

## Beurteilung, Prüfung und Bewertung der physikalischen Beschaffenheit

### von Hochofenkoks.

Die Zahl der die wichtige Frage der Beurteilung, Prüfung und Bewertung von Hochofenkoks behandelnden Veröffentlichungen ist verhältnismässig gross. Die hierbei gebrachten Vorschläge haben meist keine für die Praxis zufriedenstellende und restlose Lösung zur Folge gehabt, da sie teils von falschen Voraussetzungen wegen der Beanspruchung des Kokes im Hochofen ausgingen, teils infolge zu weitgehend wissenschaftlichen Aufbau den rehen Betrieb zu wenig angepasst waren. Abgesehen hiervon sind die Ansichten über den Einfluss der spezifischen physikalischen Eigenschaften des Kokes auf das Verhalten desselben im Hochofen lange Zeit hindurch unklar und stark widersprechend gewesen. Während eine Gruppe von Fachleuten und zwar die Mehrheit derselben das Schwergewicht auf die Kokfestigkeit und die Kokabrummung<sup>1.)</sup> gelegt haben wollte, verlangte eine andere Gruppe weitgehendste Berücksichtigung des Koksgefüges<sup>2.)</sup> bzw. der mit diesem zusammenhängenden Eigenschaften. Eine noch andere Gruppe glaubte die Güte des Hochofenkokes durch Feststellung der Zündfähigkeit<sup>3.)</sup>, der Reaktionsfähigkeit oder der Verbrennlichkeit<sup>4.)</sup> genauer kennzeichnen zu können. Sogar innerhalb dieser einzelnen Gruppen gingen die Meinungen oft weit auseinander. Bei der Festlegung der Kokfestigkeit wollte gerade die Sturz-

- 1.) R.A. Mett u. R.V. Wheeler : Coke for Blast Furnaces London 1930. S. 115/116 u. S. 147.
- F. Hüssler : Die Verbrennlichkeit u. Festigkeit von Hüttenkoks in grösseren Krummen Bericht Nr. 22 des Kokereiausschusses (17. März 1925) S. 7 u. 8.
- A. Wagner : Die Verhüttung von Kleinstückigen Koks. Bericht Nr. 22 des Kokereiausschusses. (17. März 1925) S. 8/15.
- 2.) H. Hoffmann u. F.L. Kühlwein: Rohstoffliche u. verfahrenstechnische Untersuchungen an Saerablen. GIsabau 1935. S. 625/639, 657/65.
- 3.) W. Meüzer : Heussätzliche Verfahren der Stöckkoks-Prüfung. Bericht Nr. 36 des Kokereiausschusses (17. Okt. 1930) S. 1/14.
- 4.) H. Koppers: Fortschritte auf dem Gebiete der Kokszeugung, der Einfluss der Koksbeschaffenheit auf den Hochofenbetrieb und Vorschläge für die Verbesserung des Letzteren. St. u. E. 1921, S. 1173, 1234, 1238.
- G. Agde u. H. Schmitt: Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks. Ensayy-Halle-1928.

festigkeit<sup>1.)</sup>, der andere die Trommelfestigkeit<sup>2.)</sup>, ein weiterer die Abriebfestigkeit<sup>3.)</sup> ermittelt haben, wobei über die anzuwendenden Prüfarten und die Auswertung der Prüfergebnisse keineswegs Übereinstimmung herrschte. Zur Erfassung der durch den Gefügebau bedingten Eigenart des Kokses wurden ausser Ermittlungen der Stükdichte und des Schüttgewichtes<sup>4.)</sup>, Perigekits- und Gasdurchlässigkeitsmessungen<sup>5.)</sup>, Adsorptions- u. Desorptionsverfahren<sup>6.)</sup>, Makroschliff-Untersuchungen<sup>7.)</sup> und sogar mikroskopische Anschliffbeobachtungen<sup>8.)</sup> vorgeschlagen. Dabei bereitete die Mangelhaftigkeit der Bestimmung des sogenannten Porenraumes<sup>9.)</sup> grosse Schwierigkeiten, während die Ermittlung der zweifellos ausserst wichtigen totalen Porenoberfläche<sup>10.)</sup> eine zur Zeit noch ungelöste Aufgabe darstellt. Über die Auffindung einer Beziehung zwischen den Verträmmungseigenschaften des Kokses und seinem Verhalten in Hochofen wurde Jahre hindurch lebhaft gestritten, wobei hauptsächlich wegen der Begriffe Reaktionsfähigkeit und Verträmmlichkeit sowie deren Bestimmungsverfahren und beeinflussbare Faktoren grosse Meinungsverschiedenheiten<sup>11.)</sup> entstanden sind, die besonders in den weniger eng mit der Frage vertrauten Kreisen eine Verwirrung der

- 1.) R.A.Mott u.E.V.Wheeler: Coke for Blast Furnaces London 1930, S. 94/116.
- 2.) O. Sinnerbach: Neuere Untersuchungen über die Härte des Kokses. St. u. E. 1913, S. 512.  
Döflinger: Die mechanische Festigkeit des Kokses. St. u. E. 1927, S. 1867/71.
- 3.) W. Mathesius: Die physikalischen und chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens. Spener, Leipzig 1924, 2. Auflage S. 128.  
Fr.Heinrich u.J.Speckhardt: Untersuchungen über die Zerreiblichkeit von Verkalkungsprodukten. Glöckner 1930, S. 1285/1292.
- 4.) J.S.-Hoffmann: Die Bestimmung der Stükdichte von Koks mittels Oberfläch-Paraffinierung. Brennstoff-Chem. 1950, S.297/99.  
A. Killing: Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Hochofenkoks. St. u. E. 1931, S. 901/905.
- 5.) P.Bardenheuer u.G.Thauheiser: St. u. E. 1923, S. 3542/43.
- 6.) H. Landmann: Die Gestaltung der äusseren und inneren Oberflächennetze von Koks. Arch. f. d. Eisenhüttenw. 1936/37, S. 1/10.
- 7.) H. J. Rose: The Study of Coke Microstructure. Fuel in Science and Practice 1926, S. 57/64.
- 8.) F.L.Kuhlwein u.G.Äbramski: Praktische Ergebnisse bei Kehlennetzwahl, Kehlennetzgebung u. Koksverbesserung für die Hochtemperaturverkalkung. Glöckner 1939, S. 865/74.
- 9.) K.Bunte u.W.Fitz: Über die Ursachen der verschiedenen Reaktionsfähigkeit von Koks. G.W.F. 1924, S. 241.
- 10.) R.A.Mott u.E.V.Wheeler: Coke for Blast Furnaces London 1930, S. 91.
- 11.) H. Keppers: St. u. E. 1921, S. 1173, 1234, 1258  
1922, S. 1244 /1288  
Ausssprache zu dem Berichte Nr. 22 des Kakerevisenusschusses 17. März 1925, S. 17.  
E. Durrer: Die Metallurgie des Eisens. Verlag Chemie 1934. S. 465/79, S. 1142/44.

Begriffe hervorrief und sogar den Ruf nach einer gründlichen Aufklärung dieser Schlagwörter<sup>1.)</sup> zur Kennzeichnung der Kokagüte laut werden liessen.

Von der Kokereiseite aus ist vielfach versucht worden, diese Unsicherheit und Verwirrung allein auf das Schuldkonto des Hochofners zu buchen, indem man ihm wechselnde u. ungenügend scharf umrissene Anforderungen wegen der Beschaffenheit seines Kokses verwarf. Diese Kritik wird aber den tatsächlichen Verhältnissen nicht ganz gerecht und bedarf auf Grund der in den letzten Jahren von Hochofenseite aus erfolgten Urteile über die Koksanforderungen einer weitgehenden Überprüfung. Der Hochofner weiss nur zu gut, die wichtige Rolle zu schätzen, welche die physikalische Beschaffenheit des Kokses auf den Hochofengang, insbesondere bei Störungen ausüben vermag. Eine für seine Zeit verhältnismässig treffende Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit von Hochofenkoks hat Dr. M u e k in seinen lehrreichen Vorträgen für Eisenhüttenleute<sup>2.)</sup> mit folgendem Wortlaut abgegeben:

Koks sei fest, doch sei er nicht  
perennem und gar zu dicht.  
Denn, wie unsehwer einzusehen,  
muss da langsam vor sich gehen  
Oxyda- und Reduktion  
(Stichte wohl, das kommt davon) "

In der Regel sieht sich auch der erfahrene Hochofner dem Koks an und trifft vielfach sogar auf Grund dieser Besichtigung mit Erfolg Anordnungen schwerwiegender Schlusswirkung. Diese erfahrungsgemässe Feststellung des Hochofners ist aber bis vor kurzem kaum vertzählmässig ausgedrückt worden; sie ist in der Hauptsache rein qualitativ geblieben, obwohl die zahlenmässige Auswertung für den Hochofen von grosser Bedeutung gewesen wäre. Diese Rückständigkeit ist damit zu begründen, dass die rein empirische Beurteilung des Hochofners nach den Angaben massgebender Fachleute nicht nur einzig und allein auf einer Eigenschaft des Kokses, z.B. der Stückfestigkeit, beruhte, sondern gleichzeitig mehrere Eigenschaften zusammengefasst berücksichtigte, z.B. ausser der Stückfestigkeit noch die Abriebfestigkeit, der Gefügestruktur, das Schüttgewicht, zu denen auch noch die Stückgrösse sowie unter Umständen die Formgestaltung, der Grad und die Art der Risse und Brüche des Kokses hinzutreten. Für einen Teil dieser Eigenschaften fehlten die geeigneten Prüfverfahren bzw. die waren höchst mangelhaft entwickelt; zudem bereitete der Koks

1.) A. Killig: St. u. E. 1931, S. 904/905.

2.) O. Simmersbach: Koks-Chemie, Springer, Berlin 1914,  
2. Auflage, S. 244

im Vergleich zu anderen bekannten Rohstoffen infolge seiner starken physikalischen Ungleichmässigkeit einer einwandfreien Stückprobenahme, wie sie für die physikalische Prüfung erforderlich schien, Schwierigkeiten. Die ausführenden Gründe sind aber hiermit nicht erschöpft. So war die Gewähr der gleichzeitigen Erfüllung mehrerer Eigenschaften oft nur eine Sache des Zufalls bzw. zumindest äusserst starken Schwankungen in der einen oder anderen dieser Eigenschaften unterworfen. Die Erklärung dieses Wechsels und dieser Zusammenhänge blieben dem Hochofener grösstenteils verbergen, da er einerseits über die rohstofflichen und betriebstechnischen Vorgänge in der Kokerei nicht oder nur höchst mangelhaft unterrichtet war, andererseits seine Kenntnisse über den rohstofflich und betrieblich bedingten Zusammenhang zwischen Festigkeit, Schüttgewicht und Struktur Aufbau des Kokses unzureichend waren. Zur quantitativen Auswertung der erfahrungsgemässen Feststellung des Hochofeners bedarf es demnach einer weitgehenden Mitarbeit des Kokereifachmannes, dessen Kenntnisse über die Beziehungen zwischen Zusammensetzung bzw. Erhaltungszustand und chemisch-physikalischem Verhalten der Kühle im Laufe der Jahre bedeutend erweitert wurden.

Die vom Hochofenbetrieb an den Koks gestellten physikalischen Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Hohe Stück- und Abriebfestigkeit bei gleichzeitig nicht zu hohem spezifischen Gewicht. Saubere und enge Klassierung, ausreichende Stückgrösse unter Anpassung derselben an die durch die Art, Stückigkeit u. Klassierung des Erzes gegebenen Möglichkeiten der Gasströmung, der Reduktions- u. Durchsatzgeschwindigkeit.

Die Gleichmässigkeit des Kokses ist Grundbedingung für einen erfolgreichen und wirtschaftlichen Hochofenbetrieb. Deshalb ist ein Koks weitgehend gleichförmiger Beschaffenheit erwünschter als einer der in seiner Beschaffenheit zwar besser aber ungleichmässiger ist.

Trotz dieser auf verschiedene physikalische Eigenschaften des Kokses sich stützenden Anforderungen, welche heute wohl kaum von einem Hochofenfachmann angezweifelt werden, beschränkt man sich im Hochofenbetrieb ausser der rein visuellen Beurteilung des Kokses lediglich nur auf die Bestimmung der durch die sogen. Sturz- oder Tremmelfestigkeit stark in den Vordergrund tretende Stückfestigkeit des Kokses. Eine systematische Verfolgung der Abriebfestigkeit, der Stückgrösse oder des Schüttgewichtes mag wohl in einigen Anlagen vorgenommen werden. In laufenden Untersuchungsprogrammen der Rohstoffe des Hochofens wird man aber bisher diese Kenngrössen trotz ihrer anerkannten Wichtigkeit meist verglichen suchen. Wohl ist die fertigsste Prüfung und Überwachung des Schüttgewichtes und der Porigkeit schon vor 15 Jahren von

Killing<sup>1.)</sup> empfohlen worden.

Jedoch blieb es nach wie vor bei der alleinigen Untersuchung der Trommelfestigkeit. In einem Aufsatz über „30 Jahre Fortschritte in der Eisenerzeugung“ erwähnt der bekannte belgische Hochofensmann Derolays<sup>2.)</sup>, dass zur wissenschaftlichen und zuverlässigen Verfolgung der Koksherstellung zwei Versuche durchzuführen sind und zwar die Ermittlung des Schüttgewichtes und der Festigkeit.

Aus ganz neuerer Zeit liegt ein Vorschlag von Thibaut<sup>3.)</sup> vor, welcher durch Aufstellen einer aus Trommelwerten und Schüttgewicht bestehenden Funktion die Errechnung der sogen. physikalischen Kokswertzahl ermöglicht. Auf Grund einer 7-jährigen Verfolgung dieser Wertziffer weist Thibaut nach, dass dieselbe nicht nur für den einwandfreien Hochofengang von Bedeutung ist, sondern auch auf die Koksverbrauchszahl einen deutlichen Einfluss ausübt. Dieser von Thibaut gelieferte Beitrag mag in seiner ursprünglichen Form ohne Zweifel nicht kritiklos und vor allen Dingen nicht zu verallgemeinern sein; grundsätzlich stellt er aber einen beachtenswerten Fortschritt auf dem Wege zur physikalischen Koksbewertung dar. Trotz seiner Bedeutung würde aber dieser Vorschlag ähnlich wie derjenige von Killing nicht instande sein, die Scheu der Kokerei- u. Hochofenleute vor den physikalischen Koksprüfverfahren zu überwinden, eine Scheu, die hauptsächlich in dem Fehlen einer Sichtung, Verbesserung und Vereinheitlichung der physikalischen Prüfverfahren begründet ist. Während die Aufstellung generater Richtverfahren bei der chemischen Untersuchung zur Selbstverständlichkeit geworden ist, tut sich bei der physikalischen Prüfung des Kokses eine Mücke auf, deren Schliessung als eine der dringendsten Forderungen der Hochofenkoksforschung zu betrachten ist.

Die nachfolgenden Ausführungen stellen einen Versuch dar, auf Grund kritischer Betrachtungen der bisher erschienenen Veröffentlichungen und an Hand der Ergebnisse fremder sowie eigener Untersuchungen die Frage der Beurteilung, Prüfung und Bewertung von Hochofenkoks aufzuklären und die Aufstellung einer allgemein gültigen physikalischen Wertzahl für Hochofenkoks zu ermöglichen.

- 1.) A. Killing : Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Hochofenkoks  
St. u. E. 1931, Heft 29, S. 901/908.
- 2.) M. Derolays: Trente années de progrès dans la Métallurgie de la fonte  
Rev. Univ. des Mines Nr. 7 1942
- 3.) Ch.-G. Thibaut: Contribution à l' étude des Cokes de haut fourneau.  
Revue de Métallurgie 1943, Nr. 5, 129/142  
Referat H. Hoffmann, St. u. E. 1944, 15. Mai, S. 339/42.

### Koksfestigkeit (Allgemeines)

Bei der Beurteilung der Festigkeit des Kokses kommen wegen seiner Behandlung vom Hochofen bis in die Gicht als auch wegen seiner Verwendung im Hochofen im allgemeinen zwei dem Wesen nach verschiedene, wenn auch meist nie völlig scharf voneinander trennbare Eigenschaften in Betracht, nämlich die von dem Grad und der Art der Risse, Eröße und inneren Spannungen des einzelnen Koksstückes weitgehendst abhängige Stückfestigkeit und die von der Ausbildung und der Art des Koksgefüges stark bedingte Abriebfestigkeit.

Auf seinem Wege von der Kokerei bis in die Gicht des Hochofens wird der Koks mehr oder weniger erheblichen auf ihn einwirkenden Sturz- und Stoßkräften ausgesetzt. Hierbei tritt eine starke Beanspruchung des Kokses auf Stückfestigkeit in den Vordergrund. Im Hochofen selbst hingegen ist diese Art der Beanspruchung verhältnismäßig nur sehr gering und wird vielfach stark überschätzt. Die einzigen ausgesprochenen Stoßkräfte, welche im Hochofenschacht auftreten, liegen beim Aufgeben der Ergascht auf die Kokschaicht an der Gichtschüssel vor. Auf dem weiteren Durchgang im Hochofenschacht rutscht und rollt der Koks mit der übrigen Beschickung durch den Schacht nach unten hin. Da die Rutschbewegung in der Mitte des Ofens weniger rasch als an dem Ofenränder vor sich geht, rollt ein Teil der Beschickung noch zusätzlich nach dem Ofenränder hin bis in der Höhe der letzteren ein stationärer Materialkumpen stattgefunden hat. Die Relativbewegung des Kokses gegenüber der übrigen Beschickung kann nur eine sehr geringe sein, da die Volumänderungen der Beschickung während der Hochofenreise ziemlich unbedeutend sind. Im Hochofen wird also der Koks hauptsächlich stark auf Abrieb beansprucht, wenn auch das Auftreten zusätzlicher Stoßkräfte nicht ganz abzustreiten ist. Der Endeffekt dieser Abriebbeanspruchung, soweit es sich um Feinstabrieb handelt, darf aber bei einigermaßen normalen Hochofenskok und bei gut vorbereiteten und klassierten MÖller nicht überschätzt werden. Die Abriebkräfte wirken sich allerdings stark ausgeprägt unter vorhergehender Absplitterung von Koksstückchen an den Kanten und Ecken der Koksstücke aus. Auf das gesamte Koksstück bezogen ist abgesehen von dem zuerst stattfindenden Absplitterungsvorgang der eigentliche Abrieb als solcher, sehr gering. Die Druckbeanspruchung des Kokses im Hochofenschacht ist im allgemeinen bedeutungslos und erreicht bisweilen nur bei ungleichmäßigem Abrutschen der Beschickung über den Schachtdurchmesser örtliche Bedeutung.

Die Stückfestigkeit des Kokses wird also hauptsächlich ausserhalb des Hochofens, d.h. bei der Behandlung des Kokses vom Ausdrücken aus dem Koksofen bis zu seinem Transport in die Gicht hinein stärker beeinträchtigt.

Hierbei sind die Sturzbeanspruchungen bei weitem gefährlicher als diejenigen durch Stoss. Unter anderem wird in zu geringer Masse der hohen Empfindlichkeit des Kokes gegen freien Fall Rechnung getragen. Wohl ist diese Empfindlichkeit stark von der physikalischen Beschaffenheit des Kokes abhängig; es ist ihr aber nicht nur bei splittrigen Kokes, sondern auch bei stückfesteren Kokes weitgehend Rechnung zu tragen. Denn es ist zu berücksichtigen, dass bei jedem freien Fall des Kokes unter zusätzlicher Kokableinbildung eine Beeinträchtigung der Stöckigkeit stattfindet, und dass diese Wertveränderung des Kokes mit zunehmender Fallhöhe steigt. Hiervon kann man sich durch eine Reihe von Versuchen überzeugen, die in England von Mott<sup>x)</sup> vorgenommen und die nach der gleichen Verfahrensart an Saarkoks überprüft wurden. Die Ergebnisse sind in der Zahlentafel 1 wiedergegeben. Koke verschiedener physikalischer Beschaffenheit wurden in einer Stückgröße von über 50 mm 12 mal aus einer Höhe von 1,85 m fallen gelassen und nach jedem Fall der Siebanalyse unterworfen. In der Zahlentafel 1 sind nun die Abnahmen der Stückgrößen über 50 mm und über 38 mm in Absolut-Prozenten eingetragen. Wie man sieht, tritt bei jedem Fall eine Beeinträchtigung der Stückgröße auf; allerdings wird in Abhängigkeit von der physikalischen Beschaffenheit des Kokes ein Punkt erreicht, bei dem durch weiteres Stürzen die Bruchbildung des Kokes fast sprunghaft abnimmt. Bei dem stückfesteren Jorkshire-Koks (Nr. 17 K.) ist dieser Punkt schon nach viermaligen Stürzen erreicht; mit dem weniger stückfesteren Jorkshire-Koks (Nr. 17 J L) sind 6 Stürze erforderlich, um weiteres stärkeres Brechen des Kokes zu vermindern und bei dem splittrigen Derbyshire-Koks ist dies erst nach 8-maligen Stürzen der Fall. Bei dem im Stempelbetrieb erzeugten Saarkoks R.V. sind 6 Stürze notwendig, um die weitere Bruchbildung abzumessen, womit der geprüfte Saarkoks in der Sturzfestigkeit etwa auf die Stufe der besseren Jorkshire-Koke zu setzen ist. In den angelsächsischen Länder wird der Zustand des Kokes, bei dem durch weiteres Stürzen desselben die Bruchbildung plötzlich erheblich abnimmt, mit Stabilität des Kokes bezeichnet. Die bis zur Erreichung dieses Stabilitätszustandes gebildete Menge Kokablein - wenn man hiermit die Verringerung des auf den 50 mm - Sieb verbleibenden Elektroandes bezeichnet beträgt.

beim Jorkshire-Koks	(Nr. 17 K.) :	24,2 %
" " "	(Nr. 17 J L) :	36,8 %
" Derbyshire-"	(Nr. 28 E) :	56,0 %
" Saarkoks R.V. :		26,8 %

x) R.A. Mott : The Hardness and Structure of Coke  
Fuel in Science and Practice 1929, S. 324.

Man erkennt hieraus, wie katastrophal sich unter Umständen der von manchen Hochofener gewünschte und auch vielfach geforderte Stabilitätszustand des Kokses durch absichtliche Misshandlung desselben vor seiner Klassierung auswirken kann. Sogar unter der Berücksichtigung einer günstigen Verwendung des Kleinkokes für Hausbrennwecke wäre diese Art der Behandlung des Kokses unwirtschaftlich, da sie abgesehen von einer Verschmälerung der Koksrohstoffbasis mit einer Verringerung der Stückgrösse des Kokses und damit einer Wertverminderung desselben verknüpft ist. Aus dem gleichen Grunde ist auch eine durch absichtliche Misshandlung des Kokses bis zum Stabilitätszustand hervorgerufene künstliche Erhöhung der Stückfestigkeit des Kokses abwegig. Vielmehr ist die Erhöhung der Stückfestigkeit durch entsprechende rohstoffliche und betriebliche Massnahmen bei der Koksherstellung selbst zu beeinflussen. In übrigen sind etwaige Forderungen nach Übertrieben hoher Stückfestigkeit des Kokses bei richtig vorbereiteten und klassierten KÖLLER wegen der Beanspruchung in Schacht nicht erforderlich. Sie haben höchstens eine Berechtigung, wenn bei den vorhandenen Transportmöglichkeiten des Kokses von Koksöfen bis in die Gichtschlüssel der Koks nicht schonend genug behandelt wird. Zu bedenken ist aber, dass Übertrieben hohe Stückfestigkeit in vielen Fällen, insbesondere bei der Verkokung hochsauerstoffhaltiger Kohlen grösstenteils nur auf Kosten einer mangelhafteren Gefügeausbildung erzielbar ist und stets eine Verringerung der Ausbeute an Koksrohstoffen zur Folge hat. Grundsätzlich ist daher jedes unnötige Stürzen des Kokses und jede unnötige Steigerung der Fallhöhe bei der Weiterbehandlung des Kokses vom Koksöfen bis in die Gicht zu vermeiden.

Die in Hochofenschacht auftretende starke Beanspruchung des Kokses auf Abrieb, wird in ihrer Auswirkung wie bereits angedeutet, durch den an den Ecken und Kanten der Koksstücke angreifenden Absplitterungsvergange eingeleitet, dem darauf die eigentliche Abriebbildung als solche folgt. Beide Vorgänge sind weitgehendst abhängig von der Stückgrösse und der physikalischen Beschaffenheit des Kokses. Der Einfluss der Stückgrösse ergibt sich aus der Überlegung, dass bei Verringerung der Korngrösse die dem Absplitterungs- und Abtriebkraften ausgesetzte Oberfläche grösser wird. Die Abhängigkeit der physikalischen Beschaffenheit des Kokses zeigt die praktische Erfahrung, indem bei normalen Koksen, z.B. ungarer Koksen od. solchen, die aus schlecht brennenden Koksen, oder aus Kohlenmischungen mit hohem Inertstoff- od. Mattkohlenanteil hergestellt werden, während der Hochofeneise eine übermässige Staub- und Feinstkoksbildung stattfindet, die den Durchflusswiderstand der aufsteigenden Gase stark erhöht und leicht zu unregelmässigem Gang od. gar Hängen der Gichten führt. Bei der Verwendung sehr splittiger Koks in Hochofen wird vor allem die sehr starke Absplitterungswirkung in den Vordergrund treten, da eine wesentlich grössere Oberfläche mit mehr Ecken und Ecken der Beanspruchung ausgesetzt ist. Ob bei



diesen Koksen auch ein besonderes Übergewicht an Feinstabrieb gebildet wird, ist wohl nicht anzunehmen, da einerseits die einzelnen abgespaltenen prismatischen Koksstückchen sich in die Hohlräume der Beschickung verlegen und dort der Abriebwirkung grösstenteils entgehen, andererseits die einzelnen Stückchen dieser Koks eine sehr hohe Eigen-Abriebfestigkeit aufweisen.

Normale Hochofenkoks sind aber ganz allgemein sehr abriebfest und liefern in Schacht verhältnismässig wenig Abrieb. Dies wird unter anderem durch den in der Abbildung 1. gezeigten Vergleich des Aussehens der nach der Hochofenreise in der Nähe der Ofenformen herausgesageten Koksstücke mit denen an der Gicht entnommenen bestätigt. Bei den Ersteren sind die Ecken und Kanten stark abgerundet; auch hat ein leichter Abrieb der Seiten stattgefunden. In der Stückgrösse ist aber im allgemeinen keine sehr starke Verminderung eingetreten. Nach einem Vorschlag von Hett u. Wheeler<sup>2)</sup> lässt sich die Beanspruchung in Hochofen durch einen Trommelversuch nachahmen, bei dem der Trommelraum zu etwa 60 % mit Koks gefüllt ist, so dass die Koksstücke beim Trommeln nur übereinander rollen und gleiten ohne dabei zu stürzen. Das Aussehen der auf diese Weise nach etwa 600 Umdrehungen der Trommel bei 20 Umläufen/Minute behandelten Koks ist, wie die Abbildung 2 zeigt, dem der aus den Formen entnommenen Koksstücken sehr ähnlich. Derartige an Koksstücken in einer Grösse von 50 - 75 mm vorgenommene Trommelversuche ergaben für die verschiedensten Betriebskoks die nachfolgenden in der Zahlentafel 2 wiedergegebenen Stückgrössen-Veränderungen. Obwohl ein ziemlich ins Gewicht fallender Prozentsatz des getrommelten Koks durch das 50 mm-Sieb hindurchging, wird doch noch der grösste Teil desselben auf dem 38 mm-Sieb zurückgehalten. Sogar bei dem sehr splittigen Derbyshire-Koks verbleiben noch 90 % auf dem 38 mm-Sieb. Die bei diesem der Beanspruchung in Hochofen gleichwertigen Trommelversuch auftretende Stückgrössenveränderung ist demnach an sich gering. Dass aber auch die Bildung an wirklichen Abrieb äusserst niedrig ist, ergibt sich aus dem percentuellen Entfall an Staub und Feinstkoks unter 1,6 mm. Die aus reinen gut bildsamen Kohlen erzeugten Koks liefern bedeutungslose Abriebsmengen. Die Abriebbildung ist am grössten bei Koks aus mangelhaft bildsamen Kohlen, wie z.B. beim Derbyshire-Koks oder aus Kohlenmischungen mit hohen Inertstoffanteilen, wie z.B. beim Wales-Koks.

Das Beispiel des sehr stückfesten Wales-Koks ist ein gerader klassischer Fall, wo bei hoher Stückfestigkeit infolge zu starker Inertstoffzugabe eine über das normale Mass hinausgehende Abriebbildung vorliegt. Wenn auch letztere bei der verlässlichen Stüchtigkeit und Stückfestigkeit dieses Koks in Schacht keine Störungen hervorruft, so lässt sie trotzdem auf

x) R.A. Hett u. R.V. Wheeler, Coke for Blast Furnaces London 1930, S. 30/32.

mangelhafte, für die Verbrennung des Kokes im Hochofen ungeeignete Gefügeausbildung schliessen. Bei stückfesten Kokes gibt demnach die Höhe der Abriebbildung einen indirekten, untrüglichen Massstab für die Ausbildung und die Art des Kokesgefüges ab. Dies trifft allerdings für die wenig stückfesten splittigen Kokes in geringeren Umfange zu, da bei diesen wiederum der Einfluss der durch die starke Stückgrössenveränderung bewirkten weit grösseren Oberflächen überwiegt. Aber auch bei diesen Kokes verliert die ungenügende höhere Abriebbildung keineswegs an Bedeutung, da sie durch ihre Summierung mit der unzureichenden Stückfestigkeit die Unutrüglichkeit eines solchen Kokes insbesondere der dadurch hervorgerufenen hohen Durchflusswiderstand für die aufsteigenden Gase auffallend in Erscheinung treten lässt.

Nach Vergehenden muss die Festigkeitsprüfung des Kokes sowohl die Bestimmung der Stückfestigkeit wie diejenige der Abriebfestigkeit erfassen. Die Durchführung dieser Bestimmungen in getrennten oder gleichzeitigen Verfahren war bisher unstritten und soll noch später weiter besprochen werden. Für die praktischen Bedürfnisse erscheint zunächst wichtig, dass der Koks bei der Prüfung in seiner natürlichen Stückgrösse zur Verwendung gelangt. Demnach würden sämtliche Verfahren ausscheiden, bei denen der Koks vor seiner Prüfung stabilisiert, mehr oder weniger weitgehend zerkleinert oder in eine besonders zugeschnittene Form gebracht wird. Hiermit soll die Bedeutung dieser Verfahren an sich keinesfalls herabgemindert werden. Sie mögen zweifellos eine bestimmte spezifische Festigkeitseigenschaft und unter anderem auch die Festigkeit der Kokesubstanz als solche schärfer erfassen, geben aber in allgemeinen über den sehr wichtigen Einfluss der Formgestaltung und Grestuktur des Kokes insbesondere den Grad und die Art seiner Risse und Brüche zu wenig Aufschluss. Die Anwendung dieser Verfahren wird daher mehr oder weniger auf das wissenschaftliche oder noch halbertechnische Gebiet beschränkt bleiben. Trotz vieler Versuche haben sich diese Prüfarten nicht im Hochofenbetrieb einbürgern können.

### Stückfestigkeit (Sturzprobe)

Das nächstliegende Verfahren zur Bestimmung der Stückfestigkeit des Kokes ist die sogen. Sturzprobe. Die hierbei gemessene Verträglichkeit wird auch vielfach mit Sturzfestigkeit bezeichnet. Sie stellt demnach den Widerstand gegen Zerfall beim Sturz dar. Diese Prüfart ist insbesondere in Amerika entwickelt und dort wie auch in England als Standardprüfung unter dem Namen "Shatter Test" angenommen worden. Das Verfahren besteht darin, dass man in einem Eisenbehälter von 710 x 460 x 380 mm, der durch Neigungswichte 1,85 m hochgehoben werden kann, 22,7 kg Koks von der Stückgrösse über 50 mm vertriebig einfüllt. Der Boden des Kastens wird durch Klappstirn gebildet, welche längsseitig des Kastens in Gelände beweglich sind, so dass der freie Fall

des Kokses nicht gehindert wird. Der Koks fällt auf eine gusseiserne Platte, die mit umlaufenden Leisten versehen ist, damit keine Stücke verloren gehen. Man nimmt dieses Abstürzen viermal vor und sibt dann über 4 quadratmassige Siebe und zwar über 50 mm, 38 mm, 25 mm und 12,5 mm ab. Die jeweiligen Siebrückstände werden in Prozentsätzen der angewandten Probe menge ausgedrückt.

In England wird dieses Verfahren insbes. von Midland Coke Research Committee, das unter der Leitung von Mott ein ausführliches systematisches Studium der englischen Koks vornahm, zur Beurteilung der Stückfestigkeit und ganz allgemein auch der Eignung eines Kokses für Hochofenzwecke herangezogen. Diese Forschungsstelle hat dergleichen eingehende Versuche und Überlegungen<sup>x)</sup> über die Übereinstimmung der Einzelversuchswerte, die Bedeutung der Rückstände auf den verschiedenen Siebgrößen und die Beziehungen der letzteren zueinander angestellt. Weiter wurde der Einfluss der Ausgangsstückgröße, der Probenahme insbes. der Koksgröße innerhalb des Koksbrandes und der Vorbehandlung des Kokses näher geprüft.

In Anbetracht der hohen Bedeutung, welche der Sturzprobe in England beigemessen wird, sei aus den hierzu vorliegenden Ergebnissen des umfangreichen Versuchsmaterials das Wesentliche herausgegriffen, soweit es zur Beurteilung des Genauigkeitsgrades, der Empfindlichkeit und des praktischen Wertes der Sturzprobe von Bedeutung ist.

Einen Überblick über das Ausmass der Abweichungen der Ergebnisse von 9 bzw. 8 aufeinanderfolgenden Einzelversuchen an denselben Koksen gibt die nachfolgende Zahlentafel 3, in der gleichzeitig eigene an Scarrington-Fabrik erzielte Ergebnisse eingetragen sind. Erhebliche Unterschiede sind zuweilen innerhalb der Einzelwerte möglich. So ist beispielsweise bei dem Duxton Koks Nr. 6 für den Siebrückstand von 50 mm ein Unterschied von 12 zwischen dem Höchst- und dem Mindestwert zu verzeichnen. Für den Siebrückstand von 38 mm beträgt dieser Unterschied aber nur mehr 3,5. Das Ergebnis eines Einzelversuches reicht demnach zur Kennzeichnung der Sturzfestigkeit nicht aus. Beim Vergleich der Mittelwerte dreier aufeinanderfolgende Einzelversuche mit dem Gesamtmittelwert der 9 bzw. 8 Einzelversuche erscheinen hingegen die Abweichungen nicht mehr gross. Letztere belaufen sich bei den in der Zahlentafel angeführten Koksen auf höchstens 5,1 für den 50 mm - Siebrückstand und 1,6 für den 38 mm - Siebrückstand. Die durchschnittliche Abweichung für die in Betracht gezogenen vier englischen Koks ist 1,5 für den 50 mm - Siebrückstand und 0,5 für den 38 mm - Siebrückstand.

Die Übereinstimmung der Werte von aufeinanderfolgenden Einzelversuchen ist also ganz allgemein für den 38 mm - Siebrückstand wesentlich besser

x) E.A.Mott und E.V.Wheeler : Coke for Blast - Furnaces 1930, S. 94/116.

als für den 50 mm - Siebrückstand. Aus der weiteren Zahlentafel 4 ist zu erkennen, dass die Höhe der durchschnittlichen Abweichung von dem Mittelwert aus drei Einzelversuchen von der Stückfestigkeit des Kokes abhängt, indem bei den sehr stückfesten Kokes die Übereinstimmung im allgemeinen besser als bei den weniger stückfesten Kokes ist. Daher hat das Midland Coke Research Committee vorgeschlagen bei den ersteren den Mittelwert der Ergebnisse von 3 Einzelversuchen und bei den letzteren den Mittelwert der Ergebnisse von mindestens 4 Einzelversuchen zur Ermittlung der Sturzfestigkeit zu nehmen. Weiter ist aus der Zahlentafel zu ersehen, dass die durchschnittliche Abweichung mit der Verringerung der Siebgröße wesentlich abnimmt. Trotz der besseren Übereinstimmung der Einzelwerte bei den kleineren Siebgrößen von 25 mm und 12,5 mm eignen sich diese weniger als Kennzahl für die Sturzfestigkeit als beispielsweise die Siebrückstände von 38 mm und 50 mm, da die Skala der durch die Siebrückstände 25 mm und 12,5 mm ausgedrückten Werte zu eng ist. Man hindert aber andererseits nicht die Siebrückstände von 25 mm und 12,5 mm als zusätzliche Kennziffern bei der Auswertung des Versuches herauszuziehen. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, kann der Siebrückstand 12,5 mm als sehr rehen Masstab für die Zerreiblichkeit des Kokes und der Siebrückstand 25 mm als mittlerer Ergänzungswert für den die Sturzfestigkeits-Kennziffer darstellenden Siebrückstand 38 mm dienen. Die Siebrückstände 50 mm, 75 mm und sogar 100 mm können in allgemeinen als Kennzahlen nicht mehr in Frage, da abgesehen von der schlechten Übereinstimmung der Werte der Einzelversuche die Ergebnisse in zu starkem Umfange von der angewandten Ausgangsstückgröße und der Stückform (ob z.B. bleckig od. prismatisch) abhängen. Der Einfluss der Ausgangsstückgröße auf die Ergebnisse der Sturfsprobe für eine Reihe von Kokes ist aus der folgenden Zahlentafel 5 zu entnehmen. Man erkennt ein leichtes Ansteigen der Sturfskennziffern 25 mm und 38 mm mit abnehmender Ausgangsstückgröße, während für die Siebrückstände 50 mm und darüber die Werte unregelmäßig schwanken. Das Beispiel des Derbyshire-Kokes Nr. 15 zeigt, dass die Zunahme der Sturzfestigkeit (38 mm) mit abnehmender Ausgangsstückgröße bei splittrigen Kokes besonders stark ausgeprägt ist.

Wie aus der Zahlentafel 6 zu entnehmen ist, gibt der 50 mm Siebrückstand bei prismatischen Kokes anormalerweise zu niedrige Werte, während hingegen die 38 mm - Sturfskennzahl eine wesentlich geringere Abhängigkeit von der Stückform des Kokes aufweist.

Die Ungleichmäßigkeit der physikalischen Beschaffenheit, insbesondere der Sturzfestigkeit des Kokes aus den verschiedenen Horizonten des Kokabrunnes ergibt sich aus den Ergebnissen einer Versuchsreihe, bei der aus verschiedenen Höhenlagen des Kokabrunnes und zwar aus dem oberen, mittleren und unteren Teil desselben Kokesproben entnommen und der Sturfsprobe unter-

worfen wurden. Diese Ergebnisse sind in der Zahlentafel 7 wiedergegeben und zwar für eine schwach und eine gut kokende Kohle bei Kammerbreiten von 1,30 m und 350 mm. Man erkennt, dass der Koks des oberen Teiles des Koksrandes die bessere Sturzfestigkeit aufweist. In sehr geringem Abstand folgt der Koks aus dem mittleren Teil, während der Koks von der Sohle schon stärker abfällt. Die geringere Sturzfestigkeit des Schlenkokes macht sich bei dem 50 mm - Siebrückstand erheblich stärker bemerkbar als bei dem 38 mm - Siebrückstand. Diese Unterschiede sind bei der Probenahme des Kokses durch anteilmässige Erfassung sämtlicher Horizonte des Koksbandes zu berücksichtigen. Ihre Bedeutung ist allerdings nicht zu überschätzen, da der weniger sturzfestere Schlenkoks allgemein nur etwa  $\frac{1}{8}$  des Koksrandes ausmacht. Immerhin lassen sich manche besonders niedrigere, aus dem Rahmen fallende Ergebnisse von aufeinanderfolgenden Einzelsturzversuchen auf übermässig hohe Anteile Schlenkoks in der Ausgangsprobe erklären.

In der folgenden Zahlentafel 8 sind nun eine Reihe von Midland Coke Research Committee untersuchter Kokse (fast ausnahmslos Betriebskokse) der verschiedensten Bezirke in der Reihenfolge nach abnehmender Sturzfestigkeit (38 mm Kennzahl) zusammengestellt. An der Spitze der Zahlentafel stehen die Wales-Kokse zusammen mit zwei Ruhrkoksen. Diese Kokse ergeben bekanntermassen sowohl in Kupolöfen wie auch in Hochofen einen niedrigeren Brennstoffverbrauch, als beispielsweise die Durhamkokse und insbesondere die der übrigen Bezirke. Es folgt hierauf die Mehrzahl der Durham-Kokse, welche wie erwiesen, eine Brennstoffersparnis von 150 bis 200 kg/te Roheisen ergeben, wenn sie Jerkshire-Mischkokse mit einer durchschnittlichen Sturzfestigkeit von 80 ersetzen. Der in der Skala weiter unten liegende Durhamkoks Nr. 5 mit 85,1 Sturzfestigkeit ergibt einen höheren Koksverbrauch als beispielsweise der Durhamkoks Nr. 6 mit 93,2 Sturzfestigkeit. Der Jerkshire-Koks Nr. 3 A, welcher mit 86,3 von den in Jerkshire-Bezirk hergestellten Betriebskoksen die höchste Sturzfestigkeit aufweist, wurde von dem bisher in der Hochofenpraxis verwandten Jerkshire-Koksen als der beste erkannt. Die Derbyshire-Kokse stehen am Schluss der Skala. Sie werden auch von den meisten Hochofner ganz allgemein als minderwertig bezeichnet. Auf Grund dieser Betrachtungen könnte man geneigt sein, anzunehmen, dass ein Koks mit hoher Sturzfestigkeit allgemein dem mit niedrigerer Sturzfestigkeit hinsichtlich seines Verhaltens u. Verbrauches im Hochofen überlegen sei. Dies trifft aber nicht in allen Fällen zu und es ist vor einer Allgemeinerung dieser Auffassung zu warnen. Unter gewissen rohstofflichen und betrieblichen Bedingungen lassen sich Kokse mit ausreichend hoher Sturzfestigkeit erzeugen, die sich aber erwiesenermassen in Hochofenbetrieb keinesfalls bewährt haben. Von der Rohstoffseite aus sind dies besonders solche Kokse, welche aus Kehlennickungen mit übermässig hohem

Anteilen Metallkohlen oder sonstigen Inertstoffen hergestellt wurden. In betriebstechnischer Hinsicht sind es Koks, welche bei zu niedriger Temperatur od. ungar bzw. ungleichmäßig abgegart wurden oder solche, welche bei zu niedrigem Schüttgewicht verkokt wurden. Derartige Koks können z.B. Sturzfestigkeiten von 75 - 90 aufweisen und trotzdem in Hochofen wenn auch nicht immer - nur in sehr krassen Fällen - besondere Schwierigkeiten im Gang sondern aber stets viel zu hohe Brennstoffverbrauchszahlen ergeben. Ein charakteristisches Beispiel ist der von früher her bekannte Heinitzer Spezialkoks, der aus Saarkohle mit 17 % Halbkoks im Stampfbetrieb hergestellt wurde. Dieser Koks bereitete im Gang der Hochofen keine Schwierigkeiten; seine Verwendung hat aber trotz wesentlich besserer Sturzfestigkeit gegenüber Normal-Saarkoks keine Brennstoffersparnis, sondern sogar eine Erhöhung im Koksverbrauch zur Folge gehabt. Infolge des hohen Zusatzes (17 %) an Halbkoks wurde die Bindbarkeit der Kohlemischung in einem Ausmaße verringert, dass das Feingefüge des Kokses nicht mehr voll sellenförmig entwickelt war. Dies äußerte sich in einer grösseren Dichtigkeit dieses Kokses und kam besonders in seinem höheren Schüttgewicht klar zum Ausdruck. Obwohl durch Versuche nicht bewiesen, ist aber anzunehmen, dass dieser Koks ausserdem noch einen etwas höheren Feinstabrieb in der Abriehtrennel ergeben hätte. Wir werden noch in der Folge sehen, dass derartige Koks trotz Sturzfestigkeitsziffern von 90 - 75 ausnahmsweise mangelhafte Abriebswerte aufweisen.

Die Sturzprobe reicht demnach als alleiniges Prüfverfahren zur Beurteilung eines Kokses wegen seines Verhaltens in Hochofen nicht aus. Sie gibt lediglich nur Aufschluss über die Sturz- od. Stückfestigkeit und stellt eine ausgesprochene Prüfung des Kokses auf Verfrachtungs- und Behandlungsfähigkeit desselben von Ausdrücken aus dem Koksefen bis zu seiner Beförderung in die Gicht dar. Über das Verhalten des Kokses in Hochofenschacht selbst gibt sie keine eindeutige Auskunft; dies ist schon daraus zu ersehen, dass ein der Sturzprobe unterworfenen Koks keine Abrundung seiner Ecken und Kanten aufweist und den aus den Formen abgezogenen Koksstückchen nicht annähernd ähnlich aussieht. Dabei ist aber nicht zu verkennen, dass die Sturzprobe bei feigerichtiger Normierung und Auswertung trotz ihrer Einfachheit und Empirie eine äusserst wertvolle u. hinreichend genaue Prüfmethode zur Beurteilung der Stückfestigkeit und auch Stückform des Kokses darstellt. Ihre Bedeutung wegen der Stückform des Kokses wird vor allen Dingen aus einem Vergleich mit der normalen Beziehung der einzelnen Siebrückstände gegeneinander klar. In der folgenden Zahlentafel 9 sind diese Normalbeziehungen der einzelnen Siebrückstände für Koks mit 95 bis 65 Sturzfestigkeit (50 mm Kennzahl) in Abständen von 2,5 zusammengestellt. Liegt für eine gegebene 50 mm - Kennzahl die 50 mm Kennziffer höher als die normale in der Zahlentafel angegebene, so kann

der Koks meist als aussergewöhnlich blockig bezeichnet werden: Ist die 50 mm Wertzahl niedriger als normal, so liegt ein besonders prismatischer Koks vor, Ausnahmsweise niedrige 25 mm- und 12,5 mm Wertzahlen gegenüber der Normalbeziehung lassen auf splittrigen Koks schliessen.

### Abriebfestigkeit

Weit schwieriger als die Erfassung der Stückfestigkeit des Kokses ist nun diejenige der Abriebfestigkeit. Vor allen Dingen muss man sich darüber im Klaren sein, dass die allgemein gebräuchliche Prüfung in der mit Hubwinkleinbau versehenen Trommel kein reines Abriebprüfverfahren ist. Diese Prüfmart stellt vielmehr eine kombinierte Probe dar, bei der eigentlich weit mehr die Stückfestigkeit des Kokses als die Zerreiblichkeit desselben gemessen wird. Das Ausmass, bis zu welchem beide Eigenschaften des Kokses sich beim Trommelversuch auswirken, kann allerdings sehr wechselnd sein und hängt weitgehendst von den Versuchsbedingungen ab. Daher ist es auch nicht angebracht, auf Grund einer Trommelprüfmart die Ergebnisse einer anderen abzuleiten.

Die zahlreichen für die Prüfung der Abriebfestigkeit vorgeschlagenen Verfahren sind in der Übersicht Abb. 3 kurz gekennzeichnet. Ganz allgemein sind 3 Hauptgruppen zu unterscheiden:

- 1.) Mikro - Abriebverfahren
- 2.) Druckabriebverfahren
- 3.) Trommel - Abriebverfahren

Die Mikro-Abriebverfahren sind Prüfmarten, bei denen an einem präparierten Koksstück der Abrieb bestimmt wird, der dadurch entsteht, dass man entweder das Koksstück eine kurze Zeit lang (15 Sek.) mit einem bestimmten Druck gegen eine mit gleichbleibender Geschwindigkeit umlaufende Scheibenscheibe presst oder indem man eine Ebene des Koksstückes unter bestimmten Bedingungen der Wirkung eines konstanten, durch Pressluft hochgeschleuderten Strahles von Stahlsand aussetzt.

Das erstere Verfahren, bei dem die Abnahme des Koksstückes in gr/Sek. berechnet wird, ist von Schmelke<sup>1.)</sup> entwickelt worden. Das letztere, bei dem die Grösse der Abmätzung einer Fläche von  $4 \pi \text{ cm}^2$  während einer Minute den relativen Wert für die Abriebfestigkeit darstellt, wurde in Prager Kohlenforschungsinstitut<sup>2.)</sup> angeschlossen.

- 1.) A. Schmelke : Über eine neue Festigkeitsuntersuchung von Koks durch Abrieb. Glückauf 1923, S. 3.
- 2.) B.G. Sinek u. F. Campbell: Über die Bestimmung der Festigkeit von Koks. Mitt. des Kohlenforschungsinstitutes in Prag 1933, Bd. 2, S. 272/293.

Beide Verfahren sind sehr empfindlich; man kann sogar recht kleine Unterschiede im Abrieb nach den verschiedenen Richtungen der Beanspruchung oder an Koksen von verschiedenen Stellen der Kammer feststellen. Aber gerade infolge dieser hohen Empfindlichkeit ist es äusserst schwierig, für eine bestimmte Koksorte die entsprechende Durchschnittsprobe für die Versuchsdurchführung zur Verfügung zu stellen. Obwohl bei beiden Verfahren mittels zeitraubezogenen Vielschlagprüfung an verschiedenen Koksorten wiederholbare relative Abriebszahlen erhalten werden, haben sich diese Prüfarten in der Praxis nicht einbürgern können. Ihre Anwendung wird daher mehr auf das rein wissenschaftliche Gebiet beschränkt bleiben.

Das bei H e e s e h von Wolf entwickelte Bruchabriebverfahren<sup>x)</sup> kann eigentlich nur dem Wesen nach zu dem reinen Abriebverfahren gerechnet werden, da es sich um eine kombinierte Probe durch ungleichartige Beanspruchung (weil hauptsächlich auf Bruchfestigkeit) handelt, die in ihrem Endergebnis eigentlich mehr der Stursprobe wechensverwandt ist. Nach Ansicht des Erfinders sollte das Verfahren tunlichst die Beanspruchung nachahmen, der die Koks während der Hochofenreise ausgesetzt sind. Ein quadratischer dem Hochofenvorfeld entsprechend sich nach unten verjüngender Eisenbehälter von  $\frac{1}{3} \text{ m}^3$  Fassungsvermögen wird mit Koks gefüllt und dieser unter gleichbleibendem Druck (1,72 bis 2,11 kg/cm<sup>2</sup>) mit Hilfe eines Stempels durch die Verjüngung gedrückt. Den gleichbleibenden Druck erzielt man durch Gegengewichte, die an den beweglichen Verjüngungsflächen angebracht sind. Als Beurteilungsmaßstab gilt der in Gew.- % ausgedrückte Anteil des verwendeten Kokses, der durch ein 30 mm-Sieb geht. Bei dem Wolf'schen Verfahren können aber nur unvollständig die gleichen Beanspruchungen wie im Hochofen auftreten, da der nach der Druckabriebsprobe behandelte Koks im Aussehen keinesfalls dem nach der Hochofenreise aus den Fernen entzogenen Koks ähnelt. Während letzterer an Ecken und Kanten mehr oder weniger stark abgerundet erscheint, weist der erstere diese Ecken und Kanten ähnlich wie der nach der Stursprobe behandelte Koks noch auf.

Die verhältnismässig zufriedenstellende Wiederholbarkeit der Einzelversuchswerte hat weniger mit dem Wesen dieser Prüfart zu tun; sie ist vielmehr in der hohen Einmengengrösse ( $\frac{1}{3} \text{ m}^3$ ) und in der Benutzung des Rückstandes einer verhältnismässig niedrig liegenden Siebgrösse als Kennzahl begründet.

Ausser der einen besseren Durchschnitt des Kokses ergebenden höheren Einmengengrösse bietet das Verfahren zur Ermittlung der Stückfestigkeit des Kokses gegenüber der älteren und weit mehr verbreiteten Stursprobe keine besonderen Vorteile, weshalb auch die allgemeine Einführung dieser Prüfart in die Praxis versagt geblieben ist.

x) V. Wolf: Verfahren zum Prüfen des Hochofenkokes auf seine Festigkeit. St. u. E. 1928, S. 33/38.



Die verbreitetsten Verfahren zur Ermittlung der Abriebfestigkeit waren wohl von jeher die Trommel-Abrieb-Verfahren. Hierunter sind solche Trommelarten zu verstehen, bei denen an der Wand keinerlei Halbovorrichtungen angebracht sind, so dass die in der Trommel befindlichen Koksstücke sich mehr oder weniger aneinandervorbeibewegen, ohne dabei infolge gleichzeitiger Hubbewegung wiederholten Teilabstürzen ausgesetzt zu sein.

Die Gesetzmäßigkeiten zur Durchführung einer einwandfreien Abriebprüfung in der Trommel haben Heinrich und Speckhardt auf Grund eingehender Versuche in einer glasierten Porzellantrommel erforscht und dabei die bekanntesten Trommelverfahren wegen ihrer Eignung zur Ermittlung des Abriebes einer kritischen Betrachtung unterzogen. Nach diesen Forschern liegt bei der Entstehung von Kokklein und Kokgrus ein Zusammenwirken recht verschiedenartiger Ursachen in wechselndem Umfang vor. Für die Entstehung von Kokklein sind Sturzfestigkeit und Bruchfestigkeit, für die Entstehung von Kokgrus die Festigkeit der Parenwände gegen Stoss, die Widerstandsfähigkeit gegen Fremdabrieb (d.h. Schauern des Kokses an Fremdkörper, z.B. Wand) und die Widerstandsfähigkeit gegen wahren Abrieb (d.h. Schauern von Koks an Koks) massgebende Faktoren. Als einen besonders wichtigen Faktor für die Gütebeurteilung des Kokses wird der durch Schauern von Koks an Koks verursachte "wahre Abrieb" betrachtet. Um diesen möglichst genau ermitteln zu können, sind nach Heinrich und Speckhardt folgende Vorsichtsmaßnahmen und Gesetzmäßigkeiten zu berücksichtigen.

- 1.) Zur Ausschaltung des Fremdabriebes wird vorgeschlagen, mit einer glasierten Porzellantrommel und einer Einfüllöffnung an der einen Stirnwand zu arbeiten.
- 2.) Um die besonders in den ersten Zeitabschnitten des Trommelversuches als Folge teils der Risse und Sprünge im Koks, teils hoher Koksprüdigkeit auftretender sogen. Absplitterung auszuschalten, wird empfohlen, vom vorherbehandelten (vergetrommelten) Koks auszugehen, der den Splitterungsvorgang bereits überstanden hat.
- 3.) Zur Erzielung eindeutiger und gut wiederholbarer Abriebwerte sind die Versuchsbedingungen auf die Bestimmung des grössten Abriebwertes auszurichten. Diese Forderung wird erfüllt, wenn in der Trommel alle Einzelkoksstücke in stärkster Bewegung sind, was bei bestimmter Teilfüllung und bei grösster Umdrehungszahl der Fall ist.

x) Heinrich u. Speckhardt : Untersuchungen über die Zerreiblichkeit von Verkohlungsprodukten.

Gefahr 1930, S. 1205/92.

Von grundlegender Bedeutung für die Grösse der Abriebwerte ist bei allen Trommelverfahren das sogen. Füllverhältnis, d.h. das Verhältnis des angewandten Schüttvolumens zum Inhalt der Trommel. Das zur Bestimmung des grössten Abriebwertes günstigste Füllverhältnis, welches bei der glasierten Porzellantrommel bei 66 % ( $\frac{2}{3}$ ) liegt, verändert sich mit der Oberflächenbeschaffenheit der Trommelwand und der Anzahl sowie der Scheitelgrösse der eingebauten Hubwinkel. Bei der Eisentrommel ohne Hubwinkelseiben lag das günstigste Füllverhältnis bei 50 % ( $\frac{1}{2}$ ). Mit wachsendem Reibungskoeffizient tritt demnach eine Verkleinerung des günstigsten Füllverhältnisses ein. Bei Anwendung von zwei unter  $180^\circ$  versetzten Hubwinkelseiben wurde das günstigste Füllverhältnis bei 7,7 % ( $\frac{1}{13}$ ) und bei der mit 4 unter  $90^\circ$  versetzten Winkelseiben bei 15,4 % ( $\frac{2}{13}$ ) gefunden. Diese Zahlen hängen natürlich von der Scheitelgrösse der Winkelseiben ab. Je grössere Winkelseiben angewandt werden, desto mehr Keks können sie bei der Drehung mitnehmen, umso höher liegt wiederum das günstigste Füllverhältnis.

Die Abhängigkeit des Abriebs von der Umdrehungszahl für die verschiedenen Trommelarten ist aus der Abb. 4 zu ersehen. Der Abrieb steigt mit der Umdrehungszahl zunächst bis zu einem Höchstwert, fällt dann innerhalb eines grösseren Bereiches praktisch konstant und fällt in dem Masse, wie sich die Zentrifugalkraft auswirkt, mehr oder weniger plötzlicher ab. Die Steilheit der Kurve, die das Ansteigen des Abriebs mit der Umdrehungszahl wiedergibt, wird stärker von der glasierten Trommel zur Eisentrommel und erreicht bei der Trommel mit 2 und besonders mit 4 Hubwinkelseiben aus leicht ersichtlichen Gründen ihren Höchstwert. Berechnet man den Abrieb je 100 Umdrehungen (Abb. 5), so findet man, dass er bei allen Trommelarten für kleine Umlaufzahlen am grössten ist und mit deren Zunahme abfällt. Der einmal erzeugte Keksgrus wirkt anscheinend hemmend auf den Fortschritt der Abriebbildung. Je grösser die Umdrehungszahl ist, desto schneller hat sich genügend Abrieb gebildet, der auf die weitere Abriebbildung verzögernd wirkt.

Der Einfluss der Einzelversuchsdauer, durch Aneinanderreihung von Versuchsabschnitten mit 5, 10 und 15 und 30 Min. und entsprechende Umrechnung des Abriebs der einzelnen Versuchsabschnitte auf denjenigen der sich daraus verhältnismässig für 30 Min. hätte ergeben müssen, ist aus der Abb. 6 zu ersehen. Man erkennt, dass ganz allgemein die Abriebbildung mit der Länge des Versuchsabschnittes zunimmt und dass dieser Einfluss bei den gebräuchlichen Trommelarten stärker als bei der glasierten Porzellantrommel ist.

Zur Erzielung eindeutiger Werte bei der Bestimmung der Abriebsfestigkeit ist grösster Wert auf einen guten Durchschnitt hinsichtlich der Stückgrösse zu legen, da der wahre Abrieb bei der den höchsten Abriebwert ergebenden Füllung der Stückgrösse ungefähr verhältnismässig ist. Ausserdem ist es grundsätzlich falsch, beim Einsatz von einem bestimmten Keksgehalt

auszugehen, man muss vielmehr bei jeder Probe dasselbe Füllverhältnis anwenden.

Hingegen ist man an keine starre Vorschrift über die Abmessungen der Trommel gebunden, da es, wie Versuche bewiesen haben, grundsätzlich gleichgültig ist, welche Trommelgrösse angewandt wird.

Heinrich und Speckhardt haben auf Grund dieser Erkenntnisse ihre Verschrift zur Ermittlung des wahren Abriebs aufgestellt. Sie verwenden eine innen glasierte Porzellan-trommel beliebiger Abmessung. Empfohlen wird verzerst eine Trommel von 10 L. Fassungsvermögen mit der Einfüllöffnung an einer Stirnwand. Eingefüllt wird eine Durchschnitteprobe von etwa grösserem Schüttvolumen als  $\frac{2}{3}$  des Fremmelinhalts. Die Trommel wird  $\frac{1}{2}$  Std. lang gedreht. Dann wird auf einen Sieb abgeseibt, das etwas kleinere Maschenweite besitzt als die ursprüngliche Koksprobe. Von dem Rückstand misst man in einer geeigneten Ver-  
richtung ein Schüttvolumen von genau  $\frac{2}{3}$  des Fremmelinhalts ab, wiegt und  
dreht 15 Min. lang mit 70 Uml./Min. Der Inhalt wird über ein 5 mm - Sieb ab-  
geseibt, aus dem Rückstand der Durchgang in Gew.-% berechnet und als Abrieb ge-  
wertet.

Dieses von Heinrich und Speckhardt vorgeschlagene Prüfverfahren zur Feststellung des wahren Abriebs ist, wie die Forscher selbst angeben, zunächst noch als mehr wissenschaftliches Verfahren gedacht. Grundsätzlich stehen diese Forscher auf dem Standpunkt, dass es zweckmäßiger ist, die einzelnen Faktoren, welche die Bildung von Koksklein und Koksgrus bewirken, getrennt zu bestimmen. Das vorgeschlagene Verfahren soll also nur ein Meilenstein, wenn auch einer der wichtigsten, auf diesem Wege bedeuten.

Von rein wissenschaftlichen Gesichtspunkt aus gesehen muss dieser Auffassung zugestimmt werden. Desgleichen ist nicht von der Hand zu weisen, dass bei Studien über die Koksherstellung die Kenntnis des einwandfrei ermittelten wahren Abriebs von grösster Bedeutung ist und zwar nicht nur direkt, sondern auch indirekt, indem man aus der Kenntnis des wahren Abriebs sehr wichtige Schlüsse wegen der Gefügebildung und damit wegen der Verträglichkeit des Kokses ziehen könnte. Für den Betrieb scheint aber die geplante Mehrzahlprüfung, wenigstens in dem Ausmass wie die Forscher sich dies gedacht haben, sehr schwierig und zeitraubend zu sein. Andererseits wäre wohl anzunehmen, dass der Betrieb mit der Zeit ein gewisses Interesse für die getrennte Prüfung auf Sturzfestigkeit und auf Gesamtabrieb haben könnte. Eine Anregung dieser Art liegt von Seiten des Midland Coke Research Committee vor, das ausser dem Shatter Test für die Ermittlung der Stückfestigkeit, die sogen. Sheffield-Koksabriebsprobe<sup>2)</sup> für die Prüfung auf Gesamtabrieb entwickelt hat. Die Verschrift für diese Probe lautet: In einer Trommel von 460 mm Durchmesser und 230 mm Länge werden 0,028 kg<sup>3)</sup> Koksstücke von 50-75 mm Grösse während einer

2) R.A. Nett u. R.V. Wheeler: Coke for Blast-Furnaces 1930, S. 90.

halben Stunde bei 23 Uml./Min. behandelt. Nach dem Trosseln wird die Siebana-lyse des Kokes vorgenommen und der Prozentsatz auf 38 mm-Sieb sowie der prozentuale Durchfall durch das 1,6 mm Sieb festgehalten. Die Versuchsdauer wird auf  $\frac{1}{2}$  Std. festgesetzt, da nach den Ergebnissen einer bei verschiedener Versuchsabschnittsdauer vorgenommenen Versuchsreihe, der bei  $\frac{1}{2}$  Std. getrosselte Koks mit dem aus den Feinen entsagene Koks die beste Ähnlichkeit im Aussehen aufwies. Auf dem Wege der Entwicklung der Koksabriebsprobe hat auch das Midland Coke Research Committee eine Reihe von Versuchen durchgeführt, von denen in diesem Zusammenhang und besonders im Vergleich mit gleichgearteten Versuchsreihen von Heinrich und Speckhardt diejenigen über das Füllverhältnis der Trommel von besonderem Interesse sind. Die Trommel der Sheffield-Koksabriebsprobe fasst vollständig gefüllt etwa 13,6 kg eines mittelschweren Kokes von 50 - 75 mm Stückgröße. In einer Versuchsreihe wurde festgestellt, bei welcher Füllung der Trommel der Sturzeinfluss des Kokes mehr oder weniger ausgeschaltet ist, so dass hauptsächlich nur die Abriebswirkung in Erscheinung tritt. Hierzu wurden 4 Kokes von guter physikalischer Beschaffenheit und einer Stückgröße von 50 - 75 mm jedes Mal mit verschiedenen Gewichten in die Trommel eingeführt und während einer Stunde bei 23 Uml./Min. gedreht. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in der Zahlentafel 10 zusammengestellt. Mit steigendem Füllgewicht nimmt die Sturzebeanspruchung des Kokes ab. Dies lassen besonders deutlich die Siebrückstände über 38 mm u. über 25 mm erkennen. Mit Koksfüllmengen von 11,3 - 13,6 kg entsprechend einem 80 - 95 %igen Füllverhältnis der Trommel ist die Sturzebeanspruchung nur mehr sehr klein. Bei diesem Füllverhältnis nimmt aber auch der prozentuale Entfall an Staub unter 1,6 mm sprunghaft ab. Die bei den niedrigen Koksfüllungen gebildeten höheren Staubmengen verdanken demnach ihre Entstehung z.T. der während des Versuches infolge Sturzebeanspruchung stattgefundenen Überfüllungsvergrößerung, während die bei dem Füllverhältnis 80 - 95 % gebildeten Staubmengen den tatsächlichen Abrieb darstellen. Aus diesen Gründen wurde für die Durchführung des Trommelabriebsversuches ein Füllverhältnis von 80 % vorgeschrieben. Nach den Befunden von Heinrich und Speckhardt wird allerdings bei diesem Füllverhältnis nicht der zur Erzielung eindeutiger und gut wiederholbarer Abriebszahlen erforderliche grösste Abriebswert erhalten. Hierzu müsste schon das Füllverhältnis bei 50 % liegen, wobei aber andererseits nach den vorhergehenden Ergebnissen gleichzeitig eine zu hohe Sturzebeanspruchung eintreten würde. Man erkennt hieraus, dass die beiden Forderungen Verhütung der Sturzebeanspruchung einerseits und Erzielung des grössten Abriebswertes andererseits nicht gleichzeitig erfüllt werden können. Um beiden Forderungen gerecht zu werden, müsste man schon bei der Versuchsdurchführung verbackeneten Koks verwenden, der dem Abpflitterungsvergang bereits überstanden hat. Die Erfassung dieses in der Trommel stattfindenden Abpflitterungsverganges ist aber gerade wegen der Beanspruchung des Kokes

in Hochofen von allergrösster Bedeutung, umso mehr als derselbe bei der Sturzprobe nicht in dem erforderlichen Anmass stattfindet. Auf der anderen Seite ist der bei der Sheffield-Koksabriebprobe als Massstab für den Abrieb tausende prozentuale Entfall an Staub unter 1,6 mm nach den Untersuchungsresultaten des Midland Coke Research Committee bei den gebräunlichen Hochofenkokesen derart gering, - er beträgt nur einige Prozente - dass die praktische Bedeutung des nach diesem Prüfverfahren ermittelten Abriebwertes in Frage gestellt ist. Dies ist auch noch der Fall, wenn man als Abriebwertzahl den über dem 38 mm-Sieb verbleibenden Rückstand wählt. Dieser liegt bei den üblichen Hochofenkokesen über 90 %.

Aus diesen Ausführungen erkennt man, dass die Bestimmung der reinen Abriebfestigkeit für den praktischen Hochofenbetrieb nicht von grosser Bedeutung ist, da die handelsgewöhnlichen Hochofenkokesen verhältnismässig abriebfest sind und auch in Hochofen wenig Abrieb ergeben. Gleichzeitig hiermit erhält man aber auch eine Erklärung für die allorts einsetzenden Bestrebungen der Einführung von Trennverfahren mit Hubeinbautvorrichtungen, bei denen sämtliche Beanspruchungen in mehr oder weniger wechselnder Art auftreten, die aber in ihrer Endwirkung derjenigen im praktischen Betrieb weitgehender entsprechen.

Trotz der geringen Bedeutung der Abriebprobe für den Betrieb muss aber darauf hingewiesen werden, dass dieselbe bei rohstofflichen und betrieblichen Studien über die Koksherstellung von grossem Nutzen ist. In diesem Zusammenhang von Interesse sind die von Midland Coke Research Committee mitgeteilten und in der Zahlentafel II zusammengestellten Abrieb-Resultate einer Reihe Versuchskokes. Letztere sind aus schlecht brennenden und billigen Kokesen, aus Matzkokesen oder aus Kokesmischungen mit Inertstoffzusätzen hergestellt. Bei diesen Kokesen, welche wohl kaum als handelsübliche Kokes absetzen wären, liegt nun die 38 mm - Kennzahl unter 90 und die 1,6 mm - Abriebsziffer weist auch schon s.T. merkbare Werte auf.

Von den in der Übersicht Abb. 3 über die Verfahren zur Ermittlung der Abriebfestigkeit geschilderten Trennabriebverfahren ist noch besonders die von Simmersbach eingeführte Breglauer Probe<sup>2)</sup> zu erwähnen. Dieselbe besteht darin, dass man 50 kg Koks in eine Eisentrommel von 1 m Durchmesser und 0,5 m Länge einfüllt und 4 Min. lang bei 25 Uml./Min. bewegt. Der behandelte Koks wird dann durch Siebe mit Rindlochungen von 100, 80, 40, 25 und 10 mm klassiert. Ganz allgemein gilt als Beurteilungsmass der Rückstand auf dem 40 mm-Sieb in Gew.-% des angewandten Kokes.

2) O. Simmersbach: Neuere Untersuchungen über die Härte des Kokes St. u. T. 1913, S. 512 u.f.

Dieser beträgt nach Simmersbach:

für ungewöhnlich harten Keks :	90
" sehr " " :	85
" hart " " :	80
" mässig " " :	75
" weichen " " :	< 75

In Gegensatz zu anderen in England und Amerika angewandten ähnlichen Trommelverfahren hat Simmersbach für seine Trommel durch Wahl eines sehr grossen Durchmessers eine gewisse Sturzbeanspruchung des Kekses beabsichtigt. Auch hat er die Versuchsdauer zum Unterschied von den anderen Verfahren dieser Art auf nur 4 Min. beschränkt, um die Unterschiede innerhalb der verschiedenen Kekse-schärfer-in-Erscheinung-treten-zu-lassen. Nach diesen Merkmalen zu urteilen, hat Simmersbach bei seinem Verfahren trotz der von ihm geprüften Bezeichnung „Zerreiblichkeitsprobe“ auf die Bestimmung des eigentlichen Abriebs als solcher weniger Wert gelegt. In Übrigen wäre bei der Breslauer Probe das gewählte Füllverhältnis von 25 % zur Ermittlung des grössten Abriebwertes ungeeignet. Das Füllverhältnis müsste dann nach den Untersuchungen von Heinrich v. Speckhardt schon bei 50 % liegen. Dergleichen liegt auch die Umdrehungszahl noch in einem Gebiet starker Abhängigkeit.

Über die Wiederholbarkeit und die Empfindlichkeit der Breslauer Probe geben die in der nachfolgenden Zahlentafel 12 zusammengestellten Ergebnisse von vor etwa 20 Jahren an Seespekproben aus verschiedenen Ofenlagen durchgeführten Versuchsreihen Auskunft. Man erkennt, dass die Wiederholbarkeit der Werte ähnlich wie bei der Sturzprobe sich mit abnehmender Grösse des Siebes verbessert. Wenn man statt eines 50 mm Siebes ein solches von 40 mm gewählt hätte, wäre die Wiederholbarkeit zweifellos wesentlich besser. Ausserdem ist zu ersehen, dass das Verfahren die Unterschiede in den Keksproben der verschiedenen Ofenlagen doch genügend scharf zum Ausdruck brachte und zwar sowohl für die Stückfestigkeit wie aber auch für den grössten Teil die Wirkung des Abspaltungsvorganges darstellenden Prozentsatz unter 10 mm.

In Zusammenhang mit der Ermittlung der Abriebfestigkeit wären noch die sogen. Trommeltiegel-Abriebverfahren zu besprechen, welche mit dem Keks gleichzeitig eine bestimmte Anzahl Kugeln umfassen. Bei diesen Verfahren, welche in der Übersicht Abb. 3 näher gekennzeichnet sind, wird eine Überbeanspruchung des Kekses auf Zerreiblichkeit bewirkt, die weder qualitativ noch quantitativ in Zusammenhang mit dem in Hochofen wirkenden Krüften steht. Dabei wird die Wiederholbarkeit der Werte durch die Wahl des Rückstandes möglichst kleiner Siebgrössen als Kennzahl begünstigt. Trotzdem wird infolge der hohen Abriebfestigkeit normaler Hochofenkerse nur eine

schmale Kennzahl-Stala erhalten, die zudem noch als Folge der Überbeanspruchung lediglich nur ganz grobe Unterschiede in den Koksarten in Erscheinung treten lässt.

Die vorhergehenden Ausführungen lassen erkennen, dass die reine Abrießart, abgesehen von den Schwierigkeiten ihrer genauen Durchführung für die Beurteilung von normalen Hochofenkoksen von geringerer praktischer Bedeutung ist. Daher hat man sich gerade in letzten Jahren für die Prüfung des Hochofenkokses in immer steigender Masse den Trommelverfahren zugewandt, bei denen durch Einbau von Hubvorrichtungen das Schwergewicht absichtlich auf eine mehr od. weniger starke Sturzbeanspruchung gelegt wird und die Wirkung des Abplitterungsverganges auf Kosten des wahren Abrießes in den Vordergrund tritt. Zur besseren Charakterisierung dieser Verfahren wurde, wie die Übersicht Abb. 7 zeigt, eine Unterteilung derselben in 3 Hauptgruppen vorgenommen. Hiernach wird unterschieden zwischen:

- 1.) Trommel-Kugelföhlen mit Hubwinkelseiben
- 2.) Trommeln, deren Wand aus Lochblech besteht od. aus in kleinen Abständen aneinandergereihten Rundstabsröhren gebildet wird.
- 3.) Einfache Trommeln mit Hubwinkel- od. -Schnefelseiben.

Das bekannteste Verfahren der ersten Hauptgruppe ist die von Ricc auf dem Bethlehem Steel Works eingeführte sogen. Ricc-Probe.<sup>1.)</sup> Bei derselben wird eine eiserne Trommel von 490 mm Durchmesser und 560 mm Länge verwendet, die innen der Länge nach mit zwei 38 mm - Winkelseiben versehen ist. Der Einsatz beträgt aus 13,5 kg Koks von 25 - 50 mm Stückgröße, wenn die Trommel etwa zur Hälfte gefüllt ist. Ansaugung werden 11 Stalkugeln von 32 mm Durchmesser zu dem Koks gegeben. Die Trommel wird 62 Min. lang mit 20 Uml./min. (in gutten 1240 Uml/Min.) gedreht und der Inhalt über ein 12,5 mm-Sieb abgeseiht. Der Mahstand in Gew.-% wird mit Härtezahl bezeichnet und der physikalischen Koksbeurteilung zu Grunde gelegt.

Die Ricc-Probe liefert durch die Verwendung möglichst gleich großer Koksstücke und des Mahzustandes eines Siebes sehr niedriger Maschenweite verhältnismäßig gut wiederholbare Werte, obwohl das Füllverhältnis mit 50 % zweifellos zu gross ist, um den höchsten Abrießwert zu erreichen. Als Folge der langen Trommeldauer macht sich der kreuzende Einfluss des erzeugten Abrießes stark bemerkbar; ausserdem tritt eine Überbeanspruchung des Kokses ein, wodurch kleine Unterschiede zwischen den Koksarten verwischt werden. Nach Häusser und Bystrom.<sup>2.)</sup> die allerdings dieses Verfahren mit 4 Winkelseiben statt mit 2 abänderten und dadurch den günstigsten Füllverhältnis sehen

1.) A. Häusser - Die Bedeutung der Koksarten für den Hochofenbetrieb. St. u. L. 1921, S. 1577/79.

2.) F. Häusser u. Bystrom: Versuche über die Verbräunlichkeit und Festigkeit von Mitteln in verschiedenen Koksarten. Ber. Ges. Kahlentalm. 1925 (I) S. 352/52.

etwas höher kamen, wurden an Kohlestücken für Wasserlich recht verschiedene Kekse keine charakteristischen Wertziffern erhalten. Das Verfahren stellt mehr ein Mass für die Eigenfestigkeit des Kokes dar, da infolge der Verwendung kleinerer Stückgrößen die Einwirkung der Kasse und Erhärte des Kokes zum grössten Teil ausgeschlossen ist. Es ist daher wie die in der Zahlentafel 13 wiedergegebenen Ergebnisse einer vor über 20 Jahren durchgeführten Versuchsreihe an Saarkohlestücken aus verschiedenen Lagen des Ofens beweisen mehr der Druckfestigkeit als der Sturz- und Trommelfestigkeit wesensverwandt. Auf diese Weise erklärt sich auch die Tatsache, dass es im Hochofenbetrieb nicht ganz befriedigte und trotz grosser bei seiner Einführung gehegten Erwartungen sich nicht einbürgerte.

Eine besonders geartete Trommelprüfmethode stellen die in der zweiten Hauptgruppe aufgeführten Verfahren dar. Sie sind charakterisiert durch Anwendung sehr grosser Trommeldurchmesser, Ausbildung der Trommelwand aus gelochten Blechen oder aus in kleinen Abständen aneinandergereihten Rindfleischstäben, Anwendung sehr geringer Umdrehungszahl der Trommel bei verhältnismässig kurzer Versuchsdauer. Durch die besondere Ausbildung der Trommelwand wird bezweckt, die während des Versuches gebildeten Mengen an Koksstaub und Koksblase sofort nach ihrer Entstehung abzuführen und sie vor weiterer Aufnahme, welche eine Verschleierung der Festigkeitsergebnisse bewirken könnte, zu bewahren. Andererseits arbeitet aber dadurch die Trommelwand als kontinuierliche Hebevorrichtung, so dass diese Verfahren eigentlich eine kontinuierliche Hebevorrichtung, so dass diese Verfahren eigentlich eine kontinuierliche Sturzprobe darstellen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse wird besonders bei den in Amerika angewandten Verfahren dieser Art auf die Ermittlung der Stückfestigkeit, Splittigkeit und Gesamtfestigkeit des Kokes ausgerichtet. Als Mass für die Stückfestigkeit gilt der Prozentatz des Siebrückstandes über 50 mm oder 25 mm. Die Splittigkeit des Kokes wird ausgedrückt durch den prozentualen Entfall an Koks der Stückgrösse 38 bis 12,5 mm. Die Formel für die Berechnung der Gesamtfestigkeit ist eine Funktion der Siebrückstände über 50 mm, 38 mm und 25 mm, in der die grösseren Koksfraktionen höher als die kleineren Stücke bewertet werden.

Wie bereits erwähnt, sind diese Trommelverfahren mit der Sturzprobe stark wesensverwandt, sie unterscheiden sich von der letzteren durch die Form der kontinuierlicher Stürze, deren Summierung allerdings einer wesentlich stärkeren Sturzbeanspruchung gleichkommt, so dass wiederum kleine Unterschiede der einzelnen Kohlestücke verwischt werden und nicht in Erscheinung treten. Die Verfahren sind daher auch meist verlassen worden.

Die in den letzten Jahren am meisten eingeführten und angewandten Trommelverfahren sind diejenigen der 3. Hauptgruppe d.h. die einfachen Trom-



nals mit Hubwinkel- oder Hubhochaufeiseln. Bei diesem Verfahren wird der Koks sowohl auf Sturz wie auch auf Abrieb beansprucht. Die Sturzbeanspruchung tritt umso stärker in den Vordergrund je grösser der Trommeldurchmesser und die Anzahl bzw. Abmessungen der eingebauten Hubvorrichtungen sind. Der hauptsächlich an den Ecken und Kanten der Koksstübe angreifende Absplittungsvergang tritt weitgehendst auf, wie man sich an Aussehen des behandelten Kokses überzeugen kann. Die Bildung des Feinstabriebes, sowie die Eindeutigkeit und Wiederholbarkeit ihrer Werte hängt von dem zur Erreichung des Höchstabriebwertes notwendigen geeigneten Füllverhältnis und von der Versuchsdauer, wie auch der genauen Einhaltung der Umdrehungszahl ab.

Bei den in England und in Amerika gebräuchlichen Verfahren dieser Art, insbes. auch bei der amerikanischen Standardtrommelprobe<sup>2.)</sup> ist die Versuchsdauer bis auf eine Stunde ausgedehnt, um ansehend die im Hochofen stattfindende Beanspruchung in allerdings übertriebener Form nachzumachen. Diese übermässige Beanspruchung des Kokses hat aber andererseits eine ganze Reihe von Nachteilen zur Folge. In erster Linie werden die Unterschiede in der Stückfestigkeit der einzelnen Koksorten weitgehendst verwischt. Ausserdem übt der bereits gebildete Feinstabrieb eine stark kramende Polster-Wirkung auf die weitere Abriebbildung aus, so dass auch die Abriebfestigkeit nicht mit ausreichender Eindeutigkeit ermittelt wird. Daher hat auch bei diesem Verfahren die sogen. Härtezahl als Mass des procentualen Härtestandes auf dem feinen Sieben von 1.6 od. 6 mm keine zufriedenstellenden Unterschiede bei stark voneinander in der physikalischen Beschaffenheit abweichenden Koksorten geliefert. Aus diesem Grunde hat man weit grössere Bedeutung dem sogen. Stabilitäts-Faktor beigegeben, der dem procentualen über 25 mm-Sieb entfallenden Härtestand entspricht. Man hat hierbei aber auch zu der sehr niedrigen Siebgrösse von 25 mm greifen müssen, da die Verwendung höherer Siebgrössen schon nicht mehr zufriedenstellen. Wenn auch die Werte des Stabilitäts-Faktors verhältnismässig gut wiederholbar sind, so ist trotzdem noch diese Wertzahl, wie nach Vergleichsergebnissen von Powell und Gould<sup>2.)</sup> zu schliessen ist, nicht so eindeutig als diejenige der Sturzprobe.

Bei dem in Deutschland seit Jahren eingeführten Trommelverfahren, deren Trommelleinbau meist aus 4 in Abstand von je 90° angeordneten Hubvorrichtungen besteht, wird die Versuchsdauer bei 25 Uml./Min. in der Regel auf nur 4 Minuten beschränkt. Die bekannteste und am meisten angewandte Trommel dieser Art ist die in Jahre 1924 von der „Mission Interalliede de Controle des Usines et des Mines“ zur Prüfung für den nach dem Weltkrieg auf Japan-

2.) siehe Übersicht Abb. 7

2.) A.E. Powell u. D.V. Gould: Coke Tumbler Tests, Ind. u. Engin. Chem. 1928. S. 723/28.

tianskante abzuliefernden Keks eingeführt sogen. Nicou-Trennel. Infolge des verhältnismässig grossen Durchmessers dieser Trennel wird eine sehr in den Vordergrund tretende Sturzbeanspruchung des Kekses hervorgerufen. Gleichzeitige sind aber auch die Bedingungen für die Erzielung des grössten Abriebwertes weitgehendst eingehalten, indem bei der vorgeschriebenen Füllung von 50 kg das günstigste Füllverhältnis erreicht wird und infolge der Versuchsdauer von nur 4 Minuten der hemmende Einfluss des bereits erzeugten Abriebs sich nicht stark auswirkt. Lediglich die 25 Uml./Min. liegen in einem Bereich in dem der Abriebwert stark von der Umdrehungszahl abhängig ist. Eine Veränderung der Drehgeschwindigkeit hat demnach erheblichen Einfluss. Bei der vorgeschriebenen Zahl von 100 Umdrehungen darf daher der ebenfalls vorgeschriebene Spielraum von 10 Sek. nach oben und unten keinesfalls überschritten werden, weil schon innerhalb dieser Zeit der Einfluss auf den Abrieb recht gross ist. Es ist demnach nicht nur die Gesamtzahl der Umdrehungen und die gesamte Einhaltung derselben von Einfluss auf das Ergebnis, sondern auch die Umdrehungsgeschwindigkeit ist mit Rücksicht auf die Erzielung eindeutiger und wiederholbarer Abriebwerte genauestens einzuhalten.

In der ursprünglichen und heute noch in Deutschland vorwiegend angewandten Ausführung der Trennelprobe wird der Keks nach dem Trenneln nur über ein 40 mm-Kornsieb abgeseiht und der verbleibende Rückstand in Prozenten der Einwaage als Wertzahl für die Festigkeit betrachtet. Diese Wertziffer gibt aber nur über die Stückfestigkeit des Kekses Auskunft. Schon Mörflinger<sup>1.)</sup> hat sehr anschaulich darauf hingewiesen, dass die 40 mm-Kornzahl nur Bewertung der Kekseschaffenheit nicht ausreicht und dass dieselbe durch die Angabe der beim Trenneln gleichzeitig gebildeten Mengen feiner Stümpfe (etwa 0 - 10 mm od. 0 - 7 mm) ergänzt werden muss. Stump<sup>2.)</sup> geht in den Forderungen zur schärferen Auswertung der Trennelergebnisse noch weiter und verlangt auf Grund oberschlesischer Erfahrungen sogar eine dreifache Abseibung und zwar über 40 mm, über 20 mm und über 10 mm. Dabei bezeichnet er als Festigkeit den Anteil über 40 mm Spaltfraktion den Anteil von 20 bis 40 mm Abrieb den Anteil unter 10 mm

Diese auf oberschlesischen Verhältnissen aufgebauten Vorschläge von Mörflinger und Stump haben zuffänglich in Ruhrrevier wenig Anklang gefunden, vermuthlich aus der Erwägung heraus, dass aus Fettkohlen hergestellter Rohkoks einer derart schärferen Auswertung seiner Trennelergebnisse nicht bedarf. Nachdem aber

1.) J. Mörflinger: Die mechanische Festigkeit des Kekses Stahl und Eisen 1927, S. 1267/71.

2.) W. Stump: Kennung der Nicou-Trennel in Oberschlesien u. Oberschles. Berg- u. Hüttenver. 1930. S. 472/4 Ref. St. u. E. 1930. S. 1441

in Rohrevier ausser den eigentlichen Fettkohlen in mehr oder wenig grossem Umfange auch Gaskohlen zur Verkokung mitherangesehrt wurden und mit der Erhöhung der Verkokungstemperaturen ausserdem Bestrebungen einsetzten durch Beimischung feinstgemahlten Kokagrus die Stöckigkeit und Stöckfestigkeit des Kokes zu verbessern, suchte man doch der zweifachen Abiebung grössere Beachtung. Dies kam in der im Jahre 1957 vom Rheinisch-Westfälischen-Kohlen-syndikat eingeführten sogen. Syndikatstromanalyse<sup>1.)</sup> zum Ausdruck, bei der ausser der üblichen Niern-Verschrift die Ermittlung und Festlegung des unter 10 mm entfallenden feinen Grusses mit der Bezeichnung Abiebszahl vorgeschrieben wurde.

Hierbei zu erwähnen wäre noch die gelegentlich vorgeschlagene und gewohnheitshalber vielfach nachgebühte Errechnung der sogen. Lisdorfszahl, welche aus der Siebanalyse des getrennten Kokes die Kornanteile über 60 mm minus unter 20 mm angibt und ein Mass für die Stöckigkeit darstellen soll. Diese Zahl liefert aber bei verhältnismässig kleinen Kornverschiebungen sehr starke Veränderungen und ist daher infolge zu geringer Eindeutigkeit und Wiederholbarkeit ihrer Werte für die Beurteilung des Kokes wenig brauchbar.

In dieser Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, dass die Syndikatstromanalyse mit Erfolg von verschiedenen Firmen<sup>2.)</sup> in kleinen Massstab mit linear reduzierten Abmessungen oder in verringertor Formelänge durch Einsetzen von zwei Scheiben benutzt wurde, um die Prüfung der relativ geringen Koksengrus, welche bei Laboratoriumversuchen und bei sonstigen Forschungsarbeiten entfallen, vorzunehmen.

In Laufe der Jahre ist man von verschiedener Seite versucht worden, die Niern-Trennelprobe etwas umzugestalten. Ein solcher Vorschlag von Hüsser und Bestheim<sup>3.)</sup> bezweckt eine stärkere Beanspruchung des Kokes. Die besonderen Kennzeichen und Abweichungen von der Niern-Trennelprobe sind aus der Übersicht Abb. 7 zu entnehmen. Abgesehen davon, dass die stärkere Beanspruchung in der Trennel infolge Verwischung der Festigkeitswerte physikalisch verschiedener Kokes keineswegs erwünscht ist, müssen die verringerte Einwaagsgrösse

1.) Kokskohlen-Handbuch, 3. Aufl. 1957, S. 184

2.) R.G. Sinek u.F. Goufalik : Über die Bestimmung der Festigkeit von Koks. Mitt. des Kohlenforschungs-Institutes in Prag 1955, Bd. II, S. 262/70.

E. Gombits u.W. Szurmad : Die physikalische Prüfung von Schmel- u. Hochtemperaturkoks in einer 5 kg-Trennel. Techn. Mitt. Krupp 1945, Heft 2, S. 39/42.

4. Lorenzen :

Beiträge zur Untersuchung von Kahlen auf ihre Verkohbarkeit u. zur Herstellung von Mitteln-temperaturkoks. Dissert. T.H. Berlin 1955, S. 22.  
3.) F. Hüsser u.R. Bestheim : Versuche über die Verkohbarkeit und Festigkeit von Mittelnkoks in grösseren Koksgrössen. Ber. d. Ges. f. Kohlen-technik 1926, S. 351/52

von nur 20 kg und die niedrigere Drehungsgeschwindigkeit von 15 - 17 Umdrehungen/Min. als grosse Nachteile wegen Genauigkeit der Werte empfunden werden.

Ein anderer Vorschlag entgegengesetzter Richtung, d.h. geringerer Beanspruchung des Kokes in der Fremmel liegt von Thibaut<sup>x)</sup> vor und wird als Chiara-Fremmelprobe bezeichnet. Letztere unterscheidet sich von der Niern-Fremmelprobe in folgenden Punkten:

Der Fremmeldurchmesser von 1000 mm wird durch einen solchen von 800 mm ersetzt. Statt 4 Hubwinkel von 100 mm Scheitelhöhe werden 8 Stak. von 50 mm Scheitelhöhe eingebaut. Die Eröbelsiebung des getrennten Kokes erfolgt auf Sieben von 50 u. 30 mm anstelle derjenigen von 40 u. 20 mm. Nach Thibaut ist die Eröbelsiebung der als Beurteilungsmaassstab gewählten Siebrückstände von 50 mm bzw. 30 mm bei der Chiara-Fremmelprobe die gleiche wie diejenige der Siebrückstände von 40 mm bzw. 20 mm bei der Niern-Fremmelprobe. Der Prozentsatz an Grus unter 10 mm ist bei der Chiara-Fremmelprobe allerdings geringer als bei der Niern-Fremmelprobe. Auf Grund einer mehr als 5-jährigen Anwendung der Chiara-Fremmelprobe stellte Thibaut fest, dass dieselbe besser ansprechende Werte liefert, d.h. sie zeigt die Festigkeitsunterschiede der Koke empfindlicher an und die angesetzten Unterschiede weisen eine bessere Verhältnismässigkeit mit dem in negativen Sinne ermittelten Schüttgewicht auf. Um die Feststellungen von Thibaut zu überprüfen, sind mit beiden Verfahren Vergleichsversuche unternommen worden. Einige Ergebnisse dieser bis jetzt allerdings noch nicht abgeschlossenen Versuche sind in der Zahlentafel 14 zusammengestellt. Man erkennt, dass der Siebrückstand über 50 mm bei der Chiara-Probe für 5 der 7 untersuchten Koksorten etwas höher, und für 2 Koke niedriger liegt als der Siebrückstand über 40 mm bei der Niern-Probe. Zusammengefasst betrachtet liegen aber die Unterschiede innerhalb der Streugrenzen. Der Siebrückstand über 30 mm bei der Chiara-Probe ergibt um 2 - 3 Punkte niedrigere Werte als der Siebrückstand über 20 mm bei der Niern-Probe.

Ausserdem ist der Abrieb 0 - 10 mm bei der Chiara-Probe um etwa 1 - 2 Punkte geringer. Die Wiederholbarkeit der Ergebnisse von aufeinanderfolgenden Einzelversuchen ist für die Siebrückstände 50 mm und 30 mm etwas schlechter als bei der Niern-Probe. Hiernach dürfte die Chiara-Fremmelprobe gegenüber der Niern-Probe keine ins Gewicht fallenden Vorteile aufweisen. Die etwas schlechtere Wiederholbarkeit der Ergebnisse von Einzelversuchen ist auf die Verwendung von Sieben mit um 10 mm höheren Lochweiten zurückzuführen. Demnach wäre ein Ersatz der allgemein eingeführten Niern-Fremmel

x) Ch.-E. Thibaut : Contribution a l' étude des Cokes de Haut - fourneau, Rev. de Metallurgie 1943, S. 136.

durch die Chiers-Trommel, wenigstens nach den bisher vorliegenden Erfahrungen nicht zu rechtfertigen. Um eine restlose Klärung zu erhalten, werden die Versuche über einen längeren Zeitraum hindurch unter Verwendung der verschiedensten Koksorten fortgesetzt.

In Nachfolgenden sollen die Ergebnisse eigener Versuche über den Genauigkeitsgrad, die Empfindlichkeit und die Verbesserungsmöglichkeit der Nieren-Trommelprobe mitgeteilt werden. Hierbei wurde nicht nur der die Stückfestigkeit kennzeichnende Siebrückstand von 40 mm berücksichtigt, sondern es wurde auch der Prozentsatz unter 10 mm, der ein rehes Mass für die Abriebfestigkeit darstellen soll, auf Korngrössenzusammensetzung, Genauigkeit u. Wiederholbarkeit hin geprüft. Gleichzeitig sollen die Ergebnisse von Versuchsreihen mitgeteilt werden, die von Stumpe an oberschlesischen Koks zum Zwecke der Überprüfung einer Reihe Faktoren in Hinsicht der Kornung der Trommelprobe durchgeführt wurden.

Die Abweichungen von 6 aufeinanderfolgenden Einzelversuchen an denselben Koksarten sind aus der Zahlentafel 15 zu ersehen. Man erkennt, dass die Unterschiede innerhalb der Einzelwerte sehr klein sind, bedeutend geringer als z.B. bei den Werten der Sturzprobe. Für den 40 mm Siebrückstand beträgt der Unterschied zwischen dem Höchstwert und dem Mindestwert bei den 3 untersuchten Koksen höchstens 5,2, für den 20 mm Siebrückstand aber nur mehr 1,4. Beim Vergleich der Mittelwerte dreier aufeinanderfolgender Einzelversuche mit dem Gesamtmittelwert erscheinen die Abweichungen noch wesentlich geringer. Dasselbe betragen höchstens 1,0 für den 40 mm Siebrückstand und 0,5 für den 20 mm Siebrückstand. Wie zu erwarten war, ist also die Übereinstimmung der Werte für den 20 mm Siebrückstand besser als für den 40 mm Siebrückstand. Wenn allgemein ist diese Übereinstimmung bei grösseren Unterschieden in der Stückfestigkeit für den stückfesteren Koks wiederum besser als für den weniger stückfesten Koks.

Etwas schwieriger gestaltet sich die genaue Ermittlung des Abriebs, welcher durch Differenz des Siebrückstandes über 10 mm von 100 festgestellt wird. Unterschiede in den Einzelabriebwerten von einigen Zehntel hinter der Dezimalen fallen hier bei der sehr niedrigen Absoluthöhe des Abriebs procentual betrachtet schon sehr in Gewicht. Auch wird die Sturzbeanspruchung während der Trommelung bei Einzelversuchen mit denselben Koksen wohl selten gleiche Oberflächengrösse und Stückform der Koksstücke ergeben, so dass streng genommen die Voraussetzungen für eine sehr scharfe Wiederholbarkeit der Abriebwerte von Einzelversuchen ungünstiger liegen. Bei den Versuchen wurde als grösste Abweichung zwischen Höchst- und Mindestwert 1,8 oder rd. 20 % des Mittelwertes gefunden. Zur Verbesserung des Genauigkeitsgrades ist grösserer Wert auf einmündige Abriebung und Abiegung der einzelnen Siebrückstände zu legen. Meist werden mangelhafte veraltete Waagen und Systeme, die nicht zuverlässig sind od. Waagen mit schlechter Ablesseigenschaft und ungenauer Anzeige verwendet, die Irrtümer möglich werden lassen. Die Verwendung weicherer, schnell und genau

arbeitender Waagen mit Druckwert und Schnelltarierereinrichtung ist hier an Platz und stellt keineswegs einen übertriebenen Luxus dar. Eine andere Fehlermöglichkeit kann darin liegen, dass der zu prüfende Koks im Feuchtigkeitsgehalt zu hoch liegt. Werden sehr nasse Kokse der Trommelung unterworfen, so haftet sich der gebildete Feinstabrieb an die Kokstücke an und entgeht auf diese Weise s.F. einer Ermittlung.

Die schwierigere Erfassung des Abriebs müsste bei einem reinen Abriebverfahren als Nachteil empfunden werden. Wenn man hingegen bei dem kombinierten Trommelverfahren die erhaltenen Werte der einzelnen Siebe nach dem Vorschlage von Thibaut in einen Summand zusammenfasst, so erscheint der Abrieb nur in seiner absoluten, ausreichend eindeutigen Art und er stellt, wie die Erfahrung gezeigt hat, trotz seiner in Prozenten des Abriebs erscheinenden jählichen Wiederholbarkeit einen sehr wichtigen Masstab für die physikalische Koksbewertung dar.

Der Einfluss kleinerer Veränderungen des Füllverhältnisses auf die Trommelresultate wurde durch Versuche mit Koksfüllungen von 75 kg und 25 kg nachgeprüft. Die Ergebnisse sind in der Zahlentafel 16 zusammengestellt.

Bei einem Inhalt der Kiebs-Trommel von rd. 750 Liter beträgt das Füllverhältnis für einen mittelschweren Koks von  $450 \text{ kg/m}^3$  Schüttgewicht mit der vorgeschriebenen Füllmenge von 50 kg :  $\frac{110.100}{750} = \text{rd. } 15 \%$   
mit einer Füllmenge von 75 kg :  $\frac{166.100}{750} = \text{rd. } 22 \%$   
mit einer Füllmenge von 25 kg :  $\frac{53.100}{750} = \text{rd. } 7,5 \%$

Wie vorauszusehen war, wird der Koks einer umso stärkeren Sturbeanspruchung unterworfen, je geringer das Füllvolumen in der Trommel ist. Die Verringerung des Füllverhältnisses ergibt demnach niedrigere Werte für den Siebrückstand über 40 mm und in sehr geringem Umfange auch für Siebrückstand über 20 mm, während mit der Steigerung des Füllverhältnisses höhere Werte erhalten werden. Auf die Höhe des Abriebs wirkt sich die Veränderung des Füllgewichtes nicht so eindeutig aus, da die hervergerufenen Verschiebungen innerhalb der Streugrenzen der Abriebsmittlung liegen. Auch die in der Zahlentafel für die Versuchsreihe III eingetragene Siebanalyse des Abriebs lässt keine besonderen Unterschiede erkennen.

Da nicht das Füllgewicht sondern grundsätzlich das mit dem Füllvolumen zusammenhängende Füllverhältnis für die Trommelwerte maßgebend ist, bleibt zu untersuchen, inwieweit veränderliche Schüttgewichte des zu prüfenden Kokses die Ergebnisse beeinflussen. Betrachtet man zwei Kokse stark auseinanderliegenden Schüttgewichtes und zwar der eine mit  $400 \text{ kg/m}^3$  und der andere mit  $500 \text{ kg/m}^3$  Schüttgewicht. In einem Fall wiegen 110 L. Koks 44 kg, in anderem Fall 55 kg. Wie aus der Zahlentafel 16 zu ersehen ist, ergeben

diese an sich geringen Füllgewichts- od. Füllvolumen-Verschiebungen nur sehr kleine Fremmelwertunterschiede, welche innerhalb der Streugrenze der Fremmel-ergebnisse liegen. Aus diesem Grunde ist es auch bei der kombinierten Fremmelprobe nicht erforderlich, von der vorgeschriebenen Füllung nach Gewicht abzugehen und dieselbe, wie vielfach vorgeschlagen wurde, nach Volumen vorzunehmen.

Der Einfluss der Feuchtigkeit des Kokses auf die Fremmelwerte war Gegenstand weiterer Versuchsreihen, bei denen Kokse mit sehr geringen und ausnahmsweise hohen Wassergehalten und zwar einmal bei gleichem Füllgewicht, das andere Mal bei gleichem Füllvolumen geprüft wurden. Wie aus dem in der Kahlentafel 17 zusammengefassten Ergebnisse zu ersehen ist, ergibt bei Einsatz des gleichen Koksgewichtes der sehr feuchte Koks geringere Werte als der trockene Koks. Ersterer ist erheblich schwerer und nimmt ein geringeres Volumen ein, weshalb er in der Fremmel einer stärkeren Sturzbeanspruchung unterworfen wird. So erklären sich die besonders niedrigeren Werte für den Siebrückstand über 40 mm. Die damit scheinbar im Widerspruch stehenden geringeren Abriebwerte sind darauf zurückzuführen, dass der gebildete Feinstabrieb sich an die feuchten Koksstücke anhaftet und damit der Bestimmung entgeht. Andererseits wird aber hierdurch insbesondere der prozentuale Entfall an Korn 40 - 20 mm etwas erhöht, da dieses Korn infolge seiner grösseren Oberfläche in starkem Masse der Abriebhaftung unterworfen wird. Daher weist auch der Siebrückstand über 20 mm bei sehr nassem Koks höhere Werte auf als nach der stärkeren Sturzbeanspruchung zu erwarten gewesen wäre.

Die Versuchsreihen des Einsatzes nach gleichem Volumen wurden so vorgenommen, dass einmal 50 kg lufttrockener Koks, das andere Mal dieselbe trockene Koksmenge bis zu 20 %  $H_2O$  angefeuchtet und bei gleichem Volumen, eine Gewichtsmenge von 60 kg dargestellt, geprüft wurden. Entsprechend dem gleichen Füllverhältnis wird in beiden Fällen gleicher Wert für den Siebrückstand über 40 mm erhalten. Hingegen ist der Unterschied in den Abriebwerten noch wesentlich grösser geworden, indem bei dem feuchten Koks der Feinstabrieb sich insbesondere an dem Stücken 40 - 20 mm entsprechend ihrer grösseren Oberfläche anklebt. Aus diesem Grunde ist auch der Wert für den Siebrückstand über 20 mm bei dem feuchten Koks um einige Punkte höher. Die über die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe abgegebenen Erklärungen werden demnach durch die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe bestätigt. Aus beiden ergibt sich, dass nur bei Verwendung von lufttrockenem Koks oder solchen mit sehr niedrigem Feuchtigkeitsgehalt (nicht über 6 %  $H_2O$ ) eindeutige Fremmelwerte erhalten werden.

In diesem Zusammenhang sei auf abweichende Fremmelwerte solcher Koks hingewiesen, die zur Erzielung sehr niedriger Feuchtigkeitsgehalte

nur etwa 1 1/2 Min. mechanisch gelöscht wurden. Diese abweichenden Ergebnisse sind in der Zahlentafel 18 zusammengestellt. Man erzielt, dass der trockene Koks u.F. sehr erheblich niedrigere Werte über 40 mm und 20 mm ergibt als der nasse Koks. Das glänzlich abweichende Verhalten dieser korn- und zu plüßlich gelöschten Kokes könnte nur durch das Vorhandensein von Spannungen im Innern der Koksstücke erklärt werden. Diese Spannungen entstehen dadurch, dass bei der plüßlichen Ablösung des Kokses hauptsächlich nur die äußere Schale der Stücke abgekühlt wird, während der Kern noch hoch erhitzt ist. Eine Auslösung dieser inneren Spannungen kann durch langsames wiederholtes Berieseln des Kokses mit Wasser vorgenommen werden. Hingegen erfolgt die Auslösung dieser Spannungen nicht vollkommen, wenn man den Koks längere Zeit an der Luft weiter abkühlt. Dies lässt das Ergebnis der Versuchsreihe V erkennen, bei welcher der Koks nach 6-stündiger Abkühlung an der Luft getrennt wurde. Der Wert des Siebrückstandes über 40 mm liegt bei dem trockenen Koks immerhin noch um 2 Punkte niedriger als bei dem nassen Koks, während eigentlich das Umgekehrte der Fall sein sollte. Das gleiche Trommelergebnis wurde nach 24-stündiger Abkühlung erhalten, woraus der Schluss zu ziehen ist, dass die durch äusserst kurze und plüßliche Lösung des Kokses entstehenden inneren Spannungen in Koksstück bei Abkühlung an der Luft zu einem gewissen Teil erhalten bleiben.

Über den Einfluss der Versuchsdauer unterrichten die in der Zahlentafel 19 zusammengestellten Ergebnisse zweier Versuchsreihen, bei denen die Anzahl der Umdrehungen von 75 bis zu 200 Uml. vergrößert wurden. Wie nicht anders zu erwarten war, verschlechtern sich die Trommelwerte mit zunehmender Zahl der Umdrehungen.

Die genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Umdrehungszahl ist demnach erforderlich. Diese Bedingung wird nach Stunpe durch Vernahme der Trommelung nach der Uhr im allgemeinen nicht erfüllt, da infolge von Stromschwankungen eine absolut gleiche Drehgeschwindigkeit praktisch nicht erzielt wird. Daher muss die Trommelung nach der Zahl der Umdrehungen vorgenommen werden, was durch Anbringung eines Feuertenzählers mit springendem Zählern möglich ist. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Schwankungen von  $\pm 5\%$  (1,2 Umdrehungen pro Minute) nicht überschritten werden.

Von grosser Bedeutung ist nun der Einfluss der Stückgrösse des zu prüfenden Kokses auf die Trommelergebnisse. Aus dem zahlreichen hierüber vorgenommenen Versuchsreihen seien nur einige Beispiele herausgegriffen, deren Ergebnisse in Zahlentafel 20 enthalten sind. Man erkennt, dass mit abnehmender Stückgrösse die Trommelwerte eine Verbesserung erfahren. Eine Ausnahme für den Siebrückstand über 40 mm macht die bei den Versuchsreihen I u. IV geprüfte Korngrösse 60 - 40 mm. Das Ergebnis des Siebrückstandes über



40 mm wird hier durch einen grossen Teil Stücke beeinflusst, welche nahe der Grösse 40 mm liegen und für die eine nur sehr geringe Abspitterung genügt, um auf dem Sieb von 40 mm hindurchzugehen.

Um demnach eindeutige Trennwert zu erhalten, muss der Koks schon mindestens in einer Stückgrösse von über 50 mm besser noch über 60 mm geprüft werden. Daher ist auch die von „Aussehung Festigkeitsprüfung und Bewertung von Koks“ des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmann in Jahre 1930 festgesetzte Trennprüfung<sup>1.)</sup> der Koksartierung 40/60 mm und Bewertung der Ergebnisse auf dem Siebrückstand von 40 mm nicht besonders glücklich gewählt. Für die feineren Koksartierungen müsste schon der Rückstand eines kleineren Sieben z.B. 30 od. 25 mm neben der 10 mm-Absiebung als Festigkeitsmassstab gewählt werden. Die von diesem Aussehung gleichzeitig vorgeschlagene Verringerung der Winkelschenkelhöhe von 100 mm auf 40 mm gleicht die schlechte Wiederholbarkeit der Werte bei Prüfung der zu nahe bei 40 mm liegenden Koksartierung 40/60 mm nicht aus.

Untersuchungen über die Einwirkung der Schenkelhöhe der eingebauten Winkel auf die Trennsergebnisse liegen von diesem Aussehung sowie von Stunpe<sup>2.)</sup> vor. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Zahlentafel 21 zusammengetragen. Hieraus ist erkennbar, dass sich die Trennwert mit zunehmender Schenkelhöhe verschlechtern. Während bei stückfesten Koksen dieser Unterschied nur gering ist, tritt er bei den weniger stückfesten Koksen, wie z.B. den ober-schlesischen Koksen von Stunpe wesentlich stärker in Erscheinung. Bei der Abmüttung der Winkel ist demnach der Verringerung der Schenkelhöhe durch wechselseitige Einwirkung der Winkel weitgehender Nachdruck zu tragen. Andere den Bau der Trenn betreffende Untersuchungsreihen wie z.B. der Einfluss der Trennmaschine und der Einfluss der Elektrodenstärke der Trenn sind von Stunpe an ober-schlesischen Koksen durchgeführt worden. In der Zahlentafel 22 sind die Werte zusammengetragen, bei denen ohne bzw. mit durchgehender Trennmaschine geprüft wurde. Man erkennt, dass die Trenn ohne Achse etwas höhere Werte als diejenige mit Achse ergibt. Auch hier wiederum macht sich der Einfluss bei den weniger stückfesten Koksen stärker bemerkbar. Gleichzeitig ist aus der Zahlentafel zu ersehen, dass die Wiederholbarkeit der Werte von Einzelversuchen bei der Trenn ohne Achse eine etwas bessere ist, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass ein unkontrollierbarer Teil des Kokses auf die Achse aufschlägt. Auf Grund dieser Ergebnisse hat Stunpe<sup>3.)</sup>

1.) Gas- u. Wasserfach 1930, S. 471/472.

2.) Von Stunpe zur Verfügung gestellte Unterlagen.

3.) Stunpe: Die Normung der Klein-Trenn in Oberschlesien. Zeitschr. des Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins 1930, S. 471/74.

für die Normung der Trommel in Oberschlesien die Trommel ohne Achse empfohlen. Soweit Stumpe seine Forderung auf der etwa mangelhafteren Wiederholbarkeit der Werte von Einzelversuchen an den sehr wenig stückfesten oberschlesischen Kohlen bei Verwendung der Trommel mit Achse anbaute und soweit dieser Nachteil verallgemeinert werden kann - was aber nicht der Fall ist - mag ihm wohl zugestimmt werden. Andererseits muss man sich aber davor hüten, an der Trommel konstruktive Änderungen zu treffen, mit dem Ziel der Erstrebung günstigerer Werte für ungenügend stückfeste Koks. Eigentlich sollte gerade das Gegenteil der Fall sein, um damit die unzureichende Beschaffenheit solcher Koks auffallender in Erscheinung treten zu lassen. Dem Vorschlag von Stumpe kommt demnach nicht die Bedeutung zu, die ihm an einigen Stellen beigegeben wird. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass die Arbeit für den Umbau der fest überall eingeführten Trommel mit Achse in keinem Verhältnis zu dem damit verbundenen zugunsten der minderwertigen Koksbeschaffenheit neigenden Vorteil steht.

Dem fortlaufenden Verschleiss der Achse ist allerdings durch laufende Prüfung des Durchmessers derselben Rechnung zu tragen, um dieselbe bei zu weitgehender Abnutzung zu ersetzen. Dergleichen ist der allmählich auftretende Verschleiss der Trommelwand zu verfolgen, da zu dünnes Blech eine federnde Wirkung ausübt, wodurch wiederum günstigere Trommelergebnisse erzielt werden. Dies geht aus dem in Zahlentafel 23 wiedergegebenen Ergebnissen einer Reihe von Stumpe an oberschlesischen Koks durchgeführten Versuchsreihen hervor. Um die Lebensdauer der Trommel unbegrenzt zu erhalten, schlägt Stumpe vor, in Fällen, wo viele Trommelungen täglich durchzuführen sind, die Trommel im Innern mit Schweissblechen von 6 mm zu versehen.

Weitere eigene Versuchsreihen geben Aufschluss über die unterschiedliche physikalische Beschaffenheit der aus verschiedenen Höhenlagen des Koksbrandes unternommenen Koksproben. In der Zahlentafel 24 sind die Ergebnisse zusammengefasst und zwar für Koksproben aus dem oberen, mittleren und unteren Teil eines aus gestampfter Saarkohle hergestellten Koksbrandes. Man erkennt, dass der Koks aus der Mitte des Brandes den höheren Prozentsatz über 40 mm ergibt, demnach die bessere Stückfestigkeit aufweist. Der Koks aus dem oberen Teil des Brandes ist stärker zerreiblich, was abgesehen von den niedrigeren Siebrückständen über 40 mm und über 20 mm ganz besonders im sehr hohen Abriebwert zum Ausdruck kommt. Der Koks von der Sohle ist rissiger u. kleinstückiger, aber an sich abriebfester. Trotz seiner Kleinstückigkeit wird ein geringerer Wert über 40 mm erhalten, während der Siebrückstand über 20 mm höher und der Abriebwert niedriger liegt. Diese Versuchsreihe beweis, dass die physikalische Beschaffenheit des Koks aus verschiedenen Horizonten des Koksbrandes starken Schwankungen unterworfen sein kann. Wenn sich der schlechtere Koks des oberen u. unteren Brandteiles nur ein geringer Bruchteil des Gesamtkoks-

brandes (etwa  $\frac{1}{8}$  -  $\frac{2}{8}$ ) ausmacht, so ist doch durch Wahl eines geeigneten Ofensystems, einer zweckentsprechenden Ofenheizung sowie einer möglichst gleichmäßigen Kohlenfülldichte diesem Umstand weitgehend Rechnung zu tragen. Mit der Verringerung des Entfalls an diesem minderwertigeren Koks wird ausser geringeren Lössch- u. Kleinkoksentfall eine der wichtigsten Forderungen an Hochofenkoks, nämlich die Gleichmässigkeit desselben erfüllt. Bei der Verarbeitung von Saarkohle ist in dieser Hinsicht der Stampfbetrieb dem Schüttetrieb weit überlegen, da bei letzterem infolge zu niedriger Kohlenfülldichte ein verhältnismässig grosser Anteil des Koksbrandes aus dem oberen Teil desselben ausgesprochene Schaumstruktur aufweist und mithin sehr schlechte Trommelergebnisse insbesondere hohe Abriebwerte liefert.

Bei der Prüfung des Kokses ist wegen der Probenahme darauf zu achten, dass nach Möglichkeit sämtliche Horizonte des Koksbrandes anteilmässig erfasst werden. Dies ist aber in allgemeinen besonders bei Anlagen mit moderner Kokalössch- u. Siebvorrichtung fast unmöglich, so dass wie bereits Stampe erwähnt hat, die Menge der Schichtenstücke, Kopfstücke usw. in der Probe vom Zufall bestimmt wird. Sehr oft lässt sich auf diese Weise eine schlechte Wiederholbarkeit von aufeinanderfolgenden Einzelversuchen erklären, weshalb in diesem Falle mehrere Stichproben und Einzelversuche vorzunehmen sind. Auch kann man zwecks Kontrolle nebenher noch zu der von Stampe vorgeschlagenen Handprobenahme übergehen, bei der nur die normalen Blockigen aus der Mitte des Brandes stammenden Koksstücke von Hand genommen werden.

Der Einfluss der Vorbehandlung des Kokses auf die Trommelergebnisse wurde in mehreren Versuchsreihen nachgeprüft, deren Ergebnisse in der Zahlentafel 25 zusammengefasst sind.

1. Der Koks wurde zuerst von der Kante mittels Gabel entspannen, in Hängebahnwagen verladen, gekippt und dann wieder in den Hängebahnwagen zurückgeladen und erneut gekippt. Vor und nach jeder Behandlungsart wurde mittels einer Gabel von 60 mm Einlenkweite eine Koksprobe genommen und der Trommelprobe unterworfen. Man erkennt, dass sich die Trommelwerte mit zunehmend stärkerer Vorbehandlung des Kokses verbessern.
2. Eine bestimmte Koksarte wurde zuerst der Trommelprobe unterworfen; der dabei entfallende Koks über 50 mm wurde hierauf nochmals getrommelt. Die zweite Trommelung ergibt wesentlich bessere Werte. Von Interesse erscheint hier die Verteilung der Siebanalyse des Abriebs bei der ersten und bei der zweiten Trommelung. Bei der Ersteren ist, wie zu erwarten war, der durch den Abspaltungsvorgang erzeugte Kornanteil 10 - 2 mm grösser als bei der zweiten Trommelung. Hingegen ist bei letzterer der prozentuale Anteil an Feinstabrieb unter 0,5 mm bedeutender. Es ist aber festzuhalten, dass bei der zweiten Trommelung noch eine Abspaltung von Koks statt-

findet, die allerdings etwas geringer als bei der ersten Trommelung ist, 3.) Der Koks wurde der Sturzprobe unterworfen und der dabei entfallende Anteil über 50 mm getrommelt. Auch hier wiederum erhält man wesentlich bessere Trommelwerte als bei derselben Koksart ohne Vorbehandlung. Die nach der Sturzprobe vorgenommene Trommelung ergibt, wie aus der Siebanalyse des Abriebs zu ersehen ist, aber noch immer eine sehr merkbare Abspaltung, obwohl der Prozentsatz an Feinstkern (unter 0,6 mm) gestiegen ist.

Ganz allgemein ist die Verbesserung der Trommelwerte darauf zurückzuführen, dass durch diese verschiedene Vorbehandlungsart die Sprünge u. Risse sowie auch die Abspaltung des Kokses zum Teil mehr oder weniger bereits ausgelöst werden.

Bunte und Brückner<sup>1.)</sup> halten es für notwendig, die Trommelung nur mit einem Koks durchzuführen, der vorher zwecks Anlösung der Klüftungen u. Risse der Sturzprobe unterworfen werden war. Falls dies nicht geschieht, so enthalten nach diesen Forscher die gefundenen Trommelwerte für die Festigkeit und das Feinkorn nicht bestimmbare wechselnde Anteile an Sturz- und an Abriebfestigkeit. Dieser Ansicht von Bunte u. Brückner wäre zweifellos zuzustimmen, wenn es sich bei dem angewandten Trommelverfahren um eine reine Abriebprüfung handeln würde. Die Trommel mit Einbau von Hubwinkel stellt aber eine kombinierte Prüfmethode dar, bei der mit Absicht gleichzeitig eine Sturz- und Abriebbeanspruchung wirken soll. Daher werden die Trommelwerte stets und zwar auch bei vorbehandelten Koks eine Folge der Einwirkung wechselnder Sturz- u. Abtriebkraften sein. Die von Bunte u. Brückner betonte Notwendigkeit einer Durchföhrung der Sturzprobe vor der Trommelprobe, welche im übrigen eine Erleichterung der Koksprüfung bedeuten würde, ist demnach weder theoretisch noch praktisch berechtigt. Dieser Forderung könnte lediglich wegen der Anlösung der groben Klüftungen zugestimmt werden. Eine solche Anlösung erfolgt aber bei Anlagen mit moderner Kokalschmelz- und Siebvorrichtung in ausreichendem Masse.

Das „Northern Coke Research Committee“<sup>2.)</sup> hat an einer Reihe verschiedener Koksarten Vergleichsversuche zwischen der Trommelprobe und der Sturzprobe vorgenommen und dabei festgestellt, dass hinsichtlich der Reihenfolge der Koksarten eine reihe Übereinstimmung zwischen dem Siebrückstand über 40 mm bei der Trommelprobe und dem Siebrückstand über 50 mm bei der

1.) K. Bunte u. H. Brückner: Sturz- u. Abriebfestigkeit von Hochtemperaturkoks. Ges.-u. Wasserfach 1939, S. 162/163.

2.) W.F.K. Braumholtz, G.M. Hays u. H.V.A. Briscoe: The Correlation of the Physical and Chemical Properties of Cokes, with their Values in Metallurgical Processes. Fuel in Science and Practice 1929, S. 415/417.

Sturzprobe besteht, obwohl für beide Werte eine direkte Beziehung nicht zu errechnen ist. Ausserdem hat man ermittelt, dass das Verhältnis zwischen dem prozentualen Abrieb bei der Trommelprobe (Korn unter 10 mm) und demjenigen bei der Sturzprobe (Korn unter 12,5 mm) oft, allerdings nicht immer ziemlich konstant ist. Diese Feststellungen genügen aber nicht, um hieraus wie das Northern Research Committee vorgegangen ist, die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die Niemo-Trommelprobe streng genommen nur eine abgeänderte Sturzprobe ist, bei der die Sturzkraft allein eine Hauptrolle spielen und bei der keine Anhaltspunkte über die relative Abriebfestigkeit des Kokes erhalten werden. Gegen diese Auffassung spricht in erster Linie der Unterschied im Aussehen des Kokes nach der Sturz- und nach der Trommelprobe. In ersterem Fall sind die Ecken u. Kanten des Kokes scharf, in letzterem Fall sind dieselben mehr od. weniger stark abgerundet. Wie aus den in der Zahlentafel 25 wiedergegebenen Siebanalysen des Abriebs beider Proben zu ersehen ist, weist der bei der Sturzprobe erhaltene Abrieb hohe Anteile an abgesplitterten Keksstückchen (hoher Prozentsatz an Korn 10 - 2 mm) auf, während der von der Trommelprobe stammende Abrieb bedeutend mehr Feinstkorn (unter 0,6 mm) und nur wenig Absplittungskorn (10 - 2 mm) enthält. Dies ist ein eindeutiger Beweis, dass bei der Trommelprobe ausser Sturzkraften auch Abriebbeanspruchungen auftreten. Bei der hohen Abriebfestigkeit der normalen Kokes wird, wie bereits früher hervorgehoben wurde, oben nur eine verhältnismässig geringe eigentliche Abriebsmenge gebildet, die gegenüber derjenigen durch Sturzbeanspruchung und hierdurch den Absplittungsvergange hervorgerufenen Menge zurücktritt.

Da die Art der Abrieblung des getrommelten Kokes einen Einfluss auf die Ergebnisse ausübt, ist dieser Frage besonderes Augenmerk zu widmen. Während in Deutschland zur Abrieblung des Kokes im allgemeinen Siebe mit Rundlochung verwandt werden, benutzt man hierzu in den angelsächsischen Ländern Siebe mit Quadratlochung. Obwohl vielfach behauptet wird, dass der Koks unter Anwendung quadratisch gelochter Siebe besser sortiert sein soll als bei der Rundlochung, kommt hier dieser Frage bei einer Vereinfachung der Verschrift über die anzuwendende Lochart keine ausschlaggebende Bedeutung zu. Über die Ausführung der Abrieblung selbst liegen Versuchsergebnisse von Northern Coke Research Committee und von Stumpe vor. Diese Ergebnisse sind in der Zahlentafel 26 zusammengestellt. Man erkennt, dass bei Anwendung des Durchsteckverfahrens der Prozentsatz über 40 mm etwas niedriger als bei der üblichen Handabrieblung ausfällt, wobei der Unterschied bei stückfesteren Kokes weniger als bei dem splittigen ober-schlesischen Kokes ausgeprägt ist. Das von Stumpe vorgeschlagene und in Oberschlesien generete Schüttelsieb ergibt zweifellos infolge zusätzlicher Beanspruchung des Kokes etwa gleiche Werte wie das Durchsteckverfahren. Es sei noch hervorgehoben, dass in den angelsächsischen Ländern das Durchsteckverfahren für die Abrieblung des

gestürzten bzw. getrommelten Kokses allgemein gebräuchlich ist. Das Durchsteckverfahren, welches die theoretische vollkommene Abseibung darstellt, wird bei prismatischer Form des Kokses besonders empfohlen. Aus diesen Gründen wird vorgeschlagen, die Abseibung zuerst durch Schütteln von Hand vorzunehmen und nur für den Siebrückstand über 20 mm noch ein nachträgliches Durchstecken der sogenannten Stangelstücke vorzunehmen. Die mechanische Abseibung auf Schüttel- bzw. Trommelmaschinen kommt infolge zusätzlicher Beanspruchung des Kokses nicht in Frage.

Über die Frage, in welcher Stückgröße der Keks der Trommel zugeführt werden soll, liegen Berichte von Stumpe<sup>1.)</sup> sowie von Hoffmann<sup>2.)</sup> vor. Stumpe schlägt die sogenannte Gabelprobe vor, bei der die Probenahme durch eine mindestens 50 mm breite Gabel erfolgt, wobei die zwischen den größeren Keksstücken liegenden Stücke unter 40 mm angesehen werden, sodass in die Trommel nur Stücke gelangen, die in allen Abmessungen über 40 mm liegen. Hoffmann hält mit Rücksicht auf eine bessere Wiederholbarkeit der Werte die Verwendung eines möglichst eng begrenzten Stückgrößenbereiches für vorteilhaft. Wegen der Begrenzung der Stückgröße nach oben äußert er allerdings infolge der damit verbundenen Erschwerungen Bedenken. Die Begrenzung der Stückgröße nach unten, welche bisher durch die Verwendung einer Gabel mit 50 mm Zinkenweite gewährleistet werden sollte, hält er mit Recht für unzureichend. Um eine schärfere Begrenzung nach unten herbeizuführen, schlägt Hoffmann vor, die Gabelprobe durch Einfügung einer Vorabseibung vor dem Trommeln zuverlässiger zu gestalten. Da diese Vorabseibung aber mit einer zusätzlichen Beanspruchung des Kokses verbunden ist, sei in Anlehnung an die von Hoffmann zu Recht erhobene Kritik die Vernahme der Gabelprobe mittels Gabel von 60 mm Zinkenweite vorgeschlagen, wobei die zwischen den größeren Keksstücken liegenden Stücke von unter 50 mm angesehen werden. Hiermit hätte man die Gewähr, dass in die Trommel nur Stücke von über 50 mm gelangen.

Wie in Vorstehendem auf Grund umfangreicher Ergebnisse über den Genauigkeitsgrad, die Empfindlichkeit u. Verbesserungsmöglichkeit der Misch-Trommelprobe gezogenen Schlussfolgerungen sind in dem in der Abb. 8 aufgestellten Kernskizzenentwurf über die Bestimmung der Festigkeit von Hochofenskoks durch den Trommelversuch weitgehend berücksichtigt.

1.) Stumpe : Die Kernung der Misch-Trommel in Oberschlesien, Z. d. O. B. u. V. 1930, S. 473/74.

2.) F. G. Hoffmann : Zur Bestimmung der Keksfestigkeit. Brennstoffchemie 1931, S. 64/65.

### Schüttgewicht (Stückgröße und Stückdichte)

Die Beurteilung der Bedeutung des Schüttgewichtes von Koks in Hinblick seines Verhaltens im Hochofen bereitet im Gegensatz zu derjenigen der Festigkeit gewisse Schwierigkeiten. Das Schüttgewicht auf Trockenkoks bezogen wird bestimmt durch die Stückgröße, die saubere und enge Klassierung und die Stückdichte des Kokses. Der wichtige Einfluss der Stückgröße und der Klassierung auf den Durchflusswiderstand der Gase im Hochofen ist klar und bedarf wohl keiner weiteren Erörterung. Schwieriger gestaltet sich aber schon die Deutung der Zusammenhänge dieser Faktoren mit den Verbrennungseigenschaften des Kokses in allgemeinen und dem verbrennungstechnischen Verhalten des Kokses beim Hochofenprozess in besondern.

Wenn man die Verbrennung des Kokses im Hochofen vom Gesichtspunkt der physikalischen Wirksamkeit einer Koksschüttung auffasst, tritt nach den in den letzten 20 Jahren erfolgten Untersuchungen der unmittelbare Einfluss der sogen. Reaktionsfähigkeit des Kokses stark in den Hintergrund. Die Reaktionsfähigkeit des Kokses, worunter man sein Verhalten gegenüber Gasen und Dämpfen bei erhöhter Temperatur versteht, wird im allgemeinen nach zwei Richtungen hin ermittelt. Es wird die Reaktion mit Luft bzw. Sauerstoff (Verbrennlichkeit, Zündungstemperatur) und die Reaktion gegen Kohlensäure bzw. Wasserdampf (Reduktionsfähigkeit) untersucht. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Verfahren ist wohl in grossen Zügen festzustellen; es liegt jedoch keine strenge Parallelität vor, weil mit Kohlensäure nur der elementare Kohlenstoff reagiert, während mit Sauerstoff ausserdem noch die in Koks vorhandenen Zersetzungsprodukte in Reaktion treten.

Auf Grund ausführlicher Untersuchungen an 80 verschiedenen Koksarten hat das Midland Coke Research Committee<sup>x)</sup> festgestellt, dass die Reaktionsfähigkeit von Koks sowohl gegen Sauerstoff wie auch gegen Kohlensäure bei Koksen aus gut backenden Kohlen meist niedriger ist als bei Koksen aus schlecht backenden Kohlen oder aus Mischungen gut backender Kohlen mit Inertstoffen bzw. mit schwach backenden Kohlen. Aus diesen Versuchsergebnissen erkennt man, dass die Reaktionsfähigkeit nicht die für Hochofenkoks erwünschte Verbrennungseigenschaft darstellen kann, denn sonst müssten schon die aus gut backenden Kohlen hergestellten Koke, die sich im allgemeinen im Hochofen gut bewähren, stark reaktionsfähig sein, was sie aber meist nicht sind.

In Hochofen scheint vielmehr eine andere Verbrennungseigenschaft des Kokses eine Rolle zu spielen und zwar die Fähigkeit desselben bei der Verbrennung in der Schüttung eine möglichst hohe Durchschnittstemperatur

x) R.A. Mett u. R.V. Wheeler: Coke for Blast Furnaces  
London 1930, S. 132/135.

auf breiterer Verbrennungzone zu entwickeln. Nicht zu verwechseln ist diese Eigenschaft mit derjenigen, welche durch die in einer verhältnismässig engbegrenzten Zone des Koksbettes auftretende Höchsttemperatur angezeigt wird. Während die erste Eigenschaft in Hochofen und Kupelofen massgebend ist, spielt die letztere bei anderen Verwendungszwecken des Kokses, wo es auf die Erzeugung sehr hoher Temperaturen auf sehr schmaler Zone ankommt, z.B. bei dem Tiegel-schmelzverfahren eine Hauptrolle. Auch diese beiden Verbrennungseigenschaften sind von Midland Coke Research Committee neben der Reaktionsfähigkeit unter bestimmten Bedingungen und an 80 verschiedenen Koksen untersucht worden. Dabei wurde festgestellt, dass zwischen diesen beiden Eigenschaften in grossen Zügen ein Zusammenhang besteht, der sich aber nicht bis zu strenger Parallelität auswirkt. Ausserdem wurde bei diesen Versuchen ganz allgemein beobachtet, dass die Verbrennungsgeschwindigkeit des Kokses hauptsächlich von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher der Sauerstoff vom Koks angenommen wird<sup>1.)</sup> und dass die Verbrennungsintensität nicht in unmittelbarer Beziehung zur Reaktionsfähigkeit des Kokses gegenüber Sauerstoff steht. So ergaben unter den vorgelegenen Versuchsbedingungen die gegenüber Sauerstoff reaktionsträgen Kokes die höchsten Verbrennungstemperaturen. Die Reaktionsfähigkeit gegenüber Kohlenstoffsäure, welche eine stark endotherme Reaktion ist, erniedrigt die Durchschnittstemperatur des Koksbettes, so dass bei gleichen Verbrennungsbedingungen die höchsten Durchschnittstemperaturen nicht nur von Koksen geringerer Reaktionsfähigkeit gegenüber Sauerstoff, sondern auch von denen geringerer Reaktivität gegenüber Kohlenstoffsäure erzielt werden.

Zusammengefasst betrachtet zeigten demnach die Kokes mit hoher spezifischer Reaktionsfähigkeit gewöhnlich niedrige Durchschnittstemperaturen und auch niedrige Höchsttemperaturen im Koksbett.

Die Auswirkung der beiden sehr einflussreichen Faktoren Luftaufnahme und Stückerösse des Kokses auf die Verbrennungseigenschaften desselben wurden von Midland Coke Research Committee<sup>2.)</sup> durch eine Reihe unter sonst gleichen Bedingungen durchgeführten Verbrennungsversuche zu klären versucht. Hierbei wurde festgestellt, dass eine Steigerung der Luftaufnahme nur geringen Einfluss auf die Reaktionsfähigkeit sowohl gegenüber Sauerstoff als auch gegenüber Kohlenstoffsäure hat. Die Hauptwirkung der gesteigerten Luftaufnahme liegt in einer Erhöhung der Verbrennungsintensität. Als Folge hiervon tritt eine proportionale

1.) Siehe auch R. Durrer : Die Metallurgie des Eisens  
Verlag Chemie, Berlin 1934, S. 1142/45.

2.)— R.A. Nett u. R.V. Wheeler : Coke for Blast Furnaces—  
London 1930, S. 157/159



Steigerung der Verbrennungshöchsttemperatur und der Durchschnittstemperatur des Kokabettes ein.

Der Einfluss der Stückgrösse des Kokses, der von Midland Coke Research Committee für die Stückgrössen  $12\frac{1}{2} - 25$  mm,  $25 - 38$  mm und  $38 - 50$  mm untersucht wurde, wirkt sich besonders stark auf die Reaktionsfähigkeit sowohl gegen Sauerstoff wie auch gegen Kohlensäure aus. So nimmt mit steigender Stückgrösse die Reaktionsfähigkeit stark ab und die Ausdehnung der sogenannten Oxidationszone stark zu. Hingegen konnte ein merkbarer Einfluss der Stückgrösse auf die Verbrennungshöchsttemperatur nicht erwiesen werden. Dafür ist aber wiederum die Durchschnittstemperatur des Kokabettes von der Stückgrösse des Kokses weitgehend abhängig. Dasselbe wird umso stärker herabgesetzt, je geringer die Stückgrösse des Kokses ist, was zweifellos mit den endothermen Vorgängen zusammenhängt, die mit der durch die Verringerung der Stückgrösse eintretenden stärkeren Reduktionsfähigkeit gegenüber Kohlensäure auftreten.

Eine zu geringe Stückgrösse des Kokses ist demnach für die Verbrennlichkeit desselben im Hochofen von Nachteil. Daher auch die grosse Bedeutung der Fernhaltung von Kokaklein.

Die Untersuchungen des Midland Coke Research Committee über den Einfluss der Stückgrösse auf die Verbrennungseigenschaften des Kokses erstreckten sich aber nur bis zur Korngrösse 50 mm. Über das Verhalten der grösseren Korngrössen d.h. die Begrenzung der Korngrösse nach oben hin sagen sie demnach nichts aus. Auf Grund der Versuche von Hüsser und Bestehorn<sup>x)</sup> über die Verbrennlichkeit verschiedener Kokakörnungen, wobei die Kornklassen 50/50, 50/70 und 70/90 mm zum Vergleich herangezogen wurden, können jedoch gewisse reihe Schlussfolgerungen wegen der Verbrennungseigenschaften der grösseren Stückgrössen gezogen werden. Hüsser und Bestehorn fanden, dass die Reaktionsfähigkeit gegenüber Sauerstoff mit steigender Korngrösse abnimmt. Diese Abnahme ist aber beim Übergang von der Körnung 30/50 mm auf 50/70 mm weit grösser als beim Übergang von der Kornklasse 50/70 auf 70/90 mm. Unter der Annahme einer, wenn auch nicht strengen umgekehrten Proportionalität der Reaktionsfähigkeit und der Höhe der Durchschnittstemperatur wäre zu folgern, dass letztere mit Steigerung der Korngrösse von 50 auf 70 mm noch weiter stärker und von 70 auf 90 mm schwächer begünstigt wird. Bei etwa 90 mm Stückgrösse scheint das Optimum der Abnahme der Reaktionsfähigkeit und damit das der Höhe der Durchschnittstemperatur erreicht zu sein. Diese auf Grund der Versuchsergebnisse von Hüsser und Bestehorn gezogenen reihen Schlussfolgerungen, welche in Übrigen mit den praktischen Erfahrungen im Hochofen in

x) F. Hüsser und R. Bestehorn: Versuche über die Verbrennlichkeit und Festigkeit von Hüttenkoks in grösseren Körnungen.  
Ber. d. Ges. f. Kohlentechnik, Bd. 1, S. 377/  
378, 1926.

Einklang zu sein scheinen, bedürfen jedoch noch einer Bestätigung durch Ausdehnung der Verbrennungsversuche auf entsprechend größere Kokskörnungen.

Neben den stark in den Vordergrund tretenden Faktoren der Luftnahme und der Stückgröße werden die Verbrennungseigenschaften des Kokses noch durch gewisse spezifische physikalische Eigenschaften desselben beeinflusst. Dies geht ohne Zweifel aus den Untersuchungen des Midland Coke Research Committee hervor, bei denen unter sonst gleichen Verbrennungsbedingungen an 80 verschiedenen Koksen auch verschiedene Verbrennungseigenschaften erzielt wurden. Einen Versuch der Auffindung von Beziehungen zwischen gewissen spezifischen physikalischen Eigenschaften des Kokses und seinem verbrennungstechnischen Verhalten wurde durch das Midland Coke Research Committee<sup>1.)</sup> vorgenommen. Wenn auch hierbei durch einzelne sehr wichtige Feststellungen wertvolle Hinweise gegeben wurden, so blieb trotzdem eine restlose Klarstellung dieser allerdings sehr schwierig zu erfassenden Beziehungen versagt. Wie bereits hervorgehoben, hat das Midland Coke Research Committee festgestellt, dass die Reaktionsfähigkeit von Koks sowohl gegen Sauerstoff wie auch gegen Kohlensäure bei Koksen aus gut backenden Kohlen niedriger ist als bei Koksen aus schlecht backenden Kohlen oder solchen aus Mischungen von gut backenden Kohlen mit Inertstoffen bzw. schlecht backenden Kohlenarten. Nach den Ergebnissen von Bildungsmiterversuchen<sup>2.)</sup> weisen nun letztere stets eine mangelnde Bildungsamkeit auf und ergeben gegen ungeflossene Kokke, bei denen das Zellgefüge entweder nicht oder nur höchst unvollkommen entwickelt ist. Ganz allgemein liegen derartige Kokke in der Stückdicke höher, s.T. sogar wesentlich höher als bewährte Hochofenkokes. Auch zeichnen sich diese Kokke oft, allerdings nicht immer durch unzureichende Stückfestigkeit, stets aber durch mangelhafte Abriebfestigkeit aus. Die unzulängliche Festigkeit tritt bei den stückfesten Sorten dieser Kokke besonders deutlich in Erscheinung, wenn man die Bruchstücke derselben betrachtet und auf Abriebfestigkeit prüft. Man erkennt dann ein dichtes mangelhaft zusammenhängendes, kieselartiges Feingefüge, dessen hohe Abriebbildung ohne weiteres einleuchtet.<sup>3.)</sup>

Bei mikroskopischer Betrachtung der Schliffe solcher Kokke fällt stets das grobwandige Gefüge auf, das auf ein sehr hohes, ungünstiges Zell-

- 1.) R.A. Mott und E.V. Wheeler: *Coke for Blast Furnaces*  
London 1930, S. 155/157.
- 2.) E. Hoffmann: Die Bestimmung der Bildungsamkeit von Steinkohlen nach der Dilatometermethode. Ihre Bedeutung für die Verbesserung von Koks aus Saar- u. Lothringischer Kohle. Erscheint demnächst in: "Öl und Koble."
- 3.) R.A. Mott: Progress in Research on the Properties of Coke for Blastfurnace Use  
Fuel in Science and Practice 1927, S. 251.

wand-Porenverhältnis<sup>1.)</sup> schliessen lässt. Dieses grobkörnige Feingefüge, insbesondere seine innere Gestaltung ist nun gerade in physikalischer Hinsicht bestimmend für die hohe Reaktionsfähigkeit dieser Kokse. Nach Agde und Schmitt<sup>2.)</sup> besteht in Anlehnung an die Arbeit von Greenwood<sup>3.)</sup> und Cobb das Koksegefüge aus zwei Arten von räumlichen Gebilden, ohne scharfe Abgrenzung und zwar einmal aus den Zellen, jenen mehr od. weniger grossen makroskopischen Rassen, auch Makroporen genannt und weiterhin aus den sogen. Ultraporen, welche die Zellwände durchsetzen und meist ultramikroskopisch klein sind. Zu den Ultraporen, ein Begriff der zuerst von Herbst<sup>4.)</sup> zur Kennzeichnung der feinsten Poren von Adsorptionskohlen geprägt wurde, sind auch die als Folge interkristalliner Hohlräume der Kokssubstanz vorhandenen von Wesselowski<sup>5.)</sup> erstmalig geprägten Kryptoporen zu rechnen. Martech und Hofmann<sup>6.)</sup> haben auf Grund röntgenologischer Untersuchungen nachgewiesen, dass die normal übliche Bestimmung des spez. Gew. der Kokssubstanz (das wirkliche spez. Gew.) mittels Xylol zu niedrigere Werte ergibt und dass dieser Unterschied auf die Nichterfassung der Kryptoporen zurückzuführen ist. Nach diesem Forscher ist bei den technischen Koksen das Volumen der Kryptoporen immerhin ziemlich beträchtlich. So betrug der Anteil dieser unzugänglichen Kryptoporen an dem gesamten von Xylol nicht erfüllten Volumen rd. 20 %.

Man erkennt also hieraus, dass auch in den dichten Kohlenstoffen, wie es die technischen Kokse zweifellos sind, noch beträchtliche Hohlräume, Spalten, oder Poren freibleiben, deren Einfluss auf die Reaktionsfähigkeit, besonders von Agde und Schmitt<sup>7.)</sup> klar herausgestellt wurde. Nach diesem Forscher ist die Reaktionsfähigkeit stark bedingt durch die jeweilige Zahl, Form und Querschnitte der Ultraporen. Diese Flächengestaltung ist bei den

- 1.) H. Hoffmann u. E. Hülwein : Rohstoffliche und verkokungstechnische Untersuchungen an Saarkohlen. Glöckner 1935, S. 67/68.
- 2.) G. Agde u. H. Schmitt : Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks. Dsapp, 1928, S. 138.
- 3.) Greenwood u. Cobb : Journ. Soc. Chem. Ind. 41. 1922, S. 181.
- 4.) Herbst : Kolloidchem. Beihfte 1925, S. 1.
- 5.) W.S. Wesselowski u. L.W. Wassiliow : Z.f. Kristallogr., Kristallgemeter, Kristallphysik. Kristalleben. (Abt. A.d.Z. Kristallogr. Mineral, Petrograd) 89, 1934, S. 156.
- 6.) K. Martech u. U. Hofmann : Röntgenuntersuchung von Koks. Angew. Chemis 1940, S. 327/330.
- 7.) Agde u. Schmitt : Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks. Dsapp 1928, S. 138.

verhin gekennzeichneten Koks mit grobwandigen Gefüge besonders ausgeprägt und dürfte sich wohl eine Erklärung für die höhere Reaktionsfähigkeit abgeben.

Über die Zusammenhänge, welche zwischen der im Hochofen massgebenden Verbrennungseigenschaft, d.h. die Höhe der Durchschnittstemperatur im Koksbett und gewissen spezifischen physikalischen Eigenschaften des Kokses hat schon das Midland Coke Research Committee einige wichtige Anhaltspunkte ermittelt. Hiernach scheint die Höhe der Durchschnittstemperatur roh betrachtet umso niedriger zu liegen, je niedriger die Werte für die Stückfestigkeit, das wirkliche spez. Gew. und die Porosität des Kokses sind. Aus den Versuchsergebnissen des Midland Coke Research Committee ist allerdings zu entnehmen, dass dies keine strengen allgemein gültigen Beziehungen sind und dass eine Reihe Ausnahmen von dieser Regel vorliegen. In der Tat waren die vom Midland Coke Research Committee gewählten Bezugseigenschaften nicht genau und scharf genug, um allgemein gültige Regeln aufzustellen. So ist der zweifellos massgebende Festigkeitswert nicht nur allein durch die Stückfestigkeit zu kennzeichnen, sondern durch eine Festigkeitskennziffer, in der ausser der Stückfestigkeit insbesondere noch die Abriebfestigkeit erscheint. Auf die Unzulänglichkeit der üblichen Bestimmungsmethode des wirklichen spez. Gewichtes ist bereits im Zusammenhang mit den Kryptoporen hingewiesen worden. Immerhin deutet ein nach der Xylolmethode gefundenes niedriges spez. Gewicht der Kokssubstantz darauf hin, dass in der letzteren eine grössere Menge Kryptoporen zugegen sind als bei höherem wirklichen spez. Gewicht. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, kann das spez. Gewicht der Kokssubstantz nach der Xylolmethode bestimmt gewisse Anhaltspunkte für die Reaktionsfähigkeit des Kokses und damit für die Höhe der Durchschnittstemperatur liefern.

Der Bezug auf die Porosität des Kokses konnte nicht befriedigen, da die Messung derselben durch Feststellung des Porenvolumens über den Weg der Bestimmung von wirklicher und scheinbarer Dichte erfolgte, wobei abgesehen von der bereits erwähnten grundsätzlichen Unzulänglichkeit der Methode zur Bestimmung des wirklichen spez. Gewichtes ausserdem keine Rücksicht auf die eigentliche innere Flächen-gestaltung, d.h. die Dicke der Zellwände und die Verschiedenheit der Porenquerschnitte genommen wurde.<sup>2)</sup> (Feinporiger dünnwandiger Koks kann den gleichen Porenraum wie grobporiger dickwandiger aufweisen).

Unter diesen Umständen konnte das Midland Coke Research Committee freilich nicht zu allgemein gültigen Beziehungen zwischen der Höhe der Durchschnittstemperatur und den physikalischen Eigenschaften des Kokses gelangen. Wenn man aber die im Hochofen bewährten Koks auf ihre Festigkeitseigenschaften überprüft, so stellt man fest, dass der aus Stückfestigkeit und Abrieb-

x) C.J. Euseburg u. F.W. Spear : J. Franklin Inst. 1917, S. 391

festigkeit gebildete Festigkeitswert stets hoch ist. Je niedriger diese Festigkeitskennziffer liegt, umso mehr Kleinkoks und Abrieb wird im Hochofen gebildet und umso höher wird bei sonst gleichen physikalischen Eigenschaften der Koksverbrauch sein. Die Festigkeitskennziffer ist demnach ohne Zweifel ein für die Höhe der Durchschnittstemperatur sehr einflussreicher Faktor.

Nach den Versuchsergebnissen des Midland Coke Research Committee zeigten weiter die Kokes mit hoher spezifischer Reaktionsfähigkeit gewöhnlich niedrige Durchschnittstemperaturen im Koksbett. Danach besteht kein Zweifel darüber, dass die Faktoren, welche die Reaktionsfähigkeit des Kokses begünstigen, für die Höhe der Durchschnittstemperatur von Nachteil sind. Wie bereits hervorgehoben, wird die Reaktionsfähigkeit begünstigt durch ein hohes Zellwand-Porenverhältnis also durch ein grobwandiges Feingefüge, bei dem die Ultrapermifläche von Natur aus grösser ist.

Bewährte Hochofenkokes weisen auch stets ein mehr oder weniger gleichmässiges, weitgehendst zellenförmig ausgebildetes mit vielen Makroporen durchsetztes Feingefüge auf, dessen Entstehung nur einer ausreichenden Billigkeit der verwandten Kohle bei entsprechend gewählten Verkokungsbedingungen zu verdanken ist. Wenn man dieses Feingefüge mit den durch die Forderung nach niedriger Reaktionsfähigkeit gestellten Bedingung eines niedrigen Zellwand-Porenverhältnisses und einer hohen wirksamen Flächen-gestaltung verbindet, so werden vom Gesichtspunkt der Gefügeausbildung solche starr- und abriebfeste Kokes die höchste Durchschnittstemperatur ergeben, die bei nicht zu feinen Makroporen eine hohe Makroporenoberfläche aufweisen. Die wegen der Feinheit der Makroporen erfolgte Einschränkung erscheint insofern erforderlich, als durch die Gegenwart zu feiner Makroporen wiederum andererseits die Reaktionsfähigkeit begünstigt und damit die Durchschnittstemperatur erniedrigt wird. Makroschliffuntersuchungen<sup>2)</sup> an bewährten Hochofenkokes haben ergeben, dass die obige Forderung je nach den vorliegenden reihstofflichen und betriebstechnischen Verhältnissen mehr od. weniger unbewusst durch verschiedene Makroporengrössen und verschiedene Zellwandstärken erstrebt wird. So kann zur gleichzeitigen Erzielung einer genügend hohen Festigkeitskennziffer bei kleinen Poren die Zellwandstärke gering sein, während bei mittleren Poren die Zellwände schon etwas stärker ausgebildet sein müssen. Bei grösseren Poren muss schon zur Erreichung der erforderlichen Festigkeitskennziffer die Zellwandstärke dicker sein, wobei aber in Hinsicht der Erfüllung der Forderung nach genügend hoher Makroporenoberfläche die dicken Zellwände an sich wiederum mit mehr od.

2) C. J. Emsburg u. J. W. Sparr : By - product Coke and Coking Operations. J. Franklin Inst. 1917, S. 591

C. O. Halls : By - Product Coke Cell Structure. Ind. and Eng. Chemistry 1924, S. 901/904

H. J. Rose : The selection of Coals for the Manufacture of Coke Fuel in Science and Practice 1926, S. 562/575, 1927, S. 41/46, 84/88.

weniger kleineren Poren durchsetzt sein müssen. Mit der zur Erreichung einer hohen Durchschnittstemperatur gestellten Forderung nach hoher Festigkeitskennziffer bei gleichseitig hoher Makroporenflöhebe wird auch die Bedeutung der Stückdichte des Kokses klar. Diese kann bei Koksen, die eine hohe Durchschnittstemperatur ergeben, keinesfalls hoch liegen, sie wird sich je nach den vorhin gekennzeichneten Porengrößen und Zellwanddicken in dem Intervall von mittlerer bis niedriger Höhe bewegen. Eine zu niedrige Stückdichte deutet entweder auf zu feine Makroporen bei sehr dünnen Zellwänden und damit hohe Reaktionsfähigkeit oder auf sehr grosse Makroporen bei sehr dünnen Zellwänden und damit niedrige Festigkeitskennziffer hin. Die Beurteilung der Stückdichte des Kokses kann demnach nur in Zusammenhang sowohl mit der Höhe der Reaktionsfähigkeit wie auch der Höhe der Festigkeitskennziffer erfolgen. Aus diesen Ausführungen ist demnach zu entnehmen, dass die Stückgröße und Stückdichte des Kokses neben der Festigkeit desselben die wichtigsten Faktoren zur Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit eines Hochofenkokes darstellen. Da die Erfassung der Stückdichte durch unmittelbare Untersuchung an kleinen Probenmengen zu stark streuende Dichte-Werte ergibt und infolgedessen nur durch zeitraubende Vielzahlprüfung einigermaßen brauchbare Durchschnittsergebnisse erzielt werden, ist es vorteilhafter, die Stückdichte an einer Schüttung des Kokses in seiner natürlichen Stückgröße zu messen. Aus dem Schüttgewicht des Kokses ergibt sich der Einfluss der Stückdichte durch Ausschaltung des Faktors Stückgröße, indem das Schüttgewicht an eng kalibrierten Korngrößen des Kokses ermittelt wird.

#### Bestimmung des Schüttgewichtes

Das Schüttgewicht wird bei einem gegebenen Koks mit gleichbleibender Stückdichte zunächst beeinflusst durch die Stückgröße, die Kornklassierung und den Massegehalt des Kokses. Der Einfluss der Stückgröße und der Korngrößenabgrenzung auf die Schüttung wird durch folgende von verschiedener Seite<sup>x)</sup> aus erfolgten theoretischen Untersuchungen klar. Bei einer Schüttung aus Kugeln gleichen Durchmessers ist das Makrovolumen in der Schüttung nicht vom Durchmesser der Kugeln, sondern von der Lagerung oder Packungsart derselben abhängig. Bei jeder Körperform sind nun verschiedene Lagerungen möglich. Zur Veranschaulichung sind in der Abb. 9 die wichtigsten regelmäßigen Packungsmöglichkeiten mit den entsprechenden theoretischen Makrovolumen zusammengestellt. Die tetraedrische und oktaedrische Lagerung von Kugeln ist

x) A. Wagner, A. Holschuh u. W. Barth: Archiv für Eisenhüttenwesen 1932, 4 S. 130.

L. Halden u. E. Stach, Bericht 256 des Reichshauptamts 1935

H.E. White u. S.F. Walton, Journ. Amer. Ceram. Soc. 20, 1937, S. 155.

die dichteste, welche bei gleichmässiger Korngrösse möglich ist, da bei unregelmässig geformten und gelagerten Stoffen das Lücken Volumen stets grösser werden muss.

Bei Stoffen gemischter Korngrösse ist sowohl eine Vergrösserung als auch eine Verkleinerung gegenüber dem Lücken Volumen möglich, je nach der Lagerung, dem Anteil und dem Durchmesser der einzelnen Korngrössen. Dies geht aus Abb. 9 eindeutig hervor. Handelt es sich um Mischungen von sehr grossen und sehr kleinen Körpern, so wird das Lücken Volumen in der Regel kleiner werden.

Bei der Kokssehtung hat man es nun stets mit einem unregelmässig geformten und gelagerten Stoff gemischter Korngrösse zu tun. Bei enger Klassierung des Kokes liegt der Fall 1<sub>b</sub> od. 2<sub>b</sub> der Abb. 9 vor und es wird mit zunehmender Stückgrösse das Lücken Volumen grösser werden, d.h. das Schüttgewicht wird abnehmen. Dies geht eindeutig aus folgenden von Killing<sup>1)</sup> mitgetheilten Schüttgewichtszahlen der einzelnen Körnungen von Koks Hausa hervor:

Körnung	Schüttgewicht
mm	kg/m <sup>3</sup> trocken
20 - 30	466
30 - 50	444
50 - 90	434
> 90	427

Bei weiterer bzw. unsauberer Kornklassierung tritt der Fall 3 nach Abb. 9 ein. Das kleinere und kleinste Korn wird die Zwischenräume der grösseren Körner verlegen, womit das Lücken Volumen geringer und das Schüttgewicht höher wird.

Der Nässegehalt des Kokes kann durch die Feuchtigkeitsbestimmung angeschaltet werden. Die Probenahme eines Kokes mit hohem Wassergehalt begegnet aber nun bekanntlich zur Wasserbestimmung gewissen Schwierigkeiten. Daher muss Sorge getragen werden, dass der Koks vorsichtig abgelöscht wird, so dass er möglichst wenig Wasser enthält. Wird ausserdem noch eine genügend grosse Probe (mindestens 7/8 des Koks Gewichtes der Schüttgewichtsbestimmung) zur Wasserbestimmung genommen, so wird die Fehlergränze durch die Probenahme für die Feuchtigkeitsermittlung klein und beeinflusst kaum noch die Genauigkeit der Schüttgewichtsbestimmung. Um die Stücklichte verschiedener Kokes miteinander zu vergleichen, muss der Faktor Stückgrösse weitgehendst angeschaltet werden. Man geht hierbei so vor, dass man das Gewicht des Kokes

1) A. Killing: Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Hochofenkoks

St. u. E. 1931, S. 902.

*H. H. Kuster: Mittheilung über Bestimmung des Nässegehaltes von Hochofenkoks*  
H. u. E. 1934, 7. 142/48.

in möglichst eng kalibrierter Korngrösse, z. B. 100/80, oder 80/60 mm feststellt.

Eine Errechnung des Schüttgewichtes aus physikalischen Grundsätzen ist nicht möglich. Das Schüttgewicht muss vielmehr jeweils durch einen Schüttversuch festgestellt werden. Ein solcher Versuch ermöglicht die Ermittlung des Schüttgewichtes unter bestimmten festgelegten Bedingungen, bei denen Schwankungen zwischen mehreren Einzelversuchen innerhalb betriebstauglich genügender Grenzen bleiben sollen. Die dabei erhaltenen Werte können mit den Betriebsschüttgewichten nicht grundsätzlich gleichgesetzt werden, da die Schüttbedingungen, die auf die Dichte der Lagerung einwirken zu verschiedenartig sind. Man erhält jedoch Anhaltswerte, die zu den Betriebszahlen in einem bestimmten Verhältnis stehen. Um vergleichbare Ergebnisse mit den Feststellungen anderer Werke zu erhalten, ist die Ausarbeitung eines Einheitsverfahrens für die Ermittlung des Schüttgewichtes von Koks unbedingt erforderlich.

Der Einfluss des Messgefässes auf die Höhe des Schüttgewichtes wird aus folgenden auf Grund theoretischer Überlegungen und Berechnungen aufgestellten Hinweise klar:

Es sei eine Schüttung aus kugelförmigen Stoffen von gleicher Grösse und der tetraedrischen Lagerung (Abb. 9) betrachtet. Während eine Kugel den  $\frac{\pi}{6}$  - 0,52sten Teil des die umgebenden Würfels ausfüllt, beträgt das Verhältnis des ausgefüllten Raumes zum Gesamttraum unabhängig von der Korngrösse in Innern der Schüttung  $\frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 74\%$ , am Boden des würfelförmigen Gefässes  $\frac{\pi}{3\sqrt{3}} = 60\%$ .

An den Seitenwänden des Gefässes

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{12} \sqrt{\frac{3}{2}} = 31\% \\ \frac{\pi}{6\sqrt{2}} = 37\% \end{array} \right\} \text{ oder Mittelwert von } 34\%$$

In Innern der Schüttung beträgt demnach bei Kugeln von gleichmässiger Korngrösse und bei der gewählten Lagerung unabhängig von der Korngrösse das Höhenvolumen 26%, am Boden des Gefässes 40% und an den seitlichen Gefässwänden 66%. Bei der Auswahl des Gefässes ist diesem Umstand weitgehend Rechnung zu tragen. Das ermittelte Schüttgewicht wird bei gegebenem Koks umso niedriger liegen, je grösser das Verhältnis der Berührungsfäche der Gefässwandung zum Gesamthalt des Gefässes ist. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet ergibt nach dem Kugelgefäss das würfelförmige Gefäss die kleinste mögliche Berührungsfäche für ein gegebenes Volumen.

Ein anderer Faktor, der besondere Berücksichtigung verlangt, ist die Einreibung der Oberfläche der Schüttung. Diese erfolgt am verteilhaftesten darauf, dass die Anzahl Kokertüpfel, welche aus dem Behälter herausragen, etwa gleich gross derjenigen ist, welche unterhalb des Ebenenspiegels des Gefässes liegen.



Über die Verfahren zur Ermittlung des Schüttgewichtes von Koks liegen in der Literatur nur spärliche Angaben vor. Hünser und Bestehorn<sup>1.)</sup> stellten das Schüttgewicht des Kokses mit einem Kasten von etwa  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$  Inhalt fest unter Verwendung einer eng klassierten Stückgröße von 70/90 mm. Die von ihnen an einer Reihe Versuchskohle aus Ruhrkohlen mit 19 - 27 % Zl. Best. erhaltenen Schüttgewichtes schwankten von 400 - 456 kg/m<sup>3</sup>. Killing<sup>2.)</sup> benutzte zur Feststellung des Schüttgewichtes von Koks anfänglich ein Gefäß von 1 m<sup>3</sup> Inhalt, ging dann aber wegen der grossen Gewichtsstreuung vergleichsweise zu einem Eisenbahnwagen von 38 m<sup>3</sup> Inhalt über und fand, obwohl der Wagen zur Schonung des Kokses mit einer verstellbaren Rutsche beladen wurde, dass das in dem 1 m<sup>3</sup>-Gefässe festgestellte Schüttgewicht um etwa 3 % geringer war. Aber auch bei Verwendung des Eisenbahnwagens streute anfänglich das Schüttgewicht stark, was darauf zurückzuführen war, dass die Stöckigkeit des Kokses an den verschiedenen Entnahmestellen des Koksbunkers, aus dem der Eisenbahnwagen unter Vermittlung von Sieborganen gefüllt wurde, ungleich war. Erst als dieser nicht sehr grosse Unterschied in der Stückgröße erkannt und darauf geachtet wurde, dass an jeder Rutsche die gleiche Menge abließ, wurde auch eine gute Übereinstimmung des Schüttgewichtes gleichen Kokses in Eisenbahnwagen festgestellt.

Für die Schüttgewichtsbestimmung von Kohlen als Kennzahl für deren Fällung von Entgasungskümen wurde von einem Ausschuss des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern<sup>3.)</sup> durch zahlreiche vergleichende Untersuchungen das nachfolgende Einheitsverfahren ausgearbeitet:

Eine  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$  Würfelkiste von 794 mm innerer Kantenlänge mit geeigneten Handgriffen versehen, wird zunächst leer gewogen und in der Weise mit der Versuchskohle gefüllt, dass die Schaufel dicht über dem Kistenrand oder auf diesem leicht aufliegend gekippt wird. Der Brennstoff soll also wieder geworfen noch gerüttelt werden. Die so gekippt gefüllte Kiste wird mit einer Holzlatte glatt gestrichen. Wenn die Kohle nachden noch absackt, z.B. beim Aufsetzen auf die Waage, wird nicht nachgefüllt, sondern nur diese ursprünglich  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ -Menge gewogen. Dieses „Kistenschüttgewicht“ hat, ohne durch persönliche Einflüsse gestört zu werden, durchweg eine Übereinstimmung bei derselben Kohle ergeben von  $\pm 1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  %, war also betriebmäßig genau genug bestimmbar.

- 1.) Hünser und Bestehorn: Versuche über die Verbräunlichkeit und Festigkeit von Hüttenkohle in grösseren Künungen.  
Ber. d. Ges. f. Kahlentechnik M. 1 (1926)  
S. 349 und 355.
- 2.) A. Killing: Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Hochofenkohle. St. u. Z. 1931, S. 905
- 3.) Gas- u. Wasserfach 1935, S. 107.

Andere Bestimmungsformen des Kistenschüttgewichts gaben viel höhere Schusskungen.

In England ist allgemein vorgeschlagen worden, zur Schüttgewichtsbestimmung den nach Durchführung der Sturprobe entfallenden Koks zu nehmen, da hiermit die Verhältnisse, wie sie durch die Behandlung und Verladung des Kokses bis in den Hochofen bedingt sind, weitgehend nachgeahmt werden. Das Northern Coke Research Committee<sup>2)</sup> hat eine Reihe Vergleichsversuche mit einem würfelförmigen und einem zylindrischen Gefäß von je 56,6 l. Inhalt durchgeführt. Das Ergebnis dieser an verschiedenen typischen Koksarten vorgenommenen Versuchsreihe ist in der Zahlentafel 27 zusammengestellt. Man erkennt, dass das zylindrische Gefäß Schüttgewichtswerte ergibt, die durchweg etwas höher liegen (im Mittel um etwa  $8 \text{ kg/m}^3$ ) als die in würfelförmigen Gefäßen ermittelten Zahlen. Dies ist ohne weiteres durch das geringere Hohlraumvolumen an der Wandung des zylindrischen Gefäßes zu erklären. Ergebnisse über die Wiederholbarkeit von Einzelbestimmungen sind in der Veröffentlichung nicht aufgeführt. Auf Grund dieser Ergebnisse empfiehlt das Northern Coke Research Committee die Verwendung eines würfelförmigen Gefäßes von 384 mm innerer Kantenlänge und eines Inhaltes von 56,6 Liter. Der dem Shatter Test unterworfenen Koks (große und kleine Stücke sowie auch der Kokskraut) wird ungesondert in das Gefäß geschüttet bis genau zum oberen Rand desselben, wobei Sorge getragen wird, dass jede übermäßige Höhe an der Oberflache vermieden wird; dies allerdings ohne jedwedes besonderes Mitteln oder Umpacken des Kokses. Der Inhalt des Gefäßes wird hierauf gewogen. Wiederholungsversuche sollen ergeben haben, dass die Einzelwerte innerhalb  $16 \text{ kg/m}^3$  oder annähernd 3 % übereinstimmen. Diese in Anbetracht der rasen Messung verhältnismäßig noch zufriedenstellende Übereinstimmung ist nur durch die Verwendung des infolge der vorübergehenden Stursbehandlung eingetretenen starken Verminderung der Stückgröße des Kokses zu erklären.

Das Midland Coke Research Committee<sup>2.)</sup> hat bei früheren Versuchen ein würfelförmiges Gefäß von 305 mm innerer Kantenlänge benutzt und von dem 22,68 kg Koks des Shatter Testes, 11,34 kg der gegenüberliegenden Viertel der Probe für die Schüttgewichtsbestimmung verwandt. Später ist dann das Midland Coke Research Committee hauptsächlich im Hinblick auf Vergleichsversuche mit den übrigen englischen Koksuntersuchungsstationen dazu übergegangen,

1.) W.F.L. Brumbalts, G.M. Hays u. E.V.A. Briscoe: The Correlation of the Physical and Chemical Properties of Cokes, with their Value in Metallurgical Processes. Final in Science and Practice 1929, S. 418.

2.) R.A. Mott u. E.V. Wheeler: Coke for Blast Furnaces. London 1930, S. 70/71.

die Gesamtmenge des Kokses nach dem Shatter Test ungesondert in ein würfelförmiges Gefäß zu schütten, welches dann mehrere Male gerüttelt wurde, Das Volumen des Kokses wurde an den in Innern des Gefäßes angebrachten Kalibrierungen abgelesen. Bei Parallelversuchen unter Verwendung eines Würfelgefäßes mit 305 mm und eines solchen mit 914 mm innerer Kantenlänge ergab sich, dass die Unterschiede in den Werten nicht erheblich genug waren, den weit größeren Arbeitsaufwand bei dem grösseren Gefäß zu rechtfertigen, obwohl die Verwendung des Letzteren zweifellos zu genaueren Werten als die schließlich gewählte Verfahrensart mit dem wesentlich kleineren Gefäß von 305 mm Kantenlänge geführt hätte.

Wolf<sup>2)</sup> macht darauf aufmerksam, dass bei der von ihm eingeführten Kokskarriepferrichtung eine gleichzeitige Bestimmung des Kokschüttgewichtes möglich ist, da bei der Drückkarriestimmung jedesmal ein genau gleicher Rauminhalt von  $\frac{1}{3} \text{ m}^3$  an Koks abgemessen wird.

In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, dass man im Hochofenbetrieb, soweit dort Schüttgewichte von Koks überhaupt ermittelt und verfolgt werden, die Bestimmung derselben entweder durch Abwiegen von Eisenbahnwagen oder durch Feststellung des Durchschnittsgewichtes einer Reihe vorher leer tarierter und dann gefüllter Hängebahnwagen bzw. Gichtkibel erfolgt.

Um diese aus Literatur und z.T. auch Betrieb herausgegriffenen Unterlagen einer kritischen Betrachtung zu unterziehen, ist es zunächst erforderlich, die in den verschiedenen Verschlüssen gewählten Messgefässe auf das Verhältnis der Berührungsfleche der Gefässwandung zum Gesamthalt des Kokses zu überprüfen. In der Zahlentafel 28 ist das Verhältnis Berührungsfleche Gesamthalt einer Reihe Gefässe zusammengestellt. Da der Koks beim Einfüllen in das Gefäss insbesondere beim Auffallen auf den Boden desselben etwas gebrochen wird, wird eigentlich infolge dieser Stückgrößenverminderung an der Bodenfläche des Gefässes ein geringeres Koksavolumen entstehen, so dass in Grunde genommen nur das Innenavolumen der Vertikalfläche in Betracht zu ziehen ist. Daher ist in der Zahlentafel noch das Verhältnis Vertikalfläche eingetragen Gesamthalt werden. Ein anderer zu grösseren Fehler Anlass gebender Faktor ist die Oberfläche der Schüttung. Hierfür ist das Verhältnis Oberfläche mesgebend und Gesamthalt desgleichen in der Zahlentafel verzeichnet werden.

Aus den eingetragenen Zahlen erkennt man, dass zweifelsohne der Eisenbahnwagen die niedrigsten Verhältniswerte ergibt und daher von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet Schüttgewichtswerte liefern könnte, die dem Schüttgewicht in Innern der Kokschüttung am nächsten kommen. Dagegenüber weist aber die Schüttgewichtsbestimmung mittels Eisenbahnwagen in anderer

x) Wolf : St. u. Z. 1928, S. 33.

Hinsicht wiederum einige schwerwiegende Nachteile auf. So wird nicht in allen Anlagen der Koks zwecks Beförderung zum Hochofenbetrieb in Eisenbahnwagen verladen. Bei vielen Anlagen, insbesondere den dem Hüttenwerk direkt angeschlossenen Kokereien erfolgt die Beförderung des Kokses in der Regel mittels Kibel bzw. Hängebahnwagen. In diesen Fällen würde die Beladung eines Eisenbahnwagens zum alleinigen Zweck der Schüttgewichtsbestimmung einen sehr erheblichen Arbeitsaufwand bedeuten. Zudem kann, wie bereits Killing festgestellt hat, das Ergebnis der Schüttgewichtsbestimmung durch die Art und Weise der Beladung sehr stark beeinflusst werden. Erfolgt die Beladung derart, dass eine Absonderung des Kokses nach Stückgrösse eintritt, so wird im allgemeinen ein so niedriges Schüttgewicht erhalten. Dieser Fall tritt ein, wenn sich beim Beladen ein oder mehrere Schüttkegel bilden, wobei dann das feinere Korn unter der Auslaufröffnung an der Spitze des Kegels liegen bleibt, während das gröbere Korn gegen die Wände des Eisenbahnwagens nach weiter rollt, je größer es ist. Wird hingegen die Beladung so vorgenommen, dass keine Absonderung nach Stückgrösse eintreten kann, indem man den Koks ohne Schüttkegelbildung gleichmässig auf die gesamte Beladefläche in den Wagen einfüllen lässt z.B. durch langsame Befüllung bei fortschreitender Hin- und Herbewegung des Wagens bzw. der Aufgabevorrichtung, so wird ein höheres Schüttgewicht erhalten, da das kleinere Korn sich in die Zwischenräume des grösseren verlegt und ausserdem durch den höheren Fall eine stärkere Verminderung der Stückgrösse eintritt. Die letztere Beladungsart wird sogar an einigen Stellen zur Erzielung eines höheren Beladegewichtes ausgenutzt, wobei Letzteres bis zu etwa 8 - 10% gesteigert wird.

Bei der in England gebräuchlichen Verfahrensart zur Schüttgewichtsbestimmung den nach der Sturprobe behandelten Koks zu verwenden, wird das Ergebnis durch die Stückfestigkeit des Kokses ausserordentlich stark beeinflusst, dass der wichtige Faktor der Stückgröße des Kokses zu sehr in den Hintergrund gedrängt wird und damit als solcher nicht mehr scharf genug in Erscheinung treten kann. Ausserdem sind die verwendeten Gefässe zu klein, um genaue und gut wiederholbare Werte zu gewährleisten.

Der von Welf gemachte Vorschlag ergibt viel zu niedrige Schüttgewichte, da bei dem benutzten Gefäss insbesondere das Verhältnis Vertikalfäche zu Querschnitt zu gross ist.

Die grosse Gewichtsstromung, welche Killing bei Verwendung eines Gefässes von 1 m<sup>3</sup> Inhalt feststellte, mag wohl darauf zurückzuführen sein, dass bei dem Einzelversuchen die Körnung des Kokses nicht gleichmässig genug war und dass zu geringe Sorgfalt auf wiederholbare Einmessung der Schüttungsfläche gelegt wurde. Sehr bemerkenswert erscheint hingegen die von Hünser und Basteborn gewählte Verfahrensart, bei der durch die Benutzung

eines Gefäßes von  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$  Inhalt der Arbeitsaufwand auf das geringst mögliche Mass herabgesetzt wird, und durch die Verwendung einer sehr eng klassierten Stückgröße des Kokses die Körnungsschwankungen gänzlich ausgeschaltet werden. Hierdurch wird zweifelsohne eine bessere Wiederholbarkeit der Einzelwerte erzielt; ausserdem tritt hierbei der wichtige Faktor Stückichte stark in den Vordergrund, was zur Beurteilung des Kokses nur von Vorteil sein kann.

Um die Frage der Schüttgewichtsbestimmung noch weiter zu klären, wurden Untersuchungen über den Einfluss der Gefäßgröße, der Stückgröße des Kokses und die Wiederholbarkeit der Einzelwerte bei verschiedener Gefäßgröße vorgenommen.

Die Ergebnisse vergleichender Versuche mit einem  $2 \text{ m}^3$  - Hängebahnwagen (Abmessungen siehe Abb. 1) und würfelförmigen Holzgefässen von  $1 \text{ m}^3$ ,  $0,5 \text{ m}^3$  und  $0,125 \text{ m}^3$  Inhalt sind in Zahlentafel 29 zusammengestellt. Man erkennt, dass die in dem  $2 \text{ m}^3$  - Hängebahnwagen und in dem  $0,125 \text{ m}^3$  - Gefäß ermittelten Schüttgewichte durchweg niedriger liegen als bei Verwendung der Gefässe mit  $1 \text{ m}^3$  und  $0,5 \text{ m}^3$  - Inhalt, deren Werte sich auf praktisch gleicher Höhe bewegen. Der niedrigere bei dem Hängebahnwagen ermittelte Wert muss oben als Folge des trapezförmigen Querschnittes desselben (siehe Abb. 10) aufgefasst werden. Bei dem Gefäß mit  $0,125 \text{ m}^3$  ist der hohe Wert des Verhältnisses Vertikalfläche für das niedrigere Schüttgewicht verantwortlich zu machen. Gesamtinhalt

Die Ergebnisse über die Versuche zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der Einzelwerte bei Verwendung von Gefässen verschiedenem Inhalts sind aus der Zahlentafel 30 zu entnehmen. Bei diesen Versuchsreihen wurde darauf geachtet, dass die Stückgröße des Kokses für jede Versuchsreihe annähernd die gleiche war und dass die Anzahl Koksstücke, welche über den Hohenpiegel des Gefässes hinausragten etwa gleich gross derjenigen waren, die unterhalb dieses Hohenpiegels lagen. Aus dem Zahlennaterial ist zu ersehen, dass bei Verwendung der Gefässe von  $2 \text{ m}^3$  und  $1 \text{ m}^3$  - Inhalt der Unterschied zwischen Höchst- und dem Mindestwert 8 - 9 kg beträgt, entsprechend einer Abweichung vom Durchschnittswert von rd.  $\pm 1 \%$ . Die günstigste Wiederholbarkeit der Schüttgewichtswerte wurde mit dem  $0,5 \text{ m}^3$  - Gefäß erzielt, bei dem zwischen dem Höchst- und dem Mindestwert ein Unterschied von nur 4 kg oder  $\pm \frac{1}{2} \%$  Abweichung vom Durchschnittswert festzustellen ist. Der Kasten von  $0,125 \text{ m}^3$  - Inhalt ergab hingegen 26 kg Unterschied zwischen Höchst- und Mindestwert, entsprechend Schwankungen von etwa  $\pm 3 \%$  des Mittelwertes.

In der Zahlentafel 30 ist gleichzeitig noch das Ergebnis einer Versuchsreihe eingetragen, bei der darauf geachtet wurde, dass beim Einfüllen kein Koksstück über den Hohenpiegel des Gefässes herausragte. Das hierbei an der Oberfläche der Schüttung gebildete Koksvolumen wurde durch ein be-

stimmtes Gewicht Koksstücke 40/60 mm ausgefüllt, dessen Volumen bei der Schüttgewichtserrechnung entsprechend berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass diese Verfahrensart keine bessere Wiederholbarkeit der Einzelwerte zur Folge hatte, weshalb von einer Weiterverfolgung Abstand genommen wurde.

Als zusammenfassendes Ergebnis der Versuche über die Wiederholbarkeit aufeinanderfolgender Einzelschüttgewichtsermittlungen in Gefässen verschiedenen Inhalts sei festgehalten, dass das 0,5 m<sup>3</sup> Würfelgefäß infolge leichterer Übersichtlichkeit des Einmessungsverfahrens an der Oberfläche der Schüttung, die beste Übereinstimmung der Einzelwerte ergibt. Hiernach würde sich der weit höhere Arbeitsaufwand, der durch die vielfach empfohlene Verwendung eines größeren Messgefäßes entsteht, erübrigen.

Bei der grossen Anzahl Messungen, welche zur Klärung der Schüttgewichtsfrage durchgeführt wurden, hat sich immer wieder herausgestellt, dass der Faktor Stückgrösse des Kokes von allergrösster Bedeutung sowohl für die absolute Höhe wie auch die Wiederholbarkeit der Einzelwerte des Schüttgewichtes ist. Dies soll durch die in den folgenden Zahlentafeln 31 u. 32 zusammengestellten Ergebnisse veranschaulicht werden. In der Zahlentafel 31 sind Schüttgewichte einer Reihe Kokes verschiedener u. eng klassierter Stückgrösse eingetragen. Man erkennt, dass sich das Schüttgewicht mit abnehmender Stückgrösse des Kokes nach höheren Werten verschiebt. Die Schüttgewichte von Kokes gleicher und eng begrenzter Stückgrösse gestatten einen Vergleich der einzelnen Kokes untereinander, indem sie einen relativen Massstab für die durch das Gefüge bedingte Stückdichte der einzelnen Koke abgeben. So ist aus den Schüttgewichtswerten der Kernklasse 80/60 mm zu ersehen, dass der im Schüttbetrieb erzeugte Saarkoks EB etwas leichter als der Saarstampekoks RV ist. Hingegen ist der Saarstampekoks RA schon erheblich schwerer. Der sehr stückfeste Ruhrkoks liegt in der Stückdichte auf etwa gleicher Höhe als der erheblich weniger stückfeste Saarstampekoks RV.

In praktischen Betrieb erfolgt bekanntlich die Klassierung des Kokes in der Hauptsache zu dem Zweck der Entfernung der feinsten und feineren Stückgrössen. Daher hat man hier in der Regel mit Kokes grösseren Kerngrössenbereichen zu tun, in denen die Anteile der einzelnen Stückgrössen je nach den kokungstechnischen Bedingungen, der Stückfestigkeit des Kokes und der angewandten Klassierungsverfahrensart sehr starken Veränderungen unterworfen sind. Dieser Tatsache wäre bei Austausch von Schüttgewichtswerten innerhalb verschiedener Werte weitgehend Rechnung zu tragen, da mit diesen Kerngrössenbeziehungen eine nicht zu vernachlässigende Beeinflussung des Schüttgewichtes verbunden ist. Dies geht insbesondere aus dem in der nachfolgenden Zahlentafel 32 eingetragenen Ergebnisse klar hervor. Der Ruhrkoks mit der Fremdfestigkeit von 87 über 40 mm ergibt infolge seiner günstigen

Stückgrößenkennsiffer von 82 ein Schüttgewicht von nur  $455 \text{ kg/m}^3$  und liegt damit um  $12 \text{ kg/m}^3$  niedriger als das Schüttgewicht der eng klassierten Korngröße 80/60 mm desselben Kokes. Der Saartampfkoks RA mit der schlechten Stückgrößenkennsiffer von 12 weist mit  $490 \text{ kg/m}^3$  ein um  $15 \text{ kg/m}^3$  höheres Schüttgewicht als das der Kornklasse 80/60 mm desselben Kokes auf. Beim Saartampfkoks RV liegt das Schüttgewicht des gut klassierten grobstückigeren Kokes aus der Brandmitte um  $12 \text{ kg/m}^3$  niedriger als dasjenige der Kornklasse 80/60 mm. Der kleinstückigere und splitttrigere Schlenkoks KV mit der Stückgrößenkennsiffer 48 weist hingegen ein um  $15 \text{ kg/m}^3$  höheres Schüttgewicht auf als das der Kornklasse 80/60 mm des gleichen Kokes. Der Saarschüttkoks EB ergibt verhältnismäßig grosse Unterschiede in Schüttgewicht, je nach der Stückgrößenkennsiffer, welche bei der Probenahme direkt von der Rampe weit schlechter als bei der Probenahme nach dem Rollenrost ist.

Diese Beispiele mögen wohl genügen, um zu beweisen, dass eine für Vergleichszwecke innerhalb verschiedener Werke brauchbare Schüttgewichtsermittlung stets die gleiche Korngrössenzusammensetzung voraussetzt. Da aber die Hochofenkokes verschiedener Werke nie gleiche Korngrössenzusammensetzung aufweisen, wird vorgeschlagen, das Schüttgewicht stets an einer möglichst eng klassierten Stückgröße des Kokes zu bestimmen. Mit Hinblick darauf, dass die Kornklasse 80/60 mm in nur verhältnismäßig geringen Prozentanteilen in guten Hochofenkokes zugegen ist, soll die Stückgröße 100/80 mm für die Schüttgewichtsbestimmung herangesetzt werden, wem gleichzeitig die Genauigkeit und Wiederholbarkeit des Versuchs verbessert werden. Wichtig ist, dass der Koks stets in seiner natürlichen Stückgröße zur Prüfung gelangt. Ein Zerkleinern des Kokes zum Zweck der Gewinnung einer Kornklasse niedriger Größe für die Prüfung ist nicht angebracht, da der Koks hierdurch in seiner Gesteinstruktur wiederum Veränderungen erfährt, die eine Beeinflussung des Schüttgewichtes zur Folge haben könnten.

Wegen des Einfüllens des Kokes in das Prüfgefäß sei noch erwähnt, dass es nicht angebracht ist, den Koks in grossen Mengen gleichzeitig und unter heftigen Fall in das Versuchsgefäß einzufüllen. Hierdurch entsteht besonders am Boden des Gefässes zu viel Kleinkoks und als Folge davon wird ein zu hohes Schüttgewicht ermittelt. Der Koks soll vielmehr in kleineren Mengen mittels Gabel in das Gefäß eingefüllt werden, wobei die Gabel dicht über dem Gefässrand oder auf diesem leicht aufliegend gekippt wird.

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Untersuchungsergebnisse und Betrachtungen ist in der Abb. 11 ein Normentwurf über die Bestimmung des Schüttgewichtes von Hochofenkokes aufgestellt, das hiermit zur Diskussion gestellt wird.

Aufstellung einer Kennziffer zur Bewertung der physikalischen Beschaffenheit von Hochofenkoks.

Die Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit des Hochofenkokes in Form einer verschiedenen physikalischen Kenngrößen umfassenden Kennziffer ist seit langen besonders in Frankreich und Amerika üblich. So wurden vor bereits 20 Jahren auf den Reubacher Hüttenwerken die bei der Trommelprobe erhaltenen Werte in Form einer Kennziffer ausgedrückt. Wie aus der Übersicht Abb. 7 zu entnehmen ist, hatte man dort eine Trommel, deren Wand aus in Abständen von 25 mm angebrachten Rundisenstößen von 25-mm  $\phi$  gebildet war. Der Trommelversuch wurde mit 50 kg Koks bei 32 Uml./Min. 5 Minuten lang durchgeführt. Der getrommelte Koks wurde nach seiner Stückgröße gewertet, wobei folgende Abstufung zu Grunde lag:

Stückgröße über 80 mm	Wert des Kokes im Hochofen	=	100 %
80 - 40 mm	" " " " " "	=	90 %
unter 40 mm	" " " " " "	=	60 %
Kleinkoks	" " " " " "	=	20 %

Beseichnet man mit  $p$  das Gewicht des Kokes, welches in der Trommel verblieben ist, mit  $50 - p$  die Kleinkoksmenge, welche durch die Stöße gefallen ist, so errechnet sich die Festigkeitswertzahl eines Kokes mit hoher Stückfestigkeit, der sich im Hochofen besonders gut bewährt hat und als Standardkoks betrachtet wird, wie folgt:

$$T = \frac{80 p + (50 - p) 20}{50} \quad \text{in \% ausgedrückt.}$$

Hierbei ist für die Koksmenge  $p$ , welche in der Trommel verblieben ist, auf Grund der Siebanalyse einen Wert im Hochofen von 80 % eingesetzt worden. Die durch die Stöße gefallene Koksmenge  $50 - p$ , deren größter Teil aus feinem Kokklein besteht, wurde mit 20 % bewertet.

Für einen Saarkoks mit geringerer Stückfestigkeit ergibt die Koksmenge  $p'$ , welche in Innern der Trommel verblieben ist nach Anwendung der Bewertung auf Grund der Siebanalyse nur einen Wert von 75 % für den Hochofen. Hingegen besteht das Gewicht  $50 - p'$  des Kokes, welcher durch die Stöße gefallen ist, aus stückigerem Kleinkoks und muss infolgedessen höher als beim Standardkoks bewertet werden. Sein Wert wird mit 40 % für den Hochofen eingesetzt. Hiernach beträgt die Festigkeitswertzahl für den in Betracht gezogenen Saarkoks

$$T = \frac{75 p' + 40 (50 - p')}{50} \quad \text{in \% ausgedrückt.}$$

Das Verhältnis

$$\frac{75 p' + 40 (50 - p')}{80 p + 20 (50 - p)} = \frac{7 p' + 400}{12 p + 200}$$

gibt bezüglich der Stückfestigkeit den relativen Wert des Saarkokes zu dem Standardkoks.



Bei Verarbeitung von nur Saarkoks an den Hochöfen konnte an Hand dieses relativen Wertes, ausser den durch die Ergebnisse der chemischen Analyse bewirkten Korrekturen, die Erhöhung des Koksesatzes gegenüber dem Standardkoks vorausbestimmt werden. Mit dem in Betracht gezogenen Saarkoks ergab sich für das Verhältnis  $\frac{7 p' + 400}{12 p + 200}$  ein Wert von 0,86, d.h. die relative

Stückfestigkeit des Saarkokes betrug 86 %, entsprechend einer Entwertung gegenüber dem Standardkoks von 14 %. Wurden andererseits die Hochöfen je zur Hälfte mit Saarkoks und mit Standardkoks betrieben, so konnte mit der Hälfte des Entwertungskoeffizienten gerechnet werden, d.h. mit 7 %. Der gesamte dem Hochofen aufzugebene Koks hatte also hiernach eine Stückfestigkeitsziffer von 93 %. Beträgt die durch die Ergebnisse der chemischen Analyse gegenüber dem Standardkoks hervorgerufene Entwertung 10 %, so ist der gegichtete Koks chemisch mit 90 % zu bewerten.

Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der physikalischen Entwertung beträgt der endgültige Wert des Versuchskokes

$$0,93 \times 0,90 = 0,837 \text{ oder}$$

83,7 % des Standardkokes.

Eine wesentlich verwickeltere Berechnungsart einer aus den Trommelwerten zusammengesetzte Kennziffer wurde von Curran auf der St. Louis Coke and Iron Corporation in Jahre 1922 eingeführt. Wie aus der Übersicht Abb. 7 zu entnehmen ist, benutzte Curran eine Trommel von 1 850 mm  $\phi$  und 813 mm Länge, deren Wand aus perforiertem Blech mit 38 mm Rundlochung bestand. Der Einsatz der Trommel betrug 90 kg, die Drehzahl 10 Uml./Min. und die Versuchsdauer 10 Minuten. Bei dem Versuch wurden folgende Werte ermittelt:

Das Gewicht T des eingefüllten Kokses

Das Gewicht R des in der Trommel verbliebenen Kokses

Das Gewicht D des durch die Rundlöcher gefallenen Kokses.

Auf Grund dieser Daten und der Siebrückstände über 50, 38, 25 und 12,5 mm des getrommelten Kokses wurden folgende Formeln aufgestellt:

$$\text{Festigkeit} = \frac{\text{Über } 50 \text{ mm}}{R} + \frac{\text{Über } 50 \text{ mm} \times \text{Über } 38 \text{ mm}}{\text{Über } 38 \text{ mm} \times \text{Über } 25 \text{ mm}} + \frac{R}{T} + \frac{\text{Über } 38 \text{ mm} \times \text{Über } 25 \text{ mm}}{D \times T}$$

$$\text{Kohshärte} = R - \frac{\text{Unter } 50 \text{ mm}}{T} - \frac{\text{Unter } 25 \text{ mm} \times D}{T^2}$$

$$\text{Koksplittrigkeit} = D \frac{\text{Unter } 12,5 \text{ mm}}{T}$$

$$\text{Kokwertzahl} = \frac{\text{Festigkeit}}{\text{Härte}} \quad \frac{\text{Splittrigkeit}}{\text{Kinnage}}$$

Diese Wertzahl, welche Curran während eines Zeitraumes von 5 Jahren mit Erfolg benutzte, wurde dann zuerst in Verbindung mit der Curran Trommelprobe bei der By - Product Coke Corporation in St. Chicago und bei der Toledo-

Furnace Company als Standard Probe eingeführt.

Auf den Clairton Werken der Carnegie Steel Company fand Marquard die von Curran vorgeschlagene Prüf- und Berechnungsmethode derart zufriedenstellend, dass er dieselbe unter Verzicht auf die bisher vorgenommene Sturprobe und die Porositätsmessungen mit einigen Änderungen einführte.

Marquard verwandte die gleiche Trommel wie Curran, jedoch mit nur 45 kg Koksfüllung bei 13 Uml./Min. und bei nur 4 Min. Versuchsdauer. Der in der Trommel zurückgebliebene Koks wird auf einem 50 mm-Sieb und der durch die Löcher hindurchgefallene Koks auf einem 25 mm- und 12,5 mm-Sieb abgeseigt. Folgende Daten werden ermittelt:

- A = Gewicht des in der Trommel verbliebenen Kokses über 50 mm
- B = Gewicht des in der Trommel verbliebenen Kokses unter 50 mm
- C = Gewicht des durch die Löcher gefallenen Kokses über 25 mm
- D = Gewicht des durch die Löcher gefallenen Kokses über 12,5 mm
- E = Gewicht des durch die Löcher gefallenen Kokses unter 12,5 mm
- F = Staubverlust
- G = Gesamt in der Trommel verbliebener Koks (A + B)
- H = Koks unter 25 mm, welcher durch die Löcher gefallen ist (D + E + F)
- K = Gesamt durch die Löcher gefallener Koks (100 - G)

Auf Grund dieser Daten würden folgende Formeln aufgestellt:

$$\text{Festigkeit} = \frac{100 \times A \times B}{C \times G} + G + \frac{C^2}{K}$$

$$\text{Härte} = 100 - H$$

$$\text{Splitttrigkeit} = C + B$$

$$\text{Kokswertzahl} = \frac{\text{Festigkeit} + \text{Härte} - \text{Splitttrigkeit} \times (100 - \text{Asche})}{100}$$

In Worten ausgedrückt stellt die Härtekennziffer von Marquard eine Funktion des nach dem Trommelversuch auf dem 25 mm-Sieb verbliebenen prozentualen Koksanteiles dar, während die Härtezah von Curran hierzu die auf dem 50 mm-Sieb verbliebenen prozentualen Koksanteile heranzieht. Die Splitttrigkeit wird in beiden Fällen durch die Mengen an gebildetem Koks von 38 - 12,5 mm ausgedrückt. Die Formeln für die Festigkeit sind schwieriger in Worten zu deuten. Sie sind aber zusammenfassend als Funktion des auf dem 50 mm-, 38 mm- und 25 mm-Sieben nach der Trommelung verbliebenen Koksanteils, wobei entsprechend dem verschiedenen Wert in Hochöfen die größeren Körnungen höher als die feineren Korngößen bewertet werden.

Soweit aus der Literatur zu entnehmen ist, hat man mit diesen lediglich die Trommelwerte umfassenden Kokswertziffern sehr gute Erfahrungen in den amerikanischen Hochofenanlagen gemacht. Andererseits sind aber die gewöhnlichen Berechnungsarten nicht besonders einfach; zudem ist die Wertzahl lediglich nur auf den Trommelwerten aufgebaut, während die innerlich sehr wichtigen Fab-

terem der Korngrössenzusammensetzung und der Stückdicke gänzlich ausser Betracht gelassen wurden.

Einen wesentlichen Fortschritt brachte daher der Thibaut'sche Vorschlag, dessen Formel wie folgt lautet:

$$T = 40 + 20 - 10 - 200 d$$

Hierbei bedeutet :

40 = Prozentsatz über 40 mm des getrommelten Kokses

20 = " " " 20 mm " " " "

10 = Prozentsatz 0 - 10 mm des getrommelten Kokses

d = Schüttgewicht in  $\frac{t}{m^3}$  auf Troackokk bezogen

200 = Zahlenfaktor.

In dieser Formel wird die Kornklasse über 40 mm doppelt und die Stückgrösse 40 - 20 mm einfach gewertet. Der Prozentsatz 0 - 10 mm, der sich im Hochofen nachteilig auswirkt und einen wirtschaftlichen Verlust darstellt, ist daher mit negativem Vorzeichen eingesetzt. Da sich die Koksbeschaffenheit im umgekehrten Sinne zum Schüttgewicht verbessert, ist letzteres mit negativem Vorzeichen versehen. Entsprechend seiner grossen praktischen Wichtigkeit ist das Schüttgewicht mit einem hohen Zahlenfaktor multipliziert.

Die Thibaut'sche Formel, welche insbesondere wegen ihrer grossen Einfachheit besteht, weist nun noch folgende schwerwiegende Nachteile auf:

- 1.) Die Formel versagt bei sehr leichten Koks mit Schaumonen.  
Derartige Koks beschicken sich in Hochofen schlecht, während sich nach der Formel eine hohe physikalische Wertzahl errechnet.
- 2.) Die in den Siebrückständen über 40 mm und über 20 mm zum Ausdruck gelangende Stückfestigkeit ist zu hoch bewertet. So steht z.B. ein Saarkoks mit 65 % über 40 mm gegenüber einem Ruhrkoks mit 85 % über 40 mm bei gleichen anderen Kenngrössen, um 20 Wertpunkte niedriger, während auf Grund des vergleichenden Verhaltens beider Koks in Hochofen die Wertverminderung des in Betracht gezogenen Saarkokses bei weitem nicht so gross ist.
- 3.) Die Ermittlung des Schüttgewichtes wird am Koks mit grösseren Stückgrössenbereich, so wie er in den Hochofen gelangt, vorgenommen. Infolgedessen wird der Schüttgewichtswert stark durch die Korngrössenzusammensetzung des Kokses beeinflusst. Hierdurch wird einerseits der Faktor Stückdicke zu stark verdeckt, bzw. verwischt, andererseits wird die Wiederholbarkeit der Einzelwerte der Schüttgewichtsbestimmung schlecht und damit die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt.
- 4.) Der zweifellos in Hochofen sehr wichtige Abspaltungsvorgang des Kokses ist in der Formel in zu geringem Umfange berücksichtigt. Das gleiche gilt für die durch das Koksgefüge bedingte Feinstabkühlung. Der Prozentsatz 0 - 10 mm nach dem Trommeln misst demnach mit einem etwas

höheren Zahlenfaktor versehen sein.

Nach eingehender Prüfung verschiedener diese Nachteile vermeidender Funktionen wurde die nachfolgende Umgestaltung der Thibaut'schen Formel gewählt:

$$T = \frac{1}{2} 40 + 20 - 2,10 - 300 D + \frac{2 K}{10}$$

In dieser Formel sind nachfolgende Änderungen bzw. Neuerungen enthalten:

1.) Die Stückfestigkeit ist nur halb so gross als in der Thibaut'schen Formel gewertet, wobei aber die Doppelbewertung der Korngrösse über 40 mm gegenüber derjenigen 40 - 20 mbeibehalten ist.

2.) Der Prozentatz 0 - 10 mm nach dem Trommelsatz ist in Anbetracht seiner Bedeutung wegen der Abspaltung und des Gefüges doppelt bewertet.

3.) D ist der Differenzwert aus dem Schüttgewicht der Kornklasse 100/80 mm und einem auf Grund der praktischen Erfahrung festgesetzten Grenzsüttgewicht derselben Kornklasse. Dieses Grenzsüttgewicht liegt bei 0,410 bis 0,430  $\text{t/m}^3$ , d.h. Kokes, deren Kornklasse 100/80 mm ein Schüttgewicht von 0,410 bis 0,430  $\text{t/m}^3$  aufweisen, ergeben unter sonst gleichbleibenden Werten der übrigen Korngrössen die besten Ergebnisse im Hochofen. Von der Seite des Schüttgewichtes aus betrachtet, verschlechtert sich bei Konstanthaltung der sonstigen Korngrössen das Verhalten des Kokes im Hochofen, wenn das Schüttgewicht der Kornklasse 100/80 mm sowohl unter 0,410  $\text{t/m}^3$  als auch über 0,430  $\text{t/m}^3$  liegt; dies tritt in umso stärkerem Umfang ein, je weiter die Grenzzahlen unter - bzw. überschritten werden. Die Unterschreitung der Zahl 0,410 bzw. die Überschreitung der Zahl 0,430 werden stets mit dem Plus-Vorzeichen eingesetzt. Dies sei an einem Beispiel klargestellt. Die Kornklasse 100/80 mm eines Kokes ergibt ein Schüttgewicht von 0,390  $\text{t/m}^3$ , diejenige eines anderen ein solches von 0,480  $\text{t/m}^3$ . Im ersten Fall beträgt die Differenz D 0,410 - 0,390 = 0,020  $\text{t/m}^3$ , im zweiten Fall ist der Unterschied D 0,480 - 0,430 = 0,050  $\text{t/m}^3$ .

Das Glied 300 D der Kokeswertzahlfunktion lautet demnach im ersten Fall auf 300 · 0,020 = 6, im zweiten Fall auf 300 · 0,050 = 15.

Für Kokes, bei denen das Schüttgewicht der Kornklasse 100/80 mm innerhalb 0,410 und 0,430  $\text{t/m}^3$  liegt, ist der Wert D gleich Null, damit das Glied 300 D aus der Funktion wegfällt.

Bei Kokes, die beispielsweise zu Feinkohle oder Schmelzen aufweisen und bei denen diese Unzulänglichkeit im Schüttgewicht nur sehr wenig zum Ausdruck kommt, wird der stärkere Abrieb eines solchen Kokes im Hochofen durch die höhere Bewertung des Prozentatzes 0 - 10 mm in der Formel trotzdem noch Rechnung getragen. Die schlechte Beschaffenheit

von Schmelzkekzen, ungarischen Kekzen oder sonstigen mangelhaft geschmolzenen Kekzen wird sowohl durch die mit negativen Vorzeichen versehenen Faktoren 300-D und 2.10 erfasst und tritt infolge der Summierung dieser Faktoren in der Wertzahl stärker in Erscheinung.

4.) K ist eine Stückgrößenkennziffer des Kekses, die sich aus der Siebanalyse durch die Differenz

$$\text{Stückgröße } > 80 \text{ mm} - \text{Stückgröße } < 60 \text{ mm}$$

errechnet.

Die Einführung dieses Faktors war erforderlich, da bei der Art der Schüttgewichtsermittlung der Faktor Stückgröße nahezu gänzlich ausgeschaltet war. In Anbetracht der Bedeutung der Stückgröße und der Klassierung des Kekses für sein Verhalten im Hochofen musste dieser Faktor in entsprechender Größe in die Formel aufgenommen werden.

Die Errechnung der physikalischen Kekzwertzahl sei an Hand einiger Beispiele klar gemacht.

Es sollen drei Kekse mit nachfolgenden physikalischen Kenngrößen miteinander verglichen werden.

	Rührkoks	S-a-a-r-k-e-k-s		
		Schüttkoks	Stampkoks I	Stampkoks II
Trockenwert > 40 mm	85	65	63	59
" > 20 mm	91	86	90	88
" 0-10 mm	7,5	11	7	9
Schüttgewicht Stückgröße 100/80 mm	0,440	0,390	0,435	0,450
<u>Siebanalyse des Kekses :</u>				
> 80 mm	87	61	72	36
80 - 60 mm	8	22	21	34
< 60 mm	5	17	7	30

Aus diesen Daten errechnet sich die physikalische Wertzahl wie folgt:

$$T \text{ Rührkoks} = \frac{1}{2} (85 + 91) - 2.7,5 - 300.0,01 + \frac{2.82}{10} = 86,4$$

$$T \text{ Saarschüttkoks} = \frac{1}{2} (65 + 86) - 2.11 - 300.0,02 + \frac{2.44}{10} = 56,5$$

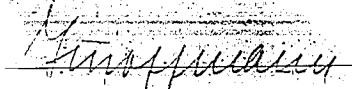
$$T \text{ Saarstampkoks I} = \frac{1}{2} (63 + 90) - 2.7,0 - 300.0,003 + \frac{2.65}{10} = 74,0$$

$$T \text{ Saarstampkoks II} = \frac{1}{2} (59 + 88) - 2.9,0 - 300.0,020 + \frac{2.6}{10} = 50,7$$

Der Saarstampkoks I liegt infolge niedrigerer Stückfestigkeit und Stüchigkeit trotz seiner günstigen Gefügeeigenschaften, welche in der niedrigen Abriebfestigkeit u. in geringtem Schüttgewicht in Erscheinung treten, um 12,4 Wertpunkte niedriger als der vorzügliche Rührkoks. Dieser Unterschied wird auch

etwa dem unterschiedlichen Verhalten beider Keks in Hochofen entsprechen. Der im Schüttbetrieb erzeugte Saarkeks weist Sohamstücke und in einzelnen Kekstücken auch Sohamzonen auf. Diese ungeeignete Gefügeigenschaften machen sich im niedrigen Prozentsatz über 20 mm, in dem ziemlich hohen Prozentsatz 0 - 10 mm und in dem sehr niedrigen Schüttgewicht bemerkbar. Außerdem weist dieser Keks bei geringerer Stückigkeit unzureichende Klassierung auf. Infolge dieser Mängel muss sich also dieser Keks trotz etwas höherer Stückfestigkeit in Hochofen wesentlich schlechter als beispielsweise der in Betracht gezogene Saarstampfkeks I verhalten. Dies kommt in der Kekswertzahl insofern zum Ausdruck, als der Saarschüttkeks um 18,7 Punkte niedriger als der Saarstampfkeks I bewertet ist. Der Saarstampfkeks II ist hauptsächlich infolge der gänzlich unzureichenden Stückigkeit und Klassierung noch um 5,6 Punkte geringer als der bereits unzufriedenstellende Saarschüttkeks bewertet.

Völklingen, den 28. Juli 1944



Zahltafel 1

Bruchbildung des Kokses hervorgerufen durch aufeinanderfolgendes Stürzen aus einer Höhe von 1,93 m.

(Abnahme der Stückgrößen über 50 mm und über 38 mm, in Absolutprozenten).

Sturz H <sup>o</sup>	Koks N <sup>o</sup> 17 K (S. Yorkshire) Skatten Index 38mm: 88,6		Koks N <sup>o</sup> 17 JL (S. Yorkshire) Skatten Index 38mm: 82,1		Koks N <sup>o</sup> 28 F (Berbyshire) Skatten Index 38mm: 69,9		Koks R. V. (Saar) Skatten Index 38mm: 78,0	
	50 mm.	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm
1	7,4	2,7	7,6	3,8	11,3	6,7	6,2	4,0
2	7,5	4,1	10,2	6,3	10,9	8,9	4,3	3,1
3	4,8	2,4	5,3	5,5	7,0	4,0	3,5	2,5
4	4,5	3,2	6,2	3,6	5,9	4,3	4,5	2,7
5	7,6	2,3	4,1	3,0	7,6	5,4	4,5	2,0
6	4,8	1,9	3,4	3,6	4,9	4,0	3,8	2,3
7	7,7	2,2	2,8	1,8	4,9	5,0	2,2	0,4
8	7,7	0,8	3,7	7,3	3,5	3,7	2,3	1,4
9	7,7	7,6	3,3	3,9	7,3	7,4	4,0	1,8
10	2,3	1,8	1,3	1,8	0,5	3,7	2,0	1,5
11	7,7	7,5	7,3	7,9	4,3	2,8	0,7	0,4
12	2,4	7,0	1,8	1,2	1,6	7,0	7,3	1,7

Zahlentafel 2

Bruchbildung des Kokses hervorgerufen durch Behandeln des Kokses  
nach der Sheffield-Abrieb-Trommel-Probe

Koksorte	Kennzeichen der benutzten Kofle	Shatter-Index			Siebanalyse des getömmelten Kokses				
		50 mm	38 mm	unter 12,5 mm	Über 50 mm	Über 38 mm	Über 12,5 mm	Über 1,6 mm	Unter 1,6 mm
1A (S. Wales)	Mischung von gut bildsamer Kokeskohle (22% fl. Best.) mit inerten Basiskohle	93,9	97,2	1,4	88,9	94,8	95,8	96,4	3,6
2A (Duisburg)	Mischung zweier gut bildsamer Kokeskohlen von 25-27% fl. Best.	71,6	86,2	2,4	83,3	97,0	98,5	99,0	1,0
7 (S. Yorkshire)	gut bildsamer Kokeskohle mit 38% fl. Best.	61,9	77,7	2,4	82,8	94,7	98,3	98,5	1,5
15 (Derbyshire)	Mischung zweier hoch Sauer- stoffhaltigen mangelhaft bild- samer Kohlen mit 35-37% fl. Best.	52,0	66,3	3,4	84,5	90,4	96,2	96,6	3,4
16 (Lancashire)	Mischung von Kohlen mittlerer Bildsamerkeit (ca. 35% fl. Best.)	67,5	82,8	2,3	74,9	92,6	97,8	98,5	1,5
36A (Saar)	Mischung gut bildsamer Kohlen (ca. 32% fl. Best.)	69,8	75,0	2,7	81,4	91,9	97,8	98,2	1,8



Wiederholbarkeit der Ergebnisse zur Sturzprobe

Versuch n°	Koks h. 1 (S. Wales)		Koks h. 6 (Durkain)		Koks h. 3E (III) S. Yorkshires		Koks n. 3E (IV) S. Yorkshires		Sears stampfhoes R.V.	
	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm
1.	96,5	91,5	92,1	94,8	80,5	90,2	71,4	85,2	70,0	89,2
2	93,0	97,5	90,6	93,8	74,8	89,4	69,6	81,4	70,0	85,8
3	91,5	97,0	84,1	93,8	80,6	90,3	68,8	80,4	66,0	85,5
4	95,5	97,5	85,1	91,3	79,4	89,5	63,6	81,4	72,0	88,3
5	89,5	96,5	86,1	93,3	75,5	87,3	69,6	82,6	66,0	85,7
6	84,5	98,0	80,1	92,3	77,8	88,5	66,2	83,2	72,0	87,5
7	96,5	97,0	83,1	92,3	76,0	88,6	72,4	80,4	72,0	88,4
8	94,5	97,5	85,1	93,8	74,0	89,0	67,0	79,4	69,0	85,9
9	94,5	97,0	-	-	-	-	73,4	82,2	70,0	86,5
Mittelwert	93,9	97,2	85,8	93,2	77,3	89,1	68,9	81,8	69,6	86,9
Höchstwert	96,5	98,0	92,3	94,8	80,6	90,3	73,4	85,2	72,0	89,2
Niedertwert	89,5	96,5	80,1	91,3	74,0	87,3	63,6	79,4	66,0	85,5
Streuung	7,0	7,5	12,0	3,5	6,6	3,0	9,8	5,8	6,0	3,7

Durchschnittliche Abweichung jedes Versuchsergebnisses der Sturzprobe vom Mittelwert aus drei Einzelversuchen

Anzahl der geprüften Kotese	Skatter - Skala 50 mm Sieb	Durchschnittliche Abweichung		
		50 mm	38 mm	25 mm
17	Über 80	1,7	0,8	0,4
32	80 - 70	2,3	1,1	0,4
37	70 - 60	2,2	1,6	0,6
21	60 - 50	2,8	1,8	1,0
9	Unter 50	2,5	1,8	0,7
116	Allgemeine durch- schnittliche Abweichung	2,3	1,4	0,6

Einfluss der Ausgangsstückgröße auf die  
Ergebnisse der Sturzprobe

Kokksorte	Stückgröße	Anzahl der Einzelversuche	Sturz Kennziffern				
			25 mm	38 mm	50 mm	75 mm	100 mm
n <sup>o</sup> 14 (S. Wales)	> 100 mm	3	97,9	95,9	88,6	72,9	47,4
	100-75 mm	4	98,2	96,1	89,4	67,9	—
	75-50 mm	4	98,5	96,0	84,8	—	—
n <sup>o</sup> 30B (Durham)	> 100 mm	3	97,4	94,8	87,4	65,5	38,2
	100-75 mm	3	97,6	95,4	87,7	57,5	—
	75-50 mm	2	98,0	95,3	88,3	—	—
n <sup>o</sup> 18A (S. Yorkshires)	> 100 mm	2	89,8	76,4	60,7	37,2	19,5
	100-75 mm	2	91,6	78,2	60,6	24,6	—
	75-50 mm	2	92,5	79,3	56,2	—	—
n <sup>o</sup> 16 Lancashire	> 100 mm	3	90,2	77,2	59,8	33,9	10,9
	100-75 mm	3	92,4	81,2	58,5	29,1	—
	75-50 mm	3	93,4	83,0	65,0	—	—
n <sup>o</sup> 15 (Derbyshire)	> 100 mm	1	83,3	57,3	43,0	27,8	9,4
	100-75 mm	3	84,0	64,0	46,5	21,9	—
	75-50 mm	3	84,4	64,5	45,9	—	—

Zählzettel 6

Einfluss der Stückform von Koks: gleicher Beschaffenheit  
auf die Ergebnisse der Sturzprobe

Koks sorte	Stückform	Wertziffern der Sturzprobe		
		25 mm	38 mm	50 mm
17 J i (Yorkshire)	75-57 mm (Blockig)	92,3	82,4	72,4
	57-50 mm (Prismatisch)	94,2	85,9	63,3
17 J ii u. iii	75-57 mm (Blockig)	94,3	85,0	75,7
	57-50 mm (Prismatisch)	92,5	76,6	60,6
17 L i u. ii	75-57 mm (Blockig)	94,1	83,3	72,1
	57-50 mm (Prismatisch)	95,1	84,6	65,8
17 L ii u. iii	75-57 mm (Blockig)	95,0	84,5	74,6
	57-50 mm (Prismatisch)	95,6	86,1	73,3
28 A (Derbyshire)	75-57 mm (Blockig)	79,2	62,8	42,8
	57-50 mm (Prismatisch)	79,6	61,7	43,1
28 B	75-57 mm (Blockig)	88,6	75,4	61,3
	57-50 mm (Prismatisch)	87,9	73,9	47,6
28 E	75-57 mm (Blockig)	85,3	74,7	63,2
	57-50 mm (Prismatisch)	85,7	73,6	60,0
Mittelwerte	Blockige Koks (75-57 mm)		78,3	65,9
	Prismatische Koks (57-50 mm)		77,5	59,1

Sturzkennziffern von Koks aus verschiedener Höhenlage  
des Koksbrandes

Ofenbreite	Kohlenart	Ergebnisse der Sturzprobe (50 mm u. 38 mm)					
		Koks von oben		Koks aus Mitte		Koks von Sohle	
		50 mm	38 mm	50 mm	38 mm	50 mm	38 mm
525 mm	schwach backend	69	81	67	79	58	76
	gut backend	81	89	73	88	45	71
350 mm	schwach backend	69	86	67	84	63	79
	gut backend	76	87	65	86	62	82
580 mm	Saatkohle gut backend	83,3	92,8	74,1	90,3	65,0	86,5
350 mm		82,4	92,1	77,4	89,8	70,3	88,1

Sturzkeuzziffern einer Reihe typischer Kohlen

Kohle n.	Bezirk	Kohlensorte	Sturzkeuzziffer 38 mm	Bemerkungen
1	Ruhr	Weita-Kohle	98	güterer Kohle
39	S. Wales	4 Flöze darunter in unterer Fortbildung	97,2	"
14	"	Two Foot Nine 100%	96,9	"
10	"	50% Fettkohle + 50% Halbfeinkohle	95,8	Sturzkeuzziffer über 95,0
77	Ruhr	unbekannt	95,7	"
6	Surham	37% Five Quarter + 34% Braekwell + 29% Balfant	93,8	Güterer Kohle
30A	"	Burby 100%	92,7	"
36B	Saar	83% Fettkohle + 17% Halbfeinkohle	92,7	Sturzkeuzziffer 95-90
8B	S. Wales	93% Kohle + 16,7% anhangigsteinhalt	92,0	"
31A	S. Yorkshire	Halifax Soft 100%	91,7	Brennstoffgüterer
23A	Surham	Brockwell + Hutton + Burby	90,6	güterer Kohle
2	"	57,7% Brockwell + 42,3% Burby	90,2	"
13 E (I)	S Yorkshire	Parigate + Barnsley	88,1	"
3A	"	39% Siskitow + 33% Parigate + 3 andere Flöze	86,3	Sturzkeuzziffer 90-85
17 L	"	80% Parigate + 20% Barnsley	85,2	"
5	Surham	50% Harry + 50% Burby	85,1	"
18 B	S Yorkshire	58,5% Thornsiffe + 41,4% Plakton	83,6	"
33	"	Barnsley 100%	81,8	Sturzkeuzziffer 85-80
18 G	"	Parigate Soft 100%	81,7	"
4	"	Haig Moor + Bramshoed + Barnsley	80,0	"
17 H	S Yorkshire	Barnsley Softs 100%	79,0	"
32	"	Haig Moor u. Barnsley	78,1	Sturzkeuzziffer 80-75
7	"	Parigate 100%	77,1	"
26 B	"	Haig Moor 100% + 3 andere Flöze	76,9	"
36 A	Saar	Fettkohle 100%	75,0	"
22 F	Derbyshire	Kotes Kohle 100%	74,3	"
35	S Yorkshire	Finlen + Siskitow + Parigate	74,1	"
28 B	Derbyshire	Empton 100%	72,2	"
28 E	"	Walsley 100%	72,0	Sturzkeuzziffer 75-65
30 A	S Yorkshire	50% Siskitow + 50% Bickton	71,6	"
28 F	Derbyshire	Black Shale + Empton	69,9	"
23 B	S Yorkshire	Siskitow 80% + Barnsley 20% + 3 andere Flöze	69,4	"
28 A	Derbyshire	Black Shale 100%	67,3	"
22 D	"	Delf Soft 100%	66,6	"
15	"	40% Black Shale + 40% Empton + 20% Bickton	66,3	"

	Sturzkeuzwert	Brennstoffwert
South Wales	> 92	96
Surham	85-94	91
S Yorkshire	70-90	80
Derbyshire	< 75	70
Saar	70-90	80

Zusatzfrage 9

Normalbeziehung innerhalb der einzelnen Kennziffern  
der Sturzprobe

50 mm	38 mm	25 mm	12,5 mm
82,5	95,0	98,0	98,9
84,0	92,5	97,0	98,5
81,0	90,0	96,0	98,3
77,5	87,5	95,0	98,0
74,0	85,0	93,5	97,8
71,0	82,5	92,5	97,7
67,5	80,0	91,5	97,6
64,0	77,5	90,0	97,4
61,0	75,0	89,0	97,3
57,5	72,5	88,0	97,2
54,0	70,0	87,0	97,2
51,0	67,5	86,5	97,1
47,0	65,0	85,5	97,0

Einfluss des Feinverhältnisses in der Brommel auf die Sturz- und Abrieftätigkeit

		Prozentualer Rückstand auf den einzelnen Sieben					Prozentualer Einfall an Staub < 16mm
		50mm	38mm	25mm	12,5mm	6mm	
Koks N <sup>o</sup> 1 (S. Wastes)	2,3 kg	61,1	88,4	89,4	90,4	91,4	8,6
	4,5 kg	50,6	85,6	89,4	90,0	90,6	9,4
	6,8 kg	49,4	85,1	87,5	88,2	88,9	11,1
	9,1 kg	80,7	89,9	90,2	90,5	91,1	8,9
	11,3 kg	86,4	95,7	95,9	96,2	96,7	3,3
	13,1 kg	89,0	98,1	98,3	98,5	98,7	1,3
Koks N <sup>o</sup> 5 (Rustam)	2,3 kg	-	72,1	83,6	91,4	93,8	6,2
	4,5 kg	-	72,5	84,4	91,9	93,1	6,9
	6,8 kg	-	62,9	94,2	95,0	95,4	4,6
	9,1 kg	-	70,1	91,1	93,9	94,9	5,1
	11,3 kg	-	76,2	90,7	92,7	93,7	6,3
	13,6 kg	-	79,0	95,1	96,1	96,3	3,7
19,1 kg	-	95,8	99,1	99,2	99,3	0,7	
Koks N <sup>o</sup> 6 (Rustam)	2,3 kg	59,8	74,8	81,0	82,1	83,2	16,8
	4,5 kg	51,7	82,1	86,7	87,9	89,1	10,9
	6,8 kg	54,9	81,4	85,4	86,0	89,7	10,3
	9,1 kg	26,3	79,8	84,2	84,4	89,3	10,7
	11,3 kg	67,5	89,5	92,3	93,3	94,5	5,5
	13,6 kg	65,0	94,3	94,0	97,2	97,4	2,6
14,8 kg	84,2	94,3	94,5	95,7	97,9	2,1	
Koks N <sup>o</sup> 10 (Rustam)	2,3 kg	49,8	82,5	85,0	87,5	88,7	11,3
	4,5 kg	45,0	85,6	90,0	90,6	91,2	8,8
	6,8 kg	68,3	88,0	88,4	89,2	89,6	10,4
	9,1 kg	40,5	84,4	89,9	90,8	91,4	8,6
	11,3 kg	55,5	89,5	93,0	93,5	94,0	6,0
	13,6 kg	78,2	96,1	96,1	96,3	96,5	3,5
44,5 kg	83,6	96,6	96,4	96,6	96,8	3,2	

\* Brommel vollständig gefüllt



# Zahlentafel 11

## Versuchskohse mit niedriger Abriebwertzahl

(Sheffield-Kohse Trommelabriebsprobe)

Kohse N <sup>o</sup>	Kohlensorte	Sturz kennziffer		Abriebwertzahl 38 mm Sieb	Prozentuales Entfall am Staub < 1,6 mm
		38 mm	12,5 mm		
22 C (Berbyshire)	70% Deep Soft + 30% Barnstey	59,0	97,2	89,3	7,5
17 D (Yorkshire)	100% Barnstey Mattkohle	85,8	95,9	88,7	4,0
22 A (Berbyshire)	70% Deep Soft + 30% Barnstey	77,5	97,6	87,8	2,0
28 E (Berbyshire)	100% Waterloo	72,0	95,6	84,5	2,3
17 C (Yorkshire)	100% Parkgate Mattkohle	85,0	97,0	83,3	4,1
9 (Yorkshire)	Kohsekohle mit 20% Anthozit staub	89,5	95,5	83,2	6,0
38 C (ii) (Yorkshire)	Kohsekohle mit 22% Halbkohse	82,6	90,9	80,4	4,0
13 B (i) (Yorkshire)	Parkgate mit 20% Barnstey Mattkohle	80,4	96,7	80,2	6,3
22 B (Berbyshire)	70% Deep Soft + 30% Barnstey	66,4	92,5	80,2	2,1
38 C (i) (Yorkshire)	Kohsekohle mit 9% Halbkohse	73,9	91,7	78,9	2,3
38 C (iii) (Yorkshire)	Kohsekohle mit 18% Halbkohse	83,4	91,9	75,5	4,8
22 G (Berbyshire)	Kohsekohle mit 20% Halbkohse	78,8	94,6	71,6	5,3
28 C (Berbyshire)	100% Deep Mattkohlen	85,3	95,6	62,8	8,6
38 C (iv) (Berbyshire)	Kohsekohle mit 12% Halbkohse	75,7	86,8	43,4	9,5

Ergebnisse der Braunkohlensprobenprobe von Kokschen aus verschiedenen Stellen des Koksbrandes

Kokssorte	Probenahme	Siebanalyse					
		Über 50 mm	Über 25 mm	50-25 mm	35-10 mm	50-10 mm	Unter 10 mm
	Kopfstücke	54,9	76,8	21,9	5,6	27,5	17,9
		48,8	72,2	23,4	2,4	25,8	25,4
Stampfkokse (Saar)	Oben	64,2	83,6	19,4	3,4	22,8	13,0
		68,0	85,4	17,4	3,6	21,0	11,0
(23 - 1 - 1924)	Mitte	63,6	85,8	22,2	5,0	27,2	9,2
		59,8	85,0	25,2	5,4	30,6	9,6
	Sohle	61,4	84,0	22,6	6,2	28,8	9,8
		56,2	82,6	26,4	8,8	35,2	8,6
	Kopfstücke	53,3	77,6	23,8	4,4	28,2	18,0
		60,6	80,4	19,8	3,2	23,0	16,4
Stampfkokse (Saar)	Oben	62,2	82,8	20,4	4,4	25,2	12,6
		62,6	84,8	22,2	3,4	25,6	11,8
(29 - 1 - 1924)	Mitte	57,0	85,0	28,0	5,2	33,2	9,8
		56,4	84,2	27,8	6,6	34,4	9,2
	Sohle	49,3	82,1	32,8	10,4	43,2	7,5
		48,1	83,2	35,1	10,5	45,6	7,3
	Kopfstücke	57,8	81,4	23,6	4,4	28,0	14,2
		57,2	81,6	24,4	5,0	29,4	13,4
Stampfkokse (Saar)	Oben	61,4	83,6	22,2	5,2	27,4	11,2
		66,0	86,2	20,2	3,4	23,6	10,4
(2 - 2 - 1924)	Mitte	63,4	86,0	22,6	6,0	28,6	8,0
		63,0	86,4	23,4	5,6	29,0	8,0
	Sohle	56,4	85,0	30,6	9,2	39,8	5,8
		56,8	80,2	33,4	6,4	37,8	3,4

Zahlen-tafel 13

Vergleich der Härtezahl nach Rice, mit den Ergebnissen der Sturzprobe, Breslauer Probe und der Druckfestigkeitsprobe von Saartampffproben aus verschiedenen Stellen eines Brandes

	Koks 4. 3. 1924									Koks 7. 2. 1924			Koks 16. 2. 1924			Koks 23. 2. 1924				
	Sturzprobe				Breslauer Probe				Rice-Probe (Härtezahl)		Druck:	Rice-Probe (Härtezahl)		Druck:	Rice-Probe (Härtezahl)		Druck:	Rice-Probe (Härtezahl)		
	Unt. 50mm	50-25 mm	25-10 mm	Unt. 10mm	Übr. 50mm	50-25 mm	25-10 mm	Unt. 10mm	Versuch I	Versuch II	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Versuch I	Versuch II	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Versuch I	Versuch II	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Versuch I	Versuch II	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>
Kopfschicht	74,8	15,6	3,2	6,4	53,0	25,8	4,6	16,6	76,4	76,6	8	68,9	63,9	77	73,9	73,7	64	64,4	66,1	67
Oben	76,8	15,2	2,4	5,6	69,6	16,8	4,8	9,0	76,6	75,9	94	77,5	74,4	112	75,8	74,4	94	78,4	78,1	111
Mitte	65,2	23,2	4,4	7,2	43,0	39,6	9,0	8,4	82,7	83,5	135	81,2	79,5	130	78,7	79,0	122	82,6	83,2	133
Sohle	67,6	26,0	4,8	7,6	56,4	29,8	5,6	8,2	84,8	86,6	780	83,9	83,2	165	84,4	84,9	148	86,5	86,4	160

Aktuelle 14.

Wiederholbarkeit der Ergebnisse in die Mikromerzählung und die Ghies-Brommel

Versuch Nr.	Mikromerzählung			Ghies-Brommel		
	über 50mm	über 30mm	unter 10mm	über 50mm	über 30mm	unter 10mm
1	52,0	86,2	8,6	54,6	84,2	7,0
2	55,2	86,6	9,0	54,0	83,6	7,0
3	56,4	88,2	8,8	52,8	83,8	7,2
4	56,4	87,4	9,0	61,0	85,0	7,0
5	63,6	89,2	7,6	63,8	85,2	6,8
6	64,0	89,2	7,4	64,4	88,0	5,8
7	69,8	89,0	8,0	66,8	86,8	7,0

Wiederholbarkeit der Ergebnisse von aufeinander folgenden Einzelversuchen in der Ghies-Brommel

Versuch Nr.	über 50mm	über 30mm	unter 10mm
1	65,6	87,8	6,0
2	65,2	88,4	5,8
3	63,0	88,0	5,8
4	64,0	88,0	6,0
5	62,8	87,6	6,0
6	65,0	88,0	5,4
Mittelwert	64,4	88,0	5,8
Höchstwert	65,6	87,6	6,0
Mindestwert	62,8	88,4	5,4
Streuung	2,8	0,8	0,6

Wiederholbarkeit der Ergebnisse der Brommelprobe

Versuch N.	Koks R.V. (13.1.44) (Saarstamplafkoks)			Koks R.V. (10.5.44) (Saarstamplafkoks)			Ruhrkokes (8.5.44)		
	> 40 mm	> 20 mm	< 10 mm	> 40 mm	> 20 mm	< 10 mm	> 40 mm	> 20 mm	< 10 mm
1	60,4	88,0	8,2	55,8	90,0	6,4	86,8	91,4	7,4
2	59,8	87,0	8,2	54,8	90,0	6,6	87,0	91,2	7,2
3	60,6	87,8	8,0	56,2	89,6	6,6	86,6	90,8	7,4
4	58,4	87,2	9,8	57,2	89,8	7,0	87,0	91,8	7,0
5	60,3	86,6	9,2	58,0	90,0	6,6	87,0	91,6	7,0
6	59,2	86,8	8,8	57,2	89,6	7,2	86,6	91,6	7,0
Mittelwert	59,7	87,3	8,7	56,5	89,8	6,7	86,8	91,4	7,2
Höchstwert	60,6	88,0	9,8	58,0	90,0	7,2	87,0	91,8	7,4
Mindestwert	58,4	86,6	8,0	54,8	89,6	6,4	86,4	90,8	7,0
Streuung	2,2	1,4	1,8	3,2	0,4	0,8	0,4	1,0	0,4

Einfluss von Veränderungen des Füllgewichtes und damit des Füllverhältnisses auf die Bromierergebnisse

	angewandte Kohlenmenge	Über 60mm	Über 20mm	Unter 10mm
Versuch I 15-1-44	75 kg	67	89	6,1
	50 kg	65	89	7,6
	25 kg	65	89	7,2
Versuch II 18-5-44	75 kg	69	95	5,2
	50 kg	67	92	5,6
	25 kg	66	89	6,0
Versuch III 20-5-44	75 kg	70,0	90,2	7,1
	50 kg	66,4	90,0	6,8
	25 kg	66,4	89,6	6,8
Versuch IV 10-6-44	75 kg	74,2	89,1	8,3
	50 kg	68,0	87,4	9,0
	25 kg	66,6	86,6	9,6

Siebanalyse des bei verschiedenem Füllverhältnis gebildeten Abrieb von Versuch III

	10-5 mm	5-3 mm	3-2 mm	2-1,2 mm	1,2-0,6 mm	< 0,6 mm
75 kg	9,8	10,6	5,2	8,0	16,7	53,0
50 kg	11,2	11,6	6,6	8,0	16,6	50,0
25 kg	10,2	8,4	5,2	7,0	11,0	52,5

# Einfluss des Wassergehaltes des Kokes auf die Brommel ergebnisse

	N <sup>o</sup> des Versuchs	Wassergehalt des geprüften Kokes	Brommel ergebnisse		
			Über 40mm	Über 20mm	Unter 10mm
	Versuch I 3-12-43	1,8 %	67	88	95
		18,0 %	65	88	74
Versuche bei gleichem	Versuch II 3-12-43	5,0 %	60	85	11,6
		18,0 %	54	84	8,9
Füllgewicht	Versuch III 4-12-43	2,4 %	74	91	8,8
		19,0 %	69	90	7,9
	Versuch IV 12-6-44	3,0 %	54,0	86,4	9,6
		22,6 %	50,8	89,4	15,4
Versuche bei gleichem	Versuch V 5-12-43	4 %	57	85	9,8
		20 %	57	89	6,1
Füllvolumen	Versuch VI 5-12-43	2,4 %	74	90	8,8
		19,3 %	73	92	4,6
	Versuch VII 12-6-44	3,0 %	54,0	86,4	9,6
		22,6 %	54,6	91,0	4,7

Einfluss einer plötzlichen und raschen Löschung  
auf die Brommelergebnisse<sup>(1)</sup>

N <sup>o</sup> des Versuchs	Wassergehalt des geprüften Kokes	Brommelergebnisse		
		Über 40mm	Über 20mm	Unter 10mm
Versuch I 9.6.44	2,6 %	58,8	89,4	7,2
	10,4 %	68,0	94,0	5,2
Versuch II 10.6.44	5,8 %	51,0	84,4	9,0
	23,0 %	57,6	89,0	6,4
Versuch III 13.6.44	3,6 %	60,2	89,2	7,8
	18,0 %	62,0	91,0	5,6
Versuch IV 15.6.44	2,6 %	50,6	87,2	7,8
	10,0 %	57,0	90,2	5,6
Versuch V <sup>(2)</sup> 14.6.44	2,0 %	61,0	90,0	7,0
	10,0 %	62,8	92,8	3,6

(1) Versuche bei gleichem Füllgewicht

(2) der Versuch wurde nach einer 6 stündigen Abkühlung  
an der Luft durchgeführt



Einfluss der Versuchsdauer auf die  
Trommelergebnisse

Anzahl der Umdrehungen	Über 40 mm	Über 20 mm	Unter 10 mm
75 Uml.	87,4	92,4	6,4
100 "	86,8	91,4	7,2
150 "	82,4	89,0	10,0
200 "	79,2	87,6	10,6
75 Uml.	65,0	89,6	7,4
100 "	64,0	88,4	8,5
150 "	59,0	86,4	10,0
200 "	54,4	85,0	10,8

Einfluss der Stückgröße auf die Grömmelergebnisse

Versuch n°:	Korngrösse	Grömmelwerte		
		Über 40 mm	Über 20 mm	Unter 10 mm
Versuch I 7.1.44	> 80 mm	50	86	6,4
	80-60 mm	56	87	6,4
	60-40 mm	53	90	5,8
Versuch II 8.7.44	> 80 mm	70	91	7,2
	80-60 mm	74	92	6,0
Versuch III 12.5.44	> 100 mm	50,6	87,2	7,4
	100-80 mm	52,6	88,0	7,0
	80-60 mm	57,4	89,0	7,0
Versuch IV 11.6.44	> 100 mm	60,4	89,0	7,2
	100-80 mm	61,2	89,6	6,8
	80-60 mm	63,8	90,4	6,4
	60-40 mm	61,6	91,0	6,4

Einfluss der Winkelreiser auf die Trommelwerte<sup>1)</sup>

Probe	Ohne Winkelreiser			50 mm Winkelreiser			100 mm Winkelreiser		
	über 20mm	über 20mm	Unter 10mm	über 20mm	über 20mm	Unter 10mm	über 20mm	über 20mm	Unter 10mm
a	59	84	9	46	84	10	39	81	11
b	61	86	10				43	79	12
c	60	85	10	4	80	13	36	76	16
d	61	85	9				43	81	11
e	59	86	9	46	84	10	39	81	11
f	61	86	9				43	79	12
g	48	80	13	33	73	16	28	70	19
h	48	76	15				28	60	19
i	65	89	7	51	86	9			
j	66	91	6	5	86	9	47	85	9
k	67	88	8				50	84	10

1) nach Stumpe

Einfluss der Achse auf die Brommilergebnisse

	Brommit mit Achse			Brommit ohne Achse		
	über 60mm	über 20mm	unter 10mm	über 60mm	über 20mm	unter 10mm
	26	72	15	31	72	14
	27	67	18	33	72	15
Koks aus Kohle A	26	68	18	32	72	15
	25	70	16	32	72	15
	30	70	19	32	73	14
	31	72	16	33	71	15
Mittelwerte	28	70	17	32	72	15
Koks aus Kohle B	65	88	7	67	80	7
Koks aus Kohle C	44	81	10	48	85	10
Koks aus Kohle D	44	77	14	47	79	13
Koks aus Kohle E	44	81	11	47	83	12

(1) nach Stumpfe

Einfluss verschiedener Blechstärken der Brommelwand auf die Brommelergebnisse

Probe	Bleech 3 mm			Bleech 6 mm			Bleech 8 mm		
	über 40mm	über 20mm	unter 10mm	über 40mm	über 20mm	unter 10mm	über 40mm	über 20mm	unter 10mm
a)	64	90	6	56	86	10			
b)				66	88	8	64	87	9
c)				58	87	7	55	88	8
d)	50	81	14	46	78	17	43	77	18

(1) nach Stumpfe

Gronmelergebnisse von den aus verschiedenen Höhenlagen des

Kokesbrandes unternommenen Kokesproben

N <sup>o</sup> des Versuchs	Probenahme	Gronmelergebnisse		
		Über 40 mm	Über 20 mm	Unter 10 mm
Versuch I 8.5.44	Oben	60	84	12,6
	Mitte	68	88	8,0
	Sohle	60	90	6,6
Versuch II 8.5.44	Oben	58	85	11,4
	Mitte	61	87	9,6
	Sohle	57	88	8,4

## Einfluss der Vorbehandlung des Kokes auf die Brömmelergebnisse

### I Koks von der Rampe in Hängelackwagen verladen und getrippt

	Brömmelergebnisse		
	über 80 mm	über 20 mm	unter 10 mm
Koks von der Rampe entnommen	42	83	8,2
Koks einmal verladen u getrippt	44	85	8,2
Koks zweimal verladen u getrippt	46	86	8,0

### II Koks zweimal hintereinander den Brömmelprobe unterworfen

	Brömmelergebnisse			Siebanalyse des Abriebs						
	über 40	über 20	unter 10	10-5 mm	5-3 mm	3-2 mm	2-1,2 mm	1,2-0,6 mm	0,6 mm	
erste Brömmelung	57,6	89,8	6,8							
zweite Brömmelung	70,8	92,4	5,2							
erste Brömmelung	71,4	90,7	7,9	7,2	7,8	5,5	7,4	14,4	57,7	
zweite Brömmelung	80,8	94,2	4,4	5,0	4,0	2,6	3,0	2,0	76,0	
erste Brömmelung	66,8	90,2	7,9	6,6	6,8	4,6	7,6	12,6	61,8	
zweite Brömmelung	73,0	94,4	4,6	6,8	3,4	4,4	3,6	7,6	73,0	

### III Koks nach Sturzprobe, den Brömmelprobe unterworfen

	Sturz- und Brömmelergebnisse				Siebanalyse des Abriebs						
	über 50	über 40	über 20	unter 10	10-5 mm	5-3 mm	3-2 mm	2-1,2 mm	1,2-0,6 mm	0,6 mm	
Brömmelprobe von nicht vorbehandeltem Koks		51,2	87,2	9,4	8,8	8,8	5,9	7,4	14,7	54,4	
Sturzprobe	68,6	80,8	95,1	2,4	19,5	13,2	9,2	8,6	14,7	34,8	
Brömmelprobe von gestütztem Koks		56,2	88,2	8,6	8,0	6,0	4,0	6,0	12,6	63,4	
Sturzprobe		78,6	91,6	6,3	8,0	9,0	6,4	9,2	16,8	50,6	
Brömmelprobe von gestütztem Koks		73,6	92,4	5,2	7,4	5,6	4,0	6,0	13,0	64,0	
Sturzprobe	75,2	88,8	96,6	1,6	26,2	15,3	8,7	10,5	15,3	24,2	

Jede Brömmelprobe von vorbehandeltem Koks wurde mit Koks über 50 mm durchgeführt

Einfluss der Ausführung der Abriebeug auf die Bruchergebnisse

I. Versuche von Stumpe <sup>(1)</sup>

Probe	normale Handabriebeug			Durchsteckverfahren			Schüttelsieb nach Stumpe		
	über 40mm	über 20mm	unter 10mm	über 40mm	über 20mm	unter 10mm	über 40mm	über 20mm	unter 10mm
a)	64	84	11	61	84	11	60	84	11
b)	57	83	12	59	83	12	52	83	12
c)	63	81	15	59	81	15	58	81	15
d)	57	79	16	53	79	16	51	79	16
e)	57	79	15	55	79	15	50	79	15
f)	57	81	14	53	81	14	53	81	14
Mittelwerte	59	81	14	55	81	14	54	81	14

II. Versuche des Northern Coke Research Committee <sup>(2)</sup>

	Prozent über 40 mm				
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5
normale Handabriebeug	52,9	40,0	46,0	73,0	75,5
Durchsteckverfahren	52,6	41,1	45,5	71,9	75,0

(1) Stumpe: Normierung der Micum Trommel in Oberschlesien  
 (Z. d. Oberschles. Berg- u. Hüttenmännischen Vereins 1930 S. 471-474)

(2) W.T.K. Braumbach, J.M. Hare und H.V.A. Bristol: Coke Correlation of the Chemical Properties of coke with their Value in Metallurgical Processes  
 (Fuel in Science and Practice 1929 S. 415)



Vergleiche von in verschiedenen Gefäßen ermittelten Schüttgewichte  
typischer Koks<sup>(1)</sup>

Koks Nr.		Würfelförmiges Gefäß kg/m <sup>3</sup>	Zylindrisches Gefäß kg/m <sup>3</sup>	Unterschied kg/m <sup>3</sup>
12 E	Kohle 12 E gestampft verkokt	503	514	11
32 E	Kohle 32 E geschüttet verkokt	493	495	2
32 F	Kohle 32 E gutampft verkokt	540	547	7
32 J	Kohle 32 J geschüttet verkokt	451	451	0
32 L	Kohle 32 J gestampft verkokt	549	567	18
34 C	Kohle 34 C bei 800° verkokt	450	462	12
45	Kohle 45 gestampft verkokt	474	488	14
46	Kohle 46 gestampft verkokt	493	499	6
47 A	Kohle 47 A in Ofen von 425 mm Br.	511	519	8
47 B	Kohle 47 A in Ofen von 500 mm Br.	517	523	6
G 1	Horizontal Gaswerkschicht	436	432	-4
G 5 B	Vertikal Gaswerkschicht	571	571	0
	Mittelwert			8

(1) nach Braunkohle, Nave und Bräse (Fuel in Science and Practice 1929, S. 418)

Berührungsfläche verschiedener Gefässe im Verhältnis zum  
Rauminhalt der Gefässe

	OH Wagen 33 m <sup>3</sup>	Northan loke Restaur. kommittet 56,6 l.	Midland loke Restaur. kommittet 28,4 l.	Wolf 1/3 m <sup>3</sup>	Hängebahn- wagen 2 m <sup>3</sup>	Würfelkasten 1 m <sup>3</sup>	Würfelkasten 0,5 m <sup>3</sup>	Würfelkasten 0,125 m <sup>3</sup>
gesamt Berührungsfläche m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1,63	13,0	17,2	8,45	3,80	5,0	6,20	10,0
Vertikalfläche m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,98	10,41	13,81	7,55	2,88	4,0	5,12	8,0
Oberfläche m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,64	2,6	3,45	0,88	1,22	1,0	1,30	2,0

Einfluss des Gefässhalters auf die Höhe des Schüttgewichtes

	R.V. 4 <sup>I</sup> 11.5.44		R.V. 4 <sup>II</sup> 26.6.44		R.V. 5 <sup>III</sup> 26.6.44	
	Stückigkeits- kennziffer 70% - 260mm	Schüttgewicht kg/m <sup>3</sup>	Stückigkeits- kennziffer 70mm - 260mm	Schüttgewicht kg/m <sup>3</sup>	Stückigkeits- kennziffer 70mm - 260mm	Schüttgewicht kg/m <sup>3</sup>
Hängewagen (3 m <sup>3</sup> Inhalt)	33	445	48	438	42	451
1 m <sup>3</sup> Würfelgefäß	33	460	53	441	36	455
0,5 m <sup>3</sup> Würfelgefäß	33	460	34	440	45	457
0,125 m <sup>3</sup> Würfelgefäß	33	446	30	422	48	430

Wiederholbarkeit der in "Gefäßen" verschiedenen Inhalte ermittelten Werte von Schüttgewichts-Einzelversuchen

	Hängelaufwagen 2m <sup>3</sup> Inhalt kg/m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup> . Gefäß Würfelförmig kg/m <sup>3</sup>	1/2 m <sup>3</sup> . Gefäß Würfelförmig kg/m <sup>3</sup>	0,125m <sup>3</sup> . Gefäß Würfelförmig kg/m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup> . Gefäß Kleinkubus aufgefüllt kg/m <sup>3</sup>
Schüttgewichte	438	461	480	432	460
	443	467	484	430	470
	446	452	481	442	462
	—	—	—	456	—
Unterschied zwischen Höchst- und Mindestwert	8	9	4	26	10
Durchschnittswert	442	460	482	440	465

Bemerkung: Koks bei jedem Gefäß verschieden

Einfluss der Stückgröße auf das Schüttgewicht eng klassierter Koks

Stückgröße	Über 80 mm kg/m <sup>3</sup>	80 - 60 kg/m <sup>3</sup>	60 - 40 kg/m <sup>3</sup>	Unter 40 mm kg/m <sup>3</sup>
Saarstampekoks RV	439	464	476	542
Saarstampekoks RA	448	475	-	-
Saarstampekoks RA	-	491	508	-
Saarschüttkoks RB	435	455	-	-
Ruhrkoks	-	467	-	-

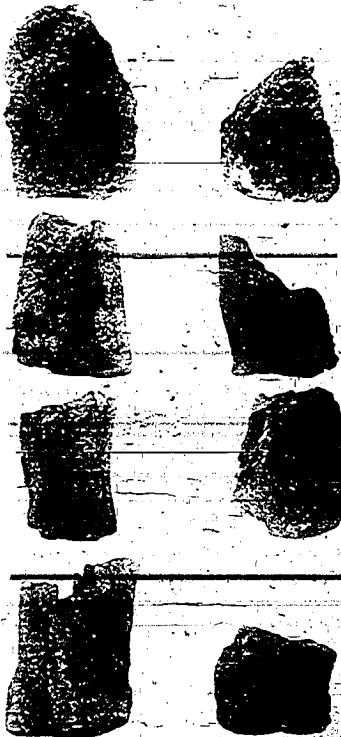
## Einfluss der Stückgrössenzusammensetzung auf das Schüttgewicht

Datum	Kohlesorte	Art der Klassierung bzw. Probenahme	Siebanalyse			Stückgrösse Kerngrösse	Trommelfestigkeit			Schüttgewicht kg/m <sup>3</sup>	Schüttgewicht 80-60 mm kg/m <sup>3</sup>
			>80 mm	80-60	<60 mm		>40	>20	<10		
10.5.44	Ruhrkohles	Rollerrost	87	8	5	82	87	81	7,2	455	467
25.5.44	Saarstampfkohles R.V.	Sohlenkohles	64	20	16	48	-	-	-	475	460
		Kohles aus Brandmitte	83	10	7	76	-	-	-	453	465
22.5.44	Saarstampfkohles RA	in Waggon angeliefert	36	40	24	12	53	85	11,5	490	475
17.3.44	Saarschüttkohles RB	von der Rampe	46	20	34	12	57	86	9,2	450	
15.3.44	- dgl -	nach Rollerrost	62	21	17	45	54	80	10,0	410	
17.3.44	- dgl -	von der Rampe	36	25	39	3	55	87	8,6	445	
15.3.44	- dgl -	nach Rollerrost	57	25	18	39	51	87	8,8	415	

Abb. 1

Koks an der  
Gicht

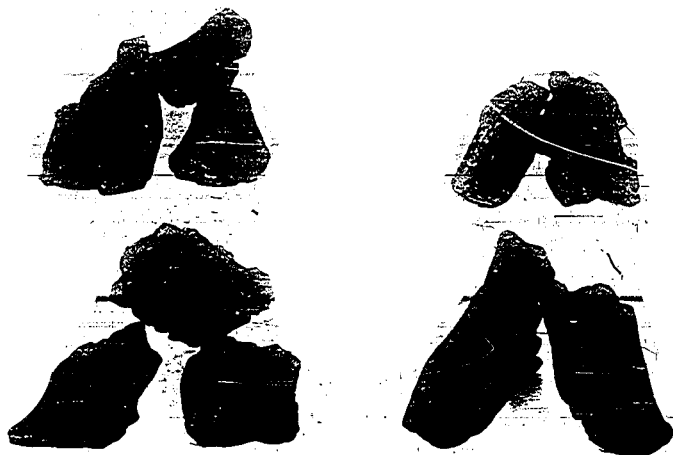
Koks an den  
Ofenformen



Vergleich des Aussehens von nach der Hochofenweise in der Höhe der  
Ofenformen herangesogenen Koksstücke mit denen an der Gicht entnommenen.

Koks an den Ofenformen

Koks nach Behandlung  
in der Abriebtrommel



Vergleich des Aussehens von nach der Hochofengase in der Nähe  
der Ofenformen herausgesegenen Koksstücke mit solchen, welche  
während einer halben Stunde in der Abriebtrommel behandelt wurden.

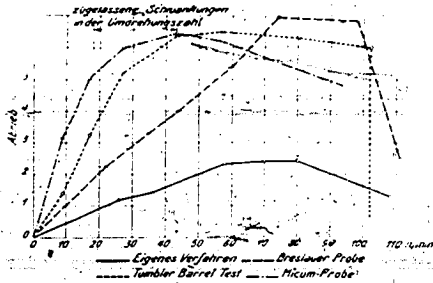


Bildung 3

Kennzeichnung der bekanntesten Verfahren zur Ermittlung der Abrießfestigkeit

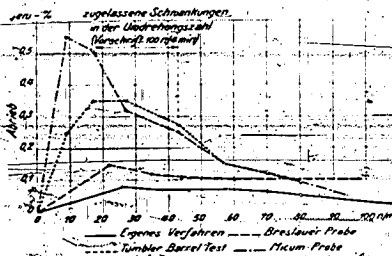
Gliederung	Bezeichnung des Verfahrens	Vorrichtung	Umschuldauer	Reibzahl	angewandte Kohlenmenge	Biomassefüllung	Masse für die Kohlenverteilung	Schäpfername
Mikro-Verfahren	Verfahren von Schmytko	Schmirgelscheibe an die mit gleichmäßigem Bruch ein Kohlestück mit best. Größe angepresst wird	15 Sek.	-	gleichgültig	-	Abnahme des Kohlestückes in g/wt.	Gleichauf 1928 S. 3
	Verfahren des Prager Kohlenforschungsinstitutes	Kohlestück wird unter bestimmten Bedingungen der Wirkung einer Konstanten durch Reibluft beizugehalten. Strahlter von Stahlband ausgesetzt	1 Min.	-	-	-	Abnutzung einer Fläche von 4 cm <sup>2</sup> während einer Minute	Mitt. des Kohlenforschungsinstitutes in Prag 1925 Bd. 5. 210-213
Bruchkristallverfahren	nach Wolf	Quadratische Behälter von 1 m <sup>3</sup> mit Verjüngung; aufgesetzter Stempel erzeugt Bruch	4mal läng. gleichförmig Bruch durchdrücken	-	1/3 m <sup>3</sup> (d. 170 kg)	-	Feinstkorn < 30 mm in gew. %	Stahl und Eisen 1928 S. 33-33
Biomasseabrießverfahren	Verfahren von Heinrich und Speckhardt	Bestimmte Abmessungen, innen glatte Porzellankümmel mit seitlichem Binnefüllöffnung	15 Min.	1070 Uml/min	verschieden (unbehandelte Kohle)	66%	Feinstkorn < 5 mm in gew. %	Gleichauf 1930 S. 1225-1292
	Sheffield Kohlenkristalle (Midland Colliery Research Committee)	Zirkulkümmel von 80 mm Durchmesser und 250 mm Länge	30 Min.	25 Uml/min	0,025 ml (11-12 kg) Stückgröße 10-15%	75%	Feinstkorn < 1,6 mm grobkorn > 30 mm in gew. %	Mitt. a. d. Westsch. Kohle für Blaufarben 1930 S. 97-99
	Breslauer Probe (Simmsbach)	Zirkulkümmel von 100 mm Durchmesser und 300 mm Länge	4 Min.	25 Uml/min	50 kg	25%	Grobkorn > 40 mm in gew. %	Simmsbach u. Schwalbe Kohlenkristalle 1930 S. 322
	Verfahren von Barton (Kondarkovich u. Belyuz)	Zirkulkümmel von 550 mm Durchmesser und 150 mm Länge gleichgültig mit bestimmtem angegeb. Stückgröße	15 Min.	350 Uml/min	6 kg	50%	Feinstkorn < 19 mm in gew. %	Simmsbach u. Schwalbe Kohlenkristalle 1930 S. 300-301
	Jarrow Test (England)	Zirkulkümmel von 60 mm Durchmesser und 140 mm Länge gleichgültig 12 Stahlkugeln von 30 mm Durchmesser	60 Min.	166 Uml/min	12,1 kg	20%	Feinstkorn < 3,2 mm	J. Soc. Chem. Ind. 1918 S. 601

Abb. 4



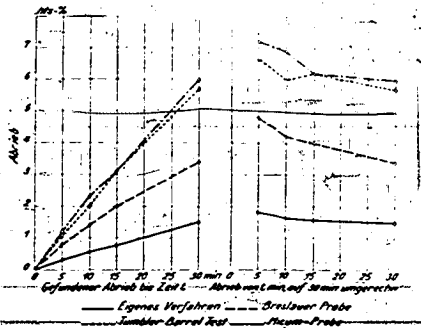
**Abhängigkeit des Abriebs von der Umdrehungszahl für die verschiedenen Trommelarten nach Heinrich u. Speckhardt. Glückauf 1930, S. 1289, Abb. 7.**

Abb. 5



**Abrieb je 100 Umläufe in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl nach Heinrich u. Speckhardt. Glückauf 1930, S. 1290, Abb. 8**

Abb. 6



**Wirkung der Dauer des einzelnen Versuchsabschnitts bei den verschiedenen Verfahren nach Heinrich u. Speckhardt. Glückauf 1930, S. 1290, Abb. 9**

Kennzeichnung der bekanntesten Verfahren zur Ermittlung der Bruchfestigkeit (Stütz u. Druckfestigkeit)

Gliederung	Bezeichnung des Verfahrens	Vorrichtung	Versuchs- dauer	Drehzahl	angewandte Körperlänge	Bruch- festigkeit	Mass für die Kohärenzprüfung	Veröffentlichung
Brommelkugelmühle	Verfahren von Kille (Amerika)	Zwei Brommelkörner 430 mm Durchmesser und 50 mm Länge, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke. 11 Stahlkugeln von 32 mm Durchmesser	26 min	20 Umdreh./min	ind. 145 kg 50 mm Durchmesser	50 %	Qualitätszahl 2145 in in 1927	1921 u. 1927
	Böcher's Brommel (Belgien)	Brommel von 600 mm Durchmesser und 700 mm Länge, Wand wird aus Kieselsteinen von 10 mm Größe, welche in Abständen von 40 mm aneinander gereiht sind.	20 min	15 Umdreh./min	150 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 quadratisch in 1927	1927 u. 1928
Brommel in einem Wand aus in Abständen auseinandergereihten Kieselsteinen über gelöteten und, oder aus Eisenblech besteht	Romanus's Verfahren (Frankreich)	Brommel von 1140 mm Durchmesser und 596 mm Länge, Wand wird aus Kieselsteinen von 10 mm Größe gebildet. Bleche 10 mm dicke sind an 10 mm	20 min	15 Umdreh./min	150 kg	45 %	Kohärenzprüfung in 1927	1927
	Curran's Verfahren (Amerika)	Brommel von 1130 mm Durchmesser und 570 mm Länge, Wand wird aus 10 mm dicken Blechen mit 10 mm Kieselsteinen gebildet. Bleche sind an 10 mm	20 min	15 Umdreh./min	150 kg	45 %	in 1927	1927
	Maquard's Verfahren	Brommel von 1130 mm Durchmesser und 570 mm Länge, Wand wird aus 10 mm dicken Blechen mit 10 mm Kieselsteinen gebildet. Bleche sind an 10 mm	20 min	15 Umdreh./min	150 kg	45 %	in 1927	1927
Dreifache Brommel mit Hubwindeln oder Hubkranarbeiten	Bocherani's Best. (England)	Dreifache Brommel von 950 mm Durchmesser und 460 mm Länge im Inneren, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke von 60 mm	5 min	185 Umdreh./min	10 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 in 1927	1927
	Haven's Best. (Standard Best.) (Amerika)	Dreifache Brommel von 950 mm Durchmesser und 460 mm Länge im Inneren, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke von 60 mm	5 min	185 Umdreh./min	10 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 in 1927	1927
	Milum's Brommel	Dreifache Brommel von 950 mm Durchmesser und 460 mm Länge im Inneren, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke von 60 mm	5 min	185 Umdreh./min	10 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 in 1927	1927
	Probe von Häusser in Besten (ger. für Kohärenzprüfung)	Dreifache Brommel von 950 mm Durchmesser und 460 mm Länge im Inneren, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke von 60 mm	5 min	185 Umdreh./min	10 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 in 1927	1927
	Probe von Finkent (Belgien)	Dreifache Brommel von 950 mm Durchmesser und 460 mm Länge im Inneren, an der Innenseite 38 mm Winkeldicke von 60 mm	5 min	185 Umdreh./min	10 kg	45 %	Qualitätszahl 2000 in 1927	1927

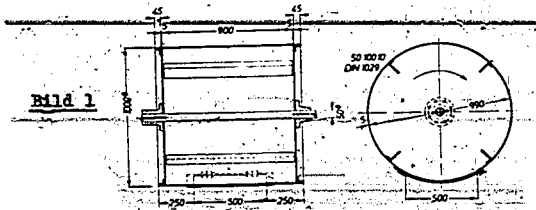
**Bestimmung der Festigkeit von Hochofenkoks durch den Trommelversuch**

**Zweck und Art der Prüfung**

Der Trommelversuch hat den Zweck, vergleichbare Werte für die Koksfestigkeit zu erhalten, soweit dieselbe zur Beurteilung eines Kokes wegen seiner Behandlungsfähigkeit vom Ausdrücken aus dem Kokssofen bis in die Hochofengicht wie auch seiner Beanspruchung im Hochofen selbst erforderlich ist. Die angewandte Prüfmethode stellt eine kombinierte Probe dar, bei der durch Einbau von Hubwinkel das Schwergewicht absichtlich auf starke Sturzbeanspruchung gelegt wird und in Ablehnung an die im Hochofen stattfindende Beanspruchung des Kokes die Wirkung des sogen. Abplitterungsvorganges auf Kosten des wahren Abriebs in den Vordergrund tritt. Der Koks wird in Anwesenheit von Hubwinkel versehenen Drehtrommel unter bestimmten Bedingungen mechanischen Einwirkungen ausgesetzt. Die hierdurch hervorgerufene Stückgrößenveränderung und Abriebbildung wird durch Absiebung ermittelt, wobei die auf verschiedenen Bezugssieben erhaltenen Siebrückstände als Maß für die Koksfestigkeit gewertet werden.

**Prüfgerät**

Das aus Stahlblech hergestellte Prüfgerät (siehe Bild 1) soll folgende Abmessungen in mm haben:



Innendurchmesser	990 mm
Innenlänge	900 mm
Wanddicke des Trommelmantels	5 mm

In der inneren Wandfläche der Trommel werden 4 unter 90° versetzte Winkelstähle 50 . 100 . 10, DIN 1029, aufgenietet oder aufgeschweisst. Sämtliche Nieten müssen im Innern versenkt angebracht sein. Im Trommelmantel befindet sich eine mit einem gewölbten übergreifenden Deckel gut verschließbare Öffnung von 800 mm x 500 mm. Die Trommel wird auf einer durchgehenden Achse von 50 mm Durchmesser befestigt, waagrecht gelagert und am besten durch einen Elektromotor mit Schneckenradvorlege angetrieben. Die Drehzahl der Trommel soll 25 U/min betragen. Die Anbringung eines Umdrehzählers ist erforderlich.

**Durchführung der Prüfung**

1. Die für die Durchführung notwendige Probemenge beträgt bei Trommelung von sehr stückfestem vorklassiertem Koks 2. 50 kg - 100 kg, bei weniger stückfestem od. nicht vorklassiertem Koks 3. 50 kg - 150 kg. Die Proben werden mit einer Gabel von 60 mm Zinkenweite entnommen, wobei die zwischen den größeren Koksstücken liegenden Stücke unter 50 mm ausgelegt werden. Die Entnahme der Proben von Hand ist nur in Sonderfällen gestattet, wenn es sich z.B. darum handelt, aus gewissen Gründen die Beschaffenheit des Kokes aus bestimmten Teilen des Koksbrandes zu ermitteln. In diesem Fall ist das Ergebnis mit einem Sternchen zu versehen. Für jeden Einzelversuch werden 50 kg Koks abgewogen. Im Bericht ist anzugeben, ob die Koksproben bei der Verladung, vom beladenen Waggon, bei der Entladung, von der Rampe, beim Abwurf vom Koksieb usw. gewonnen wurden.
2. Die Prüfung wird mit lufttrockenem Koks oder solchen mit unter 6 % Feuchtigkeit vorgenommen. Bei mechanischer Lüftung des Kokes ist eine zu kurze und damit zu plötzliche Abschreckung des Kokes zu vermeiden.
3. Nach Einbringen des Kokes in die Trommel und Schließen der Eintragsöffnung wird die Trommel mit 25 Uml./Min. in Bewegung gesetzt. Nach 100 Umdrehungen wird die Trommel vorsichtig in einen Auffangkasten entleert und der Koks in drei Teilmengen auf einem Siebsetz mit folgenden übereinander angeordneten Rundlochsieben DIN 1170 abgibt.

Sieb 1	40 mm Durchmesser
Sieb 2	20 mm Durchmesser
Sieb 3	10 mm Durchmesser

Die Prüf siebe bestehen aus Blechkästen, in die an den beiden Schmalseiten bis zu einer Entfernung von 20 mm Schrägbleche eingebaut sind; die eigentliche Siebfläche soll etwa 0,6 bis 0,8 m<sup>2</sup> betragen. Die Kästen werden in einem Rahmengestell auf Rollen gelagert übereinander angeordnet und zwar derart, dass jeder Siebkasten zwecks Abreibung von Hand hin und her bewegt werden kann. (siehe Bild 2) Bei dem Siebkasten mit 40 mm Lochdurchmesser wird nach der Abreibung jeder Teilmenge noch zusätzlich ein Durchstecken der Stengelstücke vorgenommen.

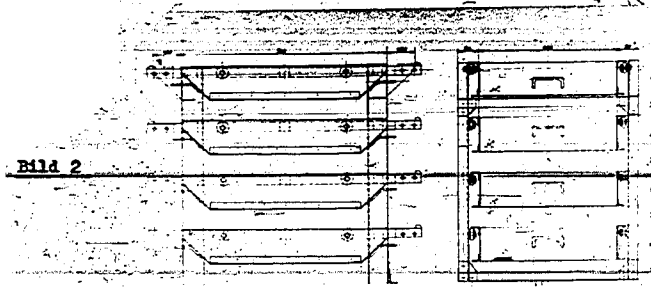


Bild 2

4. Das verdoppelte Gewicht der Siebrückstände auf den 40 mm-, 20 mm- und 10 mm - Rundlochsieben ergibt den Prozentgehalt der betreffenden Siebfractionen. Die Prozentgehalte über 40 mm und über 20 mm stellen einen Masstab für die Stückerfestigkeit des Kokses dar. Der Prozentgehalt über 10 mm ergibt in Form des Unterschiedes von 100, d.h. des Anteiles 0 - 10 mm einen Masstab über die Abspaltung und den Feinstabrieb. Aus den Ergebnissen der 2 bzw. 3 Einzelversuchen wird der Mittelwert errechnet.
5. Um ein umfassenderes Gesamtergebnis des Trommelversuches und damit der Koksfestigkeit zu erhalten, werden die Prozentsätze über 40 mm, über 20 mm und des Kornes 0 - 10 mm in nachfolgender Funktion zusammengefasst:

$$F = \frac{1}{2} (40 + 20) - 2 \cdot 10.$$

Hierbei bedeuten :

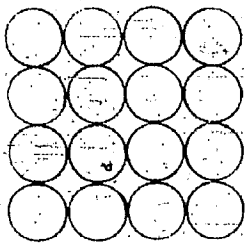
- $\frac{1}{2}$  = 2 = Zahlenfaktoren
- 40 = Prozentualer Siebanfall über 40 mm
- 20 = Prozentualer Siebanfall über 20 mm
- 10 = Prozentualer Anfall an Koks 0-10 mm

Prüfbericht

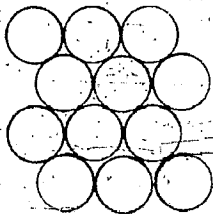
Im Prüfbericht sind ausser näheren Angaben über die Probenahme auch die Vorbehandlung des Kokses und die Ausgangsgröße <sup>des</sup> desselben festzulegen.

- 1.) Die Schenkelhöhe der Winkel, der Durchmesser der Achse sowie die Blechstärke der Trommelwand sind in gewissen Zeiträumen wegen ihrer Abmessungen zu überprüfen. Bei etwa 30 %iger Abnahme dieser Abmessungen sind Erneuerungen vorzunehmen.
- 2.) Für das Ergebnis massgebend ist die Einhaltung der Drehgeschwindigkeit. Drehzahländerungen hervorgerufen durch Spannungsschwankungen sollen 5 %, also 1,2 Umläufe/Min. nicht überschreiten.

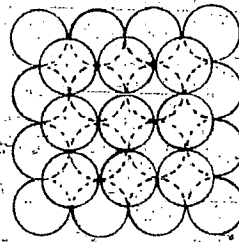
a) kugelige Körper gleicher Größe



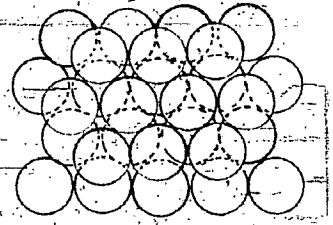
Kubisch  
 $\xi = 47,6\%$



Rhombisch  
 $\xi = 39,5\%$

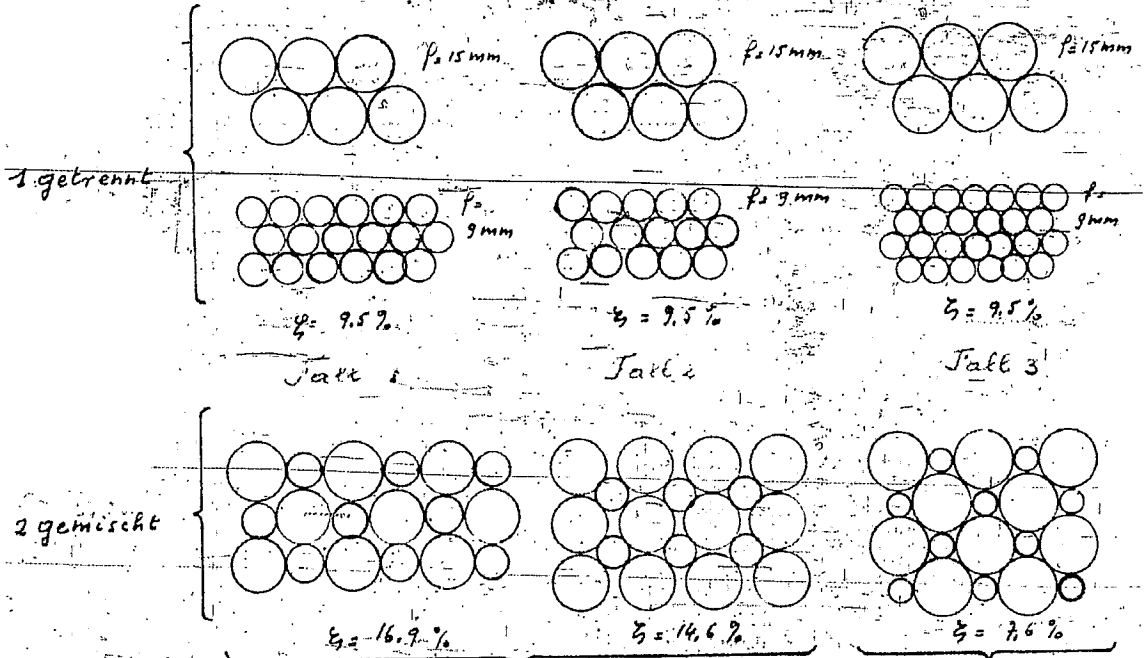


Oktaedrisch  
 $\xi = 27,9\%$



Tetraedrisch  
 $\xi = 22,0\%$

b) Zylindrische Körper verschiedener Größe



Ergebnis =

Vergroßerung des Porenvolumens durch Mischung

Verkleinerung des Porenvolumens durch Mischung

Abbildung 9

Beispiele für Lagerungen von Körpern

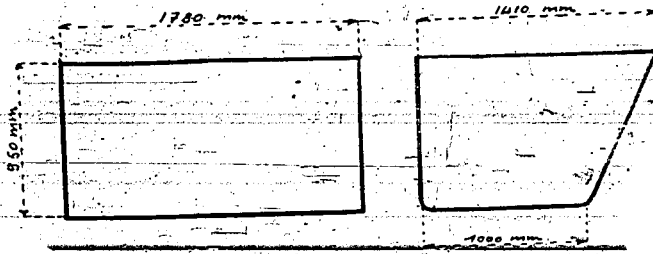
gleicher oder verschiedener Größe

nach A. Wagner, A. Hofschrub und W. Barth

(Archiv für das Eisenhüttenwesen Heft 4 Oktober 1932)

Abbildung 10

Abmessungen des  $2\text{ m}^3$  Hangelbahnwagens.



Seitwandfläche ..... = 5,80 m<sup>2</sup>

Bodenfläche ..... = 1,78 m<sup>2</sup>

Gesamt Berührungsfläche ..... = 7,58 m<sup>2</sup>

Oberfläche ..... = 2,51 m<sup>2</sup>

Füllraum ..... = 2,035 m<sup>3</sup>

## Normentwurf

### Bestimmung des Schüttgewichtes von Hochofenkoks

#### Zweck und Art der Prüfung

Die Bestimmung des Schüttgewichtes von Hochofenkoks hat den Zweck, vergleichbare Relativ-Werte über die Stücklichte des Kokses zu erhalten, soweit dieselbe zur Beurteilung eines Kokses wegen seiner Strömungs- und Verbrennungsgeschwindigkeit im Hochofen erforderlich ist. Entsprechend seinem Wesen wird durch die Prüfmart nicht die wahre Stücklichte des Kokses ermittelt, sondern es werden Anhaltssahlen erhalten, die zu der wahren Stücklichte in einem bestimmten Verhältnis stehen. Die angewandte Prüfmart ermöglicht die Ermittlung des Schüttgewichtes unter bestimmten festgelegten Bedingungen, bei denen Schwankungen zwischen mehreren Einzelversuchen innerhalb betriebsmäßig genügender Grenzen bleiben sollen.

#### Prüfgefäß

Das Prüfgefäß ist ein würfelförmiges Gefäß aus Holz od. Eisenblech von 794 mm innerer Kantenlänge mit geeigneten Handgriffen versehen.

#### Ausführung der Prüfung

- 1.) Hochofenkoks von 100/80 mm Stückgröße mit möglichst geringem Feuchtigkeitsgehalt wird in das auf der Waage stehende leer gewogene Prüfgefäß mittels Gabel in der Weise eingefüllt, dass die Gabel dicht über dem Gefäßrand oder auf diesem leicht aufliegend gekippt wird. Der Koks soll also weder geworfen noch geschüttelt werden. Bei der Einfüllung des Kokses in das Prüfgefäß ist gleichfalls darauf zu achten, dass die Befüllung des Letzteren möglichst gleichmäßig über den Querschnitt erfolgt. Die wegen des Maßenvolumens wichtige Oberflächen-Einnehmung der Schüttung wird so vorgenommen, dass die Anzahl Koksstücke, welche über dem Höhenpiegel des Gefäßes hinausragen etwa gleich gross derjenigen sind, die unterhalb dieses Höhenpiegels liegen. Hierbei ist allerdings jedes Mitteln des Kokses oder weitgehendes Unpacken desselben nicht zulässig. Das Gefäß mit Inhalt wird hierauf gewogen.
- 2.) Von dem abgewogenen Koks wird etwa  $\frac{1}{3}$  als Probemenge zur Wasserbestimmung des Kokses benutzt. Das verdoppelte Gewicht der abgewogenen trockenen Koksmenge in  $\frac{1}{2}$  ausgedrückt ergibt das Schüttgewicht des Kokses auf Trockenkoks bezogen.
- 3.) Es werden zwei Einzelversuche vorgenommen, aus denen der Mittelwert errechnet wird. Die Übereinstimmung der Werte aus den beiden Einzelversuchen darf nicht höher als  $\pm 1\%$  des Mittelwertes sein.