließen. Der BHT-Koks zerfällt oft sehr plattig und hinterläßt einmal in größeren Reststücken Risse, wodurch eine weitere Zerkleinerung begünstigt wird und zum anderen fällt mehr Grus und Staub als bei Steinkohlenkoks an. In diesem Falle ist, wenn eine derartige Zerkleinerung merklich auftritt, durchaus ein negativer Einfluß auf den Ofenbetrieb zu erwarten.

*a*

*nr*

*entgegen-*

Es ist so, daß die im Labor ermittelten Druckwerte nur einem ganz speziellen Fall aus der Vielzahl der verschiedenen Druckwirkungen, denen ein Koks beim Niedergehen im Ofen eingesetzt ist, entsprechen. Es läßt sich anhand dieser Werte nicht

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

immer sagen, ob ein Koks besser oder schlechter ist, was sehr deutlich beim BHT-Koks in Erscheinung tritt. Das trifft vor allem dann zu, wenn die Natur der Koks nicht die gleiche ist. Als rohe Anhaltzahlen sind die Druckwerte trotzdem zu gebrauchen.

*bei mangelnder  
näher begründeter  
Werte*

Es wurde bisher nur in wenigen Fällen untersucht, wie sich die verschiedenen Werte, unter anderem auch die Druckfestigkeit, unter Reaktionsbedingungen ändern. Hier wurde einmal der Versuch unternommen, ähnlich wie bei der Abriebfestigkeit, zunächst einmal einen Anhalt über die Änderung der Werte unter Temperatur- und auch unter Temperatur- und Gaseinfluß zu gewinnen. Gearbeitet wurde in dem in Bild 21 dargestellten Ofen für die Reaktionsversuche. Aus der ursprünglichen Einrichtung mußte die Schamottefüllung für die Vorwärmung der Gase entfernt werden. Für die Druckfestigkeitsprüfung wurde von der Gaszufuhrseite ein einrastbarer Stempel in das Rohr eingeführt und von der Gegenseite der eigentliche Druckstempel. Naturgemäß bringt eine derart grobe Versuchsanordnung besonders wegen des immer mehr oder weniger ungleichmäßigen Abtrages bei der Reaktion in der Auswertung der ermittelten Druckergebnisse gewisse Schwierigkeiten mit sich. Als Bezugswert für die Berechnung der Druckfestigkeit wurden die bei den Reaktionsversuchen ermittelten Durchschnittsgrößen der Restproben nach der entsprechenden Reaktionszeit verwendet. Vorausgreifend sei bemerkt, daß die Mittelwertbildung ohne Ausschluß der extremen Werte erfolgte, wodurch es bei je 7 Proben leicht möglich ist, daß ein einzelner stark abweichender Wert, den Mittel-

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

*mitt. J. K. ...?*

wert beträchtlich hebt oder senkt. Neben dem Mittelwert wurden deshalb in der Tabelle 14 auch die Höchst- und Tiefstwerte angegeben.

*Pyrit-  
feste*

In der Kaltdruckfestigkeit zeichnet sich auch hier der BHT-Koks durch einen gegenüber den anderen Koksen sehr hohen Wert aus. Die Steinkohlenkokse liegen in verhältnismäßig engen Grenzen dicht beieinander. Es kann keinesfalls erwartet werden, daß diese unter grundsätzlich anderen Bedingungen ermittelten Werte mit denen der Tabelle 3 übereinstimmen.

Die in neutraler Atmosphäre gemessenen Werte bei Temperaturen zwischen 900 und 1300°C wurden zusammengefaßt, weil in den einzelnen Temperaturstufen keine klare Differenzierung feststellbar war. Sehr stark abgefallen ist hier schon die Druckfestigkeit des BHT-Kokes, während die Festigkeit der Steinkohlenkokse kaum eine Minderung erfuhr. Dagegen nehmen die Druckwerte bei gleichzeitiger Reaktion zusehends ab und zwar bei der Reaktion mit Kohlensäure erst merklich, nachdem diese voll eingesetzt hat. Beim BHT-Koks ist das bei 900°C und bei den Steinkohlenkoksen erst oberhalb 1100°C der Fall. Es zeigt sich dann, daß bei 1300°C die Festigkeitswerte aller Sorten nicht mehr erheblich voneinander abweichen. Bei der Reaktion mit Luft fällt es auf, daß der BHT-Koks schon bei 700°C sehr stark an Festigkeit verloren hat und bei 900°C gilt das gleiche auch für die Steinkohlenkokse. Außerdem ist der im Kaltversuch vorhandene Unterschied in der Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Reaktion mit Luft schon bei 900°C fast aufgehoben.

*...  
...  
...  
...  
44% CSR  
...  
... 48%!*

Diese Werte sollen zeigen, daß beim Niedergehen des Kokes im Ofen außer der Oberflächenfestigkeit auch dessen Widerstandsfähigkeit überhaupt durch die ein-

*a*

*}*





setzende Oxydation sichtlich beeinflusst wird.

## VI. Auswirkungen auf den Ofenbetrieb

Der Koks hat im Hochofen zwei wesentliche Aufgaben zu erfüllen, deren eine die Reduktionsarbeit mittelbar oder auch unmittelbar ist und die zweite, die Erzeugung der für den Ablauf des Prozesses notwendigen Temperatur und Wärmemenge. Daneben spielt die die Beschickung auflockernde Wirkung des Kokes, besonders bei großen Öfen, eine für deren Betriebsweise beachtliche Rolle. Die für den Ofengang ohne Frage vorrangige Bedeutung kommt dabei der Temperatur- und Wärmeentwicklung zu, und das umsomehr, je größeren Schwankungen die Qualität der Einsatzstoffe, insbesondere des Kokes, unterworfen ist.

Der vor die Formen gelangende Koks verbrennt oder reagiert entsprechend seinen Eigenschaften und den dort herrschenden Bedingungen hinsichtlich der Windtemperatur, Windmenge, Winddruck, Windgeschwindigkeit und -zusammensetzung mehr oder weniger schnell mit dem Sauerstoff des Windes und mit der Kohlensäure. Bleiben die angeführten Windverhältnisse, die ihrerseits zum großen Teil von der Möllerbeschaffenheit und insbesondere der des Kokes abhängen, konstant, dann ist es allein die Frage der das Reaktionsverhalten bestimmenden Eigenschaften des Kokes, wie groß die Umsatzgeschwindigkeit jeweils ist. Reagiert der Koks mit Sauerstoff schnell, dann wird die Verbrennungszone klein und die maximale Temperatur steigt an, beschränkt sich aber in gleichem Maße auf einen

a

reagiert sehr schnell  
Hochtemperatur  
reagiert schnell?

sehr flüchtig!

Temperatur

begrenzt!

... ..

VI. ... ..

... ..

... ..

kleineren Raum. Bei gegenüber Sauerstoff trägem Koks ist das Gegenteil der Fall. Die Verbrennung erstreckt sich auf ein größeres Volumen, die Maximaltemperatur liegt niedriger, erfaßt aber entsprechend der größeren Verbrennungszone einen größeren Bereich des Unterofens, der sich vor allem stärker nach oben ausdehnt. Dazu muß der endotherme Umsatz des Kokes mit der Kohlensäure berücksichtigt werden, der je nach der Koksart direkt und darüber hinaus indirekt durch deren Wirkung bei der voraufgegangenen, eigentlichen Verbrennungsreaktion beeinflusst wird. Diese Tatsache findet ihren Ausdruck in einem mehr oder weniger schnellen Abklingen der hohen Temperatur im unteren Teil des Ofens. Alle diese Vorgänge bestimmen in ihrer Wechselwirkung entscheidend den Temperaturverlauf im gesamten Ofen.

Gleichzeitig muß in diesem Zusammenhang das Problem der verfügbaren Wärme behandelt werden. Unabhängig von den Ballaststoffen des Kokes: Asche, Wasser und Schwefel, die bei Schwankungen den Heizwert erheblich beeinflussen, die aber unter normalen Verhältnissen im Hinblick auf den Wärmehaushalt des Ofens ohne weiteres zu berücksichtigen sind, sind es noch zwei Faktoren, die in dieser Richtung einen sichtbaren Einfluß ausüben. Das sind der Abbrand des Kokes, wenn dieser schon bei niedrigen Temperaturen gut reagiert und der mechanische Abrieb beim Niedergehen der Beschickung. In beiden Fällen geht Kohlenstoff ohne Nutzen verloren, der dann vor den Formen als Wärmeträger fehlt.

*selbstverständlich!*

*Problempunkt*

*ausgabe ist wichtig!*

*alle Angaben sind aus dem Protokoll*

*aus allgemein!*

*ausgabe ist wichtig!  
intern untereinander  
mit für die Arbeit  
siehe S. 12*

*"Wärmeverluste"  
wenn möglich*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Partial view of text from the adjacent page on the right.

Schließlich ist in diesem Rahmen das Augenmerk auf die Gasdurchlässigkeit der Beschickungssäule zu lenken, die in starkem Maße von der Gasdurchlässigkeit der Koksschüttung abhängig ist. Letztere ist eine Funktion der physikalischen Eigenschaften des Kokses, wie Stückigkeit, Stückform und scheinbares spezifisches Gewicht.

Den folgenden, vergleichenden Betrachtungen sei die letzterwähnte Frage der Gasdurchlässigkeit eines Möllers bzw. der Beeinflussung derselben durch verschiedene Koksqualitäten und deren Verhalten im Ofen vorangestellt. Der Koks wirkt in der Beschickungssäule auflockernd und verteilend und es ist abhängig von der Art der Beschickung, der Koksqualität in physikalischer Hinsicht und zum Teil der Beschaffenheit des Möllers, ob der eine oder der andere Effekt stärker hervortritt. Sowohl eine gute Gasdurchlässigkeit als auch eine Gleichmäßigkeit der Durchgasung des Möllers sind wesentliche Voraussetzungen für einen forcierten und wirtschaftlichen Ofenbetrieb, wobei deren Bedeutung mit wachsender Ofengröße gewaltig zunimmt.

Der Einfluß der Koksqualität auf die Durchgasung drückt sich in den Eigenschaften Korngröße, Kornverteilung, Kornform und Oberflächenausbildung und dem scheinbaren spezifischen Gewicht aus. Unabhängig davon wirken sich ebenfalls primär, wie die genannten Koks-faktoren, die Beschaffenheit der übrigen Beschickung, schließlich die Beschickungshöhe und das Ofenprofil und sekundär die Betriebs-

qualität auf fließt!

Wdh

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Partial text visible on the right edge of the page, including words like "wel", "se", "Ein", "wi", "ge", "bl", "(ar", "chen", "kann", "Sto", "von", "bed", "ber", "in", "hel", "das", "Blug", "tut", "w", "il", "ll", "vil", "geg", "Eola", "wob", "TIL", "küm", "t", "il", "lun", "das", "HT", "kol", "alg".

weise des Ofens auf die Durchgasungsverhältnisse aus.

Ein Vergleich der Steinkohlenkokse insgesamt mit dem BHT-Koks in Bezug auf die die Durchgasung beeinflussenden Eigenschaften, ergibt folgendes Bild. Die Korngröße des BHT-Kokes (Brikettform 80 x 50 x 40 mm) ist als ausreichend zu bezeichnen. Von einer Kornverteilung kann praktisch nicht gesprochen werden, da die Stückigkeit des Kokes sehr gleichmäßig ist, womit von Seiten des Kokes die günstigsten Bedingungen für eine gute Durchgasung gegeben sind. Die Steinkohlenkokse (Verhältnisse in der DDR) schwanken in der Korngröße erheblich. Das vorliegende Korngemisch neigt dazu, die bei gleicher Stückigkeit, unabhängig von deren Größenordnung, großen Leerräume in der Schüttung zu vermindern und damit deren Strömungswiderstand zu erhöhen. Einer Gleichmäßigkeit in der Kornform und der Oberflächenausbildung beim BHT-Koks steht eine völlige Regellosigkeit bei Steinkohlenkoksen gegenüber. Die glatten Oberflächen des BHT-Kokes vermindern den Strömungswiderstand, wobei jedoch die formbedingten parallelen Flächen eine gewisse Schichtung verursachen können, die ihrerseits die Durchgasung beeinträchtigt. Die Auswirkung des scheinbaren spezifischen Gewichtes ist indirekter Natur. Ihren Ausdruck findet sie im Schüttvolumen des Kokes, das sehr stark von dieser abhängig ist. Der BHT-Koks ist spezifisch schwerer als Steinkohlenkoks (siehe Tabelle 2). Er liegt infolgedessen dichter, das Schüttvolumen ist

a

*Handwritten notes:*  
Trennungsmöglichkeit  
Aufschüttung  
wie bei Koks  
Lagerung mit  
BHT-Koks  
alle anderen  
BHT-Koks?  
Aufschüttung  
BHT-Koks  
Lagerung mit  
BHT-Koks

*Handwritten notes:*  
Spez. Gew. BHT-Koks  
= Schüttgewicht!

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Klein  
Virk  
Unter  
der  
un  
MIL  
Koh  
Vort  
bel  
gen  
ten  
gen  
gro  
Uen  
die  
Koh  
sur  
len  
be  
tu  
me  
Jei  
den  
get  
ste  
mal  
ande  
du  
dag  
Se  
re  
ne  
ing  
cha  
ge



kleiner und seine auflockernde und verteilende Wirkung geringer.

Unter den heute üblichen Bedingungen bezüglich der physikalischen Beschaffenheit, besonders der Gleichmäßigkeit des Kokes und auch der übrigen Möllerb Bestandteile bringt der Einsatz von BHT-Koks in Bezug auf die Durchgasung zweifellos Vorteile mit sich, die sich besonders stark bei der Verschüttung in Niederschachtöfen zeigen werden, die vorwiegend mit schlechklassiertem und kleinstückigem Möller und minderwertigem Koks betrieben werden. Das Gleiche gilt zum großen Teil auch für den Betrieb kleiner Hochöfen. Dazu kommt bei Öfen mit niedrigem Schacht die geringere chemische Beanspruchung des BHT-Kokes infolge der kürzeren Verweilzeit im kohlen-säureführenden Bereich des Schachtes und vor allem das schnellere Durchlaufen der den Abrieb begünstigenden Zone relativ niedriger Temperaturen. Diese Bedingungen sind bei Hochöfen nicht mehr gegeben. Der BHT-Koks ist in diesem längere Zeit bei Temperaturen um 900 - 1100°C oxydierenden Gasen ausgesetzt, die den Koks chemisch angreifen. Die Versuche zeigen, daß dabei eine stetige Abrundung des Briekts erfolgt, die einmal durch den rein chemischen Abtrag und zum anderen durch den damit unmittelbar in Verbindung stehenden Abrieb bedingt ist. Die Abrundung der Koksstücke bringt eine Verdichtung der Schüttung mit sich und der Abrieb, der nicht restlos ausgetragen wird, wirkt sich weiterhin negativ auf die Gasdurchlässigkeit der Beschickung aus. Bei Steinkohlenkoks ist diese kräftige chemische Einwirkung mit ihren Nebenerscheinungen im Schacht bei weitem nicht in dem Maße vor-

*folgende*

2  
Wird  
unter BHT  
in Talk  
M R.

Wie sollart  
Aufgabe  
Aufgabe BHT  
Ab-Verhältnisse?

Prüfung!  
Vorf. mitgeteilt?  
Anfertigung?

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Handwritten notes or scribbles in the left margin.

Fragment of text from the adjacent page on the right, including words like "hand", "TUM-", "keit", "alle", "un", "Ufa", "stir", "de", "TUM-", "und", "Ges", "rah", "dre", "die", "geb", "ne", "Ges", "sch", "le", "la", "fe", "aus", "ofe", "wo", "an", "fa", "da", "Ter", "ka", "bed", "gut", "mo", "Ver", "Lan".

handen. In dieser Hinsicht sind beim Einsatz von BHT-Koks unter ungünstigen Bedingungen Schwierigkeiten im Ofenbetrieb zu erwarten, die sich vor allem in einem Dichtgehen und dem damit verbundenen schweren Ofengang äußern. Mit zunehmender Ofengröße werden die Voraussetzungen dafür günstiger.

Es wurde im Laborversuch festgestellt, daß der BHT-Koks bei der Reaktion mit Gichtgas bei  $900^{\circ}\text{C}$  und 10 Minuten Reaktionszeit etwa den sechsfachen Gewichtsverlust erlitten hat, als die Steinkohlenkokse im Durchschnitt und bei  $1100^{\circ}\text{C}$  annähernd den dreifachen. Bei 20 Minuten Reaktionszeit liegen die Werte für den BHT-Koks noch höher. Diesem Ergebnis liegt allein der Gewichtsverlust durch Reaktion zugrunde. Um welchen Betrag sich der Gesamtabtrag, d.h. der chemische Abtrag einschließlich des mechanischen Abriebes erhöht, lassen die Werte der Tabelle 13 abschätzen. Dadurch, daß der BHT-Koks-Abrieb vorwiegend sehr feiner Natur ist, wird dieser zum großen Teil ausgetragen und gelangt nicht in den Unterofen. Für die <sup>Wärmeerzeugung</sup> ~~Wärmeerzeugung~~ <sup>mit dem Abrieb</sup> ~~fehlen dann sowohl~~ die Menge abgebrannten Kohlenstoffs, als auch fast <sup>vollständig</sup> ~~ausschließlich~~ die auf dem Abrieb fallende Menge. Es wurde bereits dargelegt, daß beide Werte im Bereich relativ niedriger Temperaturen unmittelbar im Zusammenhang stehen. Sind demnach in einem Ofen die Reaktionsbedingungen bereits im oberen Teil des Schachtes gut, wie es bei Hochöfen der Fall ist, und zwar umsomehr, je größer diese sind, dann nimmt der Verlust an Kohlenstoff ein beträchtliches Ausmaß an.

Q



Der durch die gleichen Faktoren Abbrand und Abrieb verursachte Verlust bei Steinkohlenkoks ist demgegenüber gering. Der alleinige Verlust an Kohlenstoff ist im Betrieb erfaßbar und auszugleichen. Eine unmittelbar negative Einwirkung auf den Ofenbetrieb findet dann nicht statt.

Der durch die endotherme Reaktion der Kohlensäure mit dem Kohlenstoff im Schacht auftretende Wärmeverbrauch wird nicht merklich in einer Abkühlung des Schachtes seinen Ausdruck finden, einmal, weil das Ausmaß der Reaktion im Schacht je nach den Bedingungen verschieden ist und zum anderen durch die im allgemeinen erfolgende Veränderung der Verbrennungsverhältnisse im Unterofen diesem infolge der zum Teil geringeren Wärmeausnutzung der Gase eine größere Wärmemenge zugeführt wird, die sich bei gleicher Gasmenge in einer höheren Temperatur bemerkbar macht. Inwieweit die eine Wirkung die andere überwiegt, ist von sehr vielen Faktoren abhängig. Großangelegte Betriebsuntersuchungen könnten hier ein brauchbares Bild ergeben.

*ist höher bei  
1000 ab 700°  
für  
bei geringem  
Anfangs-  
wert*

Dem starken Abbrand des BHT-Kokses im Schacht und dessen Folgeerscheinungen können durch zweckentsprechende Mölleringe bei genauer Kenntnis der Bedingungen im Ofen ein gewisser Einhalt geboten werden. An Betriebsdaten bekannt sein müssen die Reaktionsgeschwindigkeiten, der Kohlensäuregehalt im Gas und die Gastemperatur über dem Querschnitt im gesamten Schacht sowie die Schüttverhältnisse im Oberofen und die Ausbildung der Mölleroberfläche im Betrieb und die Bewegung des Kokses im Möller.

*Handwritten signature*

Die Ergebnisse zeigen, daß die wesentlichen Mängel, die bei der Verwendung des BHT-Kokses - zunächst im oberen Teil des Ofens, im Schacht -

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Fragmentary text visible on the right edge of the page.

auftreten, trotz verschiedener Erscheinungsformen auf dessen große Reaktionsfähigkeit bei niedrigen Temperaturen in Verbindung mit seinem Gefügebau zurückzuführen sind.

Das gleiche Problem der Reaktionsfähigkeit des Kokes tritt bei der Betrachtung der Vorgänge im Unterofen zutage. Aus der Erfahrung ist genügend bekannt, wie sich die Reaktionsfähigkeit des Kokes auf die Betriebsverhältnisse, ausgehend vom Unterofen, im gesamten Ofen auswirkt. Die Reaktionsfähigkeit des BHT-Kokes unterscheidet sich erheblich von der der Steinkohlenkoke. Die Ergebnisse der Reaktionsversuche wurden im einzelnen schon erläutert. Es bleibt noch die Frage zu behandeln, welchen Einfluß das besondere Reaktionsverhalten des BHT-Kokes auf die Vorgänge im Unterofen erwarten läßt.

Die Bilder 39 und 40 zeigen, daß der BHT-Koks mit Luft bei Temperaturen um und über  $1700^{\circ}\text{C}$  kurze Zeit schneller reagiert, als die anderen Koke. Mit der Zeit, besser gesagt mit durch den Abbrand kleiner werdender Stückgröße des Materials, wird die Reaktionsgeschwindigkeit des BHT-Kokes relativ zu der der Steinkohlenkoke, besonders zum westfälischen- und Zwickauer Koks sichtbar vermindert. Gegenüber dem polnischen und tschechischen Koks ist eine Verminderung bis  $1700^{\circ}\text{C}$  nicht ~~sehr~~ vorhanden. Bei einer vergleichenden Beurteilung müßten demnach alle Kokssorten entsprechend ihren Wirkungen dem BHT-Koks gegenübergestellt werden, weil sich deren Verhalten über der Zeit und der Temperatur recht verschieden ändert. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Reaktionsfähigkeit des BHT-Kokes gegen Luft

*Arbeitsweise für  
Koks & Gasanalyse ?*  
BHT  
! magische  
Aufnahme  
all CSR in Chr

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Partial text visible on the right edge of the page, including words like "be", "in", "zu", "we", "ke", "die", "in", "be", "to", "in", "Ar", "U", "Un", "ni", "ra", "be", "b", "ka", "al", "sa", "t", "d", "k", "la", "tr", "la", "ko", "su", "Ve", "d".



bei den interessierenden Temperaturen im Mittel im Bereich der der Steinkohlenkokse liegt. Eine grundlegende Veränderung des Volumens der sauerstoffhaltigen Zone vor den Formen ist deshalb nicht zu erwarten. Es darf aber nicht übersehen werden, daß neben der eigentlichen Reaktionsfähigkeit die Gasdurchlässigkeit der Beschickung und die physikalische Beschaffenheit des Materials im Unterofen, die stark von der Koksqualität abhängig sind, merklichen Einfluß auf die Ausbildung der Oxydationszone ausüben. Über diese Verhältnisse geben uns die Ergebnisse verschiedener Arbeiten sowjetischer Forscher <sup>+)</sup>  einen gewissen Überblick. Im weiteren Verlauf der Vorgänge im Unterofen spielt die Umsetzung der Kohlensäure mit dem Koks eine große Rolle. Bei hohen Temperaturen oberhalb 1500°C liegt auch hier unter der Voraussetzung gleicher Stückgrößen des Kokes zunächst das Reaktionsvermögen des BHT-Kokes innerhalb des der Steinkohlenkokse und erst bei niedrigen Temperaturen reagiert der BHT-Koks mit Kohlensäure beträchtlich schneller als diese. In Richtung des vollständigen Umsatzes des Kokes mit abnehmender Korngröße, tritt bei der Reaktion mit Kohlensäure sehr deutlich eine Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit zutage.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse läßt sich trotz der Unterschiedlichkeit im Reaktionsverhalten des BHT-Kokes zu dem der Steinkohlenkokse für den normalen Schachtofenbetrieb bei ausreichender Windzufuhr keine einschneidende Veränderung der Verbrennungsvorgänge im Unterofen ableiten, was besonders für die Ausbildung

<sup>+)</sup>  A.N. Pochwisnew: Der Hochofenbetrieb, Berlin 1954, S. 339 ff.

*früherer Stoff?*

*was ist die Ursache?*

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

de  
fe  
de  
tu  
u  
bl  
te  
de  
ta  
vo  
Te  
te

der Oxydationszone zutrifft. Die sekundär ablaufende Reaktion der Kohlensäure mit dem Koks bringt demgegenüber unbedingt eine Verschiebung der Temperaturverteilung im Ofen mit sich.

*der Koks  
ist  
ab; dem  
Kohl mit  
der Form*

Die angestellten Versuche ermöglichen einen Einblick ganz besonders in die Reaktionseigenschaften des BHT-Kokses. Es kann nicht erwartet werden, aus den im Laborexperiment erhaltenen Resultaten absolute Schlüsse auf das Verhalten im Ofen, vor allem aber im Unterofen bei der unmittelbaren Verbrennung zu ziehen, ohne dabei auf Betriebsdaten zurückzugreifen.

*f. d.*

Herrn Prof. Dr.-Ing. Kuntscher möchte ich für die Anregung zu dieser Arbeit und die vielseitige und jederzeit gewährte Unterstützung meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

der ...  
die ...  
die ...

die ...  
die ...  
die ...  
die ...  
die ...  
die ...  
die ...

die ...  
die ...  
die ...  
die ...

A n h a n g

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

1. 2.  
2. 3.  
3. 4.  
4. 5.  
5. 6.  
6. 7.  
7. 8.  
8. 9.  
9. 10.  
10. 11.  
11. 12.

1844

1844

1. J.E.Rogers: Verwendung von Kleinkoks im Hochofen  
Iron Age (1920), S.1783/84, "Stahl u.Eisen"  
40 (1920), S.1343/44
2. Koppers: Fortschritte auf dem Gebiete der Kokser-  
zeugung - der Einfluß der Koksbeschaffen-  
heit auf den Hochofenbetrieb und Vorschläge  
für die Verbesserung der letzteren  
"Stahl u.Eisen" 41 (1921), S.1173/81 und  
S.1254/82
3. Koppers: Vorschläge zur Prüfung des Kokes für Hoch-  
ofen- und Gießereizwecke  
"Stahl u.Eisen" 42 (1922), S.569/73
4. Häusser: Maß und Bestimmung in der Verbrennlichkeit  
des Kokes  
"Stahl u.Eisen" 43 (1923), S.903/07 und  
S.1539
5. Zeyringer: Über Versuche mit verschiedenen Brennstoffen  
im Hochofen  
"Stahl u.Eisen" 43 (1923), S.1215/19
6. E.Dienschlag,  
Habert: Die Temperatur vor den Formen des Hochofens  
und ihre Abhängigkeit von der Windvorwär-  
mung, Koksatz und Koksbeschaffenheit  
Ber.Hochofenaussch.V.d.Eisenhüttenl.Nr.59
7. Bertelsmann: Wird bei der Verbrennung des Kohlenstoffs  
zuerst Kohlenoxyd oder Kohlensäure gebildet?  
Gas- Wasserfach 67 (1924) Nr.17, S.226/29
8. Perott,  
Sherman: Reaktionsfähigkeit des Kokes in bezug auf  
den Hochofenprozeß  
Proc.Engrs. Soc West.Pennsylv. 39 (1924)  
Nr.10, S.331/75
9. E.Dienschlag: Über das Verhalten der Beschickung im  
Hochofen  
"Stahl u.Eisen" 44 (1924), S.430/32
10. Burgers, Wheeler: Die flüchtigen Bestandteile der Kokse  
Fuel 4 (1925) Nr. 5, S.208/17
11. K.Hoffmann: Entwicklung der Roheisenerzeugung innerhalb  
der letzten Jahrzehnte in chem. und techn.  
metallurgischer Hinsicht  
Z.angew.Chem. 38 (1925) Nr.47, S.1058/64
12. Häusser-Bestehorn: Gesammelte Untersuchungen über die Verbrenn-  
lichkeit von Hüttenkoks in technischen  
Körnungen  
Halle 1926, Verlag W.Knapp

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

13. B  
14. L  
15. A  
16. L  
17. B  
18. A  
19. L  
20. B  
21. B  
22. L  
23. L  
24. B  
25. L  
26. B



13. M. Dolch: Kennzeichnung der Reaktionsfähigkeit eines Brennstoffes und seines Verhaltens im Feuer bei der Brennstaubfeuerung im Hinblick auf die sog. flüchtigen Stoffe  
Warme 49 (1926) Nr. 28, S. 491/95
14. Metzger, Pistor: Die Reaktionsfähigkeit des Kokses  
Halle 1927, Verlag W. Knapp
15. A. Korevaar: Verbrennung im Gaserzeuger und Hochofen  
Halle 1927, Verlag W. Knapp
16. Lennings: Gestell- und Rastenuntersuchungen eines Hochofens  
Arch. Eisenhüttenwes. (1927/28), S. 549/64
17. Ramdohr: Mikroskopische Betrachtungen an Graphiten und Koks  
Arch. Eisenhüttenwes. (1927/28), S. 669/72
18. G. Adge, H. Schmidt: Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks  
Halle 1928, Verlag W. Knapp
19. E. Dubois: Der Einfluß des Wassergehaltes von Kohle und Koks auf die Ofenleistung  
Gas- Wasserfach 71 (1928) Nr. 33, S. 793/8
20. Damm: Die Eigenschaften der Kokskohlen und die Vorgänge bei ihrer Verkokung  
Arch. Eisenhüttenwes. (1928/29), S. 59/72
21. G. Bulle: Untersuchung eines mit Saarkoks betriebenen Minette-Hochofens  
Arch. Eisenhüttenwes. (1929/30), S. 391/95
22. Hofmeister: Das Treiben der Steinkohlen bei der Verkokung  
Arch. Eisenhüttenwes. (1929/30), S. 559/69
23. K. Bunte,  
A. Giessen: Einfluß der Reaktionsfähigkeit von Koks auf die Wassergasbildung  
Gas- Wasserfach 73 (1930) Nr. 11, S. 241/47
24. S. W. Parr,  
D. R. Mitchell: Sturzfestigkeit von "Mitteltemperatur"-Koks  
Ind. Engg. Chem. 22 (1930) Nr. 10, S. 1134/35
25. N. Tschischewski,  
E. Krassawin: Die Reaktionsfähigkeit der verschiedenen Koksarten der UdSSR  
Corni-1. 106 (1930) Nr. 10/11, S. 18/29
26. Dufraine: Die Reaktionsfähigkeit von Hüttenkoks  
Rev. Mét. 27 (1930) Nr. 9, Mém. S. 509/11

27. 1/2  
28. 1/2  
29. 1/2  
30. 1/2  
31. 1/2  
32. 1/2  
33. 1/2  
34. 1/2  
35. 1/2  
36. 1/2  
37. 1/2  
38. 1/2  
39. 1/2

27. J.U.Jones,  
J.-G.King,  
F.S.Sinnatt: Der Einfluß von Eisenverbindungen auf die Reaktionsfähigkeit von Koks  
Fuel Research Technical Paper Nr. 25 nach Iron Coal Tr.Rev. 121 (1930) Nr 3254, S.47
28. R.Mott: Die Härte, Abriebfestigkeit und Reaktionsfähigkeit von Koks  
Fuel 9 (1930) Nr. 9, S.400/11
29. G.Stadnikow: Über eine neue Methode zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes und des Makroporen-Volumens bei Koks und porösen Körpern  
Brennst.-Chem. 11 (1930) Nr. 16, S.330/1
30. A.Thau: Verbrennlichkeitsversuche mit Koks  
Fuel Econ. 5 (1930) Nr. 56, S.383/85
31. W.Melzer: Neuzeitliche Verfahren der Stückkoksprüfung  
Arch.Eisenhüttenwes. 4 (1930/31) Nr. 5, S.225/38  
(Gr.A: Kokereiausschuß.36) vgl. "Stahl u. Eisen" 50 (1930) Nr. 48, S.1675/76
32. F.G.Hoffmann: Zur Bestimmung der Koksfestigkeit  
Brennst.-Chem. 12 (1931) Nr. 4, S.61/65
33. F.Brinckmann,  
A.Nehmits: Kennzeichnende Eigenschaften von Gießereikoks  
Gießerei 18 (1931) Nr. 26, S.515/16
34. F.Roll: Porositätsbilder von Koks  
Brennst.-Chem. 12 (1931) Nr. 1, S.1/3
35. A.Killing: Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Hochofenkoks  
Ber.Hochofenaussch.V.d.Eisenhüttenl.Nr. 120, "Stahl u.Eisen" 51 (1931) Nr.29, S.901/08
36. M.Rieffel: Die Reduktionsfähigkeit von Hochofenkoks  
Chim.et.Ind.(1931) Nr.26, S.280/88 u.531/40  
nach Chem.Zbl.102 (1931) II,Nr.16, S.2404;  
Nr.26, S.3702
37. T.J.Drakeley: Die Reaktionsfähigkeit von Koks  
Chem.Ind. 50 (1931) Nr.35, S.319 T/30 T
38. T.J.Drakeley,  
E.T.Wilkins: Einige Eigenschaften von Koks und ihre Beziehung zur Reaktionsfähigkeit  
Chem.Ind. 50 (1931) Nr.36, S.331 T/42 T
39. K.Bunte,  
W.Ludwig: Über Nachentgasung von Koks  
Gas- Wasserfach 74 (1931) Nr.39, S.893/900  
Nr.40, S.921/25

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

40.  $\frac{1}{2}$   
41.  $\frac{1}{2}$   
42.  $\frac{1}{2}$   
43.  $\frac{1}{2}$   
44.  $\frac{1}{2}$   
45.  $\frac{1}{2}$   
46.  $\frac{1}{2}$   
47.  $\frac{1}{2}$   
48.  $\frac{1}{2}$   
49.  $\frac{1}{2}$   
50.  $\frac{1}{2}$   
51.  $\frac{1}{2}$

40. Burrows Moore,  
G.J. Wevell: Einfluß von Mineralbestandteilen auf die  
Verbrennung von festen Brennstoffen  
Journ.Soc.chem.Ind. 50 (1931) Transact.  
S.229/42  
nach Chem.Zbl.102 (1931) 11, Nr.12, S.1795
41. H.Koppers,  
A.Jenkner: Reaktionsfähigkeit, Graphitierung und  
elektrische Leitfähigkeit von Koks  
Arch.Eisenhüttenwes. 5 (1931/32) Nr. 11,  
S.543/47  
Kokereiausschuß. 42; vgl. "Stahl u. Eisen" 52  
(1932) Nr. 20, S.496
42. Perott, Kinney: Die Verbrennung des Kokes im Hochofen  
Iron Tr.Rev. 72 (1932) Nr. 19, S.941/46
43. H.Broche,  
H.Nedelmann: Einfluß der Gefügebestandteile auf die  
physikalischen und chemischen Eigenschaften  
von Koks und Schwelkoks  
Glückauf 68 (1932) Nr. 35, S.769/79  
Ber.Kokereiausschuß. Nr. 45
44. G.Speckhardt: Prüfung von Koks nach dem Sturz-, Trömmel-  
und Druckabtriebsverfahren  
"Stahl u. Eisen" 52 (1932) Nr. 44, S.1066/70
45. W.Melzer: Neuzeitliche Koks kohlen und Stückkoks-  
prüfung  
Arch.Eisenhüttenwes. (1932/33), S.89/93
46. H.Broche,  
H.Nedelmann: Die Reaktionsfähigkeit von Koks bei Tem-  
peraturen über 1000°C  
Glückauf 68 (1932), S. 769/79  
"Stahl u. Eisen" 53 (1933), S.144/47
47. M.Heppner: Die mechanische Prüfung des Kokes  
Chim.et.Ind. 29 (1933) Nr. 6, S.337/43
48. G.Heidhausen,  
F.Liebaldt: Zur Frage der Reaktionsfähigkeit von  
Gießereikoks  
Mitt.Forsch.-Anst. Gutehoffnungshütte -  
Konzern 2 (1933) Nr. 4, S.96/98
49. R.Kassler: Über die Reaktionsfähigkeit von Koks  
Chim.et.Ind. 29 (1933) Nr. 6, S.315/26
50. F.Meunier: Reaktionsvermögen und Durchlässigkeit von  
Hüttenkoks  
Chim.et.Ind. 31 (1934) Nr. 4, S.602/08
51. W.J.Müller,  
E.Jandl: Eine neue Apparatur (Methode) zur Bestim-  
mung der Reaktionsfähigkeit von Koks  
Brennst.-Chem. 15 (1934) Nr.18, S.347/51

52. 1/2

53.

54. 1/2

55. 1/2

56.

57. 1/2

58. 1/2

59. 1/2

60. 1/2

61. 2/2

62. 1/2

63. 1/2

52. W.J.Müller,  
B.Jandl: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Kokes von den Herstellungsbedingungen  
Brennst.-Chem. 15 (1934) Nr.16, S.305/09
53. T.H.Blakeley: Die Reaktionsfähigkeit von Koks mit Kohlensäure  
Energierung 138 (1934) Nr. 3593, S.559/60  
u. S.565/66
54. E.Groh: Der Braunkohlenschwelkoks und seine Verwendung  
Brennst.-Chem. 16 (1935) Nr. 5, S.81/87
55. K.Bunte,  
H.Windorfer: Über den Zusammenhang zwischen Zündtemperatur und Reaktionsfähigkeit bei Steinkohlen-Hochtemperaturkoks  
Gas- Wasserfach 78 (1935) Nr.37, S.697/701  
Nr.38, S.720/25  
Nr.39, S.737/43
56. M.A.Mayers: Verfahren zur Bestimmung der Reaktionsfähigkeit von Koks  
15.Congrès de Chimie Industrielle,  
22.-28.11.1935, Brüssel, Bd.II, S.C667/76
57. N.Dentalle: Verbrennlichkeit von Koks und Halbkoks  
15.Congrès de Chimie Industrielle,  
22.-28.11.1935, Brüssel, Bd.II, S.C 1108/11
58. C.Speckhardt: Verfahren zur betriebsmäßigen Überwachung der Reaktionsfähigkeit von Koks  
Glückauf 72 (1936) Nr. 10, S.225/31
59. W.J.Broche,  
H.R.B.Walshaw,  
A.W.Lee: Untersuchungen über den Einfluß der Koks-güte auf den Hochofenbetrieb  
J.Iron Steel Inst.134 (1936), S. 287/325;  
vgl."Stahl u.Eisen" 56 (1936),S.1263/63
60. H.Landmann: Die Gestaltung der äußeren und inneren Oberflächen von Koks  
Arch.Eisenhüttenwes. 10 (1936/37) Nr. 1,  
S.1/10; vgl."Stahl u.Eisen" 56 (1936)Nr.30,  
S.848 auch Dr.-Ing.Diss.von H.Landmann:  
Clausthal Bergakademie
61. Zdzislaw  
Oswiesimski: Bewertung von Hochofenkoks  
Hutnik 9 (1937) Nr. 7, S.343/51
62. J.S.Sebastian,  
M.A.Mayers: Reaktionsfähigkeit von Koks  
Ind.Engg.Chem.Ind.Ed., 29 (1937) Nr.10,  
S.1118/24
63. A.v.Ahlen: Über den Kohlenstoff im Koks  
Brennst.-Chem. 18 (1937) Nr. 21, S.420/27





64. A.Krupkowski,  
M.Szyzowski,  
M.Olszewski: Neues Verfahren zur Bestimmung der Reaktionsfähigkeit von Koks mittels Metalloxyden  
Congr.Int.Fond.Pologne. Warszawa-Krakow.  
8.-17.11.1938, Mém. 19,9 S.
65. E.Ferrara: Die Ribbildung im Koks und der Einfluß von in der Kohle vorhandenen Schiefertheilchen  
Metallurg.ital. 31 (1939) Nr.7, S.437/43
66. E.Rammler,  
O.Augustin,  
K.Breitling: Trommel- und Sturzfestigkeit von festen Kraftstoffen insbesondere von Schwelkoks  
Feuerungstechnik 27 (1939) Nr.10, S.273/79  
Nr.11, S.301/09
67. S.K.Trekalo,  
G.A.Wowolik: Über den Einfluß der physikal.-chem.Eigenschaften des Kokses auf die Arbeit von Hochofen  
Koks i Chimja 9 (1939) Nr.4-5, S.45/49  
nach Chem.Zbl.III (1940) I, Nr. 18, S.2847
68. Chornnow,  
Toforow: Der Einfluß der Koksseigenschaften auf die Tiefe der Oxydationszone im Herd des Hochofens  
Metallurg. 14 (1939), S.35/43
69. K.Bunte,  
H.Brückner: Sturz und Abriebfestigkeit von Hochtemperaturkoks  
Gas- Wasserfach 82 (1939) Nr.10, S.162/3
70. W.Tobler: Koksqualität und Koksfestigkeit  
Monatsbull.Schweiz.Ver.Gas-u.Wasserfachm.  
19 (1939) Nr.2, S.32/36
71. Krainer: Hüttenmännische Untersuchungsarbeiten über die St.Christoph-Erze und Mulme von Langenberg  
Arch.d.Bergak.Freiberg (1939), S.47/50
72. Kuczewski: Der Koksverbrauch am Hochofen und die Temperaturverteilung vor den Formen  
Hutnik 11 (1939), S. 285/97
73. A.Redko: Der Einfluß der Koksgüte auf den Hochofengang  
Stal 10 (1940) Nr. 4, S.1/8
74. Th.Kayser: Steinkohlenschwelkoks und seine verbrennungstechnischen Eigenschaften  
Jb.Brennkrafttechn.Ges.21/22 (1940/41), S.7/53
75. L.M.Saposhnikow: Die Festigkeit von Hochofenkoks  
Stal 1 (1941) Nr. 4, S.3/11

76.  
77.  
78.  
79.  
80.  
81.  
82.  
83.  
84.  
85.  
86.

76. G. Povert: Hüttenkoks  
Metallurg. Construct. méc. 73 (1941)  
Nr. 8, S. 19/21  
Nr. 9, S. 13/15  
Nr. 10, S. 19 u. 21
77. M. A. Mayers: Wichtige Kennwerte von Hochofenkoks  
Iron Coal. Tr. Rev. 143 (1941) Nr. 3852, S. 603/04
78. H. Hoffmann: Grundsätzliche Erwägungen über die Ver-  
brennung von Hochofenkoks  
"Stahl u. Eisen" 62 (1942) Nr. 40, S. 846/49
79. E. Rammler: Verwendung von Schwelkoks aus Braun- und  
Steinkohle  
Gas- Wasserfach 85 (1942) Nr. 39/40, S. 437/44  
Nr. 41/42, S. 468/74;  
vgl. "Stahl u. Eisen" 63 (1943) S. 304/06
80. K. Hoehne: Über die Bestimmung der Reaktionsfähigkeit  
von Koks  
Glückauf 79 (1943) Nr. 11, S. 166/70
81. H. R. Asbach,  
W. Brösse: Laboratoriumsmäßiges Verfahren zur Bestim-  
mung der voraussichtlichen Koksfestigkeit  
Techn. Mitt. Krupp: Forsch. Ber. 6 (1943) Nr. 2,  
S. 30/37
82. E. Complès,  
W. Surmund: Die physik. Prüfung von Schwelkoks und  
Hochtemperaturkoks in einer 5-kg-Trommel  
Techn. Mitt. Krupp: Forsch. Ber. 6 (1943) Nr. 2,  
S. 38/42
83. A. Thau: Druck, Sturz und Abriebfestigkeit des  
Schwefelkokes  
Ol u. Kohle 40 (1944) Nr. 3-4, S. 55/61
84. L. M. Zylew,  
N. P. Bannyi: Über die Vorbereitung des Kokes für die  
Hochofenschmelze  
Izvestia Akademii Nauk SSSR-Otdelenije  
Technitscheskich Nauk (1946) S. 115/20  
nach Chem. Zbl., Ausg. Langensalza 118 (1947)  
Nr. 5/6, S. 420
85. Möglichkeiten der Beeinflussung der  
Oxydationszone des Hochofens  
"Stahl u. Eisen" 67 (1947), S. 277/84
86. H. H. Lowry,  
B. Epstein: Betrachtungen über das Brechen von Koks  
Proc. Blast Furn. Coke Oven Raw. Mater  
Comm. Iron Steel Div., Amer. Inst. Min.  
metallurg. Engrs. Vol. 7 (1948), S. 3/27

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

87.  
88.  
89.  
90.  
91.  
92.  
93.  
94.  
95.  
96.  
97.  
98.  
99.

87. F.Byrtus: Beurteilung der Eigenschaften von Hochofenkoks  
Hutnik 17 (1950) Nr.7/8, S.183/89
88. L.Hou,  
A.A.Orning: Bestimmung der Koksreaktionsfähigkeit mit Kohlensäure  
Industr.Heat.17 (1950) Nr.11, S.1972
89. A.Rommwalter: Zur Frage der Koksfestigkeit  
Acta techn. 1 (1951) Nr.2, S.75/82
90. R.P.Douelly,  
R.Broadbent: Herstellung von Koksbricketts aus nicht kokender Kohle einschl. Braunkohle für metallurgische Zwecke  
Brit.P.717 393 - 17.Sept.1951  
ref.: Brit.: Coal Utilis.Assoc.19 (1955) 2, S.67
91. R.W.Campbell: Bewertung von Hochofenkoks  
Iron Coal Tr.Rev. 165 (1952) Nr.4408, S.750
92. G.Clas,  
E.Djernaes: Die Kohlenoxydbildung bei der Überleitung von Kohlendioxyd über glühenden Koks bei veränderlichen Temperaturen u. Strömungsgeschwindigkeiten  
Gießerei 39 (1952) Nr. 19, S.473/77
93. F.J.Hewitt,  
H.L.Riley,  
F.Savage: Bestimmung der Eigenschaften von Hochofenkoks  
Iron Steel 25 (1952) Nr.2, S.63/64
94. S.Traustel: Über die industrielle Prüfung der Reaktionsfähigkeiten von Koksen  
Metall 6 (1952) S. 298/302  
ref.: Chem.Zbl. 124 (1952) Nr. 6, S.951
95. R.Sarjand: Experimental-Studie über Hüttenkoks  
Foundry Tr. Journ. (1952) Nr. 6, S.619/28
96. A.E.Reif: Die Reaktion von Kohlenoxyd mit Koks  
J.Physik.Chem.Journ. 56 (1952) S. 778/84
97. Untersuchung von Koks auf Verwendung im Hochofen  
Hutnik, Katowice (1952) Nr.7/8, S.253/60
98. H.L.Weisz,  
A.A.Orning: Über die Reaktionsfähigkeit von Koks  
Fuel (London) 31 (1952), Juli, S.288  
ref.: brennst.-Chem.33 (1952) 17/18, S.307
99. (Taschner:) Koksreaktionsfähigkeit  
Gas- Wasserfach 93 (1952) 23, S.665

100.  
101.  
102.  
103.  
104.  
105.  
106.  
107.  
108.  
109.  
110.  
111.  
112.

100. G.A. Brender à Brandis, Das Reaktionsvermögen von Koks ins-  
J. Falsbourg: besondere mit Dampf  
Gas World 135 (1952) S.689/90  
ref.: J.Iron Steel Inst. 173 (1953)2, S.193
101. M. Pourbaix, Methode zur Messung des Reaktionsvermögens  
L. Gottignies, der Koks  
S. Berger: Chaleur et Ind.34 (1953) Nr.332, S.70/76
102. H. Jo, S. Ida: Untersuchung über das Reaktionsvermögen  
von Koks  
J.Fuel Soc.Japan 32 (1953) August, S.469  
ref.: Fuel Abstr.15 (1954) Nr.4, S. 21
103. Y. Kawana: Reaktionsvermögen von Koksen I. absolute  
Reaktionsgeschwindigkeiten der Reaktion C/CO  
Bull.Chem.Soc.Japan 26 (1953), S. 507/13  
ref.: Brennst.-Chem.35 (1954)Nr.19/20, S.310
104. E. Rammler, Grundlagen der Herstellung von Braunkohlen-  
G. Bilkenroth: Hochtemperaturkoks  
Freibg.Forschungsh. (1953) A 13, S.6/13
105. E. Rammler, Über die Messung der Warmdruckfestigkeit  
H. Jacob, von Braunkohlen-Hochtemperaturkoks  
G. Bilkenroth: Freibg.Forschungsh. (1953) A 18, S.36/40
106. E. Rammler, Beitrag zur Mikroskopie des Braunkohlen-  
H. Jacob, Hochtemperaturkokes  
G. Bilkenroth: Freibg.Forschungsh. (1953) A 18, S.23/35
107. J.A. Schlattner: Die Verkokung ungarischer Braunkohlen vom  
Standpunkt der Stahlerzeugung  
Magyar Technika 8 (1953) 7/8, S. 479
108. A. Thau: Hüttenkoks aus Braunkohle  
Braunkohle 5 (1953) 1/2, S.12/20
109. E. Rammler: Warmfestigkeit von BHT-Koks  
Freibg.Forschungsh. (1953) A 18, S.36/40
110. J. Vink: Das Reaktionsvermögen von Koks gegen Dampf  
Haye et Gas 73 (1953) 9/10, S.205/10  
S.229/33
111. R. Egalon, Reaktionsvermögen von Koks  
J. Hoebeke, Mem.Soc. Ing. civ. France (1953) 5/6, S.249/50  
F. Jarcsek: ref.: Chim. et Ind. (Paris) 72 (1954 Sept.)3,  
S.452
112. R.W. Kear, Reaktionsvermögen von Koks gegen SO<sub>3</sub>  
G. Whittingham: Fuel 32 (1953 Juli) 3, S.265/78





113. H. Jo., S. Ida,  
H. Yukiura: Einige Untersuchungen über das Reaktions-  
vermögen von Koks  
Tetsu to Hagane 39 (1953) April, S. 379/384  
ref.: J. Iron Steel Inst. 176 (1954 Jan.) 1,  
S. 103
114. W. Layken: Die Vorbereitung des Hochofenmüllers  
Berlin 1953, Springer-Verlag
115. A. Jäppelt: Hochtemperaturkoks aus Braunkohle unter  
Zusatz von Steinkohle  
Votr., geh. a. d. Berg-u. Hüttn. Tag i. Freiberg  
1953  
ref.: Chem. Techn. 6 (1954) 2, S. 113
116. Tietze: Die Größe der äußeren Oberfläche von Koks  
und eine Kennzahl für die Stängigkeit  
von Koks  
"Stahl u. Eisen" 74 (1954) S. 618/20
117. H. Schiffers: Die Verbrennungsvorgänge im Schachtofen  
insbesondere im Kupolofen bis zum Verbrauch  
des Sauerstoffs  
Gießerei 41 (1954) S. 535/40
118. K. J. Sysskow: Grundlagen der Theorie des Verhaltens  
der Koks im Hochofenprozeß  
Freibg. Forschungsh. (1954) 6, S. 24/31
119. T. I. Iwasaki,  
S. Nomura,  
Y. Kou: Untersuchungen über das Schrumpfen von Koks  
J. Fuel Soc. Japan (1954) S. 143/47
120. H. L. Hou,  
A. A. Orning: Das Reaktionsvermögen von Koks gegen Kohlen-  
dioxid, gemessen durch die adiabatische Ab-  
kühlung  
Fuel 33 (1954) 1, S. 42/50
121. M. Th. Mackowsky: Vergleichende Untersuchungen von Spezial-  
gießereikoksen  
Gießerei 41 (1954) 20, S. 540/1
122. A. Jäppelt: Die Erzeugung von Hochtemperaturkoks aus  
Braunkohle unter Zusatz von Steinkohle  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 24, S. 7/23
123. E. Rammler,  
G. Bilkenroth: Über die Zusammenhänge zwischen Brikett-  
und Koksseigenschaften bei der Braunkohlen-  
hochtemperaturverkokung  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 24, S. 32/46
124. E. Rammler,  
A. Scheinplug,  
G. Bilkenroth: Über die Lagerfestigkeit von Braunkohlen-  
Hochtemperaturkoks  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 27, S. 28/35

125.

126.

127.

128.

129.

130.

131.

132.

133.

134.

135.

125. E. Rammler,  
K. Heide,  
G. Bilkenroth: Diagramme zur Beurteilung der Anreicherung des Aschen- und Schwefelgehaltes sowie des Heizwertes bei der Verkokung von Braunkohlenbriketts  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 27, S.5/27
126. E. Rammler,  
S. Wagner,  
F. Günther: Art und Verteilung des Eisengehaltes von braunkohlen-Hochtemperaturkoks  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 27, S.36/42
127. E. Rammler u.a.: Vergasungsversuche mit Braunkohlen-Hochtemperaturkoks verschiedener Körnung im Drehrostgenerator  
Freibg. Forschungsh. (1954) A 30, S.5/45
128. J. Schlattner: Erzeugung des aus ungarischen Braunkohlen herstellbaren Hochofenkokses  
Mitt.d.Klasse f.techn.Wissensch.d.Ungar. Akad.d.Wissensch. 10 (1954) 1/2, S.125/32  
not.:Ungar.Zbl. 5 (1954) 4, S.140
129. F. Spetl: Erzeugung von Hüttenkoks aus Braunkohle  
Paliva Prag 34 (1954) 5, S.110/115
130. Y. Kawana: Änderungen im Reaktionsvermögen und in der inneren Struktur von Koks, hervorgerufen durch Wärmebehandlung  
J.Fuel Soc. Japan 33 (1954) S. 249
131. H. Guérin,  
M. Moutach: Die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen Koks und Dampf  
C.R.Acad. Si.Paris 239 (1954) S.276/78  
ref.: in "Stahl u.Eisen" 75 (1955) S. 362
132. C. Hulme: Koks für Hochöfen  
Yearbook Coke Oven Man.Assoc. (1954)S.145/53
133. K.J. Sysskow: Wissenschaftliche Grundlagen der Verbesserung der Koksqualität  
Paliva 34 (1954) 6, S.146/49
134. H.J. Junker: Untersuchungen über die Reaktionsfähigkeit von Koks mit Kohlendioxyd oberhalb 1000 °C  
Diss.T.H.Aachen (1954) not.:Z.VDJ 96 (1954) 30, S.1020
135. K. Takagi,  
K. Nisio: Reaktionsvermögen von Koks  
J.Fuel Soc. Japan 33 (1954) S. 271, jap. Abstr. in Engl.  
ref.: Brit.Coal Utilis.Res.Assoc.18 (1954) 11 S.547

136.

137.

138.

139.

140.

141.

142.

143.

144.

145.

146.

147.

148.

149.

136. Kalinowski,  
Bohdan,  
Grossmann: Feststellung der Eignung von Koks mit Hilfe der Messung der elektrischen Leitfähigkeit  
Hutnik, Stalinogrod (1954) S.256/59
137. R.F.Rapado: Das Reaktionsvermögen von Hüttenkoks nach der Tiegelmethode  
Bol.informat.del Institut.Nac.del Carbon 7, S.24/30  
ref.: Coke and Gas 16 (1954, Febr.) 177, S.84
138. Pochwisnew: Der Hochofenbetrieb  
Berlin 1954, Verlag Technik
139. A.G.Romanenko: Die technologische Überwachung im Hochofenbetrieb  
Berlin 1954, Verlag Technik
140. W.Tejnicky,  
O.Havel: Mathematische Erfassung des Reaktionsvermögens von Koks  
Paliva Prag 34 (1954) S.207/11
141. M.R.Eaalon: Das Reaktionsvermögen von Koks  
Bull.Nr.12 de la Sté des Ingénieurs Civils  
ref.: Echo Mines Metall. (1954) Jan. 3464, S.20
142. J.Taylor: Metallurgischer Koks 1939-1955  
Iron Steel London (1955) 10, S.431/35
143. J.Resetnak: Zur Frage der Verwertung von minderwertigen Kohlensorten zur Erzeugung von Hüttenkoks  
Paliva, Prag 35 (1955) 4, S.104/09
144. M.Th.Mackowsky: Neue Wege zur Beurteilung der Beschaffenheit von Hochofenkoks  
Glückauf (1955) August-Beiheft, S.221/30
145. K.Kabele: Verkoken von Braunkohle  
Hutnické Listy 10 (1955) Okt., S.6/10
146. W.Küntscher,  
J.Holzhey,  
G.Dittrich: Die Reaktionsfähigkeit verschiedener Koks  
Neue Hütte, Berlin 1 (1955) Okt., S. 6/10
147. I.F.Pachalok,  
V.S.Poznonskaja: Braunkohlenhochtemperaturverkokenung  
Ugol, Moskau (1955) 3, S.32/35
148. B.Tejnicky,  
J.Kunc: Erzeugung von Hartkoks aus Braunkohle  
Paliva, Prag 35 (1955) 7, S.189/94
149. B.Tejnicky,  
J.Kunc: Erzeugung von Hartkoks aus Braunkohle und nichtkokenden Steinkohlen II  
Paliva, Prag 35 (1955), 8, S.224/28



150. B. Tejnicky,  
J. Kunc: Erzeugung von Hartkoks aus Braunkohle  
und nichtkokenden Steinkohlen III  
Paliva, Prag 35 (1955) 9, S.256/59
151. B. Tejnicky,  
J. Kunc: Erzeugung von Hartkoks aus Braunkohle  
und nichtkokenden Steinkohlen IV  
Paliva, Prag 35 (1955) 10, S.297/302
152. Amerikanische Arbeiten auf dem Gebiet  
der Koksprüfung  
"Stahl u. Eisen" 75 (1955), S.1501/06
153. H. Jungbluth: Koksbewertung durch den Kupolofenversuch  
Gießerei (1955) 1, S.2/6
154. J. P. Bardin,  
Ostrouchov,  
Zylew,  
Chodak: Einfluß der Koks-zirkulation auf den Hoch-  
ofenprozeß  
Izvest Akademi Nauk, Moskau (1955) S.80/95
155. Schenck, Esch: Untersuchungen über die Eigenschaften von  
Hochofenkoks  
"Stahl u. Eisen" 75 (1955), S.1421/25
156. Reerink: Neue Erkenntnisse für die Beurteilung  
und Herstellung von Koks  
"Stahl u. Eisen" 75 (1955), S.322/35
157. J. Barbu,  
J. Stefanescu: Neue Verwendungsmöglichkeiten für minder-  
wertige Kohle  
Rev. Minilor. Bukarest 6 (1955) 8, S.266/71
158. E. Rammler,  
G. Bilkenroth: Herstellung u. Eigenschaften von Braunkohlen-  
Hochtemperaturkoks  
Votr. geh. a. d. Internat. Niederschachtofen-  
tagung in Leipzig  
Neue Hütte 1 (1956) 4, S.226/34







KURT M  
BÜCHER  
FREIBERG



KURT MADER  
BUCHBINDEREI  
FREIBERG i. Sa

✓

