

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

BEIHEFTE DER ZEITSCHRIFT „BERGAKADEMIE“

REIHE **A** **BERGBAU** **HEFT 13**
VORTRÄGE DES BERG- UND HÜTTENMÄNNISCHEN TAGES 1952

Aufbereitung und Brikettierung der Braunkohle

mit Beiträgen von

E. Rammler,

G. Bilkenroth, F. Baunack, E. Glöckner, K. Heide, H. Jacob, H. Metzner



1953

FFH
A13
b

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



XVI 1142 A¹³_b

Bücherei
Bergakademie
Freiberg



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



XU XVI1142.A13B

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE
REIHE A BERGBAU HEFT 13





FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

BEIHEFTE DER ZEITSCHRIFT „BERGAKADEMIE“

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg
Prof. Dr. phil. F. Leutwein

REIHE **A** BERGBAU HEFT **13**
VORTRÄGE DES BERG- UND HÜTTENMÄNNISCHEN TAGES 1952

AUFBEREITUNG UND BRIKETTIERUNG DER BRAUNKOHLE

mit Beiträgen von

E. Rammler,

G. Bilkenroth, F. Baunack, E. Glöckner, K. Heide, H. Jacob, H. Metzner

Februar 1953

Akademie-Verlag · Berlin



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
FREIBERG



INHALT

ERICH RAMMLER und GEORG BILKENROTH	
Grundlagen der Herstellung von Braunkohlen-Hochtemperaturkoks	6
ERICH RAMMLER und KARL HEIDE	
Neue Versuche zur Druckentlastungszerkleinerung von Braunkohle	14
ERICH GLÖCKNER	
Über die Beziehungen zwischen der Härte der Braunkohlen und ihrer Brikettierbarkeit	21
HELMUT JACOB	
Mikroskopische Untersuchungen zum Verhalten der Braunkohlengefügebestandteile bei der Brikettierung	28
ERICH RAMMLER und HELMUT METZNER	
Über Beziehungen zwischen Steinstärke, Brikettfestigkeit und Preßdruck	36
ERICH RAMMLER und FRITZ BAUNACK	
Versuche zur Herstellung von Versandtrockenkohle als halbveredeltes Erzeugnis	44



XVI 1142 (a13) b

(57. 1877)

AUFBEREITUNG UND BRIKETTIERUNG DER BRAUNKOHLE

VORTRÄGE DES BERG- UND HÜTTENMÄNNISCHEN TAGES FREIBERG 1952



Nationalpreisträger
Prof. Dr.-Ing. Erich Rammler



Nationalpreisträger
Dr.-Ing.
Georg Bilkenroth

Grundlagen der Herstellung von Braunkohlen-Hochtemperaturkoks

Von Nationalpreisträger Prof. Dr.-Ing. ERICH RAMMLER, Freiberg,
und Nationalpreisträger Dr.-Ing. GEORG BILKENROTH, Berlin
(Vorgetragen von Erich Rammler)

Die thermochemische Veredelung der Steinkohle ist von der Hochtemperaturentgasung, der Verkokung, ausgegangen; erst spät hat sich die Tieftemperaturentgasung, die Schwelung, hinzugesellt. Umgekehrt war die thermochemische Veredelung der Braunkohle bislang allein auf der mit Temperaturen um 500–600° arbeitenden Schwelung aufgebaut. Erst jetzt ist die Braunkohlen-Hochtemperaturverkokung mit Arbeitstemperaturen von 1000–1100° als eine neue Veredlungsform im Werden. Dabei ist nicht mehr fraglich, ob man Braunkohlen-HT-Koks, wie wir das Erzeugnis der Hochtemperaturverkokung abgekürzt nennen, herstellen soll oder nicht. Herr Minister SELBMANN hat im vorigen Jahr in prägnanter Weise zum Ausdruck gebracht, daß die starke Entwicklung des Eisenhüttenwesens eine Verbreiterung der Koksbasis nach der Braunkohlenseite notwendig macht. Die Staatsführung hat die technischen und wirtschaftlichen Risiken, die mit dieser neuen technischen und wirtschaftlichen Entwicklung notwendig verbunden sind, nicht gescheut. Der erste Ofenblock der Braunkohlenkokerei Lauchhammer — als Versuchseinheit gebaut — hat den Versuchsbetrieb aufgenommen. Die Erprobung des Braunkohlenkokes, die bislang nur in kleinerem Maßstab vorgenommen werden konnte, geht nunmehr mit immer größeren Mengen vor sich. Aufgabe dieses Vortrages ist es, einige grundsätzliche Fragen zur Braunkohlen-HT-Verkokung zu erörtern.

I.

Verfahren der Braunkohlen-HT-Verkokung

Die Lösung eines Problems, wie das der Braunkohlenverkokung zur Gewinnung eines für gewisse metallurgische und chemische Zwecke geeigneten Braunkohlenkokes, erfolgt keineswegs plötzlich, wie etwa Pallas Athene dem Haupte des Zeus entsprang. Sie reift allmählich im Bereiche der Forschung heran. Viele Techniker und Forscher tragen Bausteine dazu herbei. BILKENROTH und ich sind in zwei Arbeiten auf die historische Entwicklung eingegangen [1, 2], eine dritte ausführlichere Arbeit hierüber ist in Vorbereitung. Ich kann es mir daher ersparen, hier nochmals einen geschichtlichen Rückblick zu geben.

Vor der Wahl der Verfahrenstechnik rangiert die Aufgabe richtiger Kohlenauswahl. Denn es kommt nicht darauf an, überhaupt einen Braunkohlenhochtemperaturkoks zu erzeugen, sondern einen solchen mit niedrigem Aschen- und Schwefelgehalt, der außerdem noch den Forderungen ausreichender Druck-, Abrieb- und Sturzfestigkeit sowie hinlänglicher Stückigkeit genügt. Da die Koksausbeute, ausgedrückt als wasserfreier Koks in % des eingesetzten, feuchten Briketts, nur 42–43% beträgt, so darf das Brikett nur 5% Aschengehalt haben, wenn der Aschengehalt im wasserfreien Koks 12% nicht übersteigen soll, und der Schwefelgehalt im Brikett darf nicht über 0,8 bis 0,9% betragen, wenn bei einem flüchtig werdenden Schwefelanteil von 35–40% der Schwefelgehalt des Kokes nicht über 1,3% im wasserfreien Zustand hinausgehen soll. Braunkohlen solcher Beschaffenheit finden sich in einigen Kohlenfeldern der Niederlausitz und im rheinischen Braunkohlenrevier. Es handelt sich hier um relativ teearme, leicht brikettierbare Braunkohlen, die nicht unter den Begriff „Schwelkohle“ fallen. Man darf also bei der Herstellung von Braunkohlen-

HT-Koks nicht nach dem Teer „schielen“. Er ist im Gegensatz zur Schwelerei durchaus ein Nebenprodukt. Wenn somit das westelbische Gebiet weiterhin das Zentrum der Braunkohlenschwelerei bleiben wird, so wird im ostelbischen Gebiet die sich entwickelnde Braunkohlenkokerei heimisch werden. Daher ist es kein Zufall, sondern durch die Kohlengrundlage bedingt, daß die erste Braunkohlenkokerei in Lauchhammer in der Niederlausitz entsteht. Das dortige Kohlenfeld hält für 70 Jahre vor. Weitere geeignete Kohlenfelder mit noch niedrigeren Schwefelgehalten sind vorhanden, müssen aber zum Teil erst noch aufgeschlossen werden. Für westelbische Braunkohlen wird die Herstellung von Braunkohlen-HT-Koks für chemische und metallurgische Zwecke erst dann in Frage kommen, wenn die Probleme der Entaschung und Entschwefelung dieser Kohlen verfahrensmäßig — mit Aussicht auf technische Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit — gelöst sind, woran insbesondere Prof. LISSNER arbeitet [3].

Es gibt nun verschiedene Wege, um Braunkohlen-HT-Koks herzustellen. Ihnen allen ist die Brikettierung gemeinsam. Denn der Braunkohle hat die Natur die edle Gabe der Backfähigkeit versagt. Sie muß vor der Verkokung geformt werden. Die Verkokung ist so zu leiten, daß der Formling seinen Zusammenhalt bei der Verkokung möglichst wahr, also nur ein begrenzter Anteil kleinerer Sorten entsteht. Man kann nun zwei- und einstufige Verfahren unterscheiden. Bei den zwei-stufigen Verfahren wird die getrocknete Kohle zunächst in körniger oder brikettierter Form geschwelt; der Schwelkoks wird dann zerkleinert und brikettiert; schließlich werden die Schwelkoks briketts verkokt. Die thermische Behandlung wird also in zwei Stufen, Tieftemperatur- bzw. Schwelstufe und Hochtemperatur- bzw. Verkokungsstufe, unterteilt. Die Brikettierung liegt zwischen beiden Stufen. Bild 1 zeigt das Schema

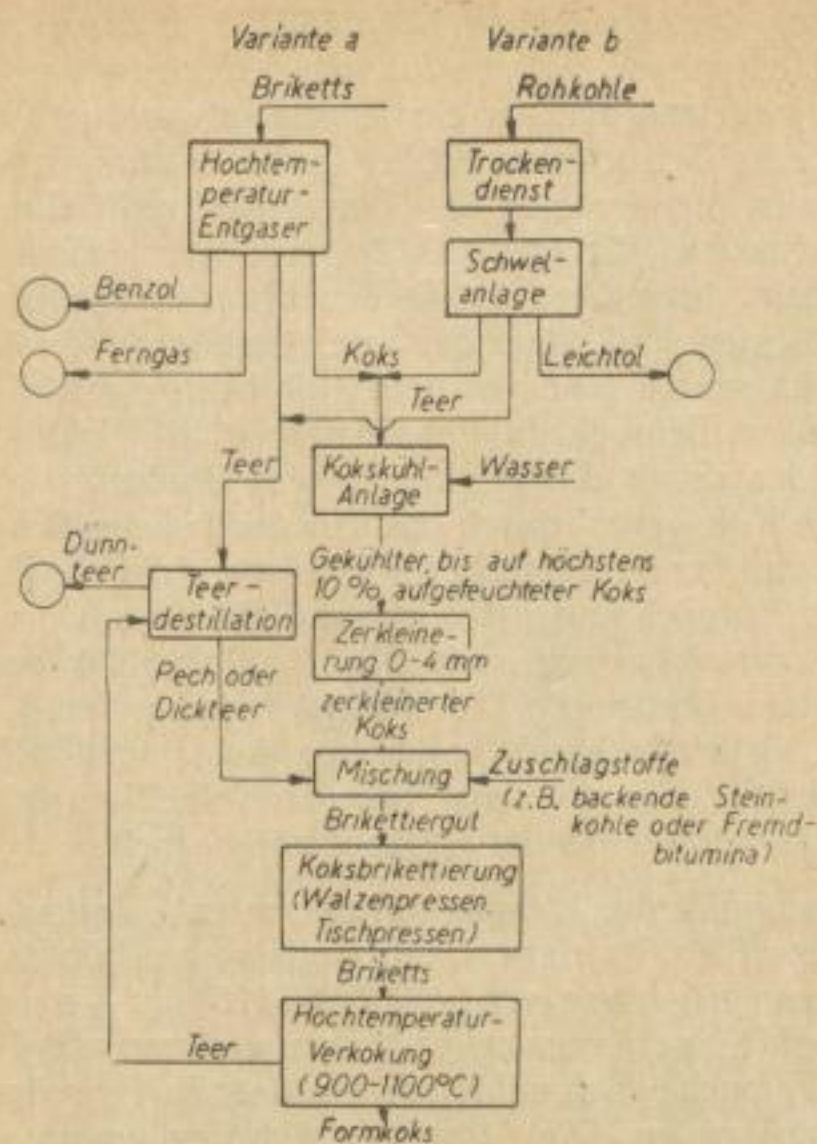


Bild 1. Schema des zweistufigen Verfahrens für die Herstellung von Formkoks aus Braunkohle

des zweistufigen Verfahrens Didier-Julienhütte, eine Weiterentwicklung des englischen Carbocoal-Verfahrens, verbunden mit den Namen BAUM, HOCK und THAU [4, 5, 6]. Es sollte insbesondere dazu dienen, aus nicht backenden Gasflammenkohlen einen für metallurgische Zwecke brauchbaren Formkoks herzustellen. Auf einer während des Krieges in der Julienhütte erstellten Versuchsanlage wurde auch ein Versuch mit einer älteren (ungarischen) Braunkohle durchgeführt. Die Kohle wird (nach Bild 1) zunächst getrocknet und geschwelt; der erhaltene Schwelkoks wird gekühlt, durch Wasserzusatz auf 10% aufgefuechtet und auf 0-4 mm zerkleinert; hierauf wird er mit bis 10% Pech und einem Zusatz bis zu 20% backender Steinkohle brikettiert. Die Briketts werden anschließend verkocht, wobei das Pech und die Steinkohle das Koksgerüst liefern, das die Braunkohlenkörner verkittet. Die von uns 1949 und 1950 durchgeführten laboratoriumsmäßigen und technischen Versuche mit diesem Verfahren verliefen nicht günstig. Die Niederlausitzer Braunkohle saugt viel Bindemittel in ihren Kapillaren auf. Das aus dem Teer der Braunkohle hergestellte Pech erwies sich wenig geeignet als Bindemittel; die Backfähigkeit der ausschließlich als Zuschlag verfügbaren Zwickauer Steinkohle erwies sich als zu gering. Die Festigkeit des Formkokes war jedenfalls unzulänglich, wie Verkockungsversuche in Vertikalkammeröfen zeigten. Für alte, schwer brikettierbare Braunkohlen kann gleichwohl das zweistufige Verfahren als das allein anwendbare bezeichnet werden.

In Bild 2 ist ein in den letzten Kriegsjahren von BUBE [7, 8] in der Schwelerei Grotzsch entwickeltes zweistufiges Verfahren dargestellt, das den schlimmsten Mangel des eben besprochenen Verfahrens, nämlich den hohen Pechverbrauch und den zusätzlichen Bedarf an backender Steinkohle, vermeidet. Die getrocknete Braunkohle wird in Borsig-Geißen-Schwelöfen nicht restlos entschwelt; vielmehr wird ein Rest-

teergehalt von 1 bis 2% im Schwelkoks belassen, so daß dieser noch weich bleibt. Der teerhaltige Schwelkoks wird dann auf 0-1 mm gemahlen und mit 10% H₂O angemischt. Hierauf wird der aufgefuechtete Schwelkoks ohne Zusatz eines weiteren Bindemittels als dieses Aufgefuechtwassers auf der Strangpresse brikettiert. Die Briketts wurden in Kammeröfen von Gaswerken oder im Rollofen verkocht.

Voraussetzung für dieses Verfahren ist, daß die Trockenkohle so schonend geschwelt wird, daß sie nicht durch Teerkrackung verhärtet wird, und daß der Schwelofen so gut geregelt werden kann, daß ein konstanter gewünschter Restteergehalt eingehalten werden kann. Die lediglich mit Wasser erzeugten Briketts aus dem gemahlene Schwelkoks haben nur begrenzte Festigkeit. Sie dürfen keiner stärkeren Beanspruchung beim Transport und beim Bunkern ausgesetzt werden. Beim Verkoken erhalten die Formlinge erst ihre endgültige Festigkeit. Hierbei dürften die Teerharze als Bindemittel mitwirken.

Die Erkenntnis, daß Schwelkoks, dem man einen Restteergehalt belassen hat, sich mit ausschließlicher Zugabe von Wasser brikettieren läßt, beruht auf Forschungen von KEGEL [9], BEHRISCH [10], SEIDENSCHNUR [11] und MENZEL [12]. Das Verdienst BUBEs besteht in der Erkenntnis, daß sich diese Briketts beim Verkoken stark verfestigen. Das Verfahren von BUBE ist bislang nur auf aschen- und schwefelreiche mitteldeutsche Schwelkohlen angewendet worden. Es wird von uns z. Z. laboratoriumsmäßig für natürlich aschen- und schwefelarme Niederlausitzer Braunkohle erprobt, um für den künftigen Ausbau der Braunkohlenverkockung alle Verfahren, die irgendwie aussichtsreich sein könnten, technisch und wirtschaftlich miteinander vergleichen zu können. Ungewisse Faktoren sind die Wahl eines geeigneten Schwelverfahrens, der Verschleiß der Strangpresse, der auch bei dem Schwelkoks mit Restteergehalt beträchtlich sein wird, und die zu besonderen Vorsichtsmaßnahmen nötige geringe Festigkeit der Briketts vor dem Verkoken. Die Borsig-Geißen-Öfen, die für das Bubesche Verfahren am geeignetsten sind, sind durch Mangel an Sicromal alle zum Erliegen gekommen. U. E. dürften Kanalschwelöfen — vielleicht auch der Kosag-Geißen-Schwelöfen — den Anforderungen Genüge leisten können. Es scheint, daß die xylitische, teerarme Niederlausitzer Kohle für dieses Verfahren nicht so gut geeignet ist wie xylitarme Schwelkohlen Mitteldeutschlands.

Die zweistufigen Verfahren haben den Vorteil, daß der Teer der Kohle wie in der Schwelerei fast restlos als Schwelteeer gewonnen werden kann, jedoch den Nachteil, daß die apparative Rüstung durch die Trennung von Schwelen und Verkoken umfangreich und teuer wird. Wärmewirtschaftlich ist ungünstig, daß der Schwelkoks nach der Schwelung wieder auf

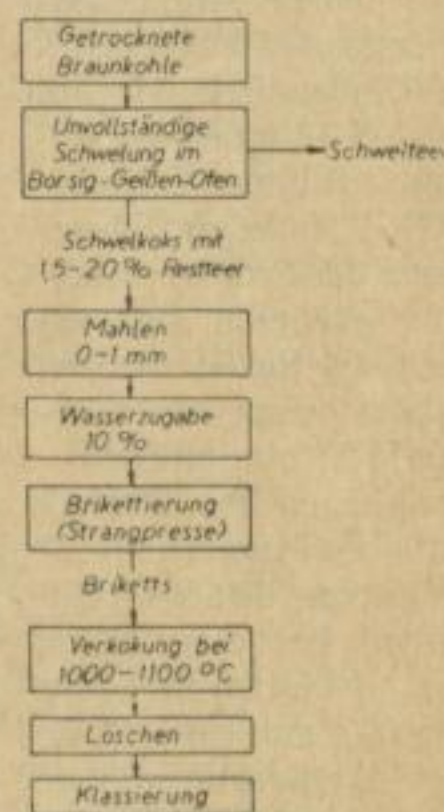


Bild 2. Zweistufiges Verfahren der Braunkohlen-HT-Koks-Herstellung nach Bube

Außentemperatur abgekühlt werden muß, um dann von neuem erhitzt zu werden. Bei den einstufigen Verfahren folgen Schwelen und Verkoken in einem Arbeitsgang aufeinander und verzahnen sich teilweise sogar. Hier wird somit die Brikettierung vor der gesamten thermischen Behandlung vorgenommen. Unter den einstufigen Verfahren kann man zwei Gruppen unterscheiden, und zwar solche, die mit Bindemitteln arbeiten, und solche, bei denen die Brikettierung bindemittellos erfolgt.

Bild 3 zeigt das Verfahren des Kollektivs KLEIN, ein Gemisch von $\frac{2}{3}$ schlecht oder nicht backender Stein- und von $\frac{1}{3}$ Braunkohle mit einem Bindemittel zu brikettieren, und diese Briketts dann in einem Arbeitsgang mittels Spülgasen bei 1200° zu verkoken, wobei man anstrebte, das Sintern der Asche zur Verfestigung des Koks zu auszunutzen. Für die DDR konnte diesem Verfahren wegen der geringen Steinkohlevorräte keine Bedeutung beigemessen werden.

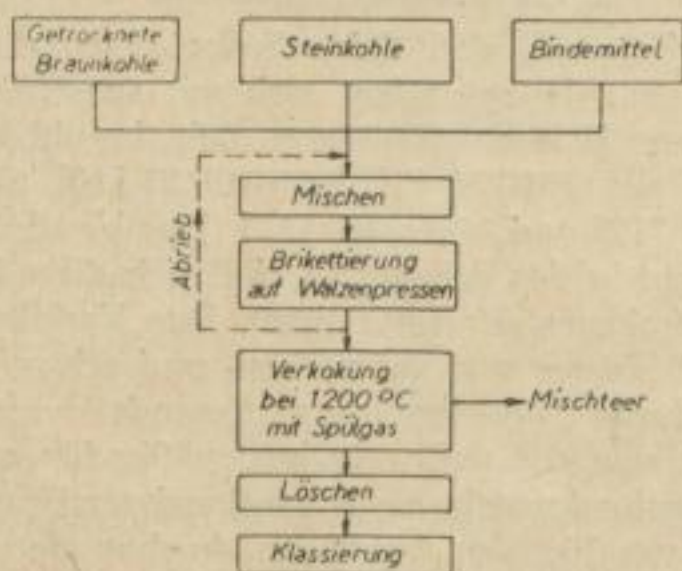


Bild 3. Verkoken von mit Bindemitteln hergestellten Mischbriketts aus Stein- und Braunkohle im einstufigen Verfahren (Kollektiv Klein)

Es war daher zu prüfen, unter welchen Bedingungen man getrocknete Braunkohle allein mit Bindemitteln brikettieren und die Briketts in einem Arbeitsgang verkoken könnte, Bild 4. Die Brikettierung von Weichbraunkohle mit Bindemitteln war kein Novum; STAEMMLER [13] und SEIDENSCHNUR [14] haben schon darüber gearbeitet. Nur einige Bindemittel, wie der Orga-S-3-Binder der Asphalt-Bitumen-Chemie (ABC), Halle, und Säureharze der Erdölverarbeitung erwiesen sich als geeignet. Sie lieferten im Laboratorium einen festen HT-Koks mit Druckfestigkeiten über 200 kg/cm^2 . Jedoch war ein Preßdruck von 800 bis 1000 kg/cm^2 bei einer Körnung der Brikettierkohle von 0-3 mm nötig. Für die Brikettierung mußten daher Hochdruck-Walzenpressen verwendet werden. Die geeigneten Bindemittel hatten leider hohe Schwefelgehalte, was den Schwefelgehalt des Koks in unerwünschter Weise erhöhte. Selbst wenn unter Aus-

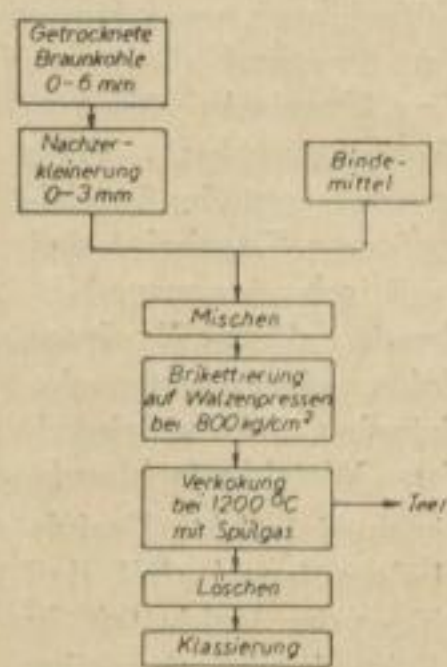


Bild 4. Verkoken von mit Bindemitteln hergestellten Braunkohlenbriketts im einstufigen Verfahren (Forschungsarbeit Rammler und Kollektiv Klein)

wertung der Arbeiten von LISSNER [15] bessere Bindemittel entwickelt werden können, so bleibt die Tatsache bestehen, daß der Bindemittelaufwand je Tonne Koks erheblich größer als bei dem zweistufigen Verfahren ist, bei dem nur der Schwelkoks, nicht aber die Trockenkohle, die fast das $2\frac{1}{2}$ -fache der Koks menge ausmacht, brikettiert zu werden braucht. Die Bindemittelkosten sind daher bei dem einstufigen Verfahren mit Bindemittel sehr viel höher als beim zweistufigen Verfahren. Beim einstufigen Verfahren mit Bindemittel wird das durch die Verkoken des Bindemittels gebildete Koksgerüst durch das Entweichen des Schwelgases und der Teerdämpfe in der Phase der Schwelung an der Entwicklung gehindert und stark beansprucht. Man kann daher sich nicht allein auf das Koksgerüst aus dem Bindemittel verlassen; vielmehr muß ein guter Brikettverband vorhanden sein, was höhere Preßdrücke, als sie sonst bei der Brikettierung mit Bindemitteln verwendet werden, nötig macht.

Braunkohlenhochtemperaturkokse aus bindemittellos gepreßten Strangpressenbriketts waren bereits um 1935 versuchsweise von ALLNER [16] im Versuchsgaswerk Kassel hergestellt worden, und zwar sind einzelne Versuche auch mit Niederlausitzer Briketts durchgeführt worden. Die damaligen Arbeiten waren aber auf die Stadtgaserzeugung durch Brikettentgasung ausgerichtet, und man strebte nur an, so festen Koks zu erhalten, daß man den Unterfeuerungsbedarf mit dem selbsterzeugten Koks decken konnte. Rammler hat 1936 und 1937 über Versuche zur Vergasung dieses Braunkohlenhochtemperaturkoks und über seine Verfeuerung in Zentralheizungskesseln und Zimmeröfen berichtet [17, 18]. Die Brikettentgasung zur Stadtgaserzeugung hat sich nicht durchsetzen können; sie ist von der Druckvergasung als wesentlich wirtschaftlicherem Verfahren überholt worden. Von da an war die Frage gestellt, nicht das Gas zum Haupterzeugnis der Brikettentgasung zu machen, sondern den Braunkohlenhochtemperaturkoks, also aus der Gasanstalt eine Braunkohlenkokerei zu machen. Entwicklungsarbeiten von BILKENROTH [19] und von HAASE [20] über Fein- und Feinstkornbrikettierung auf der Strangpresse, Verkokenversuche von CONZELMANN [21] und später von VOLLMAIER [22] mit Laboratoriumsbriketts, einige im Kriege durchgeführte Verkokenversuche des damaligen Rheinischen Braunkohlensyndikates im Gaswerk Dresden-Reick, eigene Laboratoriumsversuche mit in der Praxis gepreßten Feinkornbriketts waren die Vorstufen, auf denen wir bei der Entwicklung des in der Braunkohlenkokerei Lauchhammer angewandten Verkokenverfahrens fußen konnten. Zahlreiche technische Versuche an verschiedenen Arten von Verkokenöfen und systematische halbjährige Untersuchungen in dem für unsere Zwecke umgebauten Versuchsgaswerk Delitzsch waren nötig, um die günstigsten Verfahrensbedingungen zu finden.

Das in der Kokerei Lauchhammer angewandte Verfahren (Bild 5) geht von Feinstkornbriketts, hergestellt auf der Strangpresse aus natürlich aschen- und schwefelarmer Braunkohle mit der Körnung 0-1 mm und 12% Wassergehalt, aus. Diese Feinstkornbriketts werden mittels Spülgase in einem Vortrockner getrocknet und dann durch die sogenannten „Schläuche“ in Vertikalkammeröfen, also in Öfen mit Außenbeheizung, übergeführt und bei Endtemperaturen von 1100°

verkocht. Die Heizgase bestreichen die Kammerwände von unten nach oben, so daß die Heizwandtemperatur nach oben hin etwas abfällt. Auf diese Weise soll ein zu krasser Temperatursprung beim Übergang der Briketts aus dem Vortrockner in die Verkokungskammern vermieden und die Schwelung noch einigermaßen schonend gestaltet werden. Die unterste Ofenzone ist unbeheizt, um eine, wenn auch beschränkte, Vorkühlung des Koks zu erreichen. Der Betrieb ist halbkontinuierlich, d. h., es wird durch besonders entwickelte Kammerverschlüsse, die einen Austrag des Koks mit 800—900^o gestatten, alle 4 Stunden ein Teil des Kammerinhaltes abgezogen. Dampfeinleitung in die Koksfüllung zur Kühlung des Koks wird im Normalfall bewußt vermieden, um die an sich bei Braunkohlenbrikettentgasung knappe Koksausbeute nicht zu vermindern und eine Aktivierung des Koks durch den Wasserdampf zu vermeiden. Der Koks wird dann trocken mittels Wälzgasen gekühlt, leicht überbraust, um ihm seine Restwärme zu nehmen, und schließlich in die Verkaufssorten klassiert. Die Verkokungsöfen sind mit Rekuperatoren für die Vorwärmung von Gas und Luft ausgestattet; das Abgas der

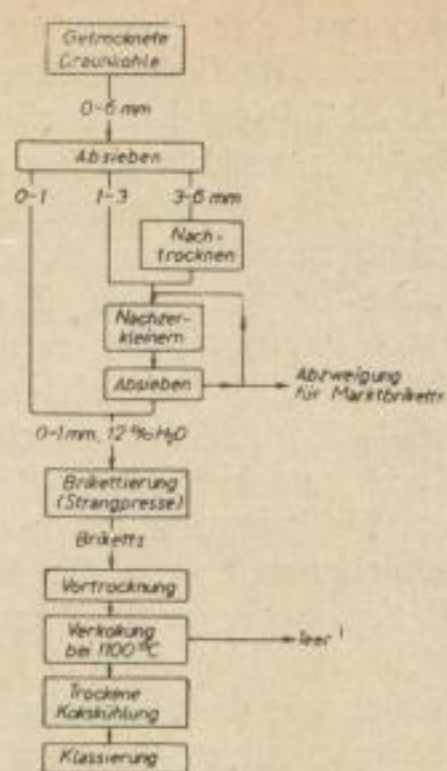


Bild 5. Herstellung von Braunkohlen-HT-Koks im einstufigen Verfahren nach Bilkenroth-Rammler

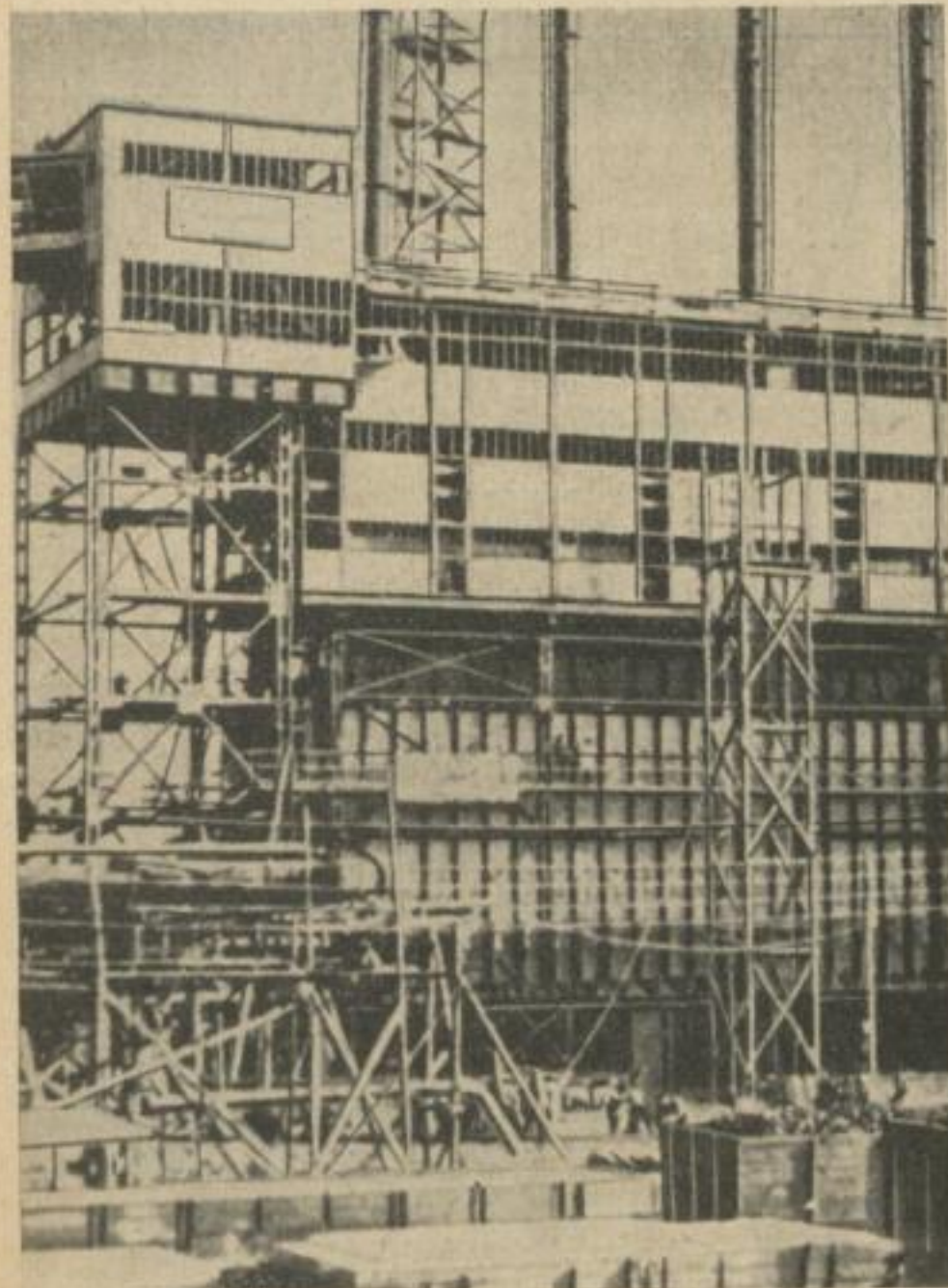


Bild 6. Ofenblock 1 der Großkokerei Lauchhammer

Rekuperation wird als Spülgas für die Trocknung benutzt. Die in unseren technischen Zeitschriften schon gebrachte Aufnahme des Ofenblocks 1 in Lauchhammer, Bild 6, zeigt oben die Kamine der Vortrockner, darunter die Vortrockner, die Schläuche und die Vertikalkammeröfen.

Es ist gelungen, Feinstkornbriketts aus der Körnung 0—1 mm mit Druckfestigkeiten von 200 bis 230 kg/cm² (unter günstigen Verhältnissen bis 300 kg/cm²) herzustellen und daraus Koks mit einer Druckfestigkeit von 140—180 kg/cm² (bei besonders guten Briketts bis 250 kg/cm²) zu gewinnen. Selbstverständlich wäre es auch möglich, Staubbriketts der Ringwalzenpresse aus der Körnung 0—0,5 mm nach diesem Verfahren zu verkoken, Bild 7. Bei Laboratoriumsuntersuchungen sind wir damit auf Druckfestigkeiten des Koks bis über 500 kg/cm² gekommen. Ringwalzenpressen stehen aber z. Z. nicht zur Verfügung; die Staubbrikettierung auf der Strangpresse, obwohl durch die Arbeiten von BILKENROTH [19], von ANDERSCH sowie HOCK und JEKKE [23] hoffnungsvoll eingeleitet, bedarf noch der weiteren Entwicklung. Das Stückgewicht der Preßlinge der bisherigen Ringwalzenpresse ist auch mit 150 bis 170 g nicht groß genug; man müßte ihr Formzeug noch umgestalten, so daß man Preßlinge von 300 bis 400 g Stückgewicht erhalten könnte.

Möglicherweise würde aber auch die Neigung zur Bildung feinen Flugstaubs in den Schachtöfen verstärkt werden, wenn man auf Staub als Brikettiergut übergehen würde.

Das Verkokungsbrikett muß eine so hohe Ofenstandfestigkeit haben, daß es den starken Beanspruchungen seines Gefüges durch das Entweichen des Wasserdampfes bei der Trocknung, durch das Entweichen der Schwelgase und Teerdämpfe bei der Schwelung, schließlich durch die Abspaltung des Hochtemperaturentgasungsgases gewachsen ist. Das einstufige Verkokungsverfahren hat es in dieser Beziehung schwieriger als die zweistufigen Verfahren, bei denen erst der Schwelkoks brikettiert wird, also die Trocknung und Schwelung schon vorweggenommen sind und der Formling nur die Beanspruchungen der Hochtemperaturentgasung überdauern muß. Das Verkokungsbrikett muß einen Gewichtsschwund um 56 bis 58% und einen Volumenschwund, der um 50 bis 53% liegt, durchmachen und soll diesem standhalten, um möglichst viel Stückkoks zu ergeben. Bild 8 zeigt die in einem chargenweise betriebenen Vertikalkammerofen aufgenommene Schwundkurve einer Brikettschüttung. Man erkennt den steilen Verlauf der Schrumpfkurve in den ersten 6 Stunden und kann sich daraus eine Vorstellung über die starken Beanspruchungen des Brikettgefüges machen. Nur ein Feinstkornbrikett mit hohem Raumgewicht kann den auf Auflockerung des Gefüges hinwirkenden Kräften standhalten. Denn nur durch Ver-

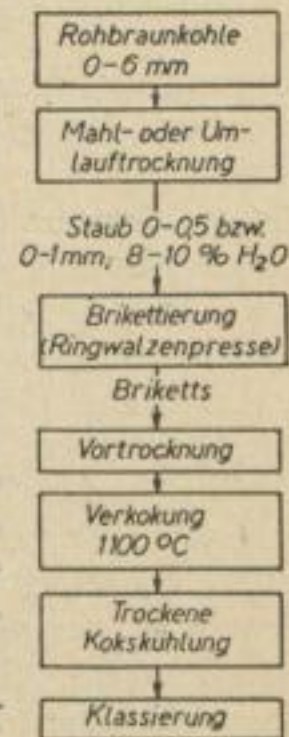


Bild 7. Abgewandeltes Verfahren der Braunkohlen-HT-Koksherstellung im einstufigen Verfahren nach Bilkenroth-Rammler

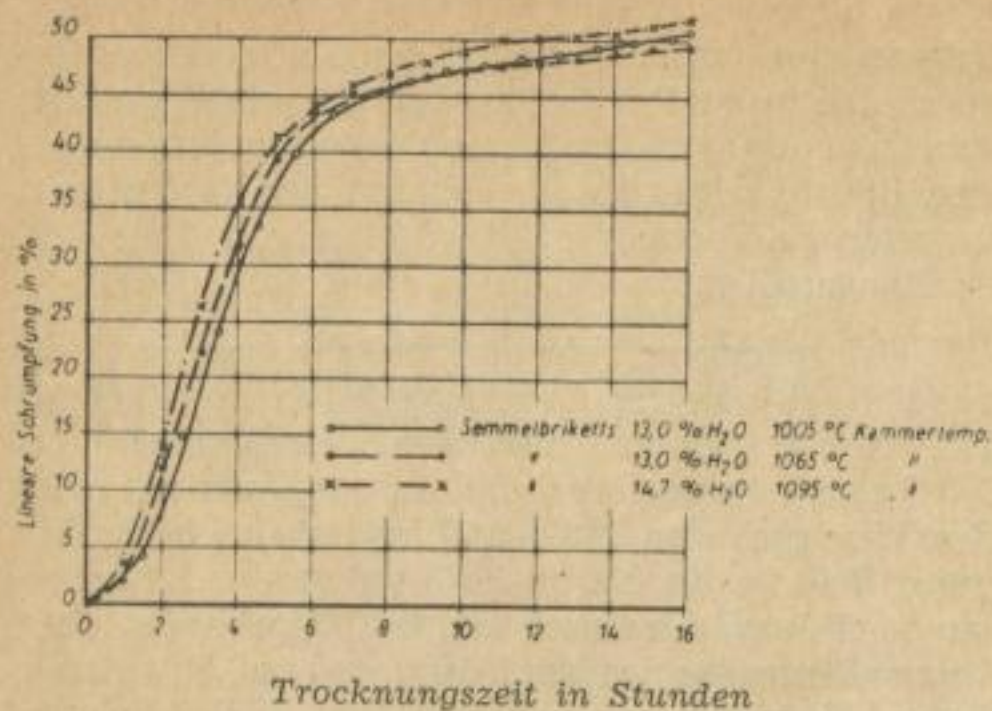


Bild 8. Lineare Schrumpfung bei der Verkokung von LCH 6-Semmelbriketts

feinerung des Kornes werden die Schrumpfdifferenzen zwischen den einzelnen Körnern genügend eingeschränkt.

Man könnte sich allerdings ein Verfahren denken, das es gestattet, wenigstens einen Teil der bei der Verkokung flüchtig werdenden Stoffe schon vor der Brikettierung auszuschleiden. Dies wäre die Extraktion des Bitumens. Die Brikettierfähigkeit wird nach den Untersuchungen von PIENING [24] und HENTZE [25] durch die Bitumenextraktion nicht geschädigt, sondern sogar verbessert. KRAFFT [26] hat in Westdeutschland ein Patent angemeldet, wonach durch der Schwelung vorgeschaltete Extraktion des Bitumens ein stückigerer Schwelkoks gewonnen werden soll.

Dieses Verfahren ließe sich auch auf die Hochtemperaturverkokung anwenden, Bild 9. Die Kohle würde erst getrocknet und zerkleinert, dann in der Körnung 0—1 mm extrahiert, hierauf nachgetrocknet, brikettiert und dann verkocht. Es ist aber einerseits zu berücksichtigen, daß die Niederlausitzer Braunkohle, auf die die Verkokung angewiesen ist, nur relativ wenig Bitumen enthält und somit nur eine bescheidene Entlastung der Beanspruchung der Briketts bei der Entgasung eintritt und daß weiterhin bei einer Großkokerei die Anlage für die Bitumenextraktion sehr groß sein würde und eine weitere Entwicklung einsetzen müßte, um die anfallende Menge minderwertigen Bitumens zu Wertstoffen aufzuarbeiten.



Bild 9. Mögliches Verfahren der Braunkohlen-HT-Koks-Herstellung unter Einschaltung eines Verfahrens zur Bitumenextraktion vor der Schwelung nach Krafft zwecks Stückschwelkoks-gewinnung

II.

Eigenschaften des Braunkohlenkokes

Ein Steinkohlenkoksstück ist ein Schmelzverband; ein Braunkohlenkoksstück ein Schwundverband. Van der Waalssche Kohäsionskräfte bedingen den Zusammenhang des Stückes. Inwieweit noch die Kittwirkung dünner Kokshäutchen aus Harz- und Asphaltstoffen mitwirkt, ist zweifelhaft; die mikroskopische Unter-

suchung hat hierzu noch keine Aussagen machen können. Die Beschaffenheit der organischen Substanz von Stein- und Braunkohle ist wesentlich verschieden. Braunkohlenkoks kann daher nicht die gleichen Eigenschaften wie Steinkohlenkoks haben, weder physikalisch noch chemisch.

Die Stückgröße des Braunkohlen-HT-Kokes ist dadurch begrenzt, daß es auf der Strangpresse bislang nicht möglich ist, größere Briketts als Halbsteine mit 300—350 g Stückgewicht und mit größeren Stärken als 50 mm befriedigend fest aus Feinstkorn zu pressen. Bei Verkokung von Halbsteinen haben die ganz gebliebenen Stücke die Abmessungen: 84 mm Länge, 50 mm Breite und 32 mm Dicke mit einem Stückgewicht um 130—150 g. Stückkoks von den Stückgrößen wie der Hochofen- und Gießereikoks der Steinkohlenkokereien lassen sich daher bei der Braunkohlenverkokung nicht herstellen. Für die Niederschachtöfen, denen der in Lauchhammer erzeugte Braunkohlenkoks vorwiegend zugeführt werden soll, sind aber nicht einmal die mit Halbsteinen erzielbaren Stückgrößen notwendig. Es genügt hier der aus Semmelbriketts hergestellte Koks, und zwar der Anteil über 30 mm. Neue brikettiertechnische Entwicklungen, die im Gange sind, werden es vermutlich gestatten, für diejenigen Zwecke, wo möglichste Großstückigkeit des Kokes erwünscht ist, die Stückgröße weiterhin zu erhöhen.

Der aus Semmelbriketts von 150—180 g Stückgewicht hergestellte Braunkohlen-HT-Koks wird vorerst in die Kornklassen 0—10, 10—30 und 30 mm klassiert. In Bild 10 sind Körnungskurven dieser 3 Sorten

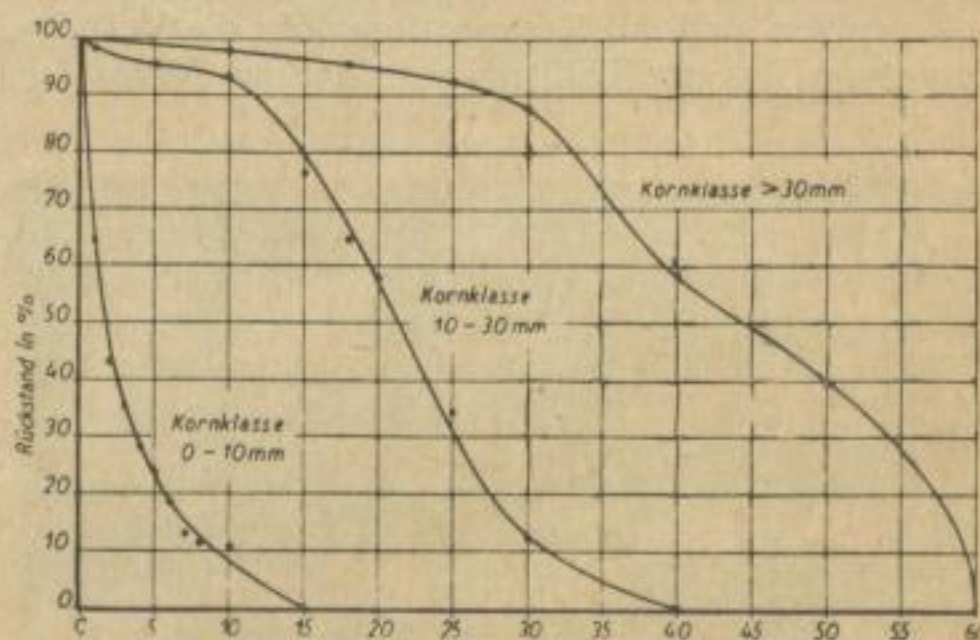


Bild 10. Körnungskurven der Sorten von Braunkohlen-HT-Koks

als Durchschnitt einer Betriebswoche aufgetragen. Die oberste Stückgröße reicht hiernach fast bis an 60 mm heran. Der Anteil über 30 mm kann gegebenenfalls noch in 30—45 und über 45 mm unterteilt werden. Dies ist das Klassierungsschema, das bei Halbsteinverkokung vorgesehen ist.

Der Sortenanfall des Braunkohlen-HT-Kokes hängt von einer ganzen Anzahl von Faktoren der Kohlebeschaffenheit, der Brikett Herstellung und der Verkokungsführung ab. Tabelle 1 zeigt Werte des Sortenanfalls von Dauerversuchen in Delitzsch. Hiernach fielen bis 75% über 30 mm an. Wichtig ist vor allem, den Anfall an Spalterbriketts bei der Feinstkornbrikettierung tunlichst einzuschränken, da die „Spalter“ den Sortenanfall wesentlich verschlechtern können.

Die Festigkeit des Braunkohlenkokes hängt von den gleichen Faktoren wie der Sortenanfall ab. Dabei ist schonende Vortrocknung eine wesentliche Vorbe-

Tabelle 1. Beispiele für den Sortenanfall des Kokes (Versuche Delitzsch)

Art der Briketts		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
		Semmelbriketts ohne Vortrocknung	Halbsteine ohne Vortrocknung	Semmelbriketts
Anteil > 45 mm	%	40,8	35,9	53,3
30—45 "	%	21,8	21,6	23,0
10—30 "	%	24,3	24,5	17,8
0—10 "	%	13,1	18,0	5,9
Gesamtanteil > 30 "	%	62,6	57,5	76,3
Druckfestigkeit des Kokes	kg/cm ²	117	240—260	174

dingung (RAMMLER und GERLACH [27]). Dies gilt insbesondere für Halbsteine. Diese bleiben bei der Verkokung nur ganz und weitgehend rißfrei, wenn man sie schonend trocknet. Die Druckfestigkeit des Braunkohlen-HT-Kokes ist mit 140 bis 180 kg/cm² höher als die des Steinkohlenkokes, jedoch bleibt die Abriebfestigkeit und in geringerem Grade auch die Sturzfestigkeit des Braunkohlenkokes hinter der des Steinkohlenkokes zurück. Ein unmittelbarer Vergleich der Abrieb- und Sturzfestigkeiten ist insofern nicht möglich, als die eingesetzten Stücke beim Braunkohlenkoks natürlich viel kleiner sind als beim Steinkohlenkoks. Die in der Micumtrommel bestimmte Abriebfestigkeit der Braunkohlenkoksart über 30 mm überschreitet selten 40—50%, während bei Steinkohlenkoks von allerdings größerer Stückigkeit mehr als 70% gefordert werden. Hierin spricht sich eben aus, daß ein Braunkohlenkoksstück einen Schrumpfverband darstellt, der nicht ohne Inhomogenitäten ist, wobei die Risse oder Schwächeflächen teils schon von der Brikettierung herrühren können, teils erst bei der Verkokung entstehen. Nach 4 Stürzen aus 1,80 m Höhe ergibt der Stückkoks über 30 mm im allgemeinen noch einen Sturzurückstand von 80%, was befriedigend ist. Die Abriebfestigkeit des Braunkohlenkokes, die zwar schon jetzt über der der meisten Gaskokse liegt, durch systematisch betriebene Kleinarbeit noch höher zu züchten, ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der weiteren Qualifizierung des Braunkohlen-

Tabelle 2. Kennwerte von Braunkohlen—HT—Koks, bezogen auf wasserfreien Zustand

		Kornklasse in mm		
		> 30	10—30	0—10
Aschengehalt	%	11,9	12,7	13,7
Gesamtschwefelgehalt	%	1,30	1,36	1,62
Gehalt an flüchtigen Bestandteilen	%	2,2	2,3	4,2
Unterer Heizwert	kcal/kg	7195	7151	6912
Zündpunkt (Bunte—Kölmel)	°C	440	410	405
Reaktionsfähigkeit gegen CO ₂ bei 600°C		0,0	0,0	0,0
bei 700°C		2,0	4,4	4,5
bei 800°C		22,1	43,6	42,0
bei 900°C		88,6	74,4	77,8

kokes. Auf alle Fälle ist es wichtig, den Braunkohlenkoks in der Sieberei hart zu behandeln, um die rissigen Stücke zum Auseinanderfallen in die vorgebildeten Bruchstücke zu bringen.

Der Braunkohlen-HT-Koks, wie er aus dem Verkokungssofen kommt, hat einen Restgehalt an flüchtigen Bestandteilen zwischen 1 und 2%. Wird der Koks naß gelöscht, so erhöht sich der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen auf 3 bis 4%. Hier handelt es sich um Hydratwasser, das die Asche des Kokes, die Calciumsulfat, CaO, Kalksilikate enthält, aufnimmt, also sozusagen um „unechte flüchtige Bestandteile“. Der Kohlenstoffgehalt des wasser- und aschefrei gedachten Braunkohlenkokes beträgt 98%; die Kohlenstoffanreicherung geht somit genau so weit wie bei Steinkohlenkoks.

In Tabelle 2 sind einige wichtige Kennwerte des Braunkohlen-HT-Kokes als Durchschnitt einer Betriebswoche angegeben, bezogen auf wasserfreien Zustand. Der Aschengehalt steigt von rd. 12% in der Kornklasse größer als 30 mm über 12,7% bei 10—30 mm, auf 13,7% bei 0—10 mm an; der Gesamtschwefelgehalt beträgt 1,3% im Koks über 30 mm und erhöht sich über 1,35% bei 10—30 mm auf 1,6% bei 0 bis 10 mm. Der Gesamtschwefelgehalt unterliegt gewissen Schwankungen. Wir hatten auch Wochendurchschnittswerte von 1,1% im Stückkoks bis 1,3% im Grus und neulich eine Woche, wo der Schwefelgehalt im Stückkoks im Wochendurchschnitt nur 0,9% betrug. Vom Gesamtschwefel entfallen rd. 90% auf Aschenschwefel. Der Koks kam mit 2% flüchtigen Bestandteilen in den Kornklassen > 30 mm und 10—30 mm zum Versand. Im Koksgrus lag der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen mit 4% etwas höher, was teils darauf zurückzuführen ist, daß der Grus im Verkokungssofen nach unten durchrieselt und zum anderen darauf, daß der Grus bei der Überbrausung mehr Wasser aufnimmt und damit auch mehr Hydratwasser bindet. Der untere Heizwert des wasserfreien Kokes liegt für die Kornklassen über 10 mm zwischen 7100 und 7200 kcal/kg. Zeitweise wurde der Koks mit 2 bis 3% Wassergehalt verschickt. Bei 5% Wassergehalt beträgt der untere Heizwert 6700—6800 kcal/kg.

Der Zündpunkt nach BUNTE-KÖLMEL nimmt mit kleiner werdender Korngröße ab. Er wurde zu 440° im Anteil über 30 mm, zu 410° bis 405° in den Anteilen unter 30 mm gefunden. Auch die Reaktionsfähigkeit gegen CO₂ ist beim Stückkoks geringer. Trotz gleich hoher Kohlenstoffanreicherungen sind Zünd- und Reaktionsfähigkeit beim Braunkohlenkoks größer als beim Steinkohlenkoks. Die andersartige Beschaffenheit der organischen Substanz der Braunkohle macht sich noch im Hochtemperaturkoks in der größeren Reaktionsbereitschaft des Kohlenstoffes geltend. Diese größere Reaktionsfähigkeit wird aber in der Praxis durch das niedrige Porenvolumen, also die dichte Beschaffenheit des Kokes, die seine praktische Verbrennlichkeit im Stück herabsetzt, weitgehend kompensiert. Das Porenvolumen des aus dicht gepreßten Feinstkornbriketts hergestellten Braunkohlenkokes stellt sich nur auf 22—25% gegen 40—50% beim Steinkohlenkoks. Die Schliffbilder (Bild 11 und 12) lassen den Unterschied zwischen dem großporigen Steinkohlen- und dem feinstporigen Braunkohlenkoks klar erkennen. Die Warmfestigkeit des Kokes ist befriedigend, wie man sowohl im Niederschachtofen wie im Karbidofen als auch bei Laboratoriumsversuchen

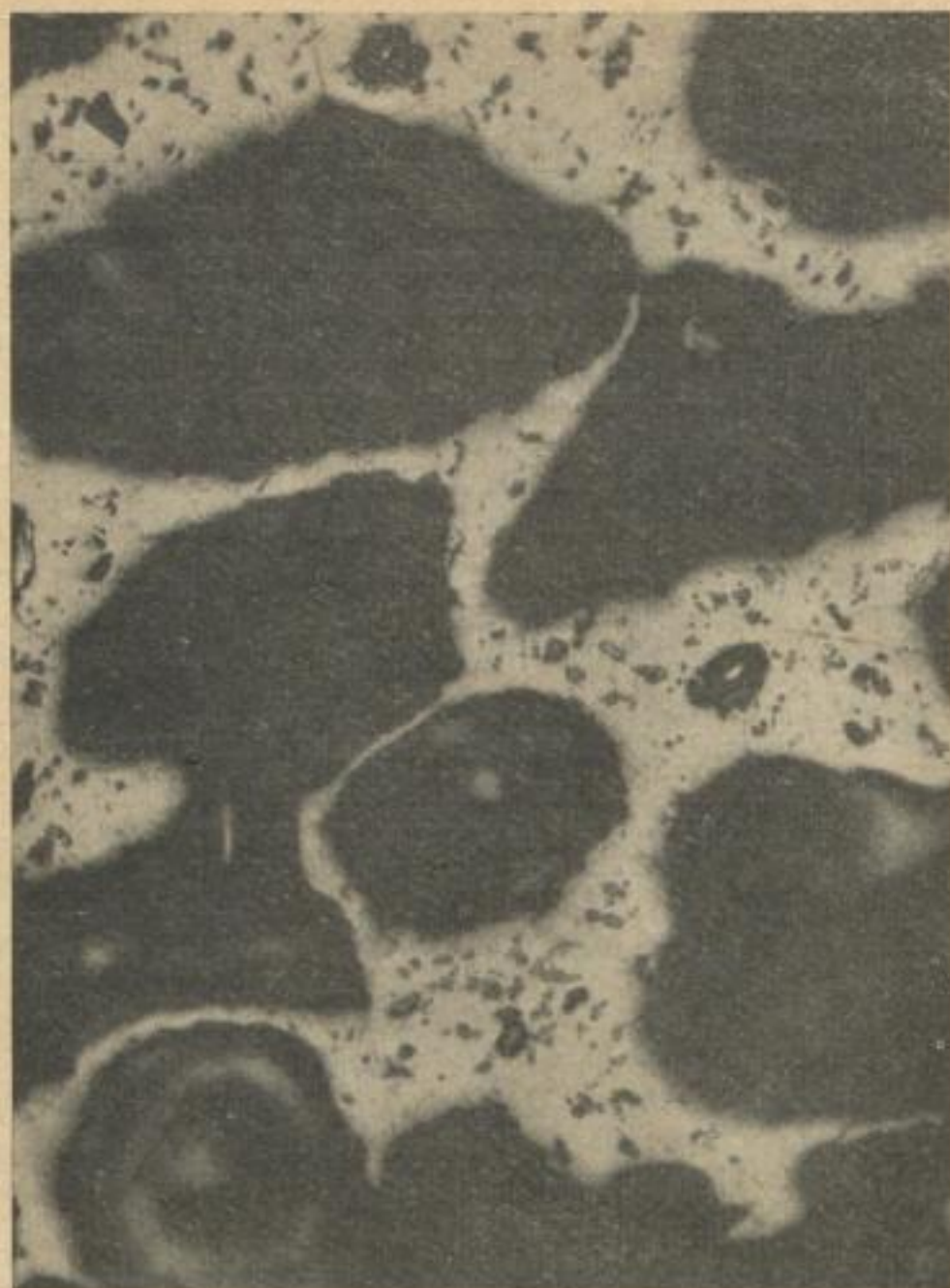


Bild 11. Schliffbild von Steinkohlenkoks

beobachten konnte. Möglicherweise wird man für den Niederschachtofen den Braunkohlenkoks sogar etwas reaktionsfähiger machen müssen, als er jetzt in Lauchhammer anfällt, um einen rascheren Abbrand zu erreichen. Für höhere Schachtofen kann das Problem anders liegen.

Die Asche des Braunkohlen-HT-Kokes aus Niederlausitzer Braunkohle ist — bei CaO-Gehalten von 22 bis 24 % — ausgesprochen basisch; sie ist ferner mit 28—32 % Fe_2O_3 -Gehalt sehr eisenreich (Tabelle 3). Bei der Verhüttung erspart der CaO-Anteil den entsprechenden Teil des Kalkzuschlages, der Fe_2O_3 -Anteil ist als Erz zu betrachten. Somit braucht man keineswegs die gesamte Asche des Braunkohlen-HT-Kokes als unliebsam zu betrachten. Für die Karbidherstellung ist der relativ niedrige P_2O_5 -Gehalt erwähnenswert. Wie Versuche im Kalkstickstoffwerk Piesteritz zeigten, ist der Gehalt an schädlichem Kalziumphosphid im Karbid, das mit Braunkohlen-HT-Koks erzeugt wurde, daher niedrig. Ein aus dem CaSO_4 der Asche

Tabelle 3. Aschenzusammensetzung

		Braunkohlen-HT-Koks (Delitzsch)		Steinkohlenkoks (Polen)	
		%	%	%	%
SiO_2	%	23,43	22,66	39,66	38,28
Fe_2O_3	%	31,30	32,57	22,35	21,56
Al_2O_3	%	3,19	3,64	21,09	20,47
CaO	%	22,05	24,22	6,78	6,73
MgO	%	3,91	3,53	3,72	3,00
Na_2O	%	0,56	0,26	1,34	1,41
K_2O	%	0,60	0,54	0,83	0,87
P_2O_5	%	0,06	0,17	0,67	1,04
SO_2	%	16,09	14,64	1,86	5,67



Bild 12. Schliffbild von Braunkohlenkoks

hervorgehender höherer CaS-Gehalt im Karbid ist nur für Exportkarbid nicht zulässig.

III.

Verwendung des Braunkohlen-HT-Kokes

Die Entwicklung des Braunkohlen-HT-Kokes war ursprünglich allein auf die Versorgung der Niederschachtofen in Calbe, soweit das Korn über 30 mm in Betracht kommt, und auf die Karbidindustrie für das Korn 10—30 mm abgestellt. Der Niederschachtofen stellt geringere Anforderungen an die Koksbeschaffenheit als der Hochofen, und dies ermutigte dazu, die Erzeugung von Braunkohlen-HT-Koks im großen aufzunehmen. Das Niederschachtofenwerk in Calbe wächst parallel mit der Braunkohlenkokerei Lauchhammer heran. Es wird bei vollem Ausbau die bei Vollbetrieb der Kokerei Lauchhammer anfallenden Koksanteile über 30 mm praktisch restlos aufnehmen können. Nach den bisher mit Braunkohlen-HT-Koks an Niederschachtofen durchgeführten Versuchen wird die Aufgabe, den Braunkohlenkoks hier einzusetzen, lösbar sein.

In welchem Anteil man mit Braunkohlen-HT-Koks aus Halbsteinen im Hochofen den Steinkohlenkoks verschneiden kann, wobei der Braunkohlenkoks einen Teil der Reduktionsarbeit übernimmt, werden erst die beabsichtigten Versuche zeigen. Schwierig liegen die Verhältnisse bei Schachtofen, in denen ausschließlich Schmelzarbeit geleistet werden soll, wie bei den Kupolöfen und den Mansfelder Schachtofen, in denen die Minern auf Kupferstein verschmolzen werden. Die bisher in der Praxis durchgeführten Versuche an Kupolöfen haben gezeigt, daß man nicht mehr als 20% Braunkohlen-HT-Koks aus Halbsteinen mit zusetzen kann, ohne Temperatur- und Aufkohlungsverhältnisse

zu verschlechtern. Prof. DIEPSCHLAG schlägt einen Umbau der Kupolöfen zur Anpassung an die Eigenschaften des Braunkohlenkokes vor.

Aussichten eröffnen sich dem Braunkohlenkoks der Körnung 10—30 mm in der Karbidindustrie. Ein im Karbidwerk Piesteritz an einem 10-MW-Ofen mit Delitzscher Koks durchgeführter achttägiger Versuch ergab eine Stromersparnis um 5%, geringfügige Verbrauchsminderungen im Kalk- und Kohlenstoffverbrauch gegenüber Steinkohlenkoks und eine geringe Erhöhung des Karbidgehaltes des Fertigproduktes.

Braunkohlen-HT-Koks (Delitzsch)	1
Gaskoks (Magdeburg)	0,80—0,95
Zechenkoks (Import)	1,45—1,75

Tabelle 4.
Relative elektrische Leitfähigkeit bei 1500° C

Die starken Unterschiede in der Leitfähigkeit von Stein- und Braunkohlenkoks sind aus Tabelle 4 nach Messungen in Piesteritz zu entnehmen; sie sind dadurch bedingt, daß bei der Verkokung der Braunkohlenbriketts nur eine geringe Graphitierung eintritt. Über Schwierigkeiten beim Abstich, Flugstaubbildung, Gefahr der Ferrosiliziumbildung, Elektrodenverbrauch kann erst die Dauererprobung endgültig Aufschluß geben. Da in Lauchhammer Trockenkühlung des Kokes vorgesehen ist, kann der Koks für die Karbidindustrie wie vor dem Kriege künftig trocken in Kübelwagen geliefert werden, so daß auf die Trocknung des Kokes, die die Karbidwerke unter dem Zwang der Umstände einführen mußten, wieder verzichtet werden könnte.

Braunkohlen-HT-Koks aus Halbsteinen hat sich für den Einsatz in Kalkschachtofen als geeignet erwiesen. Versuche liegen sowohl an einem Schachtofen von 10,5 m Nutzhöhe und 35 m³ Inhalt als auch an einem solchen von 12 m Nutzhöhe und 50 m³ Inhalt vor. Es ergaben sich keinerlei Unterschiede in der Ofenleistung und in der Qualität des Branntkalkes gegenüber der Anwendung von Steinkohlenkoks. Gegenüber dem besten, heute verfügbaren Gaskoks konnte der spezifische Brennstoffverbrauch gesenkt werden.

Schlußfolgerung

Ich habe angesichts der knappen Zeit die Fragen des Einsatzes des Braunkohlenkokes nur kurz streifen können. Braunkohlen-HT-Koks ist noch ein junger Brennstoff. Man kann von einem Jungen noch nicht alles erwarten, was später der Mann leisten wird. Wenn die Entwicklung des Braunkohlen-HT-Kokes auch noch Zeit braucht, damit er alles wird, was er werden kann, so sind wir doch sicher, daß die erste Braunkohlenkokerei zur Entlastung der Kokslage beitragen wird. Die Entwicklung des Eisenhüttenwesens ist eine der wichtigsten Aufgaben im Rahmen des Fünfjahrplanes der DDR. Zur Sicherung dieser Entwicklung wird auch der Braunkohlenhochtemperaturkoks beitragen. Die DDR steht nicht allein in bezug auf die Entwicklung der Braunkohlenverkokung. Auch in der Volksdemokratie Ungarn ist die Verwirklichung der Braunkohlenverkokung im Werden. Die Zeit wird kommen, wo es ebenso selbstverständlich ist, Braunkohle zu verkokern, wie es heute selbstverständlich ist, Braunkohle zu schwelen.

Literatur

- [1] BILKENROTH, G., und RAMMLER, E.: Braunkohlenhochtemperaturkoks. *Bergbautechnik* 2 (1952) S. 27—32.
- [2] RAMMLER, E.: Zur Entwicklung der Arbeiten über Braunkohlenhochtemperaturkoks. *Die Bergakademie*, 4 (1952) S. 7—14.
- [3] LISSNER, A.: Neue Wege zur Entschwefelung von Braunkohlen. Vortrag zum Berg- und Hüttenmännischen Tag in Freiberg, 1952. (Gedruckt in Freiburger Forschungshäfte, Reihe A, H. 14.)
- [4] BAUM, K.: Die Herstellung von metallurgischem Koks; ein neuer Weg zur thermischen Veredelung der Braunkohle. Niederschrift des Ausschusses für Verschwelung und Vergasung. Halle, 26. 1. 1940.
- [5] HOCK, H.: Die Erzeugung hochwertiger Kokes aus Braunkohle. Niederschrift des Ausschusses für Verschwelung und Vergasung. Halle, 16. 5. 1940.
- [6] THAU, A.: Brennstoffschwelung. Bd. 1. W. Knapp, Halle 1949, S. 160—165.
- [7] DRP.-Nr. 749 857; Kl. 10a, Gr. 361o. Verfahren zur Herstellung von für Verhüttungszwecke geeignetem Braunkohlenkoks. 1944.
- [8] FORTH-MUNDERLOH: Braunkohle und ihre chemische Verwertung. 2. Auflage, 1951. Verlag Th. Steinkopff, Leipzig.
- [9] KEGEL, K.: Die Herstellung von Briketts aus Braunkohlenschwelkoks. *Braunkohle* 30 (1931) S. 47—50.
- [10] BEHRISCH, C.: Die Herstellung brikettierfähiger Kokes aus Braunkohle. *Kali, Erz und Kohle* 24 (1927) S. 61—63 und 71—75.
- [11] SEIDENSCHNUR, F.: Brikettierung von Braunkohleakoks. *Braunkohle* 30 (1931) S. 585—594.
- [12] MENZEL, H.: Die technischen Grundlagen der Brikettierung von nach Freiburger Spülgasverfahren erhaltenem Braunkohlenkoks. *Kohle, Koks, Teer*, Bd. 28 (1931) W. Knapp, Halle, 1931.
- [13] STAEMMLER, C.: Versuche zur Erzeugung von festem Koks bei der Schwelung von Braunkohle unter Teerzusatz. *Brennstoff-Chemie* 11 (1930) S. 43 ff.
- [14] SEIDENSCHNUR, F., und WINTER, F.: Zur Frage der wirtschaftlichen Verwertung des Kohlenholzes. *Braunkohle* 37 (1938) S. 741—746.
- [15] LISSNER, A.: Gewinnung von koks-fähigen Bindemitteln aus Braunkohlenprodukten. Vortrag zum Berg- und Hüttenmännischen Tag in Freiberg 1952. (Gedruckt in Freiburger Forschungshäfte, Reihe A, Heft 14.)
- [16] ALLNER, W.: Das Gleichstrom-Entgasungsverfahren der Kassler-Kammer, System Bubiag-Didier. *Braunkohle* 34 (1935) S. 419—428.
- [17] RAMMLER, E.: Die Verwendung fester Treibstoffe aus Braunkohle. *Braunkohle* 35 (1936) S. 517—535.
- [18] RAMMLER, E.: Braunkohlenschwelkoks als Brenn- und Vergasungstoff. *Braunkohle* 36 (1937) S. 708—722.
- [19] BILKENROTH, G.: Über die Herstellung von Feinkornbriketts auf Strangpressen unter besonderer Berücksichtigung der Humboldt-Knichebelpresse. *Braunkohle* 40 (1941) S. 223—237.
- [20] HAASE, F.: Erfahrungen bei der Herstellung von Feinkornbriketts für Schwelung und Vergasung. *Braunkohle* 44 (1945) S. 14—18 und 37—40.
- [21] CONZELMANN, W.: Grundlagen für die Brikettkoks-erzeugung aus rheinischer Braunkohle. Als Manuskript gedruckter Vortrag. Köln 1940.
- [22] VOLLMAIER, A.: Das Verhalten von Braunkohlenbriketts bei ruhender Schwelung. Habilitationsschrift, Freiberg (Sa.) 1943. (Erscheint Anfang 1953 als Freiburger Forschungshäfte, Reihe A, Heft 11.)
- [23] HOCK, H., u. JECKEL, H.: Zur Kenntnis der Brikettierung nordböhmischer Braunkohlen. *Braunkohle* 43 (1944) S. 423—432 und 439—444.
- [24] PIENING, B.: Über die Brikettierung extrahierter Braunkohle. *Braunkohle* 22 (1923) S. 481—484 und 505—511.
- [25] HENTZE, W.: Beiträge zur Klärung der Frage nach der verschiedenen Brikettierfähigkeit von Braunkohle. *Braunkohle* 26 (1927) S. 749—760 und 782—794.
- [26] DRP.-Nr. 828 398 KRAFFT, K.: Erzeugung von standfestem großstückigem Schwelkoks aus bitumenreicher Braunkohle. (Angem. 2. 10. 1948 — ausgeg. 17. 1. 1952.)
- [27] RAMMLER, E. und GERLACH, G.: Versuche zur Spülgastrocknung von Schwel- und Verkokungsbriketts. *Freiburger Forschungshäfte, Reihe A*, 1952, H. 6, S. 49—53.



Neue Versuche zur Druckentlastungszerkleinerung von Braunkohle

Von Nationalpreisträger Prof. Dr.-Ing. ERICH RAMMLER und Dipl.-Ing. KARL HEIDE, Freiberg (Vorgetragen von Karl Heide)

Einleitung

Über die ersten von uns angestellten Versuche zur Herstellung von Kohlenstaub nach dem Verfahren der Druckentlastungszerkleinerung hat der eine von uns auf dem Berg- und Hüttenmännischen Tag 1950 [1] berichtet:

Nach diesem Verfahren wird Kohlenstaub für Feuerungszwecke dadurch hergestellt, daß man feinkörnige Kohle mit Dampf oder Preßluft „aufladet“ und dieses Preßluft- bzw. Dampf-Kohle-Gemisch durch eine Düse hindurchtreibt. Im ersten Teil des Prozesses füllen sich die Poren mit dem gespannten Druckmittel, im zweiten Teil findet dann durch die plötzliche Druckentlastung eine so rasche Expansion des Poreninhaltes statt, daß die Kohlekörner zerplatzen.

Die in den Jahren 1949 und 1950 an einer Kleinapparatur angestellten Versuche bezweckten, zunächst die Auswirkung verschiedener Einflußgrößen, wie Druck und Temperatur des Dampfes, Körnung und Wassergehalt des Brennstoffes, ferner Einflüsse der Konstruktion — Art und Größe der Düse, Nachschalten einer Prallplatte — auf die Mahlfeinheit des Staubes zu ergründen; sie gaben aber keinen Aufschluß über den Druckmittelverbrauch je kg Mahlgut — als der für die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens wichtigsten Kenngröße. Nachdem der erste Versuchsabschnitt gezeigt hatte, daß die Herstellung von genügend feinem Kohlenstaub bei allen in Frage kommenden Brennstoffarten möglich ist, mußte nunmehr die Wirksamkeit des Verfahrens an einer größeren Apparatur in technischem Ausmaß erprobt werden, um die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu prüfen und insbesondere festzustellen, wie weit der Dampfverbrauch je t Kohle gesenkt werden kann und welche Beziehungen zwischen Strahlbelastung und Mahlfeinheit bestehen. Schließlich sollten die Anwendungsmöglichkeiten dieses Verfahrens im Rahmen der Kohlenstaubfeuerung, der Staubvergasung und der Staubbrikettierung geprüft werden.

Versuchsmethodik und Versuchsergebnisse

I. Versuchsanlage

Bei dem Neuaufbau unseres Versuchsstandes hielten wir uns zunächst im wesentlichen an das Vorbild der bisher für kleine Mengen benutzten Apparatur in der Annahme, daß sich auch größere Mengen durchsetzen lassen müßten. Dies hat sich leider nicht bewahrheitet. Es mußten deshalb einige Veränderungen und Umbauten vorgenommen werden. Die folgenden

Bilder geben einen Überblick über die Entwicklung unserer Versuchsanlage:

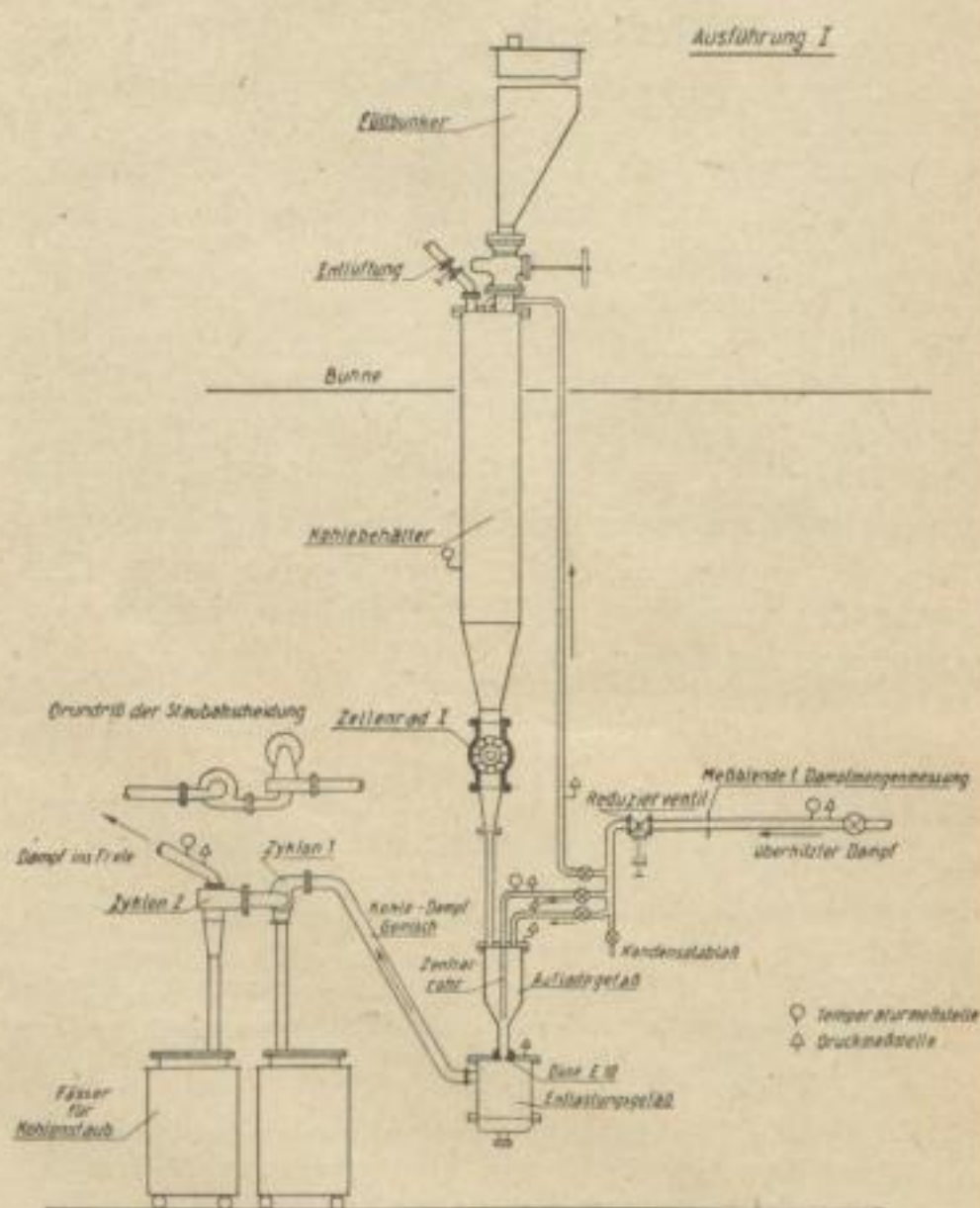


Bild 1. Versuchsanlage zur Herstellung von Kohlenstaub durch Druckentlastung

Bild 1 zeigt die zu Beginn der Versuche aufgebaute Apparatur. Die Hauptteile sind: Vorbunker, Vorrichtung zum Einschleusen der Kohle aus dem unter Normaldruck stehenden Vorbunker in das unter Druck stehende System, Kohlebehälter, Zellenrad, Aufladegerät, Düsenkörper, zylindrisches Entlastungsgefäß und Staubabscheider. Da die Apparatur vor Inbetriebnahme gut aufgeheizt wird, muß, um einen größeren Temperaturrückgang zu vermeiden, die Füllung des Kohlebehälters in kürzester Frist erfolgen. Aus diesem Grunde wurde über dem eigentlichen Kohlebehälter ein Vorbunker montiert, der die gesamte Kohle für einen Versuch aufnimmt. Für die Dosierung dient ein Zellenrad. Da dieses bei Drücken von 10 atü den Kohlebehälter nicht vollständig abdichtet, mußte der Kohlebehälter druckdicht ausgeführt und gegen den Vorbunker durch einen Hochdruckschieber abgeschlossen werden. Die vom Zellenrad ausgetragene Kohle gelangt über eine kurze Fall-

strecke in das Aufladegefäß mit dem heb- und senkbaren Zentralrohr, das mit dem trichterförmigen Auslauf des Aufladegefäßes einen regelbaren Spalt bildet und ebenfalls als Dosierorgan gedacht war. Der durch das Zentralrohr strömende Dampf sollte durch injektorartige Wirkung die Kohle aus dem Aufladegefäß mitreißen und sie durch die Düse in das Entlastungsgefäß, in dem die Expansion erfolgt, jagen. Das Kohle-Dampf-Gemisch gelangt dann in die Staubabscheider; der vom Staub befreite Dampf strömt ins Freie.

Mit dieser Apparatur gelang es nicht, einen einwandfreien Durchgang des Mahlgutes zu erreichen. Die Saugwirkung des aus dem Zentralrohr strömenden Dampfes war zu gering, um genügend Kohle durch die kleine Durchtrittsfläche des Spaltes zwischen Zentralrohr und Düse hindurchzubringen. Die Folgen davon waren Brückenbildung im Aufladegefäß und Verstopfung des Zwischenrohres nach dem Zellenrad. Aus diesen Gründen wurden mehrere Änderungen vorgenommen (Bild 2). Zunächst wurde das Aufladegefäß durch ein Fallrohr ersetzt, in das kurz unterhalb des Zellenrades Dampf eingespeist wurde, und zwar so, daß die Kohle zentral, der Dampf peripherisch durch Schlitze zugeführt wird. Die Ausführung hat sich bewährt und konnte auch deshalb ohne Bedenken vorgenommen werden, da erwiesen ist, daß die Aufladung der Kohle in weniger als 1 sec erfolgt.

Im Verlauf der Versuche wurden Druckdifferenzen zwischen dem Kohlebehälter über dem Zellenrad und dem eigentlichen Zerkleinerungssystem festgestellt. Wenn diese Druckunterschiede auch nur gering waren, so hatten sie doch Einfluß auf die Dosierung durch das Zellenrad und verzögerten den Zufluß der Kohle zu diesem. Infolgedessen konnten höchstens 850 kg/h durch die Düse mit 10 mm Durchmesser durchgesetzt werden. Um Druckausgleich zu erzielen, wurden die Zellenradwände mit Schlitzen versehen. Nunmehr konnten Mengen bis zu 1800 kg/h durchgesetzt werden.

Außerdem wurde bei dieser Ausführungsart der seitliche Austrag aus dem Entlastungsgefäß durch einen solchen am Boden desselben ersetzt, um Ablagerungen zu vermeiden. Das Bild 2 zeigt außerdem die Anordnung der Prallplatte, die bei einigen Versuchen zur Ausnützung der Restenergie des Dampfstrahles zwecks Erzielung besserer Mahlfineinheit eingebaut wurde.

Bei einer weiteren Versuchsreihe wurde an Stelle des zylindrischen ein konisches Entlastungsgefäß, ein „Atomiser“, eingebaut (Bild 2, rechts).

Weitere Schwierigkeiten machte die Form der Düse. Die bisher verwendete einfache Düse E 10 (Bild 3) mit kurzem konischem Teil verursachte Stockungen, die auf einen Stau des Gutes vor der Düse zurückzuführen waren. Diesem Übelstand wurde dadurch abgeholfen,

daß wir diese Düse durch eine solche mit langem konischem Einlauf (EK 10) ersetzten.

Die gesamte Anlage wurde, um Wärmeverluste zu vermeiden, gut isoliert.

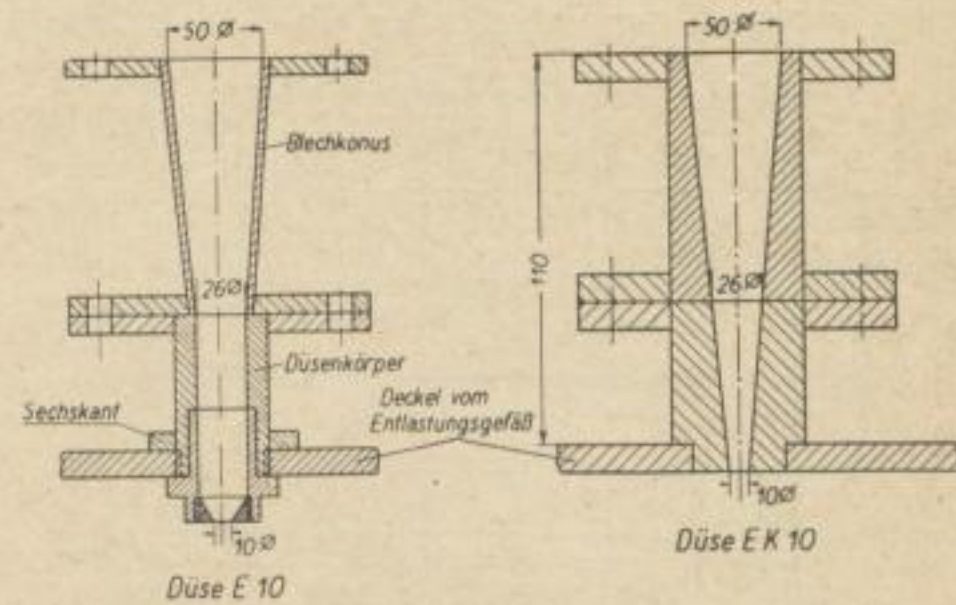


Bild 3. Arten der verwendeten Düsen

II. Versuchsergebnisse

Mit dieser Apparatur sind etwa 90 Versuche mit Brikkettabrieb und getrockneter Braunkohle durchgeführt worden, und zwar mit Dampf von 240° und 8—10 atü sowie mit Dampf von 300° und 12 atü.

Da die Dampfkesselanlage des Institutes in Freiberg nicht leistungsfähig genug ist, mußten die Versuche in einem auswärtigen Betrieb durchgeführt werden. Die BV Borna war so entgegenkommend, uns für den Aufbau des Versuchsstandes Räumlichkeiten in der Brikketfabrik Neukirchen zur Verfügung zu stellen. Wir danken auch an dieser Stelle der BV Borna und der Werksleitung der Brikketfabrik Neukirchen, insbesondere den Herren Werksleiter Hänel und Betriebsführer T e u k e, für die wertvolle Hilfe beim Aufbau unseres Versuchsstandes.

1. Einflüsse der Arbeitsbedingungen
Dampfdruck und Dampftemperatur:
Der erste Versuchsabschnitt hatte bereits gezeigt, daß Dampfdruck und Dampftemperatur die fundamentalen

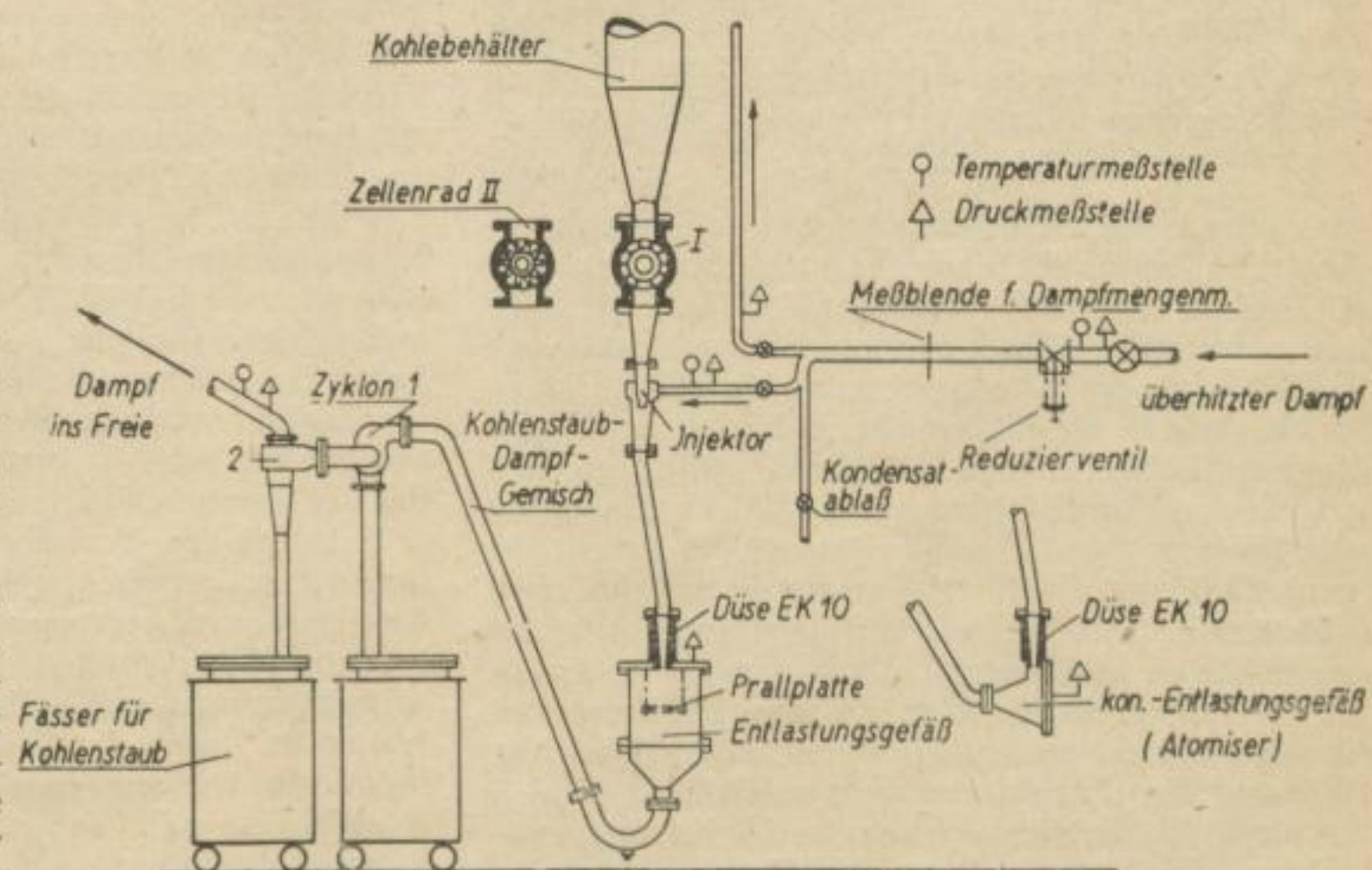


Bild 2. Schema der Versuchsapparatur (Endgültige Ausführung)

Einflußgrößen für die Druckentlastungszerkleinerung sind. Versuche mit Trockenbraunkohle der Körnung 0—3 mm haben ergeben, daß höherer Druck und höhere Temperatur bei gleichem Kohlendurchsatz bessere Mahlfeinheiten, jedoch natürlich auch größeren Dampfverbrauch zur Folge haben (Bild 4). In beiden

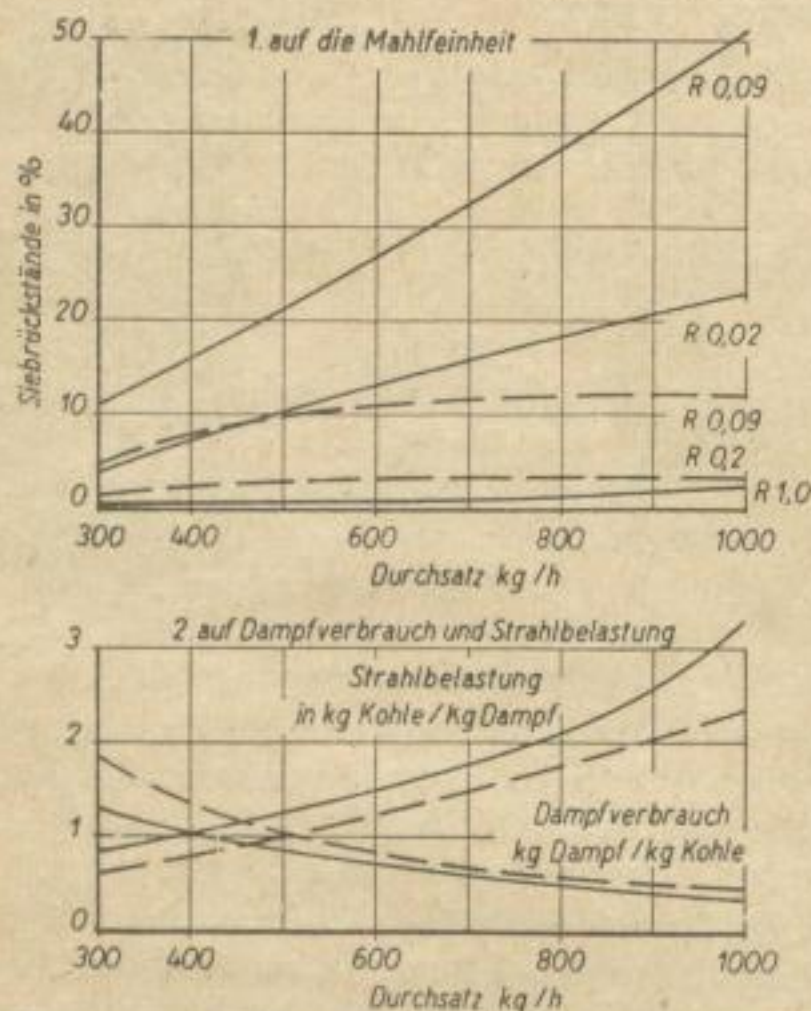


Bild 4. Einfluß von Dampfdruck und Dampftemperatur (Trockenbraunkohle)

Temp. °C	Druck atü	Linienstil
230—234	8,4—9,8	—————
296—300	12	-----

Fällen wird aber die Mahlfeinheit mit steigender Strahlbelastung schlechter, und zwar wirkt sich dies um so mehr aus, je niedriger Dampfdruck und Dampftemperatur sind. Der Dampfverbrauch, ausgedrückt in kg/kg Kohle, fiel, wie ebenfalls Bild 4 zeigt, bei einem Dampfzustand von 230° und 9 atü von 1,25 kg/kg bei einem Durchsatz von 300 kg/h auf 0,38 kg/kg bei 1000 kg Stundendurchsatz. Mit Dampf von 300° und 12 atü wurden bei Durchsätzen von 300 bis 1000 kg/h Dampfverbrauchszahlen von 1,8 bis herunter zu 0,4 kg/kg Kohle erhalten. Mit Dampf von 300° und 12 atü ist es, selbst bei einem Durchsatz von 1000 kg/h, möglich — und zwar ohne Windsichtung — einen Staub zu erzeugen, dessen Mahlfeinheit für alle Anwendungsgebiete, selbst für die Staublokomotive, ausreichend ist (3 % R 0,2 und 12 % R 0,09). Wird der Durchsatz weiter bis auf 1800 kg/h gesteigert, so sinkt wohl, wie Bild 5 zeigt, der Dampfverbrauch bis auf 0,2 kg/kg Kohle, jedoch auf Kosten der Mahlfeinheit, die sich dann auf 12 % R 0,2 und 30 % R 0,09 stellt. Die Unterschiede im Dampfverbrauch bei 1000 kg Durchsatz, die Bild 5 zeigt, sind auf die Bauart des Zellenrades zurückzuführen. Zellenrad I zeigte die übliche Form, während Zellenrad II zwecks Dampfdruckausgleiches mit Schlitzen versehen war. Dadurch war eine direkte Verbindung zwischen dem Kohlebehälter und dem übrigen System geschaffen. Durch die injektorartige Wirkung der Dampfeinspeisung im Fallrohr (Bild 2) wurde nicht nur die Kohle mitgerissen, sondern es entstand eine Dampfströmung vom Kohlebehälter zum Fallrohr, die eben den erhöhten Dampfverbrauch zur Folge hatte. Wenn diese Lösung auch nicht ideal war,

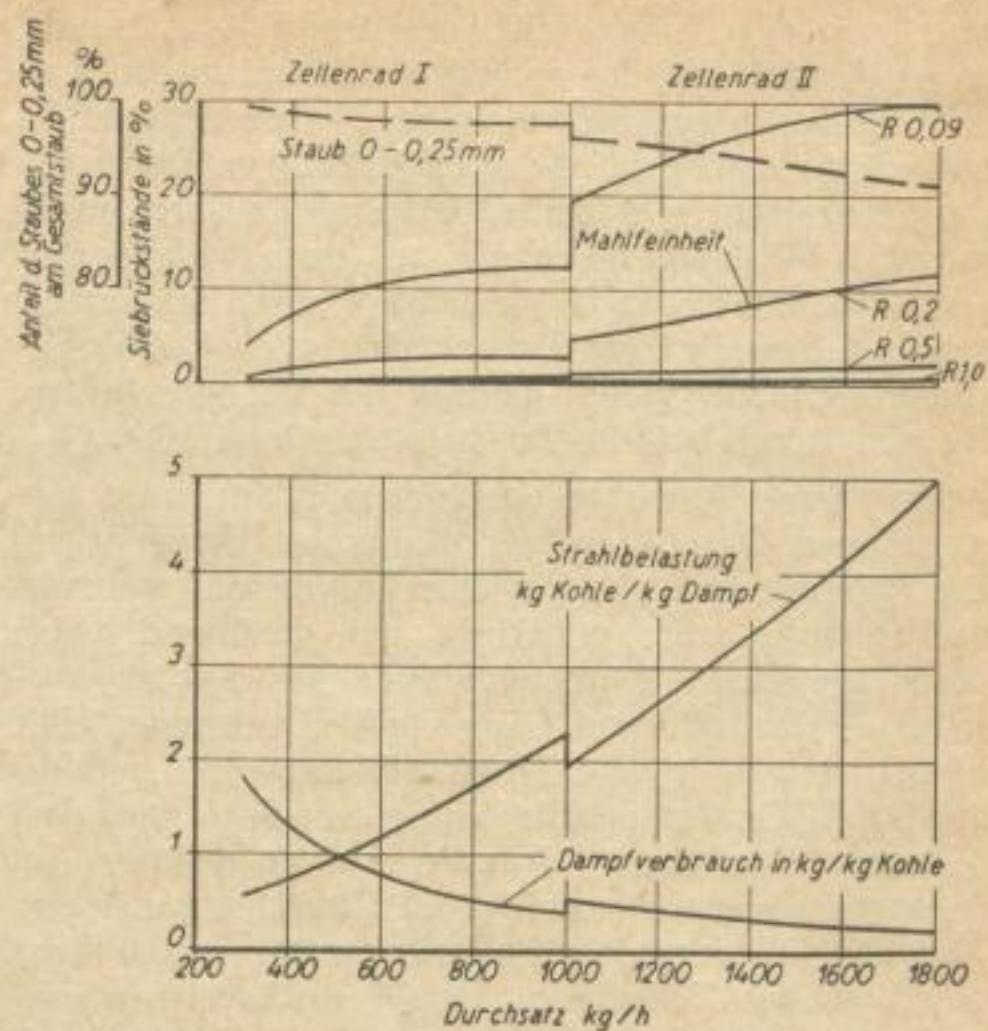


Bild 5. Dampfverbrauch und Mahlfeinheit abhängig von der Durchsatzmenge
Abstand: Prallplatte—Düse 15 cm
Dampf: 300° C—12 atü

so gab sie jedoch vorerst die Möglichkeit, die Belastung des Dampfstrahles zu erhöhen und den Dampfverbrauch zu senken.

2. Einflüsse der Konstruktion

Art der Düse: Die ersten Versuche wurden mit der schon früher verwendeten einfachen 10-mm-Düse durchgeführt. Durch den kurzen konischen Einlauf bedingt, traten Stockungen in der Kohlezufuhr vor der Düse auf. Der Einbau einer 10-mm-Düse mit langem konischem Einlauf führte zu einem stockungsfreien Durchsatz, außerdem wiesen die hiermit erzeugten Stäube (Bild 6) die bessere Mahlfeinheit auf. Im Vergleich zur ersten Düse E 10 konnte der Dampfverbrauch jedoch nur bei geringerer Belastung gesenkt werden.

Nachschtaltung der Prallplatte: Die Versuche, die mit 15 cm Abstand Prallplatte → Düse mit Dampf von ca. 235° und 9 atü und Durchsätzen von 335 bis 835 kg/h durchgeführt wurden, zeigten dieselbe Tendenz, daß der spezifische Dampfverbrauch mit steigendem Durchsatz sinkt, die Mahlfeinheit aber schlechter wird (Bild 7). Gegenüber den ersten Versuchen ohne Prallplatte sind zwar, besonders bei hohen Durchsätzen, die Stäube etwas gröber; dies ist aber darauf zurückzuführen, daß der Austrag des Staubes aus dem Expansionsgefäß verschieden war. Bei den Versuchen ohne Prallplatte war der Austrag seitlich, bei den Versuchen mit Prallplatte aber am Boden des Entlastungsgefäßes. Offenbar hat die Art der Führung des abgearbeiteten Dampfes doch einen größeren Einfluß auf die Mahlfeinheit, als man ursprünglich annahm. Es scheint, daß bei dem zentralen Abzug am Boden des Gefäßes der austretende Strahl mehr oder weniger um die Prallplatte herumströmt, so daß diese nicht voll oder gar nicht zur Wirkung kommt.

Der Abstand Düse—Prallplatte wirkt sich auf den Dampfverbrauch nur unerheblich aus. Er schwankte

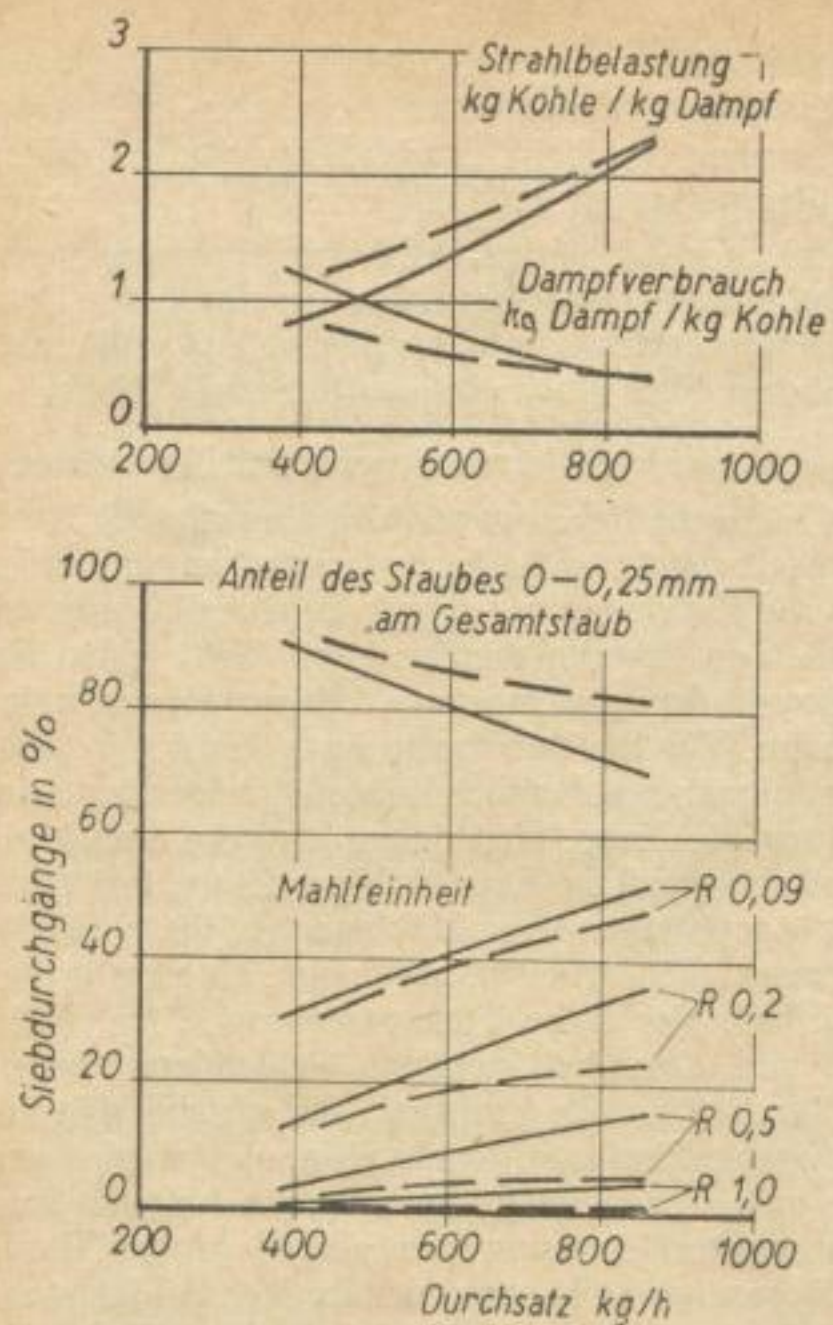


Bild 6. Einfluß der Art der Düse ohne Prallplatte
Dampfzustand 9,0 atü—240° C
Düse E 10 —
Düse EK 10 - - -

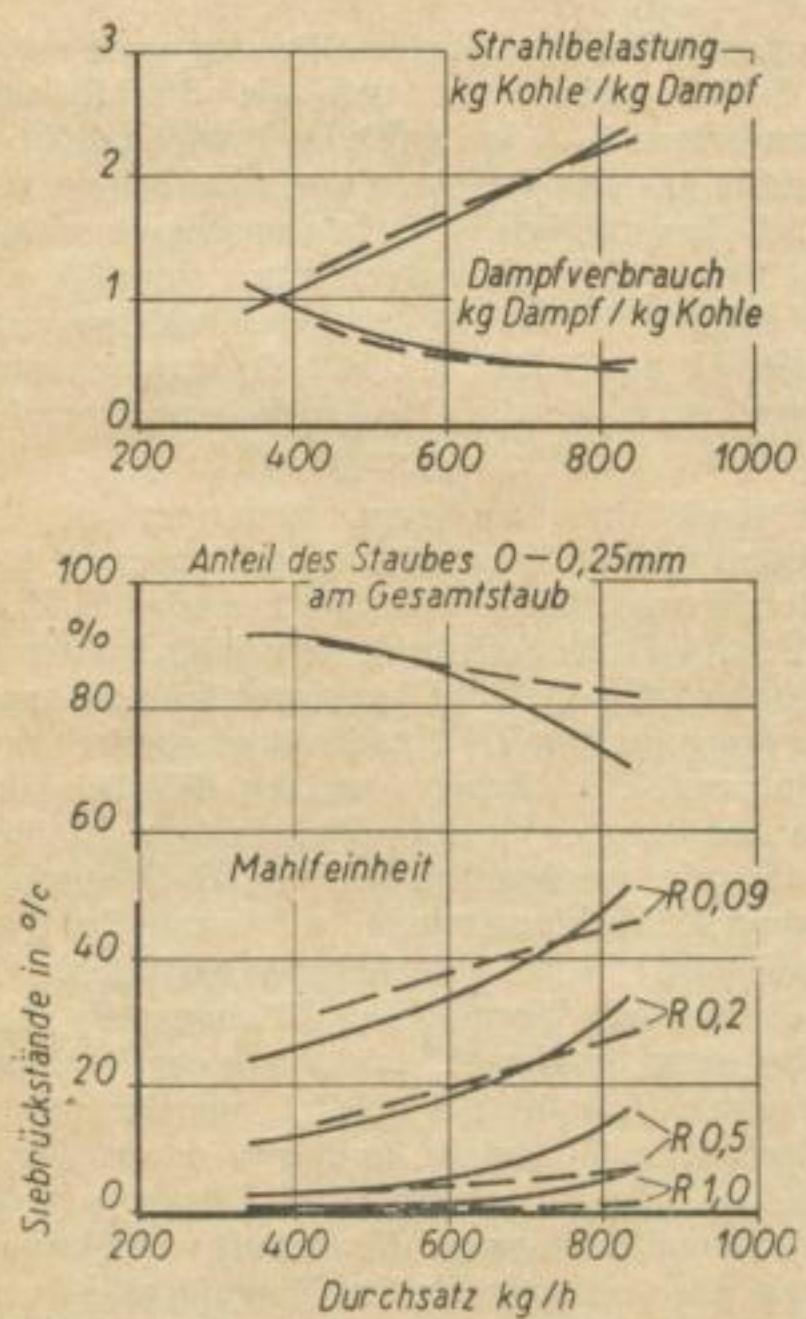


Bild 7. Versuche mit und ohne Prallplatte
Dampfzustand
— mit Prallplatte 9,0 atü 235° C
- - - ohne Prallplatte 9,0 atü 240° C

zwischen 0,24 und 0,28 kg/kg Kohle. Beste Mahlfeinheit wurde bei dieser Versuchsreihe mit Dampf von 12 atü und 290° und einem Durchsatz von 1,5 t/h bei 15 cm Abstand der Düse von der Prallplatte erhalten. Damit wurden die Befunde früherer Untersuchungen bestätigt.

Es wäre noch zu prüfen, welchen Einfluß die Form der Prallplatte, eben oder konkav, und der Durchmesser auf die Mahlfeinheit haben.

Auf jeden Fall muß aber angestrebt werden, den vollen Strahl auf die Prallplatte zu leiten, damit ihre Wirkung voll zur Geltung kommt.

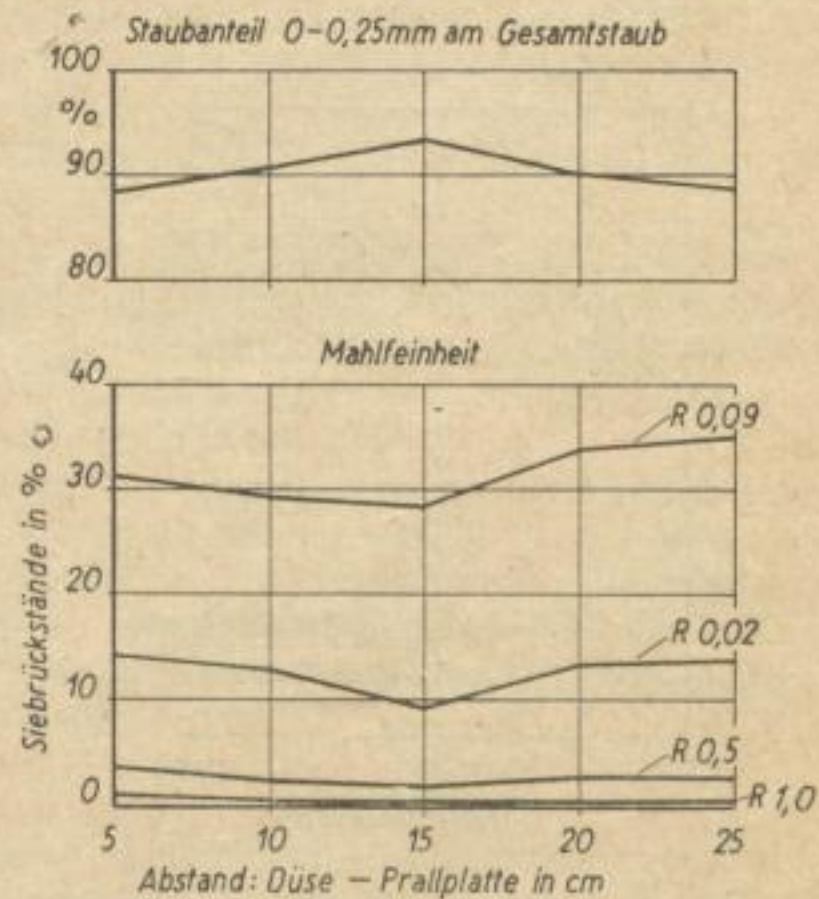


Bild 8. Einfluß des Abstandes Prallplatte—Düse auf die Mahlfeinheit
Durchsatz 1500 kg/h
Dampfverbrauch 0,24—0,28 kg/kg Kohle

Art des Entlastungsgefäßes: Bei einer letzten Versuchsreihe wurde statt des zylindrischen ein konisches Entlastungsgefäß (Atomiser) verwendet. Bezüglich des spezifischen Dampfverbrauches bestehen bei beiden Arten bei gleicher Belastung keine oder nur geringfügige Unterschiede (Bild 9). Bei Entlastung im Atomiser sind die Mahlfeinheiten jedoch schlechter als bei Entlastung im zylindrischen Entlastungsgefäß, womit die Befunde früherer Versuche bestätigt werden.

3. Art der Kohle

Brikettabrieb und Trockenbraunkohlen ließen sich einwandfrei durchsetzen, nicht aber Rohbraunkohle. Hier sind höhere Dampftemperaturen notwendig, um eine schnelle Trocknung der Kohle zu erzielen und sie durchsatzfähig zu machen. Wir haben errechnet, daß tragbare Werte des spezifischen Dampfverbrauches für Rohbraunkohle, wie aus Bild 10 hervorgeht, nur bei sehr hohen Dampftemperaturen erreicht werden können. Selbst wenn man die Erzeugung von Dampftemperaturen von 600—800° materialmäßig beherrschen könnte, läge der spezifische Dampfverbrauch noch immer oberhalb der angestrebten Werte. Es sei hierzu erwähnt, daß die höchsten Dampftemperaturen, die bei den neuzeitlichsten Kesselanlagen gerade erprobt werden, bei 600—650° liegen. Hieraus geht hervor, daß die Druckentlastungszerkleinerung nur ein Mahlverfahren für trockene und mäßig feuchte Brennstoffe ist. Rohbraunkohle müßte vorgetrocknet werden. Dann besteht aber keine Aussicht, daß die Druck-

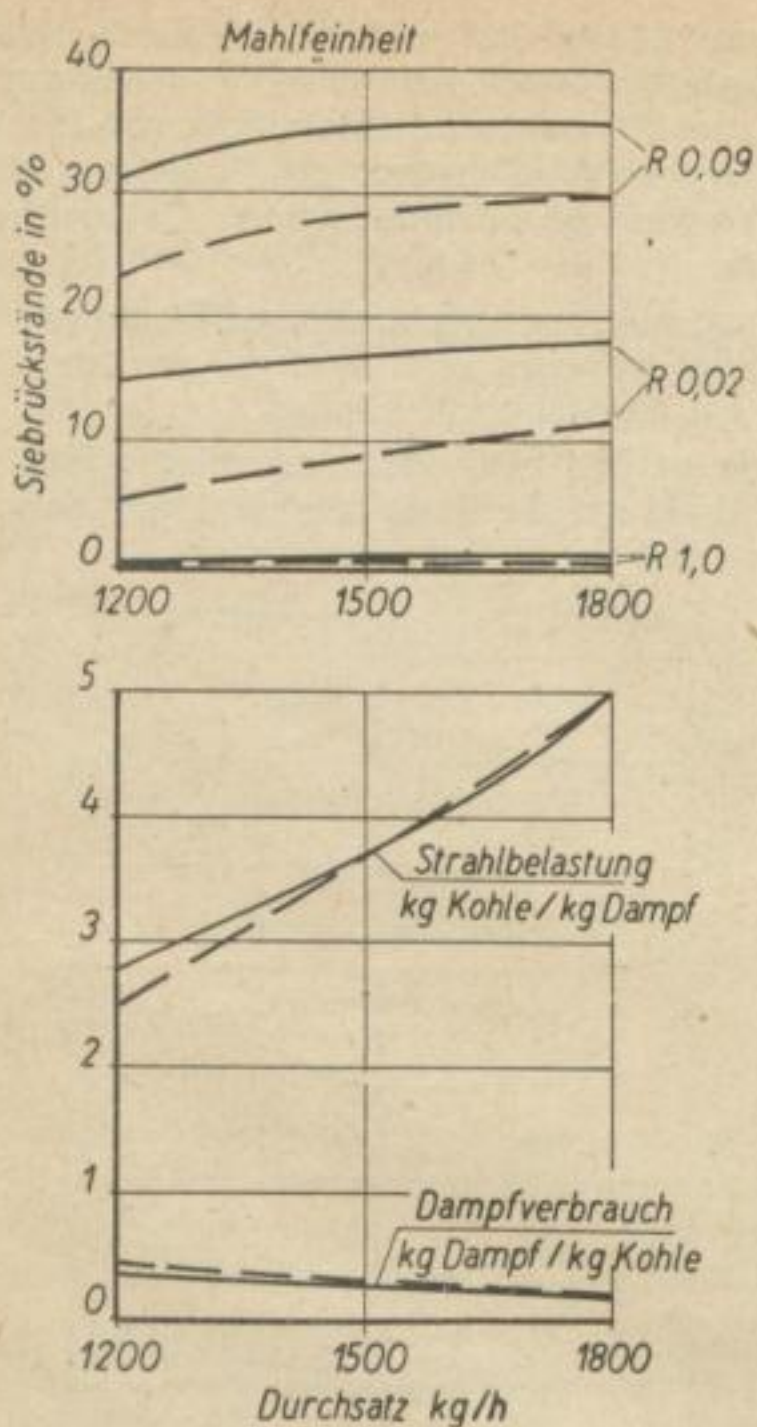


Bild 9. Einfluß der Art des Entlastungsgefäßes
Mahlfeinheit
Atomiser ——— zyl. Entlastungsgefäß ———
mit Prallplatte in 15 cm Abstand von der Düse

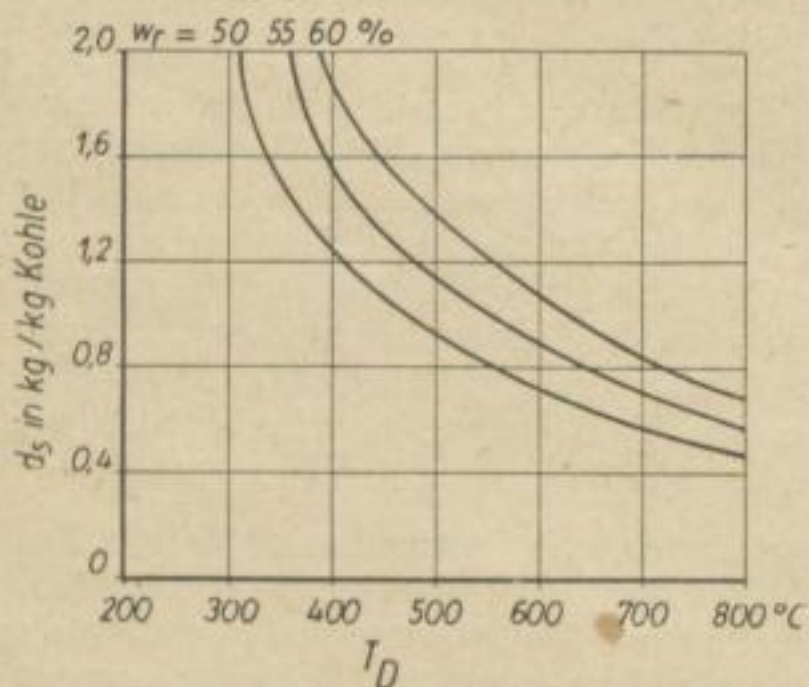


Bild 10. Spezifischer Dampfverbrauch d_s
abhängig von der Dampftemperatur T_D
für Rohbraunkohle
mit Anfangswassergehalten von 50, 55 u. 60%
bei einem Endwassergehalt von 30%

entlastungszerkleinerung gegenüber den Mahltrocknungs-Einblasefeuerungen, wie z. B. der Krämer-Mühlenfeuerung, wirtschaftlich zu gestalten wäre.

4. Zusammenfassung

Bei allen Versuchsreihen ergaben die Belastungscharakteristiken übereinstimmend, daß mit höherer Belastung des Strahles der Dampfverbrauch fällt, die Stäube aber gröber werden. Die Strahlbelastung konnte bis auf 5 kg/kg Dampf gesteigert werden, nachdem

apparative Schwierigkeiten behoben werden konnten. Ausreichende Mahlfeinheiten bei hohen Belastungen wurden aber erst bei Dampfdrücken von 12 atü und Dampftemperaturen von 300° erreicht.

Wenn auch der hier geschilderten Apparatur manche Mängel anhaften, so wurde das Verfahren der Druckentlastungszerkleinerung doch soweit geprüft, als es im Rahmen eines Hochschulinstitutes möglich ist.

Wirtschaftliche Betrachtungen und Aussichten

Die Versuche haben gezeigt, daß es möglich ist, den Dampfverbrauch auf 0,2 kg/kg zu senken und daß dadurch die Zerkleinerung durch Druckentlastung wirtschaftlich so gestaltet werden kann, daß sie den Wettbewerb mit den vorhandenen Mühlensystemen aufnehmen kann. Wie die Belastungscharakteristiken gezeigt haben, nimmt die Mahlfeinheit mit steigender Strahlbelastung ab. Umgekehrt nimmt also die Mahlfeinheit im Teillastgebiet zu. Dies ist eine Charakteristik, die auch die meisten anderen Mühlenarten, die für Kohlenstaubeuerungen arbeiten, aufweisen. Ungünstig wirkt sich jedoch der hohe Energieverbrauch im Teillastgebiet aus, denn bei konstant bleibendem Vordruck geht durch die Düse praktisch die gleiche stündliche Dampfmenge hindurch, gleichgültig, ob viel oder wenig Kohle aufgegeben wird. Andererseits hat die Druckentlastungszerkleinerung den Vorteil großer Elastizität, d. h. raschster Anpassungsfähigkeit an Belastungsschwankungen, da der Kohleninhalt der Mühle kleiner als bei jedem anderen Zerkleinerungsverfahren ist und der Beharrungszustand sich fast momentan einstellt. Durch Gleitdruckregelung könnte man eine Verminderung des Dampfverbrauches im Teillastgebiet erreichen.

In unserer früheren Veröffentlichung waren wir zu dem Schluß gekommen, daß die Strahlbelastung auf mindestens 5—6 kg Kohle/kg Dampf erhöht werden müßte, um das Verfahren wirtschaftlich zu gestalten. Daß dies möglich ist, haben unsere Versuche gezeigt. Der erzielte Dampfverbrauch von 0,2 kg/kg Kohle entspricht etwa 4% der Gesamtdampfleistung eines Kessels mit 125 ata und 500° Anfangszustand des Dampfes, wenn für die Druckentlastung Dampf von 8 ata an der Turbine abgezapft wird.

Für Kohlenstaubeuerungen ist dieses Verfahren nur zur Verarbeitung trockener und mäßig feuchter Brennstoffe, wie Trockenbraunkohle, Brikettabrieb, Schwelkoks, Steinkohle, ferner für halbtrockene Braunkohle (30—35% H₂O) geeignet. Für die genannten Brennstoffe können Druckentlastungszerkleinerer als Einblasemühlen benutzt werden. Hierbei können Mühle und Brenner zu einer Einheit, dem „Mahlbrenner“, vereinigt werden. Sehr wichtig ist die sorgfältige Mischung der Verbrennungsluft mit dem sterilen Dampf-Kohle-Gemisch; Bild 11 gibt hierfür ein Beispiel. Hier wird die aus dem Warmluftkanal 4 abgezweigte Kernluft über einen Ringkanal 5 und durch den Rohrstern 6 in die hohle Prallplatte 3 geleitet, aus der sie durch die Lochplatte 7 austritt und von innen her das Dampf-Kohle-Gemisch durchdringt. Ferner wird durch den Ringkanal 8 tangential Mantelluft unter Drall einblasen, die von außen in das Dampf-Kohle-Gemisch eindringt. Bei entsprechender Konstruktion ist dieser Mahlbrener auch für vorgewärmte Preßluft geeignet.

Ein weiteres Einsatzgebiet wäre die Kombination der Druckentlastungszerkleine-

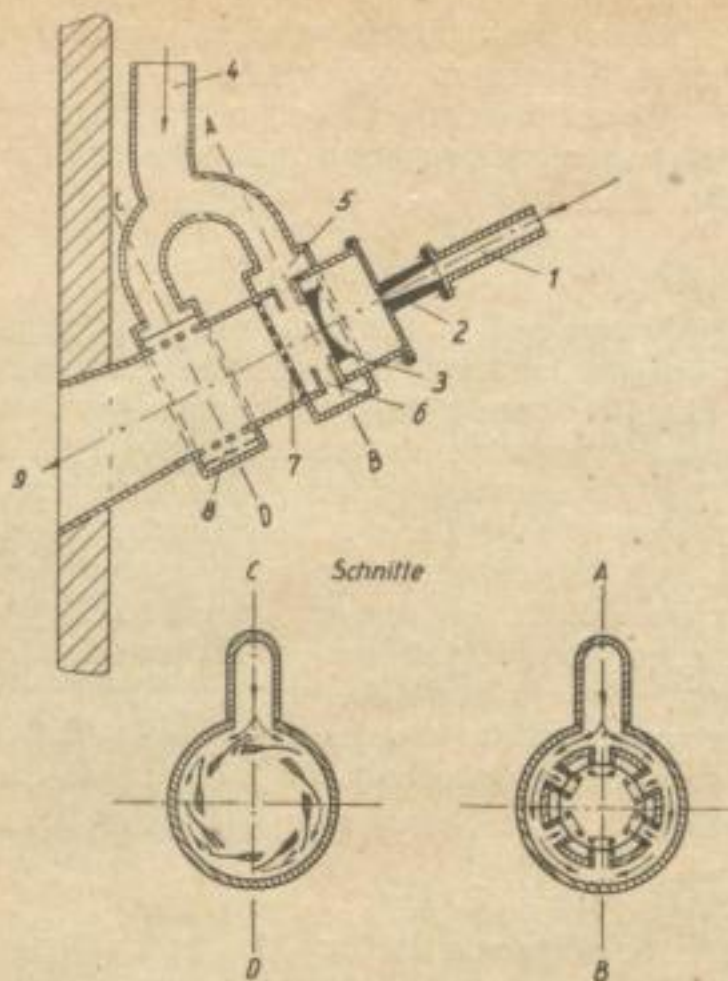


Bild 11. Vorschlag eines Mahlbrenners für Druckentlastungszerkleinerung mit Kernluftzufuhr durch eine der Düse nachgeschaltete Prallplatte

- 1 Kohle — Dampf — Gemisch — Rohr
- 2 Düse
- 3 Prallplatte
- 4 Warmluftkanal
- 5 Ringkanal für Kernluftzufuhr
- 6 Rohrstern für Kernluftzufuhr
- 7 Schlitze- oder Lochplatte für Kernluft-Austritt
- 8 Ringkanal für Mantelluft
- 9 zur Feuerung

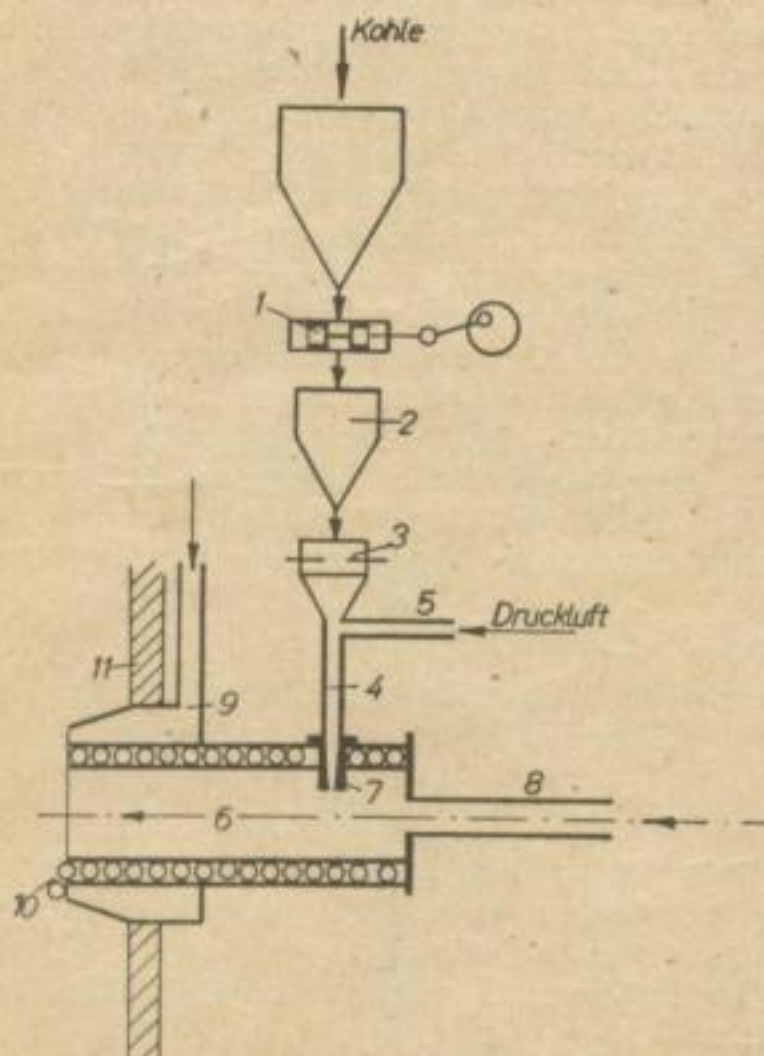


Bild 12. Zyklonmahlbrenner mit Druckentlastungszerkleinerung

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1 Kohlenpumpe | 7 Düse |
| 2 Zwischenbunker | 8 Kernluftzufuhr |
| 3 Zuteiler | 9 Zweitluftzufuhr |
| 4 Fallrohr | 10 Schlackentropfnase |
| 5 Druckluftzufuhr | 11 Kesselstirnwand |
| 6 Zyklonmahlbrenner | |

zung mit der Zyklonfeuerung im Rahmen des Schmelzkammerverfahrens. Die apparativen Voraussetzungen sind ohne weiteres günstig, wenn man das Vorbild des Atomisers im Auge hat. Setzt man nämlich, wie Bild 12 zeigt, die Düse beim Mahlbrenner tangential an das Brennerrohr an, so ergibt sich ohne weiteres die Kombination von Druckentlastungszerkleinerung und Zyklonfeuerung, die für vorgetrocknete Braunkohlen mit Aschen von sehr niedrigem Erweichungs- und Schmelzpunkt, wie z. B. Salzkohle, in Frage kommt.

Wenn die Zerkleinerung selbst durch ein ganz einfaches, leicht auswechselbares und in bezug auf die Verschleißkosten billiges Element, nämlich die Düse, durchgeführt wird, so komplizieren die vorzuschaltenden Teile doch die Druckentlastungszerkleinerung erheblich.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Druckentlastungszerkleinerung im Rahmen der Staubvergasung werden demnächst in einem Vortrag im Arbeitsausschuß für Ent- und Vergasung behandelt, so daß hierauf nicht eingegangen werden soll.

Schließlich sei auf die Möglichkeit hingewiesen, die Druckentlastungszerkleinerung in den Rahmen einer Brikettfabrik einzugliedern, und zwar zur Erzeugung von Braunkohlenstaub für die Herstellung von Staubbriketts für die Braunkohlenhochtemperaturverkokung.

Schlußwort

Die Druckentlastungszerkleinerung steht erst am Anfang ihrer Entwicklung. Sie kann ein brauchbares Mahlverfahren werden, wenn auch ihre Grenzen sich schon abzeichnen. Unter den Vorteilen ist ihre Explosionssicherheit im Falle der Dampfanwendung zu nennen. Bei trockenen oder mäßig feuchten Brennstoffen ist ein wirtschaftlicher Dampfverbrauch zu erzielen. Rohbraunkohle kann wegen der erforderlichen hohen Mahltrocknungswärme nur mit völlig unwirtschaftlichem Dampfverbrauch verarbeitet werden, oder aber es ist Höchsttemperatur-Dampf anzuwenden, der heute noch nicht technisch einfach genug erzeugt werden kann. Immerhin wird die weitere Entwicklung der Druckentlastungszerkleinerung in Richtung hoher Dampftemperaturen gehen. Die verfügbaren Einrichtungen und Mittel ließen leider eine Ausdehnung unserer Versuche in dieser Richtung bislang nicht zu.

Literatur

- [1] E. RAMMLER und R. HEIDE: Herstellung von Kohlenstaub durch plötzliche Druckentlastung von Preßluft-Kohle oder Dampf-Kohle-Gemischen. „Freiberger Forschungshefte“, Heft 1, Febr. 1951, S. 109—120.

— 395 —

Diskussion

Dr. Goldmann, Pfännerhall:

Es wäre interessant zu hören, wie sich die Wirtschaftlichkeit der Druckentlastungszerkleinerung im Vergleich zu der Mühlenzerkleinerung stellt. Es würde weiter noch interessieren, wie der Verschleiß sich in der Düse und in der Prallplatte ausgewirkt hat. Welche Werkstoffe werden dafür verwendet?

Bekanntlich verursacht die Zerkleinerung in Mühlen einen erheblichen Verschleiß der Einbauteile, wie Schläger, Mahlkörper, Panzerplatten und dergleichen. Diese Teile bestehen meist aus hochwertigem manganlegiertem Stahl. Wenn also die Zerkleinerung durch Druck-

entlastung eine Ersparnis an diesen hochwertigen Werkstoffen bringen kann, so gewinnt sie für die Zukunft vor allem auch durch ihren einfachen Aufbau an Bedeutung. Es wäre demnach wünschenswert, wenn die Versuche fortgesetzt und die Messungen auch einen Vergleich mit der Mühlenzerkleinerung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Werkstoffeinsatz zulassen würden.

Prof. Dr.-Ing. Rammeler:

Die Druckentlastungszerkleinerung ist leider noch nicht so weit entwickelt, daß man bereits einen einwandfreien Vergleich mit der Mühlenzerkleinerung anstellen könnte. Daß sie für die Rohbraunkohle keine wirtschaftlichen Aussichten gegenüber den Mahltrocknungs-Einblasefeuerungen, wie z. B. der Krämer-Mühlenfeuerung, bietet, ist bereits vom Vortragenden erwähnt worden.

Der Verschleiß an der Prallplatte wird nach den Erfahrungen, die mit den Anger'schen Prallzerkleinern gemacht worden sind, tragbar sein. Ich verweise hierzu auf meine früheren Veröffentlichungen über Prallzerkleinerung. Der Verschleiß der Düse konnte im Rahmen unserer Versuche noch nicht erschöpfend geklärt werden, da die Zahl der Betriebsstunden der Versuchsanlage zu gering ist. Ich bitte Herrn Heide, sich hierzu noch zu äußern.

Dipl.-Ing. Heide:

Bei den insgesamt 90 durchgeführten Versuchen wurden an der Düse keine Veränderungen wahrgenommen. Der Verschleiß der Prallplatte war mäßig, jedoch hat sich gezeigt, daß die Prallplatte zwecks langer Lebensdauer aus bestem Material hergestellt werden muß.

Dr. Mayer, Borna:

Ich weiß nicht, ob es schon gesagt wurde, ich habe es vielleicht überhört. Hat sich der Wassergehalt der Kohle bei der Druckentlastungszerkleinerung verändert oder nicht?

Heide:

Der Wassergehalt der Trockenbraunkohle lag vor der Zerkleinerung bei ca. 16—18 %. Die Wassergehalte des erzeugten Staubes lagen um so niedriger, je geringer die Strahlbelastung war und je höher die Dampftemperatur lag. An Wasser verdampften bei Temperaturen von 240 °C und Kohledurchsätzen von 400—850 kg/h rund 9—4 %, bei Temperaturen von 300 °C und Durchsätzen von 300—1000 kg/h ca. 13—7 %, bei noch höheren Durchsätzen von 1500—1800 kg/h entsprechend einer Strahlbelastung von rund 4—5 kg Kohle/kg, Dampf jedoch nur 2—3 %.

Dipl.-Ing. Kurt Hofmann:

Der Dampfverbrauch von 0,2 kg je kg zu zerkleinernder Kohle ist hoch. Es darf nicht übersehen werden, daß der Dampf bzw. das Kondensat nach der Druckentlastung verlorengeht. Dieser Dampf muß also stets aus aufbereitetem Rohwasser erzeugt werden. Das Verfahren kann sicher nur solange wirtschaftlich betrieben werden, wie es möglich ist, den Dampf für die Druckentlastungszerkleinerung mittelbar, z. B. in Dampfumformern, zu gewinnen. Werden die erforderlichen Dampfdrücke zu hoch und muß das Wasser einem feuer-

beheizten Kessel entnommen werden, dann dürfte das Verfahren wirtschaftlich nicht mehr zu vertreten sein, da bei Hochdruckkesseln die Speisung mit nur gereinigtem Zusatzwasser viel zu hohe Aufwendungen notwendig macht.

Rammeler:

Herr Hofmann hat in der Tat einen wunden Punkt des Verfahrens berührt. Auf die wirtschaftliche Belastung des Druckentlastungsverfahrens durch die erhöhten Speisewasserkosten habe ich bereits in meinem Vortrag 1951 hingewiesen. Der Vorschlag von Herrn Hofmann, den Dampf für die Druckentlastungszerkleinerung durch Dampfumformer zu gewinnen, erscheint mir sehr beachtlich. Im übrigen sehe ich die größeren Möglichkeiten des Verfahrens auf dem Gebiete der Staubvergasung, wo der Arbeitsdampf als Vergasungsmittel nutzbar gemacht werden kann, nicht aber auf dem Gebiete der Feuerungstechnik, da hier der Arbeitsdampf verlorengeht.

Dipl.-Ing. Riedel, Böhlen:

Es wäre die Frage zu stellen, ob das im Vortrag geschilderte Prinzip in der Vergasungstechnik Eingang finden könnte. Einesteils wäre eine Anwendung bei der Druckvergasung denkbar, andererseits könnte man auch an Stelle von Dampf bei der Trocknung komprimierte Gase einsetzen. Insbesondere drängt sich die Frage auf, ob an eine Kombination mit einer kohlenstaubgefeuerten Gasturbine gedacht werden kann.

Rammeler:

Herr Riedel hat durchaus recht. Der Vortragende hat bereits erwähnt, daß ich demnächst in einem Vortrag im Ausschuß für Ent- und Vergasung die Anwendungsmöglichkeiten der Druckentlastungszerkleinerung für die Staubvergasung behandeln werde. In unserem ausführlichen Forschungsbericht ist dieser Frage ein besonderes Kapitel gewidmet. Es ist z. B. darin eine Lösung behandelt, bei der in das aus einem Druckvergaser austretende Produktionsgas, das etwa 900 °C heiß ist, Rohbraunkohle eingeschleust wird, die dann gemeinsam mit dem Gas durch eine keramisch oder wassergekühlte metallene Düse hindurchgetrieben wird, wobei sie gleichzeitig getrocknet und zerkleinert wird. Allerdings kann auf diese Weise nur ein Teil des Kohlenstaubbedarfes für die Vergasung gedeckt werden (etwa $\frac{2}{3}$). Eine kohlenstaubgefeuere Gasturbinen-Lokomotive mit Druckentlastungszerkleinerung ist in Amerika entwickelt worden. Der Gedanke, die Turbine mit so hohem Gegen- druck zu betreiben, daß die Abgase zur Mahltrocknung durch Druckentlastungszerkleinerung benutzt werden, ist allerdings nach meiner Kenntnis neu.

Dipl.-Ing. Intelmann, Welzow:

Zeichnen sich schon Unterschiede ab in der Zerkleinerung zwischen harter und weicher Kohle?

Rammeler:

Die Versuche mußten leider auf eine Bornaer Kohle beschränkt werden, so daß Vergleiche zwischen verschiedenen Braunkohlen nicht vorliegen. Schwelkoks und Brikettspäne sind schwerer mahlbar als Trockenbraunkohle.

Bergakademie
- Bücherei -
Freiberg i. Sa.



Über die Beziehungen zwischen der Härte der Braunkohlen und ihrer Brikettierbarkeit

Von Dipl.-Ing. ERICH GLÖCKNER, Freiberg

Die Härte der Braunkohlen beeinflusst ihr Zerkleinerungsverhalten im Naßdienst, den Körnungsschwund bei der Trocknung, die Zerkleinerung bei der Förderung, soweit sie noch durch Schnecken erfolgt, das Verhalten bei der Nachzerkleinerung, was besonders für Fein- und Feinstkornbrikettierung wichtig ist, schließlich die Verpressungseigenschaften. Das sind genug Anlässe, um sich mit der Härte der Braunkohle etwas näher zu befassen.

Zur Klärung der Frage, inwieweit sich die Härte einer Braunkohle bei der Brikettierung insbesondere auf die Festigkeit der Briketts auswirkt, war es zunächst erforderlich, ein einwandfreies Verfahren zur Härtebestimmung der Kohle ausfindig zu machen. Die wichtigsten klassischen Methoden der Härtebestimmung, wie die Kugel- und Kegeldruckprobe und die Bestimmung der Pyramiden- und Ritzhärte, erwiesen sich für die Braunkohle mehr oder weniger ungeeignet,

und zwar teils wegen zu großer Belastung der relativ sehr weichen Kohle, teils wegen zu großer Meßungenauigkeiten.

Erst durch die von SÄUBERLICH [1] im Jahre 1942/43 gebaute und von TONEFF [2] im Jahre 1945 weiterentwickelte und vervollkommnete Apparatur (Bild 1), die sich im Prinzip an die Kegeldruckprüfung nach LUDWIK anlehnte, wurden diese Mängel in weitgehendem Maße ausgeschaltet. Denn während LUDWIK einen Kegel mit einem Öffnungswinkel von 90° benutzte, besitzt der gehärtete Stahlkegel bei der SÄUBERLICHschen Apparatur nur einen Öffnungswinkel von 10° , um dadurch Eindrücke von genügender Tiefe mit kleinen Belastungen und vor allem in kurzer Belastungszeit zu erzielen.

Aber auch diese sogenannte Nadelhärtebestimmungsmethode erweist sich insofern als nicht ausreichend, als infolge der relativ geringen Eindrücktiefen der Prüfnadel von 2 bzw. 3 mm lediglich die Oberflächenschichten erfaßt werden, deren Härte infolge der Auswirkung der Bearbeitung des Probestückes, ferner infolge der Austrocknung von der des Kernes der Stücke abweicht. Ferner wird zwar bei dem geringen Öffnungswinkel des Stahlkegels von 10° eine kleine Belastung und eine geringe Belastungszeit erzielt, andererseits bewirkt aber dieser geringe Öffnungswinkel eine größere Reibung der Kegelmantelfläche an dem Probestück. Gerät die Kegelspitze in eine Spalte des Probestückes, so ist der Fall leicht denkbar, daß die Schreibvorrichtung nicht die Härte der Kohle, sondern einzig und allein die Größe der Reibung der Kegelmantelfläche an den Spaltflächen anzeigt. Je rissiger eine Kohle ist, um so kleiner wird also die Sicherheit dieser Meßmethode sein. Außerdem muß bei der Bestimmung der Nadelhärte mit der größten Sorgfalt verfahren werden, um größere Meßfehler zu vermeiden. Vor allem müssen folgende Punkte genau beachtet werden:

1. Der Konuswinkel der Prüfnadel muß genau 10° betragen und ist deshalb von Zeit zu Zeit daraufhin zu überprüfen.
2. Die Indikatorfeder darf keinesfalls überlastet werden, die am Federsockel angegebenen zulässigen Belastungen sind also genau einzuhalten.
3. Die Kontaktplatten sind peinlich sauberzuhalten, da schon Spuren von Kohlenstaub, der sich auf diesen Platten abgesetzt hat, die Meßergebnisse stark beeinflussen, d. h. viel zu hohe Härtewerte ergeben.

Da aber vor allem sehr leicht der Fall eintreten kann, daß zwar die Kohlensubstanz infolge weitgehender Austrocknung eine erhöhte Härte angenommen hat, daß sich aber infolge der starken Rißbildung nur ge-

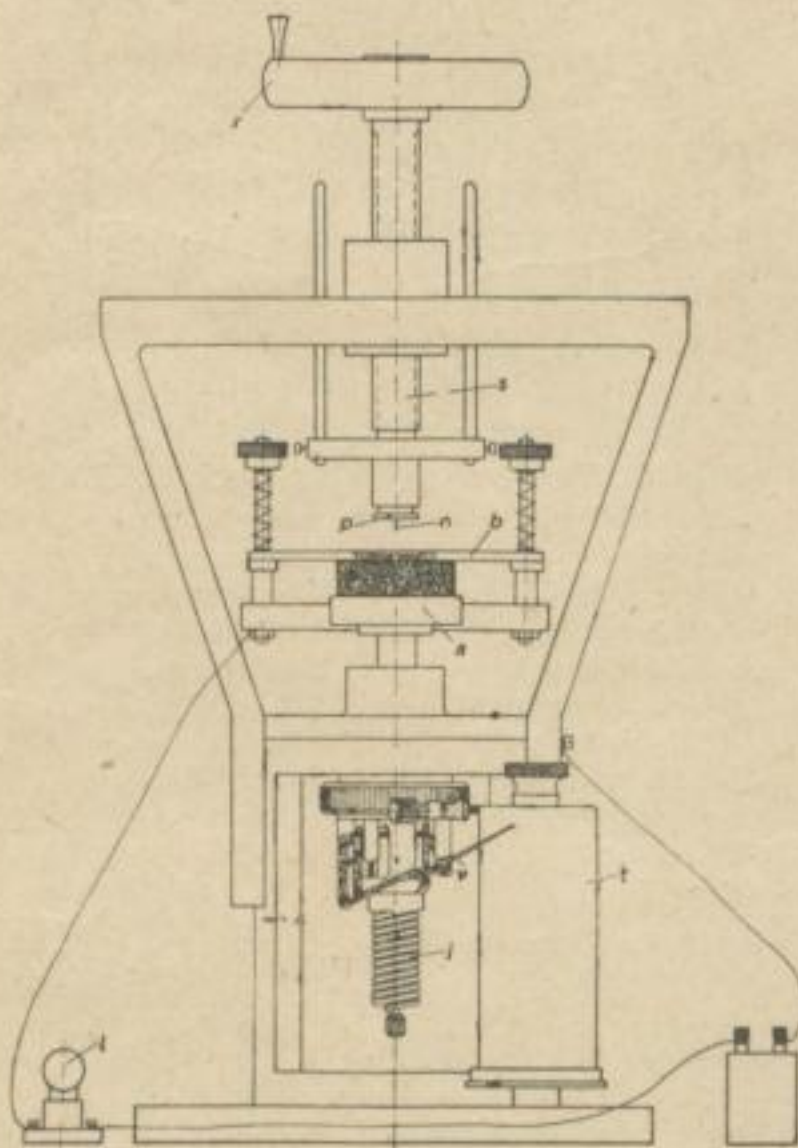


Bild 1. Apparat zur Bestimmung der Nadelhärte

a = Auflagetisch	p = Platte
b = Bügel	r = Rad mit Griff
i = Indikator	s = Spindel
l = Lampe	t = Indikatortrommel
n = Nadel	v = Schreibvorrichtung

ringe Härtewerte ergeben, so macht es sich erforderlich, Nadelhärtebestimmungen sofort an frischen Probestücken der Rohkohle durchzuführen.

Trotz der angeführten zahlreichen Mängel stellte aber die Nadelhärtebestimmungsmethode bei sorgfältiger Versuchsdurchführung und bei einer größeren Anzahl von Einzelmessungen bislang die einzige brauchbare Methode zur Ermittlung der Härte der Rohkohle dar, allerdings nur bei Verwendung größerer Rohkohlenstücke.

Es wurde deshalb ein dringendes Bedürfnis für die Braunkohlenbrikettindustrie; ein Meßverfahren zu besitzen, das auch für die Bestimmung der Härte bzw. der Zerkleinerbarkeit der Trockenkohle in Betracht kommt, um Aufschlüsse zu erhalten über das Kohleverhalten bei der Nachzerkleinerung des Grobkornes, insbesondere für die Herstellung von Fein- und Feinstkornbriketts für die Schwelung, Vergasung und Verkokung und bei der Verpressung. Die bisher angewandten Mahlbarkeitsbestimmungsmethoden mittels des Brabender-Strukturprüfers, über dessen Aufbau und Wirkungsweise von GRÜNDER [3] eingehend berichtet wurde, ferner mittels der Kugelmühle nach YANCEY, FURSE und BLACKBURN [4], mittels der Hardgrove-Mühle nach HARDGROVE [5] und mittels des Roll-Testes nach SLOMAN und BARNHART [6] kommen nur für die Kohlenstaubtechnik und auf dem Gebiete der Brikettierung für die bindemittellose Brikettierung von Braunkohlenstaub in Betracht. Es galt also, ein Verfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, auch die Mahlbarkeit der vom Trockner anfallenden Kohle zahlenmäßig zu erfassen. Hierbei galt es weiterhin, für die Ermittlung der spezifischen Oberfläche eines Korngemisches einen einfachen Weg zu finden, der den betrieblichen Belangen in besonderem Maße Rechnung trägt.

Nach den grundlegenden Untersuchungen von ROSIN und RAMMLER [7] über die Mahlbarkeit der Kohle können Mahlbarkeitsvergleiche nur unter folgenden Voraussetzungen durchgeführt werden:

1. gleiche Mühle
2. gleicher Feuchtigkeitsgehalt des Aufgabegutes
3. gleiche Kornzusammensetzung
4. gleiche Mahldauer
5. gleicher Belastungsgrad, d. h. gleiche Aufgabemenge

Für die durchgeführten Mahlversuche zur Ermittlung einer exakten Mahlbarkeitsziffer wurde außer der bereits erwähnten Kugelmühle (Bild 2) und der Hardgrove-Mühle (Bild 3) und dem aus einer Walze und Grundplatte bestehenden Roll-Test (Bild 4) die Mörsermühle verwendet, die in ihrem prinzipiellen Aufbau aus Bild 5 zu ersehen ist und in der Zerkleinerungstechnik den Pendelmühlen entspricht. Die Untersuchungen wurden an Hand von 17 verschie-

denen Braunkohlenarten durchgeführt, deren Reihe die weichsten (Puschwitz) und eine der härtesten Braunkohlen (Brüx) umfaßt.

Es wurden also mit der Kugel- und Hardgrove-Mühle und mit dem Roll-Test die gleichen Untersuchungen durchgeführt wie mit der Mörsermühle, und zwar unter Abwandlung der amerikanischen Untersuchungsmethoden, um diese auf Kohlenstaub bezogenen Methoden für die Ermittlung der Brikettierhärte anwendbar zu machen. Da aber die Streuung der Punkte bei der Ermittlung der Zusammenhänge zwischen der Mahlbarkeit und der Brikettierbarkeit einer Braunkohle bei Verwendung der Mörsermühle am geringsten war, wurde diese Mühle zur Bestimmung der Mahlbarkeit einer Kohle ausgewählt.

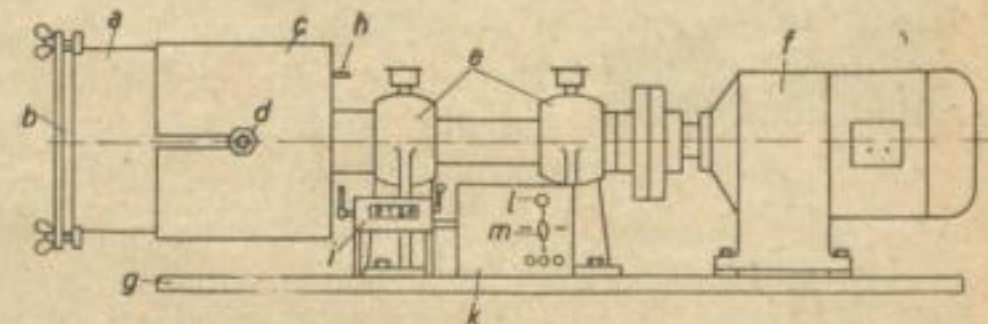


Bild 2. Kugelmühle nach ASTM

- | | | |
|-------------------|----------------|-----------------|
| a Stahltopf | e Lager | i Vorgabezähler |
| b Deckel | f Elektromotor | k Schaltschütz |
| c Hohlzylinder | g Grundplatte | l Glimmlampe |
| d Schraubenmutter | h Auslösestift | m Drehschalter |

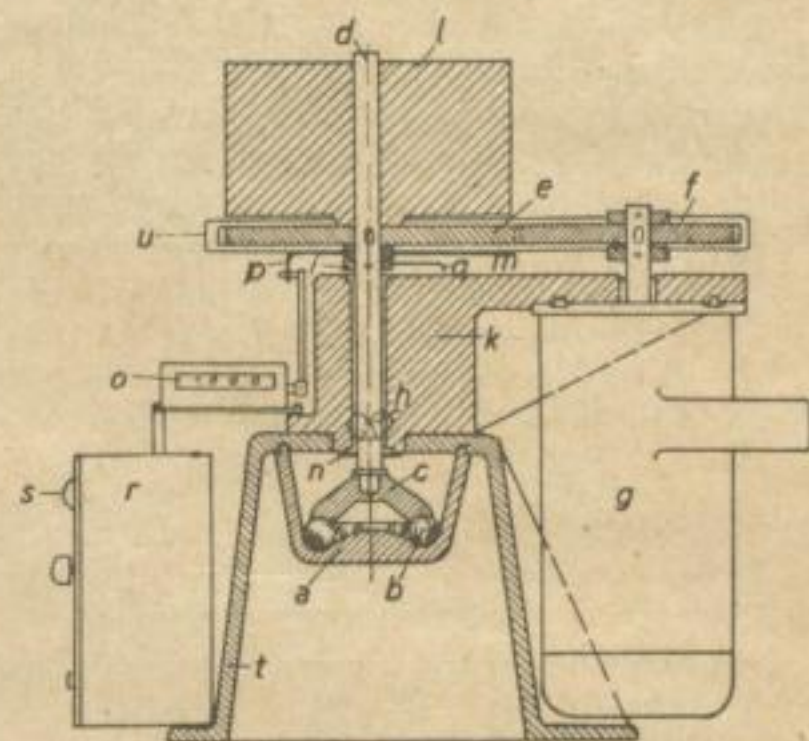


Bild 3. Hardgrove-Mühle nach ASTM

- | | |
|----------------------|-------------------|
| a Stahlgußtopf | m oberer Ring |
| b Kugeln | n Dichtungsring |
| c oberes Mahlelement | o Vorgabezähler |
| d Mahlwellen | p Auslösehebel |
| e, f Zahnräderpaar | q Auslösehebel |
| g Getriebemotor | r Schaltschütz |
| h Flügelschraube | s Glimmlampe |
| i unterer Ring | t unteres Gehäuse |
| k oberes Gehäuse | u Räderschütz |
| l Gewicht | |

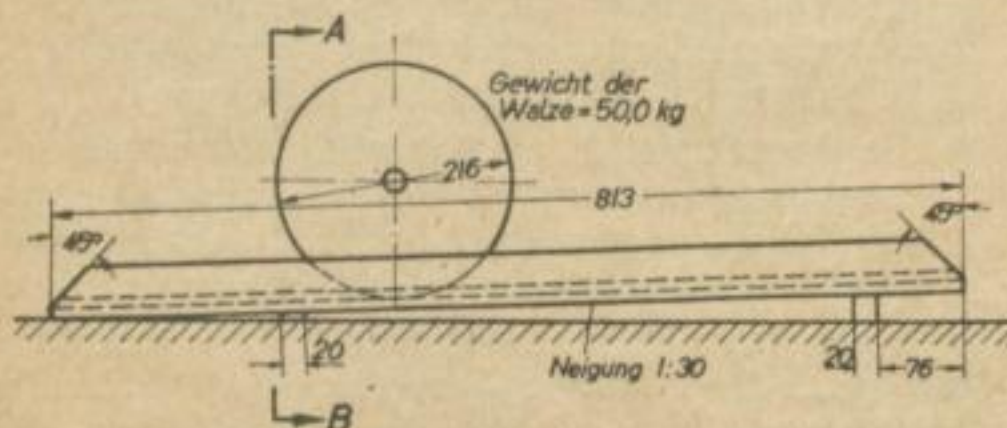
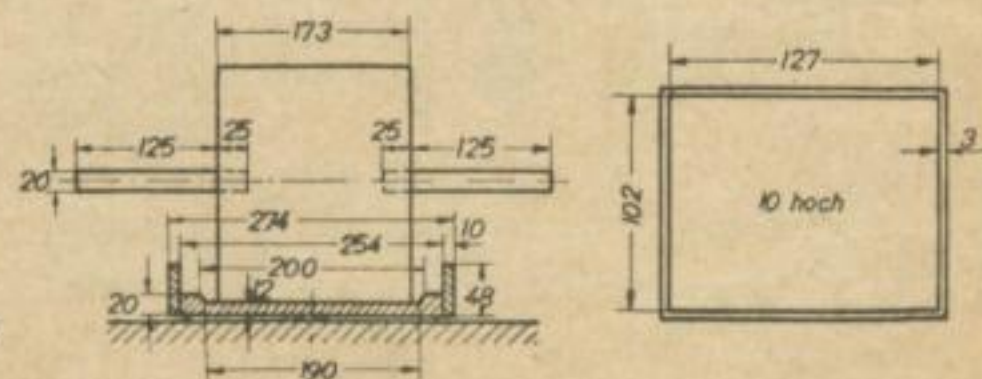


Bild 4. C.I.T.-Roll-Test



Schnitt A—B

Stahlrahmen

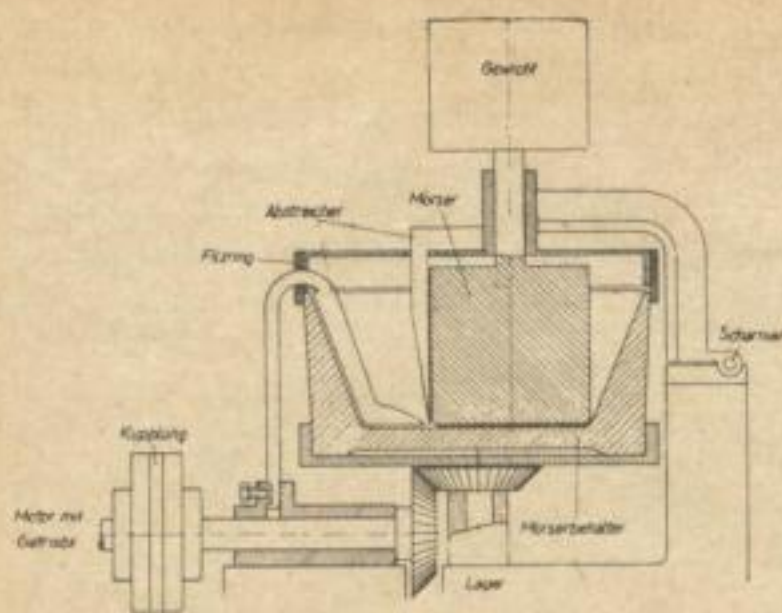


Bild 5. Mörsermühle

Der Berechnung der Mahlbarkeitsziffer wurde das schon vor über 80 Jahren von RITTINGER [8] ausgesprochene Gesetz zugrunde gelegt, nach dem die Gesamtoberfläche des Mahlgutes linear mit dem Energieaufwand wächst oder die technische Mahlbarkeit, bei der der Wirkungsgrad der Mühle einbezogen ist, annähernd proportional der neu erzeugten Oberfläche ist.

Bei Verwendung einer Mühle mit praktisch konstanter Leistungsaufnahme und eines Gutes von nicht zu grober Körnung mußte es daher möglich sein, sehr brauchbare Mahlbarkeitsziffern zu erhalten, vorausgesetzt, daß zu deren Bestimmung eine zuverlässige Methode zur Ermittlung der spezifischen Oberfläche herangezogen wird. Unter Beachtung der eingangs angeführten 5 Voraussetzungen läßt sich mit hin eine Mahlbarkeitsziffer einfach ermitteln als Quotient aus der spezifischen Oberfläche des Mahlgutes und des Aufgabegutes. Mit anderen Worten: Unter der Mahlbarkeitsziffer versteht man die Zahl, die angibt, um das Wievielfache sich die spezifische Oberfläche des Mahlgutes durch die Vermahlung vergrößert hat. Je größer die Zahl ist, um so besser ist also die Mahlbarkeit eines Stoffes.

Als einwandfreie Grundlage der spezifischen Oberflächenberechnung wird heute nur noch das von ROSIN und RAMMLER in Gemeinschaft mit SPERLING auf zwei völlig unabhängigen Wegen aufgestellte und im Jahre 1933 veröffentlichte Exponentialgesetz der Kornzusammensetzung angesehen [9, 10, 11], das die Beziehung zwischen der Korngröße und dem Rückstand in % herstellt.

Entspricht nun ein Körnungsgemisch dem Exponentialgesetz der Kornzusammensetzung, so ergibt die Körnungscharakteristik als Ergebnis einer Siebanalyse in dem von BENETT [12, 13] aus dem Rosin-Rammlerschen $\log(\log 100/R) - \log x$ -Bild abgeleiteten sog. doppeltlogarithmischen Körnungsnetz, (RRB-Körnungsnetz) eine Gerade, die RRS-Gerade (nach den Autoren Rosin, Rammler und Sperling). Bei diesem Körnungsnetz sind als Ordinate die $\log(\log 100/R)$ -Werte aufgetragen, jedoch die R-Werte selbst angeschrieben. R bedeutet hierbei den Rückstand bei einer bestimmten Siebmaschenweite in % zur Gesamtmenge des Korngemisches. Die Teilung der Abszisse hingegen erfolgt nach $\log d$, wobei die Korngrößen, ebenfalls mit d bezeichnet, selbst angeschrieben sind.

Zur Ermittlung einer einwandfreien Mahlbarkeitsziffer wurde nun in der Weise verfahren, daß für die

durchgeführten Mahlversuche auf der Mörsermühle, Kugelmühle, Hardgrove-Mühle und mit dem Roll-Test ein Aufgabegut der Körnung 0—4 mm gewählt wurde, dessen Kornzusammensetzung einer idealen Siebkennlinie, d. h. also einer Geraden im RRB-Körnungsnetz, entsprach (Bild 6).

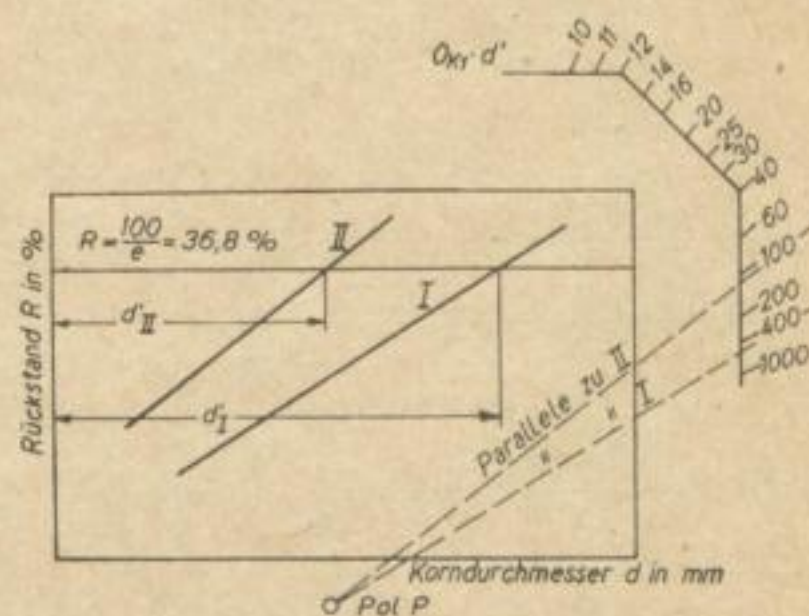


Bild 6.

Ermittlung der spezifischen Oberfläche eines Mahlgutes

Kornzusammensetzung des Aufgabegutes

Kornklasse	Gewichtsanteil
0 — 0,25 mm	22,2 %
0,25 — 0,5 mm	13,3 %
0,5 — 1 mm	17,5 %
1 — 2 mm	20,0 %
2 — 3 mm	11,0 %
3 — 4 mm	16,0 %

$$O_{K1} = 77,7 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$O_{K1} = 260 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$M_Z = \frac{260}{77,7} = 3,35$$

Aus der Lage mit einer solchen Geraden — auf dem Bild mit I bezeichnet — läßt sich weiterhin mittels eines von Prof. RAMMLER und mir entworfenen Randmaßstabes in einer überaus einfachen und dabei einwandfreien Weise die spezifische Oberfläche des Korngemisches entnehmen. Zieht man nämlich zu dieser Geraden durch den Pol P eine Parallele, so ergibt der Schnittpunkt dieser Parallelen mit dem Randmaßstab den Wert für die spezifische Oberfläche des Korngemisches in m^2/kg . Der Randmaßstab enthält allerdings die Werte für $O_{K1} \cdot d'$, wobei O_{K1} den Wert der spezifischen Oberfläche angibt und d' diejenige Korngröße bzw. Siebmaschenweite darstellt, der der Rückstand $100/e = 36,8\%$ zugeordnet ist ($e =$ Basis des natürlichen Logarithmus). Hiernach erhält man für das Aufgabegut der Mühlen, das ja immer die gleiche, auf dem Bilde angeführte Kornzusammensetzung erhalten soll, eine spezifische Oberfläche von $77,7 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Nehmen wir an, daß eine Mühle bei einer bestimmten Mahldauer ein Mahlgut liefert, dessen Körnungscharakteristik durch die im RRB-Diagramm dargestellte Gerade II gebildet wird. Ergibt sich nun mittels der zu dieser Geraden durch den Pol P gezogenen Parallelen eine spezifische Oberfläche für dieses Mahlgut von $260 \text{ m}^2/\text{kg}$, so beträgt die Mahlbarkeitsziffer für diese Braunkohle $M_Z = 260/77,7 = 3,35$.

Hierbei wurde angenommen, daß der Formfaktor sich bei der Zerkleinerung nicht wesentlich ändert, so daß er nicht berücksichtigt zu werden braucht, da er bei der Bildung des Oberflächenverhältnisses herausfällt. Aus der großen Anzahl der durchgeführten Mahlversuche ergaben sich nun mit der Mörsermühle, und zwar bei einer Mahldauer von 1 Min.,

insofern die bei weitem günstigsten Verhältnisse, als bei 75 Versuchen die Kornzusammensetzung des Mahlgutes 50mal in ausgezeichneter und 20mal in befriedigender Weise dem mehrfach erwähnten Exponentialgesetz der Kornzusammensetzung entsprach. In den restlichen wenigen Fällen liegen zweifellos Fehler der Probenahme oder Siebanalyse vor.

abnehmender Mahlbarkeit mit zunehmender Nadelhärte klar zu erkennen.

In dem folgenden Bild 8 sind die Druckfestigkeiten der beim optimalen Wassergehalt verpreßten Briketts der 17 Versuchskohlen über der Mörsermühlhärte dieser Kohlen aufgetragen. Es zeigt sich hierbei, wenn man von 3 besonders herausfallenden Werten absieht,

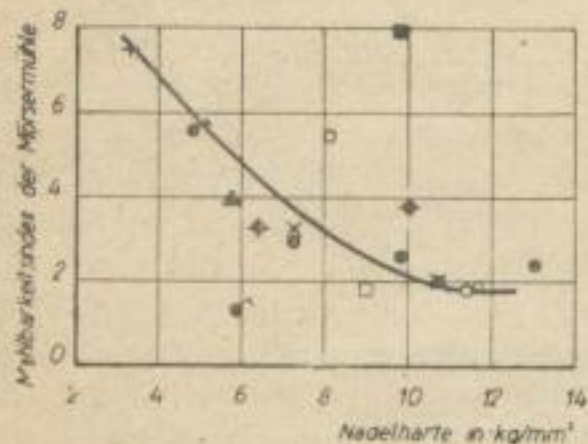


Bild 7. Abhängigkeit der Mahlbarkeit einer Braunkohle auf der Mörsermühle von ihrer Nadelhärte
Mahldauer: 1'
Eindrucktiefe der Prüfnadel: 2 mm

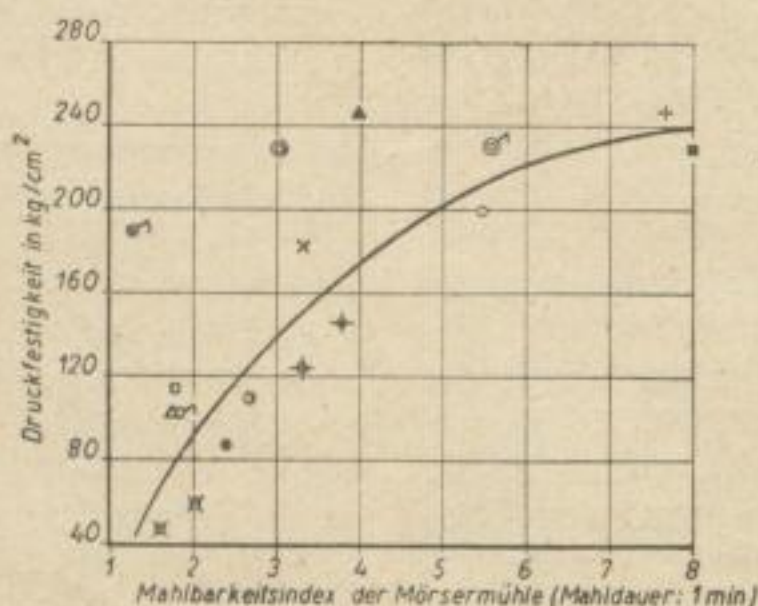


Bild 8. Abhängigkeit der Brikettfestigkeiten von der Mahlbarkeit der Kohle auf der Mörsermühle bei einer Mahldauer von 1 min.
Körnung: 0—4 mm, W_{opt}
Preßdruck: 1000 kg/cm², Preßtemp.: 40°

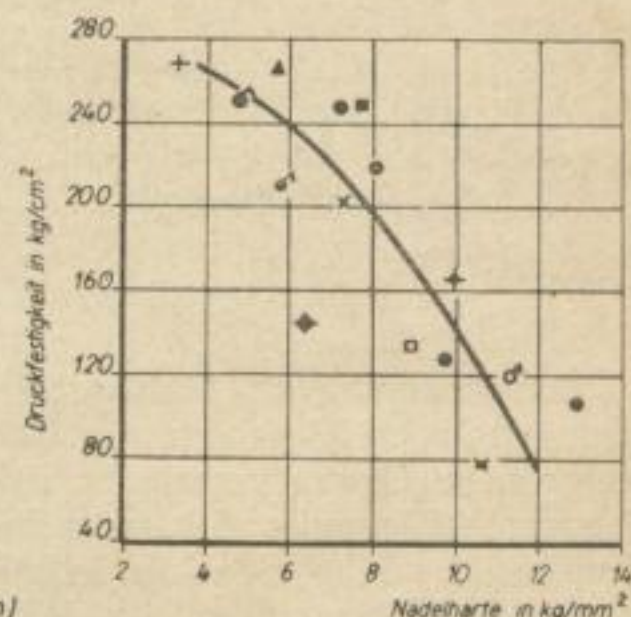


Bild 9. Abhängigkeit der Druckfestigkeit der Briketts von der Nadelhärte der Rohkohle
Eindrucktiefe der Prüfnadel 2 mm

Nach diesem Gesamtergebnis kann daher mit Recht das Problem, den Zerkleinerungswiderstand einer Braunkohle zahlenmäßig zu erfassen, als gelöst betrachtet werden, wobei besonders darauf hingewiesen werden muß, daß wir es bei der Braunkohle mit einem überaus heterogenen Stoff zu tun haben, dessen Eigenschaften zahlenmäßig niemals absolut eindeutig, sondern immer mit einem gewissen Streubereich festgelegt werden können.

Wenn die Untersuchungen mit dem für die Vorpressung optimalen und nicht mit einem absolut gleichen Wassergehalt durchgeführt wurden, so deshalb, um in bezug auf den Wassergehalt Mahlbarkeit und Brikettfestigkeiten der beim optimalen Wassergehalt verpreßten Briketts auf den gleichen Nenner zu bringen.

Folgende Voraussetzungen führen also zur Ermittlung einer einwandfreien Mahlbarkeitsziffer einer Braunkohle, die ich als „Mörsermühlhärte“ bezeichnen möchte:

1. Mühlenart: Mörsermühle
2. Menge des Aufgabegutes: 200 g
3. Körnung des Aufgabegutes 0—4 mm, fraktionsweise eingewogen nach der bereits angegebenen Aufgliederung
4. Wassergehalt des Aufgabegutes: W_{opt} (ersatzweise 17%)
5. Mahldauer: 60 sec.

Nach der auf diese Weise ermittelten Mörsermühlhärte der 17 Versuchskohlen konnte festgestellt werden, daß auch insofern eine gewisse Berechtigung besteht, die Nadelhärte einer Braunkohle durch deren Mahlbarkeitsziffer zu ersetzen, als nach Bild 7 ein genügender Zusammenhang zwischen diesen beiden Härtegrößen besteht, denn es ist die Tendenz

ein guter Zusammenhang insofern, als mit einer steigenden Mahl- bzw. Zerkleinerbarkeit der Kohle eine steigende Druckfestigkeit der Briketts einhergeht. Die Verpressungs-Bedingungen waren hierbei folgende:

Körnung der Brikettierkohle: 0—4 mm
Preßdruck: 1000 kg/cm²
Preßtemp.: 40°.

Der für die Verpressung optimale Wassergehalt einer jeden Kohle wurde aus einer Wassergehaltsreihe von 8, 10, 12 usw. bis 24% ermittelt. Nur bei der relativ wasserarmen Brüxer Hartbraunkohle mit einem Wassergehalt von 22,5% in der Rohkohle wurde eine Wassergehaltsreihe von 4—20% zugrunde gelegt, wobei ein optimaler Wassergehalt von 9,2% ermittelt wurde. Aus Bild 8 ist vor allem noch zu ersehen, daß die innerhalb unserer Versuchsreihe härteste Brüxer Hartbraunkohle bei einer Druckfestigkeit der Briketts von nur ca. 68 kg/cm² einen Mörsermühlmahlbarkeitsindex von nur 1,6 aufweist, während die in bezug auf die Nadelhärte bei weitem weichste Puschwitzer Braunkohle bei der absolut größten Druckfestigkeit der Briketts von etwa 268 kg/cm² einen Mörsermühlindex von etwa 7,7 besitzt. Dies ist ein Bereich von 1:4 in der Druckfestigkeit und von 1:4,8 im Mahlbarkeitsindex.

Da nun ein genügender Zusammenhang zwischen der Nadelhärte und der Mahlbarkeit von Braunkohlen einerseits und zwischen der Mahlbarkeit und den Brikettfestigkeiten andererseits besteht, so muß logischerweise auch eine Relation zwischen der Nadelhärte der Rohkohlen und den Festigkeiten der Briketts bestehen. Tatsächlich ist auch aus Bild 9 vor allem bei einer Eindrucktiefe der Prüfnadel von 2 mm einigermaßen klar zu ersehen, daß mit zunehmender Nadelhärte der Braunkohlen die Druckfestigkeiten der Briketts stark ab-

- | | |
|------------------|------------------------|
| • Loderburg | ■ Friedländer |
| ○ Jonny Scheer | ⊙ Nachterstedt, normal |
| ⊙ Großkayna | ⊙ „bitumen-Varietät |
| × Dora/Helene | ⊙ „dopplerit. Kohle |
| + Puschwitz | ⊙ Ammendorf, Tu. |
| ⊙ Brüx | ⊙ Egein |
| △ Dopplerit | ⊙ Konn |
| △ Plessa, normal | ⊙ Kleinleipisch |
| □ „oxydiert | |

nehmen. Wenn schon die verhältnismäßig harte Kohle Nachterstedt mit einer Nadelhärte von etwa 15 kg/mm² bei einer Eindringtiefe der Prüfnadel von 3 mm stark herausfällt, so können — und hier ist der Nadelhärtebestimmungsmethode im Gegensatz zur Mahlbarkeitsbestimmungsmethode eine Grenze gesetzt — ausgesprochene Hartbraunkohlen, wie die Brüxer Hartbraunkohle mit einer Nadelhärte von 55 bzw. 48 kg/mm², in dieser Darstellungsweise nicht mehr erfaßt werden. Auch die Raffung der Abszissenwerte durch eine logarithmische Unterteilung der Abszisse führt zu nichts, da in diesem Falle die Härtewerte der normalen Weichbraunkohlen auf engstem Raume zusammengedrängt werden.

Die Brikettierfähigkeit einer Braunkohle, die ohne Bindemittelzusatz brikettiert werden soll, nimmt also im allgemeinen mit ihrer Härte ab. Die Härte ist aber, soweit der physikalische Begriff derselben in Frage kommt, für den Brikettierungsvorgang nicht von ausschließlicher Bedeutung, sofern man vom Verschleiß des Formzeuges absieht. Sie ist nur eine der Komponenten des Komplexes der „Härte“-Eigenschaften, der für die Brikettierung wichtig ist und für den Prof. RAMMLER die Bezeichnung „Brikettierhärte“ geprägt hat. Der Komplex „Brikettierhärte“ ist sehr schwer zu bestimmen und in seiner Beziehung zur Brikettierbarkeit zahlenmäßig nicht einfach zu erfassen, so daß zweifellos mehrere Kennziffern zur Charakterisierung notwendig sind, denn die Brikettierhärte umfaßt mehrere Eigenschaften, deren Zusammenwirken erst für die Brikettierfähigkeit einer Kohle ausschlaggebend ist. Hierbei kommen außer der bereits angeführten Härte im engeren Sinne, die in erster Linie durch den Begriff der Nadelhärte gekennzeichnet ist, und der Zerkleinerbarkeit bzw. Mahlbarkeit folgende Eigenschaften in Betracht:

Die Druckplastizität, gekennzeichnet durch den „Fließdruck“, die Komprimierbarkeit, gekennzeichnet durch das Kompressionsverhältnis bei der Verpressung, und das Elastizitätsvermögen, gekennzeichnet durch die Höhenexpansion der Briketts nach Aufhebung des Druckes durch den Preßstempel.

Zweifellos stellt die Ermittlung der Druckplastizität ein Hauptkriterium dar für die Beurteilung einer Kohle auf ihre Brikettierfähigkeit, denn eine gute Oberflächenberührung der Einzelkörner wird um so eher erreicht werden, je geringer der Formänderungswiderstand des Preßgutes ist. Je plastischer also eine Kohle ist, um so eher werden die molekularen Oberflächenkräfte wirksam werden, die eine Verfestigung des Brikettiergutes herbeiführen. Zur Nachprüfung dieser Annahme wurde deshalb ein Gerät konstruiert und in der Werkstatt des Institutes für Brikettierung an der Bergakademie Freiberg gebaut (Bild 10), das im Prinzip der von AGDE und VETTER [14] verwendeten Versuchsvorrichtung zur Bestimmung des Fließdruckes von Braunkohle entsprach. Dieses Gerät ist im wesentlichen eine Presse, die aus einer kräftigen Preßform und einer Grundplatte besteht, in die eine der Düsen A, B, C oder D eingesetzt werden kann. Die Preßform ist auf die Grundplatte aufschraubbar und führt den Preßstempel. Die aus dem Bilde noch zu ersehenden Düsenverschlüsse dienen dazu, die Kohle auf ihrem Platz zu halten, bis sie bei einem Preßdruck von 500 kg/cm² vorgepreßt ist.

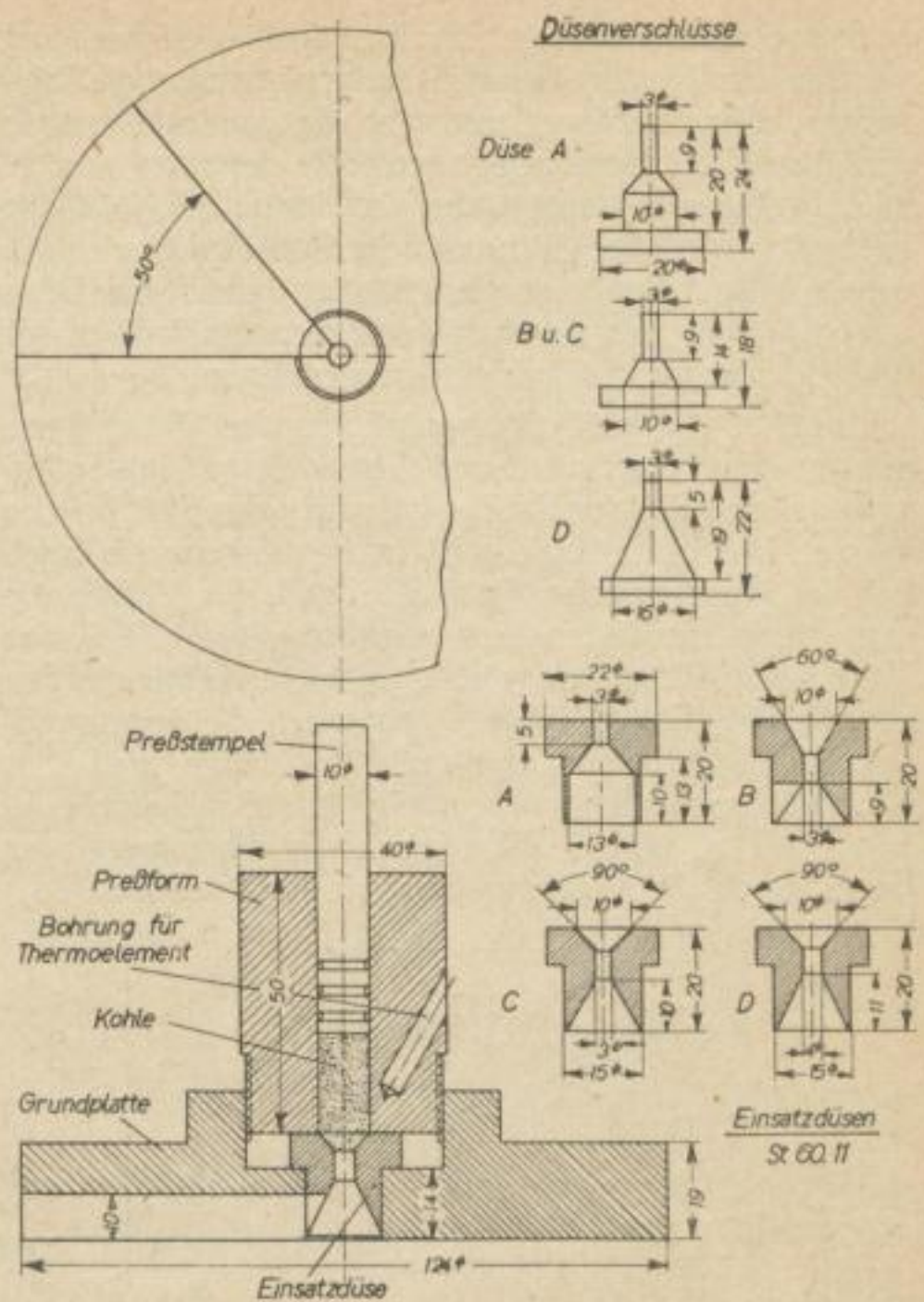


Bild 10. Gerät zur Bestimmung der Druckplastizität

Nach einer großen Reihe von Vorversuchen ergaben sich die günstigsten Verhältnisse bei der Einsatzdüse D mit einem Konuswinkel von 90° und einem Durchmesser der Bohrung von 4 mm. Während nun AGDE und VETTER zu dem Ergebnis kommen, daß auch bei Anwendung von Preßdrücken von 3000 kg/cm² ohne Temperaturerhöhung nur Braunkohlen durch eine 1,5 mm weite Düse gepreßt werden konnten, die mehr als 40% Wasser, bezogen auf Trockenkohle, oder über 28,7%, bezogen auf Rohkohle, enthielten, konnte wohl erstmalig der Nachweis erbracht werden, daß besonders weiche Braunkohlen (Puschwitz und Friedländer) auch ohne Temperaturerhöhung und schon beim optimalen Wassergehalt, d. h. bei 18%, druckplastisch werden. Die Preßdrücke betragen hierbei 3520 kg/cm² (Friedländer) bzw. 3880 kg/cm² (Puschwitz). Da also nur die Puschwitzer und Friedländer Kohle in einen reinen druckplastischen Zustand versetzt werden konnten, wurden die weiteren Versuche mit einer Kohletemperatur von 50° durchgeführt, da diese Temperatur etwa den betrieblichen Verhältnissen beim Preßvorgang entspricht. Des weiteren wurden jeweils 0,8 g der auf den optimalen Wassergehalt vorgetrockneten Kohle der Körnung 0—0,5 mm in die Preßform eingefüllt. Darauf wurde der Preßstempel aufgesetzt und dieser dann nach Erhitzung der Preßform mittels eines Bunsenbrenners auf 50° unter der Losenhausenpresse bei gleicher Preßgeschwindigkeit belastet. Eine Bohrung in der Preßform gestattete die Aufnahme eines Thermoelementes zur genauen Kontrolle der Preßtemperatur. Nach der Vorverdichtung, d. h. nach Erreichung eines Preßdruckes von 500 kg/cm², wurde der Düsenver-

schluß entfernt und der Preßstempel wiederum bei gleicher Preßgeschwindigkeit belastet, wobei die Temperatur der Preßform und der Grundplatte mittels des Bunsenbrenners genau auf 50° gehalten wurde. Der Preßdruck steigt dabei so lange an, bis das Preßgut unter der Wirkung der Druckplastizität in einem zusammenhängenden Strang durch die Düse gepreßt wird, was durch einen Kreischnitt in der Grundplatte gut beobachtet werden kann.

Es gelang, 8 der 17 Versuchskohlen bei dieser Temperatur druckplastisch zu machen, während dieser Zustand auch bei einer Preßtemperatur von 100° bei der Brüxer Hartbraunkohle und interessanterweise auch bei der Ammendorfer Salzkohle und der Kohle, die dem glazial gestörten und stark oxydierten Teil des Tagebaues Plessa angehört, nicht erreicht werden konnte. Bei diesen Kohlen zerbrachen die vorgepreßten Preßlinge schon bei verhältnismäßig niedrigen Preßdrücken vollkommen, wobei die Bruchstücke in feinkörniger und vollkommen zusammenhangloser Form durch die Bohrung der Einsatzdüse fielen.

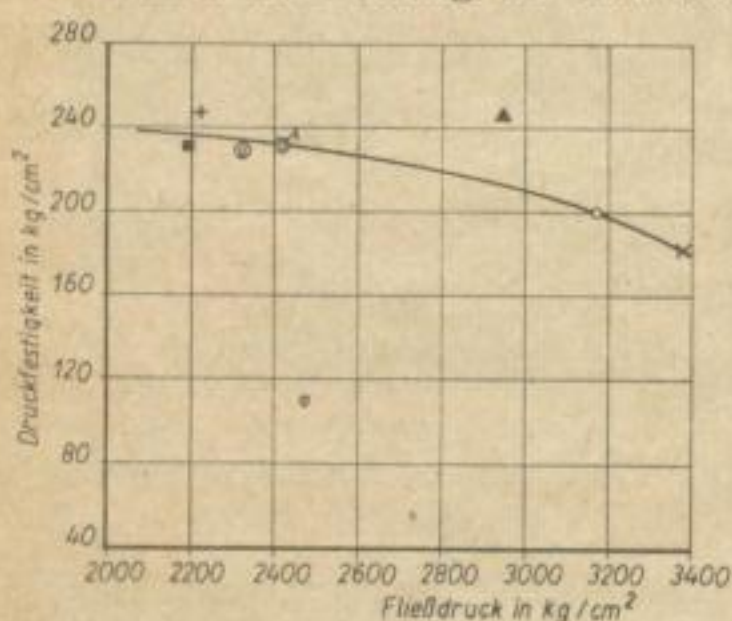


Bild 11. Abhängigkeit der Festigkeiten der beim optimalen Wassergehalt verpreßten Briketts von den bei 50° ermittelten Fließdrücken der Kohlen

Körnung: 0—0,5 mm
Wassergehalt: W_{opt} .

Aus Bild 11 ist tatsächlich ein gewisser Zusammenhang zwischen den Druckfestigkeiten der Briketts und dem Fließdruck der 8 Versuchskohlen bei Anwendung einer Kohletemperatur von 50° erkennbar, wenn man von dem vollkommen herauspringenden Wert für die Kohle Großkayna absieht. Nach diesem Bild ergibt sich also, daß die Festigkeiten der Briketts aus einer Braunkohle um so höher liegen, je geringer der Fließdruck, d. h. je größer die Plastizität dieser Kohle ist.

Die Ergebnisse der Fließdruckmessungen zeigen, daß es sehr wohl möglich sein dürfte, bei weiterer Vervollkommnung des Meßgerätes und der Untersuchungsmethode tiefere Einblicke in das Brikettverhalten der Braunkohle zu gewinnen. Die Fließdrücke liegen allerdings weit über den tatsächlichen Preßdrücken.

Wie bereits erwähnt wurde, umfaßt der Komplex „Brikettierhärte“ außer der Härte im engeren Sinne, der Mahlbarkeit und der Druckplastizität die Komprimierbarkeit und das Elastizitätsvermögen.

Die Komprimierbarkeit eines Preßgutes ist nur ein relatives Maß der Druckplastizität einer Kohle, da das Kompressionsverhältnis als Verhältnis der Schütthöhe der Brikettierkohle (in der Form vor der Verpressung gemessen) zur kleinsten Briketthöhe (d. h. der Briketthöhe beim höchsten Druck vor der Entlastung) weiterhin bestimmt wird von der Kornzusammensetzung und der Kornanordnung des Preßgutes und von der Preßdauer. Es ist zwar bekannt, daß Kohlen mit hohem Kompressionsvermögen bzw. von geringer Härte, also in erster Linie Niederlausitzer Kohlen, mit höherer Kompressionsgeschwindigkeit und demzufolge mit höherer Drehzahl verpreßt werden können als härtere und schwerer komprimierbare Kohlen, z. B. aus dem Geiseltal oder dem Bitterfelder Revier. Aber erst an Hand der großen Anzahl von Versuchskohlen verschiedensten Härtegrades konnte nachgewiesen werden, daß die Festigkeit der Briketts von der Komprimierbarkeit der Brikettierkohle stark beeinflusst wird. Wie aus Bild 12 zu ersehen ist, steigt die Druckfestigkeit der Briketts mit wachsendem Kompressions-

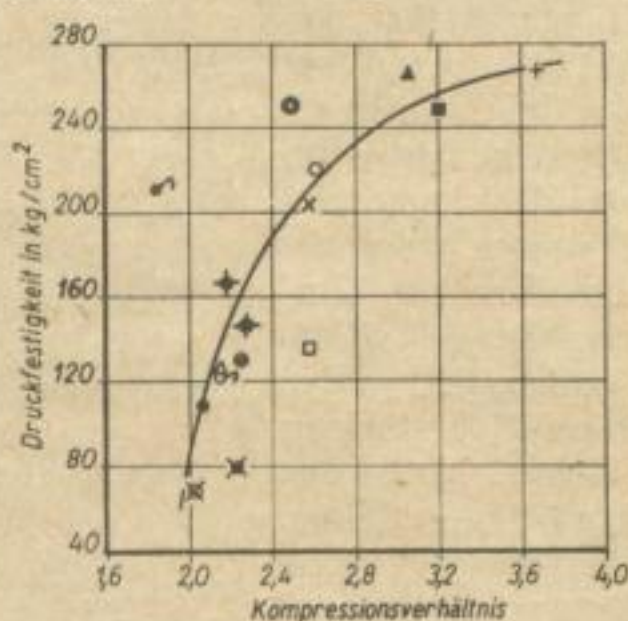


Bild 12. Abhängigkeit der Brikettfestigkeiten von der Komprimierbarkeit der Kohlen

Körnung 0—4 mm; W_{opt} ;
Preßdruck 1000 kg/cm²; Preßtemp. 40°

- | | |
|------------------|------------------------|
| • Loderburg | ■ Friedländer |
| ○ Jonny Scheer | ♂ Nachterstedt, normal |
| ○ Großkayna | • „bitumen Vanetat |
| x Dora / Helene | • „dopplerit. Kohle |
| + Puschwitz | ♂ Ammendorf, Tu. |
| ⊗ Brüx | ♂ Egel |
| △ Dopplerit | ⊙ Konin |
| ▲ Plessa, normal | ⊙ Kleinleipisch |
| □ „oxydiert | |

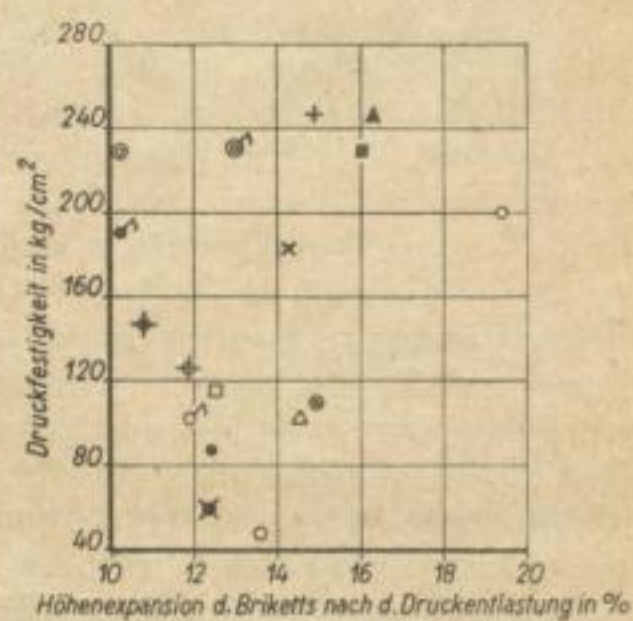


Bild 13. Abhängigkeit der Festigkeiten der beim optimalen Wassergehalt verpreßten Briketts von der Elastizität der Kohlen

Körnung 0—4 mm; W_{opt} ;
Preßdruck 1000 kg/cm²; Preßtemp. 40°

verhältnis stark an, so daß — rund gerechnet — bei einer Verdoppelung der Komprimierbarkeit der Kohle das Brikett etwa eine 4fache Festigkeit besitzt.

Die Auftragung der Druckfestigkeiten der Briketts über den Höhenexpansionswerten ergab hingegen nach Bild 13 einen ausgesprochenen Sternenhimmel, so daß von irgendwelchen Tendenzen trotz der großen Anzahl von Meßpunkten keine Rede mehr sein kann.

Bekanntlich ergeben die Niederlausitzer Braunkohlen sehr feste Briketts, obgleich diese Kohlen infolge ihres hohen Xylitgehaltes ein verhältnismäßig großes Elastizitätsvermögen besitzen. Aber diese Kohlen bilden infolge der innigen Verfilzung der xylitischen Bestandteile und der leichten Verformbarkeit der Kohleteilchen einen guten Brikettverband, den sie auch bei größerer Volumenexpansion nicht wieder aufgeben. Also nicht das Expansionsvermögen, sondern die Komprimierbarkeit einer Kohle scheint in erster Linie die Festigkeit der Briketts zu beeinflussen, sofern dafür gesorgt wird, daß die Expansion

sich auswirken kann, so daß es nicht zu einer nachträglichen Zerstörung des Gefüges des bereits gebildeten Briketts kommen kann.

Wir stellen abschließend fest, daß in der Tat sämtliche unter dem Begriff der „Brikettierhärte“ zusammengefaßten Eigenschaften einer Kohle, also deren Nadelhärte, Mahlbarkeit, Druckplastizität, Komprimierbarkeit und Elastizitätsvermögen, mit Ausnahme des Elastizitätsvermögens, als wesentliche Faktoren für die Bildung eines mehr oder weniger festen Bri-

ketts anzusprechen sind und daß vor allem mit der Bestimmung der Mörsermühlhärte ein Verfahren gefunden wurde, die Brikettierhärte der Trockenkohle zu kennzeichnen. Wenn auch bei der Abhängigkeit der Brikettfestigkeit von der Mörsermühlhärte noch einzelne Streupunkte auftreten, so ist dies nicht verwunderlich, weil fallweise der eine oder andere der sonstigen Faktoren der Brikettierhärte, der von der Mörsermühlhärte nicht erfaßt wird, sich stärker geltend macht.

Literatur

- [1] K. SAUBERLICH: Härte- und Druckfestigkeitsbestimmungen der Rohbraunkohlen. Braunkohle, Bd. 43 (1944) S. 181—187.
- [2] P. TONEFF: Härte und Druckfestigkeit von Rohbraunkohlen und ihr Einfluß auf den Kornzerfall bei der Zerkleinerung und die Verpreßbarkeit. Diss. 1945, Bergakademie Freiberg (Maschinenschrift).
- [3] W. GRÜNDER: Verfahren zur Bestimmung der Mahlbarkeit von Steinkohle. Glückauf, Bd. 74 (1938) S. 641—646.
- [4] H. F. YANCEY, FURSE u. R. A. BLACKBURN: Estimation of the Grindability of Coal. Transactions, Am. Inst. Mining and Metallurgical Engrs., vol. 108, p. 267 (1934).
- [5] R. M. HARDGROVE: Grindability of Coal. Transactions, Am. Soc. Mechanical Engrs., vol. 54, F. S. P., p. 37 (1932).
- [6] H. SLOMAN u. C. BARNHART: The Relative Grindability of Coal. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Bd. 56 (1934) S. 773—779.
- [7] P. ROSIN u. F. RAMMLER: Über die Mahlbarkeit der Kohle. (Vergleichende Mahlbarkeitsversuche mit verschiedenen Kohlensorten.) Zement, Bd. 20 (1931) S. 210 ff.
- [8] RITTINGER: Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867.
- [9] P. ROSIN, E. RAMMLER u. E. SPERLING: Korngrößenprobleme des Kohlenstaubs und ihre Bedeutung für die Vermahlung. Bericht C 52 des Reichskohlenrates, Berlin 1933 (Juni).
- [10] E. RAMMLER: Korngrößenprobleme bei der Siebung und Zerkleinerung. Glückauf, Bd. 69 (1933) S. 465—471.
- [11] P. ROSIN u. E. RAMMLER: The laws governing the fineness of powdered coal. Journal of the Institute of Fuel, Bd. 7 (1933) S. 29—36.
- [12] I. G. BENETT: Broken coal. — Journal of the Institute of Fuel, Bd. 10 (1936) S. 22.
- [13] E. RAMMLER: Gesetzmäßigkeiten in der Kornverteilung zerkleinerter Stoffe. Zeitschr. VDI, Beihefte Verfahrenstechnik, Folge 1937, Nr. 5, S. 161—168.
- [14] G. AGDE u. K. E. VETTER: Untersuchungen über Bildsammelerscheinungen beim Pressen erdiger Braunkohlen. Braunkohle 36 (1937) S. 845—848.

— 423 —

Diskussion

Bergassessor Dr.-Ing. habil. F. L. Kühlwein,
Bergbauleitung Essen:

Ich habe mich sehr interessiert für die gute Übereinstimmung der vorgeführten Diagramme und möchte gern wissen, ob die herausgefallenen Punkte nach den stofflichen Eigenschaften der betreffenden Kohlen näher

untersucht worden sind, wodurch leicht eine Erklärung für solche Anomalien gegeben werden könnte.

Prof. Dr.-Ing. E. Rammler

Ich habe nur zu bemerken, daß der sich anschließende Vortrag von Herrn Jakob hierzu Stellung nehmen wird.



Mikroskopische Untersuchungen zum Verhalten der Braunkohlengefügebestandteile bei der Brikettierung

Von Dipl.-Geol. HELMUT JACOB, Freiberg

Im vergangenen Jahre ist durch die Deutsche Kohlenbergbau-Leitung in Essen ein Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie herausgegeben worden. Damit wird unterstrichen, daß der Kohlenpetrographie auch von seiten der Industrie Bedeutung beigemessen wird. Was für die Steinkohle gilt, gilt aber leider vorläufig noch nicht für die Braunkohle. Während auf dem Gebiete der angewandten Steinkohlenpetrographie zahlreiche in- und ausländische Arbeiten veröffentlicht worden sind, ist die Zahl derselben auf dem Gebiete der angewandten Braunkohlenpetrographie recht gering. Sie ist im wesentlichen an die Namen HOCK, SCHOCHARDT und E. STACH geknüpft. Diese stiefmütterliche Behandlung der Braunkohle ist nicht zuletzt durch die Schwierigkeit der Gefügebestandteilanalyse bedingt. Wenn bei der Steinkohle Gefügebestandteile mit klar definierten Eigenschaften unterschieden werden können, so war das bei der Braunkohle bisher nicht der Fall. Der Versuch, in der Braunkohle der Steinkohle analoge Gefügebestandteile zu finden, scheiterte. Schließlich bedenke man, daß die praktische Fragestellung für beide Kohlen sehr unterschiedlich ist. Den „Steinköhler“ interessiert in erster Linie die Verkokbarkeit, den „Braunköhler“ hingegen die Brikettierbarkeit, weil fast jeder technischen Verwertung die Brikettierung vorausgeht.

Auf die *braunkohlenpetrographischen Untersuchungsmethoden* muß wenigstens kurz eingegangen werden, weil der erforderliche Aufwand für Braunkohle größer ist als für Steinkohle. Bereits die Grubenbefahrung gibt über manches Auskunft; genannt seien nur die facielle Differenzierung, der Xylitgehalt, der ungenfähre Bitumengehalt, Ton- und Sandeinlagerungen und vor allem sekundäre Strukturveränderungen der Kohle unter durchlässigem Hangendgebirge. Kohlen der letzteren Art, die sich in technischer Hinsicht meist ungünstiger verhalten als unveränderte Kohlen, werden nach ROBERT POTONIE als *Oxyhumodile* bezeichnet. Wei-

terhin unterlasse man es nicht, die entnommenen Proben in grubenfeuchtem und lufttrockenem Zustande makroskopisch zu untersuchen. Der zeitraubende mikroskopische Befund wird damit nicht nur ergänzt, sondern er kann bei orientierenden Untersuchungen sogar damit ersetzt werden. — Die größte Bedeutung kommt selbstverständlich der *Mikroskopie* zu. Bei grundlegenden Untersuchungen ist es notwendig, die Kohle sowohl im Anschliff als auch im Dünnschliff zu analysieren. Für Brikettuntersuchungen ist in den meisten Fällen der rascher und leichter herstellbare Anschliff ausreichend.

Bild 1 zeigt ein für kohlenpetrographische Untersuchungen brauchbares Universalmikroskop und die erforderliche Beleuchtungseinrichtung. Es handelt sich um ein ZEISS-Mikroskop, das zweckmäßig ergänzt worden ist. Für Schwarz-Weiß-Photographie ist besonders Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung geeignet. Die Vorteile der anderen Beleuchtungsarten kommen mit Schwarz-Weiß-Aufnahmen nicht zur Geltung, wohl aber mit Farbaufnahmen.

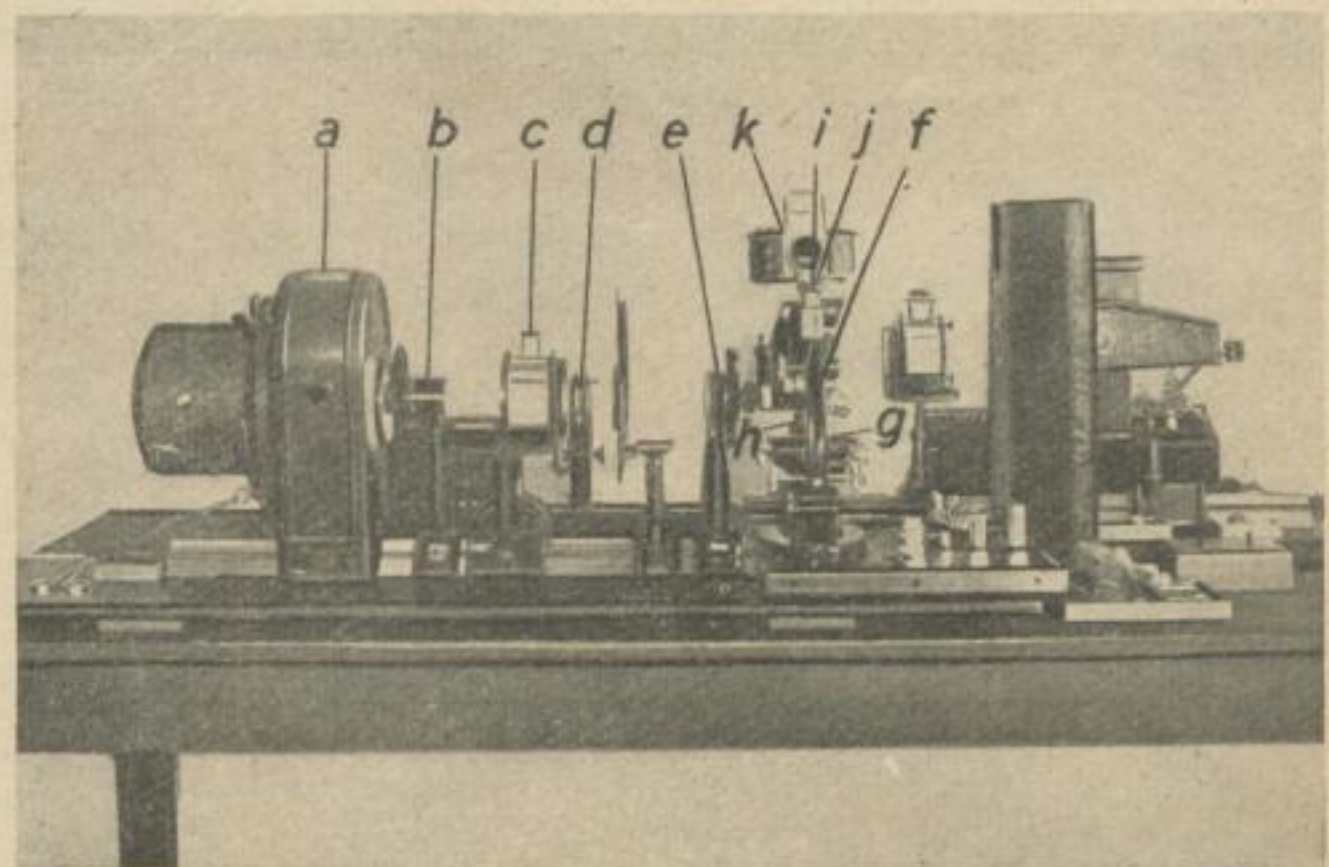


Bild 1. Kohlenpetrographisches Universalmikroskop mit Beleuchtungseinrichtung für Auf- und Durchlicht; Kamera weggeklappt

- | | |
|--|--|
| a) Bogenlampe | g) Objekt (Anschliff) |
| b) Kollektor-Hinterglied | h) Objektiv des Mikroskops |
| c) Kupfervitriol-Küvette | i) Okular des Mikroskops |
| d) Farbglasshalter für Uvet- und Blauglas | j) Okular-Sperrfilter (gelb bzw. orange) zur Abschirmung der restlichen U.V.-Strahlung |
| e) Kollektor-Vorderglied | k) Auge bzw. photographische Schicht |
| f) Dunkelfeldkondensator (Auflicht) des Mikroskops | |

Bevor ich auf die mikroskopische Untersuchung und Beurteilung von Briketts zu sprechen komme, müssen einige grundlegende Erkenntnisse der *allgemeinen Braunkohlenpetrographie* erwähnt werden. — Der Braunkohlenhumus besteht aus kolloiddispersen Systemen. Die Weichbraunkohle befindet sich nach HANS STACH im Stadium der kolloidchemischen Alterungsphase, der die biochemische Inkohlungsphase vorausgegangen ist. Im Gegensatz zur Hartbraunkohle, z. B. von der CSR und von Oberbayern, haben keine durch Temperatur und Druck bedingten Veränderungen stattgefunden. Für die chemische und physikalische Beschaffenheit des Humus ist der Verlauf der biochemischen Inkohlung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Zahl der Faktoren, die für den Humifikationsprozeß verantwortlich sind, ist groß. Sie lassen sich aber zu folgenden Hauptfaktoren zusammenfassen:

1. Regional bedingter Basengehalt des Moores
2. Geologische Facies
3. Mittlere Jahrestemperatur der jeweiligen geologischen Periode

Der Gehalt an starken Basen, insbesondere der Kalkgehalt, bedingt im wesentlichen die Bonität eines Bodens; mit abnehmendem CaO-Gehalt tritt Versauerung ein. — Die geologische Facies wird bei Mooren in der Hauptsache durch den *Stand des Grundwasserspiegels* und damit durch das *Redoxpotential* bestimmt. — Auf die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Umsetzungen hat zumeist die *Temperatur* erheblichen Einfluß. Das gilt auch für die Humifikation. Ob die Reaktionen rein chemisch oder biochemisch verlaufen, ist dabei gleichgültig.

Nach umfangreichen Boden- und Mooruntersuchungen der letzten Jahrzehnte kann angenommen werden, daß die *Humifikation ein biochemischer Prozeß* ist. Sie wird im wesentlichen durch Mikroben, wie niedere Pilze, Bakterien, Actinomyceten u. a., bewirkt. Hinzu kommen von Fall zu Fall Insekten, Würmer und höhere Tiere und Pflanzen. Alle Pflanzen, und somit auch die genannten Mikroben, beanspruchen bestimmte Standortbedingungen, die von Art zu Art verschieden sein können. Wichtige Faktoren sind der p_{H^+} -Wert, das *Redoxpotential* und die *Temperatur*. Je niedriger der p_{H^+} -Wert liegt und je sauerstoffärmer die Facies ist, desto artenärmer ist auch die Mikrobenflora. Je niedriger die Temperatur ist, desto langsamer verlaufen die biochemischen Reaktionen. Die Folge davon ist ein unvollständiger Abbau toter organischer Stoffe. Da vom Eozän zum Miozän ein Temperaturrückgang zu verzeichnen ist, ist bei gleicher Facies für eozäne, oligozäne und miozäne Weichbraunkohlen ein unterschiedlicher Humifikations- und Destruktionsgrad der organischen Substanz zu erwarten.

Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiete der *Humuschemie* kommen vor allem von seiten der Bodenkunde. Ich muß mich leider auch hier recht kurz fassen. — Die wichtigsten Stoffe der Pflanzen, soweit sie für die Humifikation bzw. Fossilisation in Frage kommen, sind *Zellulose*, *Lignin* und *Bitumina*. Die letzteren sind am widerstandsfähigsten und werden relativ mehr oder minder angereichert. Zellulose und Lignin hingegen sind die eigentlichen Ausgangsstoffe der Humifikation. Es werden Säuren, Salze und Komplexsalze, d. h. Humussäuren, Humate und Humosilikate, unterschieden. Diese wiederum unterscheiden sich im Kondensationsgrad.

Für die optische Untersuchung ist diese Gliederung zu fein, da nur lumineszenzmikroskopisch eine Unterscheidung möglich ist. Scharf abtrennen läßt sich lediglich die Zellulose, weil sie optisch anisotrop ist. Von Ligninen bis Huminen bestehen kontinuierliche Übergänge; die Lumineszenzintensität nimmt in gleicher Richtung ab und die Farbtiefe zu. Als zweckmäßig erweist sich folgende Gliederung der Humusstoffe:

1. Niedrig kondensierter Humus
2. Humus mittlerer Kondensation
3. Hochkondensierter Humus

Dem *Kondensationsgrad* geht normalerweise der *Destruktionsgrad* der pflanzlichen Gewebe parallel. *Je niedriger kondensiert der Humus ist, desto größer ist das Porenvolumen; je höher kondensiert der Humus ist, desto stärker ist er verdichtet.* Diese Feststellung ist wesentlich, weil sie das plastische bzw. klastische Verhalten der einzelnen Gefügebestandteile erklärt. *Je plastischer der Humus ist, desto leichter ist die Kohle brikettierbar.* — Exakt gilt die genannte Regel allerdings nur für die normale Bruchwaldfacies, welche die Hauptmasse der Förderkohle ausmacht. Die Mudde- und die Trockenfacies bewirken einige Abweichungen, was hier nur erwähnt sei. Weiterhin sei darauf aufmerksam gemacht, daß nicht etwa eine jede Lagerstätte einen spezifischen Kondensations- und Verdichtungsgrad des Humus aufweist, es sind vielmehr auf einer jeden Lagerstätte nahezu alle Stufen vertreten. Es bestehen *nicht qualitative, sondern quantitative Unterschiede.*

Von zahlreichen Autoren ist betont worden, daß die Beschaffenheit einer Weichbraunkohle sehr stark von der Beschaffenheit des *Hangendgebirges* abhängig ist. Unter einer abdichtenden Ton- bzw. Lettenkappe ist die Kohle unverändert; unter Sand und Kies haben von Fall zu Fall mehr oder minder starke sekundäre Veränderungen stattgefunden. Kohlen der letzteren Art, die nach ROBERT POTONIE als *Oxyhumodile* bezeichnet werden, besitzen zumeist einen niedrigeren Heizwert, schlechtere Brikettierbarkeit, schlechtere Wasserbeständigkeit und Feuerstehkraft der Briketts. — Mikroskopisch sind Oxyhumodile von unveränderter Kohle meist sehr schwer bzw. gar nicht zu unterscheiden. Relativ einfach aber ist die Beurteilung im Gelände.

Auf Grund der vorangehenden genetischen Erörterungen und der makro- sowie mikroskopischen Gefügebestandteilanalyse kann für Weichbraunkohlen, die keine sekundären Veränderungen erfahren haben, eine *biochemische Inkohlungsreihe* aufgestellt werden. Für die Belange der angewandten Kohlenpetrographie ist wesentlich, daß mit zunehmender Inkohlung auch die Brikettierhärte zunimmt. Tab. 1 zeigt diese Reihe für eine Anzahl von mir untersuchter Lagerstätten bzw. Kohleproben.

Bei der mikroskopischen Untersuchung von Braunkohlenbriketts ist die Unterscheidung folgender Gefügebestandteile ausreichend:

1. Humus niedriger Kondensation und Zellulose
2. Humus mittlerer Kondensation mit mäßigem Bitumengehalt
3. Humus mittlerer Kondensation mit hohem Bitumengehalt
4. Hochkondensierter Humus und Dopplerit
5. Sand, Ton, Kalk, Doppelschwefeleisen

Tab. 1. Biochemischer Inkohlungsgrad von Weichbraunkohlen nach optischem Befund

1. Bulgarische Kohle (kalkreiche, telmatische bis infraaquatische Bildung)
2. Nachterstedt, Löderburg, Egeln
3. Gölzau (Bitumenkohle; faciemer Einfluß)
4. Ammendorf
5. Geiseltal
6. Bitterfeld, Dora-Helene, Mumsdorf, Ruppertsdorf u. a.; Hirschfelde, Olbersdorf/Oberlausitz, Hartau/Oberlausitz, Berzdorf/Oberlausitz
7. Niederlausitz: Jonny Scheer, Plessa, Kleinleipisch, Lauchhammer, Senftenberg, Domsdorf, Tröbitz, Wildgrube, Dolsthaida u. a.
8. Lausitz: Puschwitz, Piskowitz, Großdubrau, Kollm

Von 1—4 nimmt der Verdichtungsgrad zu. Von den unter 5 genannten Mineralen haben Sand und Ton die größte Bedeutung.

Die *Brikettierung* ist im wesentlichen ein mechanischer Vorgang. Es müssen deshalb auch in erster Linie die mechanischen Eigenschaften des Brikettiergutes für die Qualität der Briketts verantwortlich gemacht werden. Eine allgemeingültige, physikalische Gliederung möchte ich hier nicht geben, weil sie zu umfangreich und damit zu unübersichtlich ist. Für den speziellen Fall der Weichbraunkohle ist folgende Unterscheidung ausreichend:

1. Vorwiegend elastisches Verhalten
2. Vorwiegend plastisches Verhalten
3. Vorwiegend klastisches Verhalten

Vorwiegend *elastische Eigenschaften* besitzt von den genannten Gefügebestandteilen lediglich die *Zellulose*. Quantitativ hat sie nur für Xylite der Niederlausitz Bedeutung. Diese bilden ausgesprochenes Langkorn und können deshalb verhältnismäßig leicht ausgehalten werden. Was trotzdem in das Brikettiergut gelangt, stört zwar den Brikettverband etwas, weil es bei der Druckentlastung Anlaß zu inneren Spannungen gibt, die sonstigen Eigenschaften der Niederlausitzer Kohle sind aber so gut, daß für Brikettqualitätsverschlechterung ein geringer Zellulosegehalt nicht verantwortlich gemacht werden kann.

Niedrig kondensierter Humus und *Zellulose* treten zumeist gemeinsam auf. Ersterer ist durch großes Porenvolumen gekennzeichnet und zeigt stark plastisches Verhalten bei der Verpressung. Humus niedriger Kondensation neigt bemerkenswerterweise nicht zur Bildung von Eigen- und Korngrenzrisen (Bild 2 und 3).

Humus mittlerer Kondensation mit mäßigem Bitumengehalt ist schlechthin für die gute Brikettierbarkeit ostelbischer Kohlen verantwortlich zu machen. Das Porenvolumen ist geringer als bei niedrig kondensiertem Humus, ist aber immer noch relativ groß. Als Humus mittlerer Kondensation wird eine verhältnismäßig große Gruppe bezeichnet. In Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad ist keine bzw. nur eine geringe Eigen- und Korngrenzrisenbildung des Humus feststellbar (Bild 4 und 5).

Humus mittlerer Kondensation mit hohem Bitumengehalt wird gewöhnlich *Schwelkohle* genannt und stellt eine facielle Sonderentwicklung dar. Nach den Erfahrungen der Praxis sind bitumenreiche Kohlen meist schwerer zu brikettieren als bitumenarme. PIENING und HENTZE haben Vergleichsuntersuchungen mit ex-

trahierten und ursprünglichen Kohlen durchgeführt; dabei zeigte sich, daß extrahierte Kohlen höhere Brikettfestigkeiten liefern als nichtextrahierte. Nach SCHOCHARDT, E. STACH und eigenen Untersuchungen erleidet ein Teil des Bitumens, insbesondere Resinit, bei der Brikettierung keine Verformung. Ob sich Suberinmembranen und -gewebe ebenso verhalten, muß vorläufig dahingestellt bleiben. Im übrigen aber bedenke man, daß selbst bei bitumenreichen Kohlen die Humusstoffe gegenüber den Bitumina mengenmäßig meist überwiegen; die *Bedeutung des Humus darf nicht vernachlässigt werden*. Für drei verschiedene Kohleproben von Nachterstedt ergab sich folgendes Bild (Tabelle 2):

Tab. 2. Die Abhängigkeit der Brikettfestigkeiten von der Facies innerhalb einer Lagerstätte (Nachterstedt)

Hydraulische Presse, Rundbriketts, Körnung = 0—4 mm, Preßdruck = 1000 kg/cm ² , Preßtemperatur = 40°C, Verpressung bei W opt.				
Bezeichnung	Bitumen- gehalt in %	Druck- festigkeit in kg/cm ²	Biege- festigkeit in kg/cm ²	Abrieb- festigkeit in %
Schwelkohle	39,7	210,5	22,4	90,8
Normalkohle	12,1	121,9	15,0	91,0
Dopplerit	6,4	79,7	8,9	85,3

Daraus kann entnommen werden, daß bitumenreiche Kohlen sehr plastischen Humus besitzen müssen. Allerdings sei darauf hingewiesen, daß die günstigen Eigenschaften der Schwelkohle nur unter Vorbehalt verallgemeinert werden dürfen, weil für die Brikettierung auf der Strangpresse die Druckplastizität eine sehr große Bedeutung besitzt. Nach GLÖCKNER weist aber gerade bei der Nachterstedter Schwelkohle die Druckplastizität den niedrigsten Wert auf. Die mikroskopische Untersuchung von Laboratoriumsbriketts der hydraulischen Presse steht mit den Festigkeitsuntersuchungen solcher Briketts in vollem Einklange. Das gilt nicht nur für Nachterstedt, sondern auch für andere Lagerstätten.

Schwelkohle ist makroskopisch sehr homogen und zeigt im für die Brikettierung in Frage kommenden Druckbereich ausgesprochen plastisches Verhalten. Die Größe des Porenvolumens ist vom Destruktionsgrad der Ausgangssubstanz abhängig und kann von Lagerstätte zu Lagerstätte sehr unterschiedlich sein. Bitumenreiche Kohlen besitzen nur geringe Neigung zur Bildung von Rissen, das gilt sowohl für Eigen- als auch für Korngrenzrisen (Bild 6—8).

Hochkondensierter Humus ist schlechthin die für mitteldeutsche Braunkohlen charakteristische Humusform. Vom Humus mittlerer Kondensation zu hochkondensiertem Humus bestehen selbstverständlich fließende Übergänge; dasselbe gilt für den Verdichtungsgrad. Je stärker die Verdichtung ist, desto mehr tritt plastisches Verhalten zugunsten von *klastischem* Verhalten zurück, d. h. die Eigen- und Korngrenzrisenbildung wird immer ausgeprägter. Das Extrem schließlich stellt Dopplerit dar (Bild 9—12).

Von den *anorganischen Bestandteilen der Kohle* haben quantitativ nur *Sand* und *Ton* Bedeutung. Sandkörner werden bei der Brikettierung von den Kohleteilchen gut umhüllt und geben keinen Anlaß zu Risbildung.



Bild 2. *Plastisch verformter Xylit mit gutem Verband*
Puschwitz — Hellfeld; V = 80



Bild 5. *Humus mittlerer Kondensation mit gutem Verband* — Plessa — Hellfeld; V = 80



Bild 3. *Niedrig kondensierter Humus mit plastischer Verformung* — Dolsthaida — Dunkelfeld; V = 80



Bild 6. *Bitumenkohle mit gutem Verband* — Gölzau — Hellfeld; V = 80



Bild 4. *Humus mittlerer Kondensation mit gutem Verband* — Puschwitz — Hellfeld; V = 80

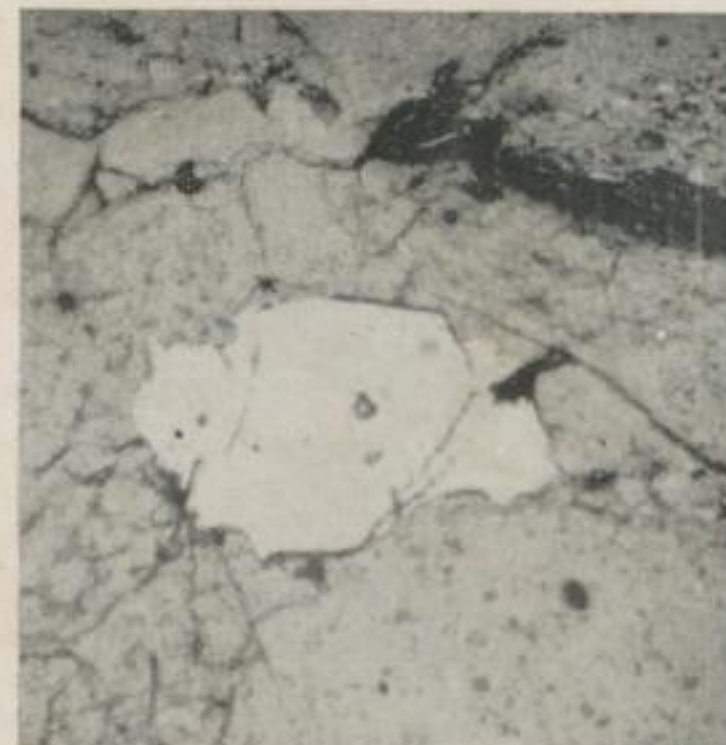


Bild 7. *Schwer brikettierbares Korn (Dopplerit) in Bitumenkohle eingebettet* — Gölzau — Hellfeld; V = 80



Bild 8. Bitumenkohle mit rissfreiem Brikettverband —
Nachterstedt — Hellfeld; V = 80



Bild 11. Dopplerit mit Eigen- und Korngrenzrisßbildung —
Nachterstedt — Hellfeld; V = 80

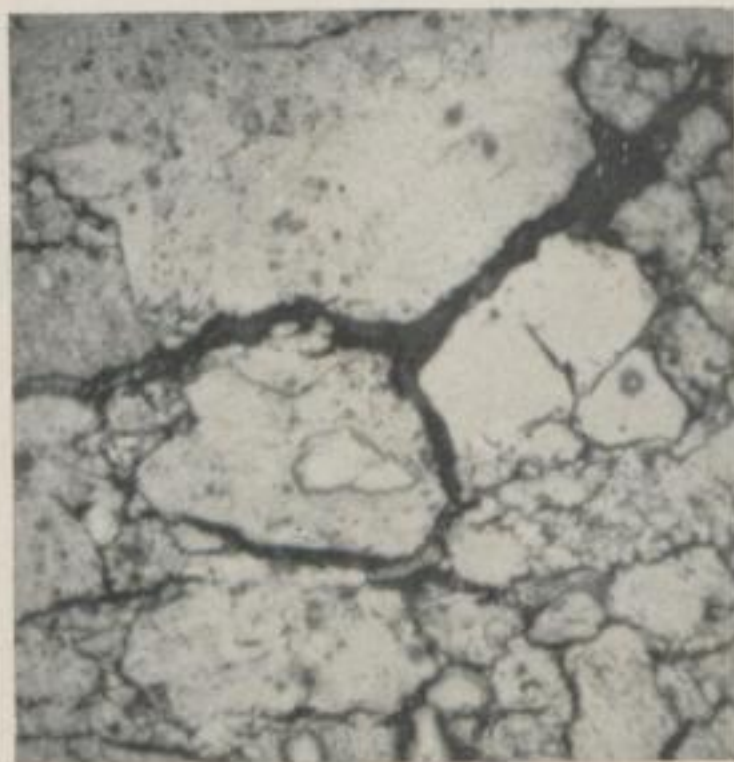


Bild 9. Hochkondensierter Humus mit schlechtem
Verband — Bitterfeld — Hellfeld; V = 80



Bild 12. Dopplerit mit sehr schlechtem Verband —
Olbersdorf — Hellfeld; V = 80

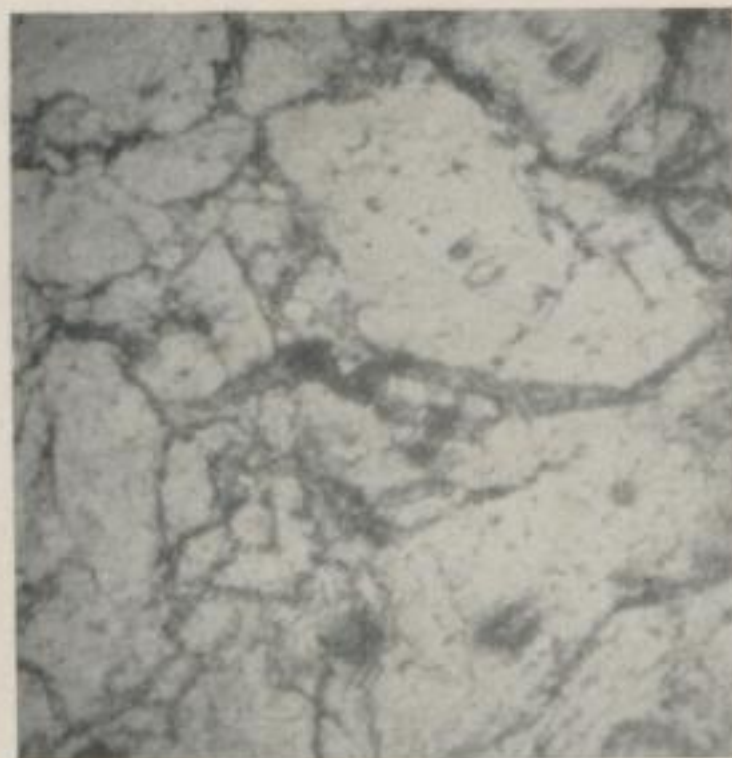


Bild 10. Hochkondensierter Humus mit schlechtem
Verband — Ammendorf — Hellfeld; V = 80



Bild 13. Unterschiedliche Breite der Korngrenzrisse bei
Grob- und Feinkorn — Bitterfeld — Hellfeld; V = 80

Erst bei einem Sandgehalt von mehr als 20%, der praktisch wegen des Formzeugverschleißes nicht mehr interessant ist, tritt Brikettfestigkeitsverminderung ein. Auf die Feuerstehkraft von Briketts und auf die Beschaffenheit von Braunkohlenkoks hat Sand allerdings erheblichen Einfluß, wozu auf einen früheren Vortrag von RAMMLER verwiesen sei. — Über den Einfluß von Ton auf die Brikettfestigkeit liegen vorläufig noch keine mikroskopischen Untersuchungen vor.

Auf vielen Braunkohlenlagerstätten der DDR treten *Oxyhumodile* auf. Mikroskopisch ist am Stückschliff die Unterscheidung von unveränderter Kohle oft nicht möglich. Im Brikettierverhalten und vieler anderer Hinsicht ist aber ein grundsätzlicher Unterschied vorhanden. So liegen z. B. die Brikettfestigkeiten z. T. erheblich niedriger als normalerweise zu erwarten wäre. Auch optisch kann diese Tatsache mit Brikettanschliffen belegt werden. Es zeigt sich, daß z. T. außerordentlich breite Korngrenzrisse vorhanden sind. Auch stärkere Eigenrißbildung kann hin und wieder beobachtet werden. Gegen Oxydation scheint insbesondere höher kondensierter, bitumarmer Humus empfindlich zu sein. Bisweilen macht es den Eindruck, als hätte eine sekundäre Vergelung und damit Verminderung der plastischen Eigenschaften stattgefunden. Eine völlig eindeutige Erklärung des abweichenden mechanischen Verhaltens von Oxyhumodilen kann vorläufig noch nicht gegeben werden.

Mit zunehmender Feinheit der Körnung des Brikettiergutes steigt bei entsprechend erhöhtem Preßdruck die Festigkeit der Briketts. Die Untersuchung von Brikettanschliffen läßt einwandfrei erkennen, daß *Grobkorn* breitere Korngrenzrisse aufweist als *Feinkorn* (Bild 13). Je höher der Kondensationsgrad und je stärker die Verdichtung des Humus ist, desto schärfer ist diese Tendenz ausgeprägt. *Brikettrisse* sind zumeist unabhängig von den Gefügebestandteilen der Kohle; sie sind vielmehr auf *Brikettierfehler* zurückzuführen.

Im Rahmen des Forschungsauftrages Brikettierhärte, der im Institut für Brikettierung durch Herrn Dipl.-Ing. GLOCKNER bearbeitet worden ist, sind von zahlreichen Braunkohlen der DDR unter genormten Bedingungen die *Brikettfestigkeiten* bestimmt worden. Ordnet man diese den petrographischen Kennziffern zu, so kann eine auffallend gute Übereinstimmung mit der biochemischen Inkohlungsreihe festgestellt werden.

Der Kondensationsgrad des Humus ist vom Gehalt anorganischer Basen und der Facies abhängig. Es kann ihm infolgedessen ein bestimmter Säuregrad oder — mit anderen Worten — ein bestimmter p_H -Wert zugeordnet werden. Auf Bild 14 sind p_H -Wert und *Druckfestigkeit* einander zugeordnet.

Mit zunehmendem Destruktionsgrad des pflanzlichen Ausgangsmaterials nehmen das Porenvolumen und damit auch der Wassergehalt der Kohle ab. Auf Bild 15 sind *Wassergehalt der Rohkohle* und *Druckfestigkeit* einander zugeordnet.

Eingangs wurde bereits gesagt, daß Kondensation der Humusstoffe und Destruktion der pflanzlichen Gewebe parallel verlaufen. Es ist deshalb genetisch durchaus gerechtfertigt, den p_H -Wert dem *Wassergehalt* zuzuordnen (Bild 16).

Die p_H -Werte und Wassergehalte stellen Durchschnittswerte der jeweiligen Lagerstätte dar. Hartbraunkohlen und Oxyhumodile können auch mit dieser

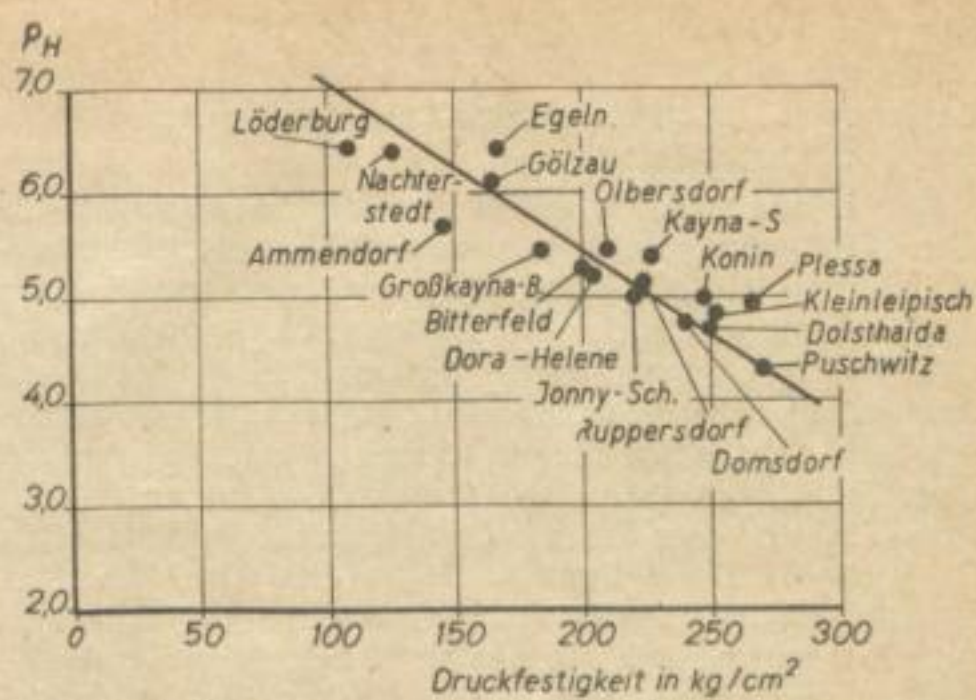


Bild 14. Die Beziehung zwischen dem p_H -Wert der Rohkohle und der Druckfestigkeit der Briketts

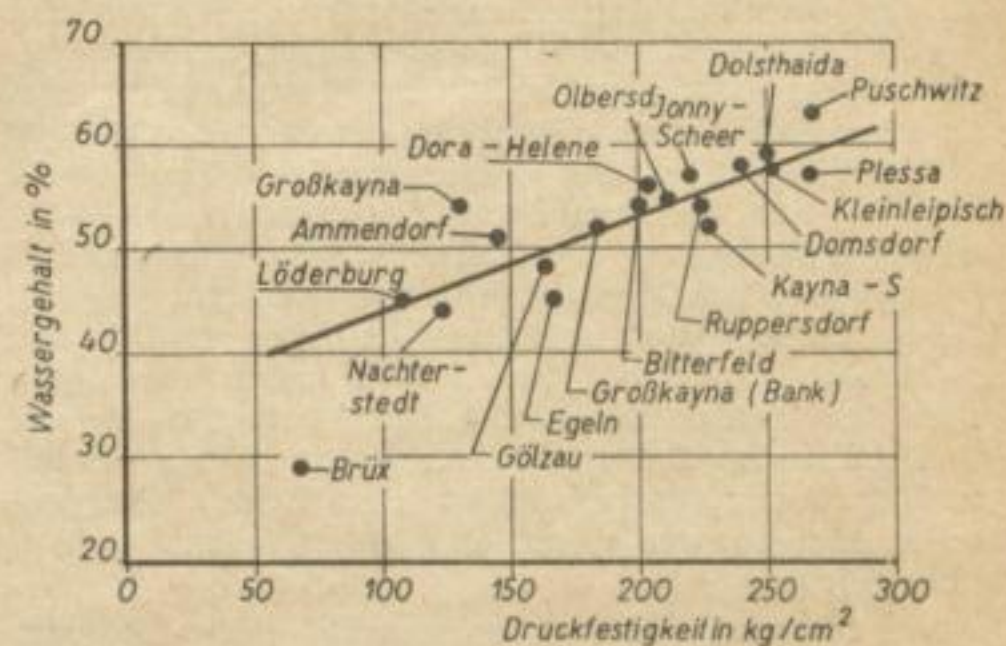


Bild 15. Die Beziehung zwischen dem Wassergehalt der Rohkohle und der Druckfestigkeit der Briketts

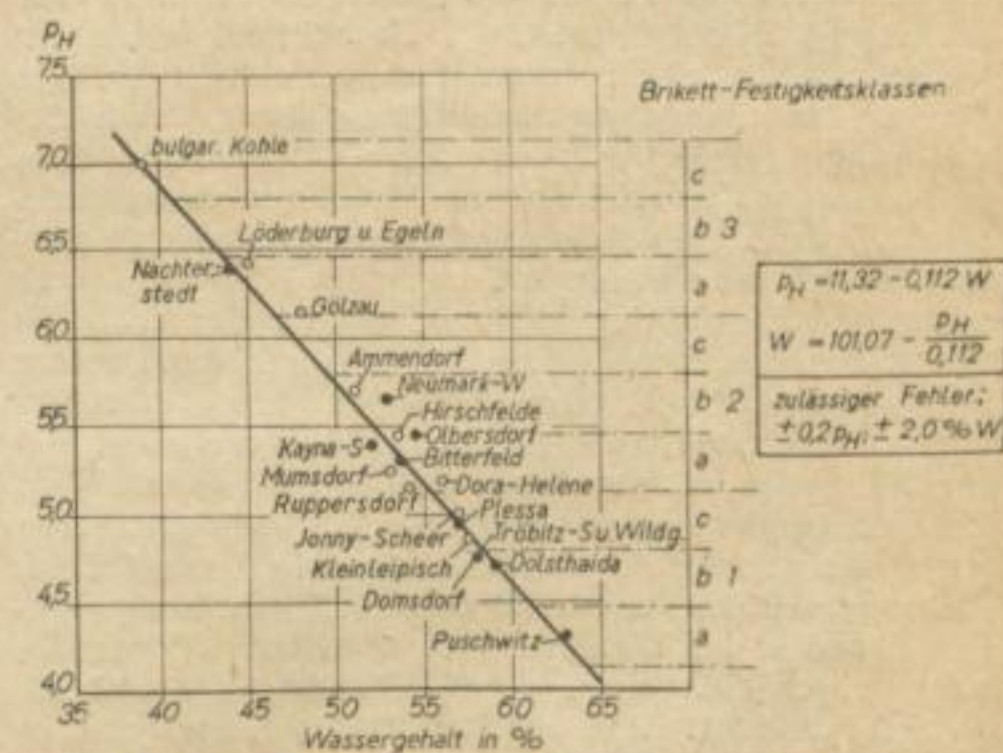


Bild 16. Die p_H -Wert/Wassergehalt-Kurve (gilt nur für nichtoxydierte Kohle)

Wassergehalt (W) und p_H stellen Mittelwerte der jeweiligen Lagerstätte dar; der Wassergehalt ist auf grubenfeuchte Kohle bezogen.

physiko-chemischen Methode nicht gesetzmäßig erfaßt werden.

Da ich mit optischen, mechanischen, chemischen und physiko-chemischen Methoden zum gleichen Ergebnis gekommen bin, kann m. E. angenommen werden, daß die von mir genannte biochemische Inkohlungsreihe als wissenschaftlich gesichert betrachtet werden kann. Ich hoffe, mit meinen Ausführungen einen kleinen Beitrag für die allgemeine und angewandte Braunkohlenpetrographie geliefert zu haben.

Bergassessor Dr.-Ing. habil. F. L. Kühlwein,
Bergbauleitung Essen:

Wir können Herrn Jacob nur beglückwünschen zu dieser tiefgründigen Arbeit. Auf dem Gebiete der angewandten Braunkohlen-Mikroskopie ist seit langem kein so ausgezeichnetes Material zur Verfügung gestellt worden. Herr Jacob sagte selbst, daß diese Sparte seit langem einen Dornröschenschlaf geführt hat; es ist daher dringend erforderlich, dieses Gebiet zu neuem Leben zu erwecken. Nach diesem Vortrag muß man jedoch sagen, daß das vielleicht gar nicht mehr nötig ist, weil die Darstellungen zeigen, daß der Schlüssel mit den vorliegenden Untersuchungen eigentlich schon geliefert wurde. Die stofflichen Erkenntnisse und Erfordernisse sind gut miteinander in Einklang gebracht. Es ist sehr bemerkenswert, daß wir in der Braunkohle, wo wir zwar nicht von so hohen Inkohlungsgraden wie bei der Steinkohle sprechen können, doch auch eine solche interessante Reihe vor uns haben, die zu unterschiedlichen Eigenschaften führt. Wünschenswert wäre es, wenn diese Reihe in Richtung der Streifenarten und Gefügebestandteile noch ergänzt werden könnte, damit wir für eine bestimmte Inkohlungsgruppe vielleicht auch quantitativ die Zusammensetzung nach kohlenpetrographischen Komponenten zur Verfügung haben. Solche kohlenpetrographischen Analysen sind in der Steinkohle gang und gäbe. Dabei haben sie gegenüber den Verfahren bei der Steinkohle den Vorteil, unmittelbar im Brikett diese Komponenten noch unverändert vorzufinden, also auch im Brikett analysieren zu können, was eigentlich noch einfacher ist als in einer Körnung.

Von Interesse wäre es auch noch, einige Extreme daraufhin zu untersuchen, ob sie hier in diese Reihe passen. Erwähnt wurde schon von Herrn Jacob der oxydative Einfluß auf Lagerstätten bei fehlender Tonbedeckung. Mich interessiert, ob mikroskopisch das Vorhandensein dieser Oxydation ersichtlich ist. Ich glaube, daß man diese Erscheinung bei gelinder Erwärmung und Betrachtung unter Ölimmersion ohne weiteres sehen kann. Die Ausbildung von Oxydationsräumen wird man dann entlang den Kantengrenzen erkennen. Ebenso interessiert noch die Einwirkung des anderen Faktors der Inkohlung, nämlich der Tektonik. Wir haben hier nicht solche tektonischen Einflüsse wie im Ruhrkarbon; aber wir haben doch eiszeitlichen Einfluß — Faltungen und Stauchungen —, die ganze Lagerstättenteile erfaßt haben und sich irgendwie auf die Brikettierbarkeit der Kohle auf diesen Lagerstätten auswirken müssen. Es interessiert mich, ob nach dieser Richtung schon Untersuchungen vorliegen. Ein weiterer Faktor ist der Wärmeeinfluß. In diesem Zusammenhang wären z.B. auch die Peissenberger Pechkohle (Glanzbraunkohle) und die Sudetenkohle interessant.

Prof. Dr.-Ing. Rammeler:

Ich danke Herrn Dr. Kühlwein — als einem international bekannten Fachkollegen auf dem Gebiete der Kohlenpetrographie — für seinen für uns sehr wichtigen und interessanten Diskussionsbeitrag, der manchen Fingerzeig für die weitere Arbeit gibt. Unsere Bemühungen, für die Arbeiten über die Beziehungen zwischen Braunkohlenbrikettierung, -verschmelzung und -verkokung einerseits und dem petrographischen Aufbau der Braunkohle andererseits Forschungsmittel zu erhalten, haben erfreulicherweise nun zum Ziel geführt, so daß einzelne der auf diesem Gebiet liegenden Aufgaben in Arbeit genommen werden können.

Dipl.-Geol. Jacob:

Oxydationserscheinungen, insbesondere solche geringeren Ausmaßes, sind bei der mikroskopischen Unter-

suchung nicht erfaßbar, weil jede Braunkohle, die mikroskopisch untersucht werden soll, erst wochenlang bei normaler Temperatur getrocknet werden muß. Damit geht selbstverständlich eine Oxydation parallel. Die Erkennung fossiler Oxydation ist nur dann zu erwarten, wenn letztere sehr stark ist. — Einflüsse der Tektonik bezüglich des Brikettierverhaltens der Kohle konnten bisher noch nicht festgestellt werden. Allerdings ist die Zahl der Untersuchungen noch zu gering, um ein abschließendes Urteil geben zu können.

Dipl.-Ing. Herrmann, Nachterstedt:

Sowohl Herr Glöckner als auch Herr Jacob haben für ihre Untersuchungen in größerem Umfange Nachterstedter Kohle herangezogen. Es wird in diesem Zusammenhange interessieren, beide Vorträge durch Betriebserfahrungen der Nachterstedter Brikettfabriken zu ergänzen. Die Härte der Nachterstedter Kohle zeigt sich schon im Naßdienst, wo es Schwierigkeiten macht, genügend Feinkohle herzustellen. Weiter ist die Kohle sehr empfindlich gegen Formzeugabnutzung, so daß geringe Auswaschungen im Arbeitsstück und Spitzwerden des Stempels schlechte Briketts ergeben.

Die Feststellungen von Herrn Jacob über die Eignung von bitumenreicher Kohle gegenüber bitumenarmer Kohle werden zum Teil durch die Eigenart der Strangpresse überdeckt. In der Ringwalzenpresse verhält sich bitumenreiche Kohle analog den Feststellungen von Herrn Jacob. Um aus bitumenreicher Kohle auf Strangpressen Briketts erzeugen zu können, muß nach unseren Betriebserfahrungen eine Kohletemperatur über 58° C an der „Kaffeemühle“ eingehalten werden. Wird diese Temperatur unterschritten, so zeigen sich die bekannten Teerschieber.

Dr.-Ing. Teuffer, Oberröblingen:

Auch wir haben die Erfahrung gemacht, daß bitumenhaltige Kohle wärmer verpreßt werden muß als normale Kohle.

Im übrigen schließe ich mich der Meinung von Herrn Prof. Rammeler an, daß es ein Versäumnis war, daß die mikroskopische Erforschung der Braunkohle bisher nicht möglich war. Es scheint unbedingt richtig, dies so schnell wie möglich nachzuholen.

Prof. Dr. A. Lissner:

Ich möchte kurz als Chemiker zu den vorgetragenen Problemen Stellung nehmen. Es ist außerordentlich zu begrüßen, daß Herr Jacob in der Braunkohlenforschung von einer ganz anderen Seite aus vorgestoßen ist und mit den Methoden der Petrographie das zu erreichen versucht hat, was dem Chemiker nicht oder noch nicht gelingt. Herr Jacob spricht von schwach, mittel und stark kondensiertem Humus. Diese Formulierung umfaßt nicht alle in den Braunkohlen vorkommenden Stoffklassen, weshalb getrachtet werden muß, kohlenpetrographisch noch tiefer in die Materie einzudringen. Dazu wird sich ein Zusammenarbeiten von Petrographen und Chemikern als nützlich, ja sogar als notwendig erweisen. Zum Schluß möchte ich noch etwas fragen: Sind nicht nur Briketts, sondern auch die Ausgangskohlen petrographisch untersucht worden, so daß ein guter Vergleich und Zusammenhang zwischen ursprünglicher Kohle und der Kohlensubstanz im Brikett hergestellt werden könnte?

Dipl.-Geol. Jacob:

Die petrographische Gliederung des Humus kann eine noch stärkere Differenzierung erfahren, als in dem Vortrag angedeutet worden ist. Für die Belange der angewandten Braunkohlenpetrographie dürfte aber vorerst

die aufgezeigte Gliederung ausreichend sein. — Die mikroskopische Untersuchung ist sowohl mit Briketts als auch mit Stückkohlen durchgeführt worden.

Dr. Haase, Berlin:

Ganz allgemein läßt sich doch ein jeder Fabrikationsprozeß nur dann durchführen, wenn man den Rohstoff kennt. Diese Selbstverständlichkeit hat leider in der Braunkohle noch keinen Zutritt gefunden. Das sieht man besonders daran, daß, wie Herr Prof. Dr. Rammeler selbst sagt, er in den vergangenen Jahren Schwierigkeiten hatte, die benötigten Mittel für petrographische Forschungen zu bekommen.

Im Jahre 1943 hat Schochardt ein Buch über Braunkohlenpetrographie herausgegeben, das bei Knapp erschienen und sehr zu empfehlen ist.

Weiter erscheint in den nächsten Heften der „Bergakademie“ eine Artikelserie von unserem vortragenden Kollegen Jacob. Ich möchte die Kollegen auf diese Aufsatzserie ganz besonders aufmerksam machen.

Bekanntlich wird z. Z. unter Leitung der Kollegen Dr. Gold und Arnold an der Flözkartei der DDR gearbeitet. Ich möchte vorschlagen, daß die Braunkohlenpetrographie mit zu Hilfe genommen wird, damit wir dort Anhaltspunkte über die Brikettierfähigkeit der Braunkohle bekommen.



Über Beziehungen zwischen Steinstärke, Brikettfestigkeit und Preßdruck

Von Nationalpreisträger Prof. Dr.-Ing. ERICH RAMMLER und Dipl.-Ing. HELMUT METZNER, Freiberg (Vorgetragen von Helmut Metzner)

Zur Beurteilung der Qualität von Braunkohlenbriketts stehen verschiedene Kennzahlen zur Verfügung, die entweder durch rein mechanische Prüfverfahren gewonnen werden oder aber eine Richtzahl für die Bewährung der Preßlinge bei besonderen, z. B. thermischen, Beanspruchungen darstellen. Zu den erstgenannten gehören Druck-, Biege-, Abrieb- und Sturzfestigkeit, von den letzteren mögen genannt werden: Feuer- bzw. Ofenstandfestigkeit und Verhalten gegenüber Witterungs- bzw. Feuchtigkeitseinflüssen. Von diesen Kenngrößen steht z. Z. die Druckfestigkeit an erster Stelle. Es soll im folgenden untersucht werden, inwieweit das Bestimmungs- und Berechnungsverfahren zu vergleichbaren Werten führt.

Es sei vorausgeschickt, daß zur Druckfestigkeitsprüfung von Briketts Druckprüfpressen, möglichst mit maschinellem Antrieb bei 12,5 mm/min Näherungsgeschwindigkeit der Stempel und 7 cm² Prüfstampelfläche, vorgeschrieben sind. Die Berechnung des Festigkeitswertes erfolgt durch Division der Bruchbelastung durch die Prüfstampelfläche. Dabei wird die Höhe des Prüfkörpers, also die Steinstärke, nicht berücksichtigt. Daß diese Größe aber den Festigkeitswert beeinflusst, ist allgemein bekannt. Ein Beispiel dafür gibt Bild 1, in dem die mit dem normalen Prüfverfahren ermittelten Druckfestigkeiten von Briketts gleicher Beschaffenheit, aber unterschiedlicher Steinstärke, in Abhängigkeit von der Steinstärke aufgetragen sind. Diese Briketts wurden im Rahmen anderer Untersuchungen in der Versuchsbrikettfabrik Bitterfeld und in Lauchhammer gepreßt, zeigen also Werte, die der Praxis entnommen sind.

Es entsteht die Frage, ob die Abnahme der Druckfestigkeit mit wachsender Brikettstärke auf eine Verschlechterung der Verbandfestigkeit der Briketts, dadurch bedingt, daß sie mit wachsender Steinstärke immer schlechter durchgepreßt werden, zurückzuführen ist, oder ob sie teilweise oder vielleicht auch ganz die Folgeerscheinung der mit der Dicke sich ändernden Formverhältnisse ist. Denn es ist bekannt, daß die auf 1 cm² Querschnittsfläche bezogene Festigkeit — bei gleichem Querschnitt, gleichem Stoff und gleichem physikalischen Zustand des Stoffes — von den geometrischen Verhältnissen, also von der Form oder Gestalt, des Probekörpers abhängen kann (z. B. [1] S. 47).

Diese Tatsache führt zu dem Übelstand, daß beim Vergleich von Briketts aus verschiedenen Anlagen die stärkeren Steine bezüglich der landläufig gleich Qualität gesetzten Druckfestigkeit benachteiligt sind.

Schon daraus ergibt sich, daß es zweckmäßig wäre, zu Vergleichszwecken eine von der Steinstärke unabhängige Kenngröße zu haben. Inwieweit der Höhengeneinfluß bei der tatsächlichen Anfälligkeit gegen Zerstörung bei Transport, Lagerung und Verwendung vorhanden ist, soll im Rahmen dieses Vortrages nicht erörtert werden. Die ausgeprägte Abhängigkeit der Druckfestigkeit der Briketts von der Steinstärke läßt jedenfalls vermuten, daß die Meßwerte der Druckfestigkeit stark formbeeinflusst sind, daß also mindestens der größte Anteil des Abfalles mit wachsender Steinstärke auf die Formabhängigkeit der Festigkeit zurückzuführen ist. Vergleichbare Werte für Briketts, die unter verschiedenen Bedingungen gepreßt werden, werden sich somit von vornherein nur ergeben, wenn die Briketts alle gleich stark sind oder wenn man über zuverlässige Formeln für die Umrechnung der gemessenen Festigkeiten auf eine Norm-Steinstärke, die an sich willkürlich festzulegen ist, verfügt. Diese umgerechneten Festigkeitswerte sind dann also als die „vergleichbaren oder reduzierten Druckfestigkeiten“ im Gegensatz zu den „gemessenen oder nominellen Druckfestigkeiten“ zu bezeichnen. In den Unterschieden der ersteren treten die Abweichungen der „inneren“, d. h. durch den Kornverband und die Kohlenbeschaffenheit bedingten Festigkeit, hervor. Es würde hingegen nicht korrekt sein, wollte man die gemessenen Festigkeiten als scheinbare und die reduzierten als tatsächliche Druckfestigkeiten bezeichnen, denn auch die reduzierten Festigkeiten sind natürlich formbeeinflusst, aber eben

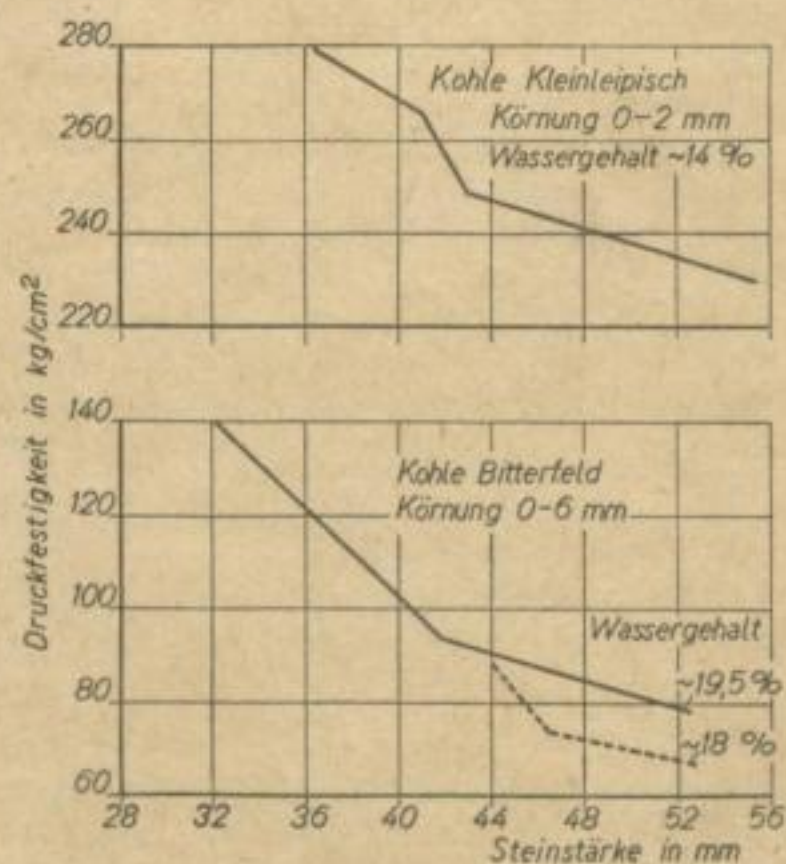


Bild 1. Druckfestigkeit abhängig von der Steinstärke

Reduktionsformeln zur Ausschaltung des Höheneinflusses

1. Stamatiu

$$K_d = (c + b) \cdot \sqrt{\frac{d}{h}}$$

$$\frac{K_{d_0}}{K_d} = \frac{(c + b \cdot d) \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}}{(c + b \cdot d)}$$

$$K_{d_0} = K_d \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$$

2. Dr. Klare

$$K_d = \frac{P}{F}; \quad K_{d_0} = \frac{P}{F \cdot K}$$

$$K = \frac{\sqrt{h^2 + d^2}}{h} \cdot \sin 56,5^\circ$$

$$K_{d_0} = \frac{P \cdot b}{F \cdot \sqrt{h^2 + d^2} \cdot \sin 56,5^\circ}$$

Zeichenerklärung

K_d = gemessene Druckfestigkeit
 K_{d_0} relative "
 $c + b$ Konstanten
 d Prüfstempeldurchm. ~ 30mm
 h Steinstärke
 P Bruchbelastung
 F Stempelfläche = 7 cm²
 K Korrekturfaktor nach Klare
 S Scherkomponente
 2α Öffnungswinkel des Druckkegels
 T Sprengkomponente

3. J. f. B.

$$P = S \cdot T$$

$$S = P \cdot \cos \alpha$$

$$S = \frac{P \cdot h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

$$P = \frac{S}{\cos \alpha}; \quad P_0 = 1,2 \cdot S, \text{ da}$$

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{h^2 + d^2}}{h} = 1,2 \text{ für } h = 45 \text{ mm}$$

$$P_0 = 1,2 \cdot \frac{P \cdot h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

$$K_{d_0} = 1,2 \cdot \frac{K_d \cdot h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

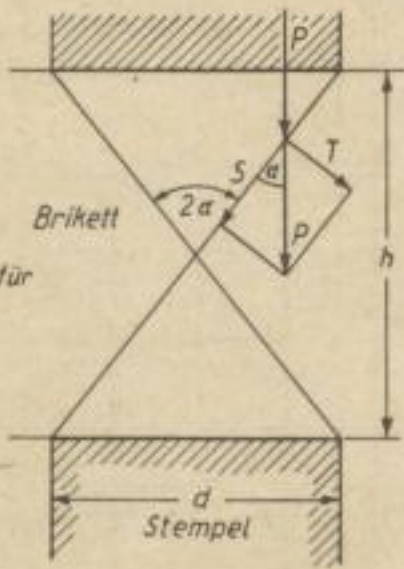


Bild 2. Zusammenstellung der drei Umrechnungsformeln für die Druckfestigkeit und Belastungsdiagramm zur Ableitung der Formeln

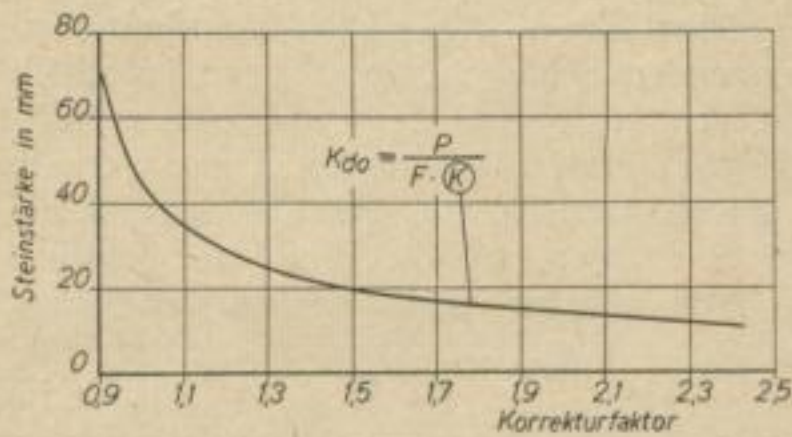


Bild 3a. Korrekturfaktor nach KLARE, abhängig von der Steinstärke

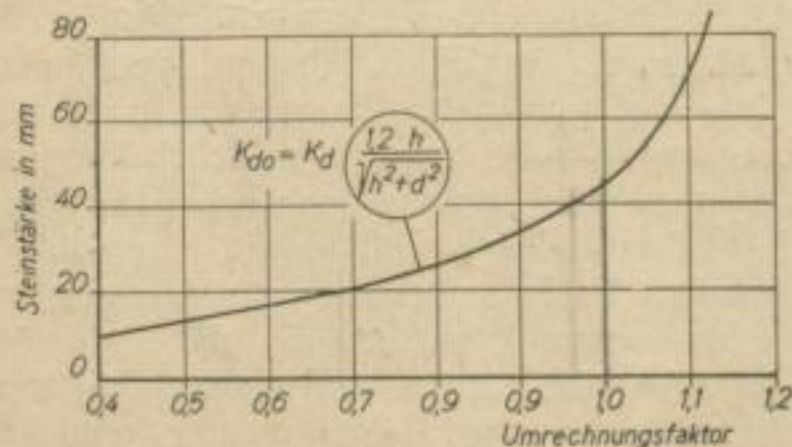


Bild 3b. Umrechnungsfaktor nach JfB, abhängig von der Steinstärke

alle in gleichem Umfange, während die gemessenen Festigkeiten für verschiedene Brikettdicken eben einem wechselnd starken Formeinfluß unterliegen.

VOLLMAIER fand bei seinen im Jahre 1940 veröffentlichten Untersuchungen über „Genauigkeit und Vergleichsfähigkeit der üblichen Festigkeitsuntersuchungen an Braunkohlenbriketts“ [2], daß der Einfluß der Steinstärke auf die Druckfestigkeit je nach der Fläche des Prüfstempels und dem Steinstärkebereich verschieden ist. Die funktionsmäßig festzulegende klare Abhängigkeit tritt nur auf, wenn die Druckfestigkeit mit vollkommen bedeckendem Stempel bestimmt wird. Je kleiner die Stempelfläche ist, um so verwickelter werden die Zusammenhänge. Beim Prüfstempel von 7 cm² ist jedoch die Annäherung an die idealen Verhältnisse schon soweit erreicht, daß eine nahezu stetig abfallende Festigkeitskurve in Richtung größer werdender Steinstärken erhalten wird. Demzufolge lassen sich auch die von VOLLMAIER erzielten Ergebnisse die Möglichkeit offen, für das z. Z. übliche Druckfestigkeits-Prüfverfahren eine Umrechnung der gemessenen Festigkeitswerte auf eine Bezugssteinstärke durchzuführen.

STAMATIU [3] fand bei Druckfestigkeitsuntersuchungen, die er an Steinsalzwürfeln durchführte, daß die Festigkeit bei gleichbleibendem Querschnitt mit zunehmender Höhe indirekt proportional der Quadratwurzel aus der Höhe abnimmt. Weiterhin hat sich KLARE [4] mit dieser Frage befaßt und in einer unveröffentlichten Arbeit eine Umrechnungsmöglichkeit durch Einführung eines Korrekturfaktors entwickelt. Unabhängig von KLARE wurde im Institut für Brikettierung eine Umrechnungsformel entwickelt, die durch rein formale Umsetzungen mit der von KLARE gefundenen in Übereinstimmung zu bringen ist. Bild 2 zeigt eine Zusammenstellung dieser drei Formeln, wobei im Interesse der Vereinheitlichung der Bezeichnungen die ursprünglichen Formelzeichen z. T. geändert wurden. Als Norm-Steinstärke wurden in allen drei Formeln, wie auch im folgenden, 45 mm eingesetzt. Die Ableitung des Korrekturfaktors nach KLARE bewegt sich auf rein mathematischem Gebiet. Bei der Ableitung der dritten Formel wurde der senkrecht wirkende Stempeldruck P in die senkrecht zum Druckkegelmantel verlaufende Komponente T und die Scherkomponente S , die in Richtung der Mantellinien wirkt, zerlegt. Die senkrecht zum Mantel wirkende „Sprengkomponente“ beansprucht die außerhalb des Druckkegels liegenden Partien des Briketts. Da aber nach Feststellungen von VOLLMAIER und auch eigenen Untersuchungen der Einfluß der Breite des unbelasteten Brikettrandes im Vergleich zu dem der Höhe verschwindend gering ist, erscheint die Annahme berechtigt, daß bei der Druckbeanspruchung von Briketts die Hauptbedeutung der Scherkraft S zukommt. Weiterhin wurde angenommen, daß bei gleicher Güte des Brikettgefüges und verschiedener Steinstärke die Zertrümmerung des Steines bei Druckbelastung dann eintritt, wenn die Scherkräfte ein gewisses Maß übersteigen, dessen Absolutbetrag für jede Steinstärke der gleiche ist. Unter Zugrundelegung dieser Annahme gelangt man zu der in Bild 2 (unter 3) angeführten Umrechnungsformel. — Zur Vereinfachung der Umrechnung werden der Korrekturfaktor nach KLARE und der Umrechnungsfaktor der 3. Formel zweckmäßig tabellarisch oder graphisch in Abhängigkeit von der Steinstärke zusammengestellt. Diese

Darstellung enthält Bild 3 a u. b. Dabei ist der Umrechnungsfaktor nach IfB der Kehrwert des Umrechnungsfaktors nach KLARE.

Im folgenden soll an Hand von Beispielen der Einfluß der Steinstärke auf die gemessene und, soweit möglich, auf die reduzierte Druckfestigkeit gezeigt werden. Weiterhin wird überprüft, inwieweit die Umrechnung mit den drei angeführten Formeln zu gleichen Werten führt, also den Formeinfluß eliminiert.

Preßdruck-Reihen

Bild 4 zeigt Druckfestigkeiten in Abhängigkeit von der Steinstärke bei verschiedenem Preßdruck. Diese Versuche wurden durch die Frage veranlaßt, in welchem Maße der Preßdruck und damit der Konstruktionsdruck einer Pressenbauart gesteigert werden muß, wenn statt eines Briketts von 35 mm ein solches von 50 mm Dicke aus Feinstkorn bei gleicher nomineller Festigkeit hergestellt werden soll. Sie wurden mit Kohle aus dem Tagebau Kleinleipisch bei einem Wassergehalt von ca. 10% und 0 bis 1 mm Brikettierkörnung durchgeführt. Die Preßdrücke wurden von 800 bis 2000 kg/cm² in Stufen von 200 kg/cm² variiert. Die erzielten Steinstärken von 13 bis 54 mm entsprechen Brikettgewichten von 30 bis 120 g bei Rundbriketts von 50 mm Durchmesser. Die in Bild 4

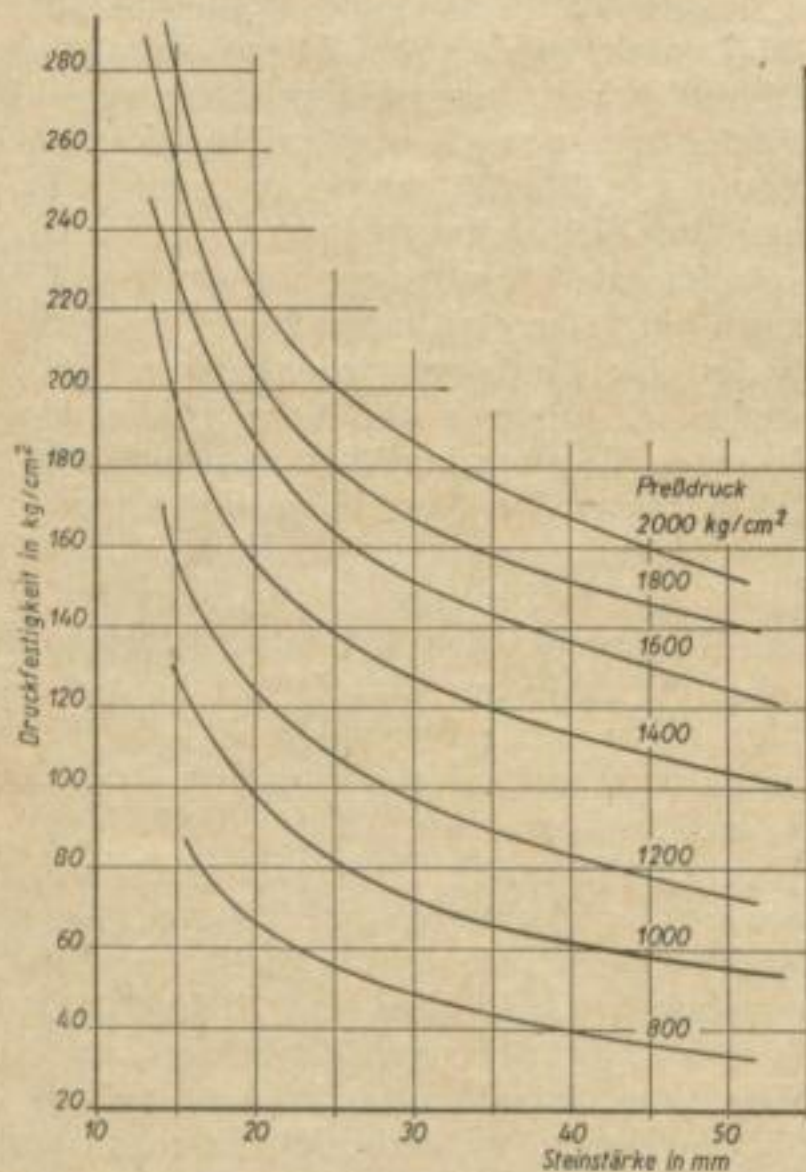


Bild 4. Druckfestigkeit abhängig von der Steinstärke — Preßdruckreihen —
Kohle: Klein-Leipisch
Körnung 0—1 mm
Wassergehalt ~ 10%

dargestellten ausgleichenden Kurven zeigen einmal, daß zwischen Steinstärke und gemessener Druckfestigkeit etwa hyperbolische Zusammenhänge bestehen, zum zweiten ist hieraus zu erkennen, daß der Preßdruck in sehr starkem Maße erhöht werden muß, wenn bei stärkeren Briketts die gleiche gemessene Druckfestigkeit erzielt werden soll. So besitzt z. B. ein bei 1200 kg/cm² Preßdruck geformtes Brikett von

15 mm Steinstärke die gleiche gemessene Druckfestigkeit wie ein Stein, der bei 2000 kg/cm² gebildet wurde und 47 mm stark ist. Wenn Briketts mit 35 mm Stärke bei 1400 kg/cm² gepreßt werden und man die gleiche Festigkeit bei 50 mm Steinstärke erhalten will, so ist der Preßdruck auf 1550 kg/cm² zu erhöhen. Setzt man voraus, daß die innere Festigkeit der Briketts unter sonst gleichen Bedingungen durch die Dichte des Gefüges bestimmt wird, so müßten Raumgewicht oder Porenvolumen der Briketts ein Maß für diese innere Druckfestigkeit abgeben. Bild 5 zeigt die durch Auswägen und -messen ermittelten Raumgewichte der zur Druckfestigkeitsprüfung verwendeten Briketts wiederum in Abhängigkeit von der Steinstärke. Hieraus

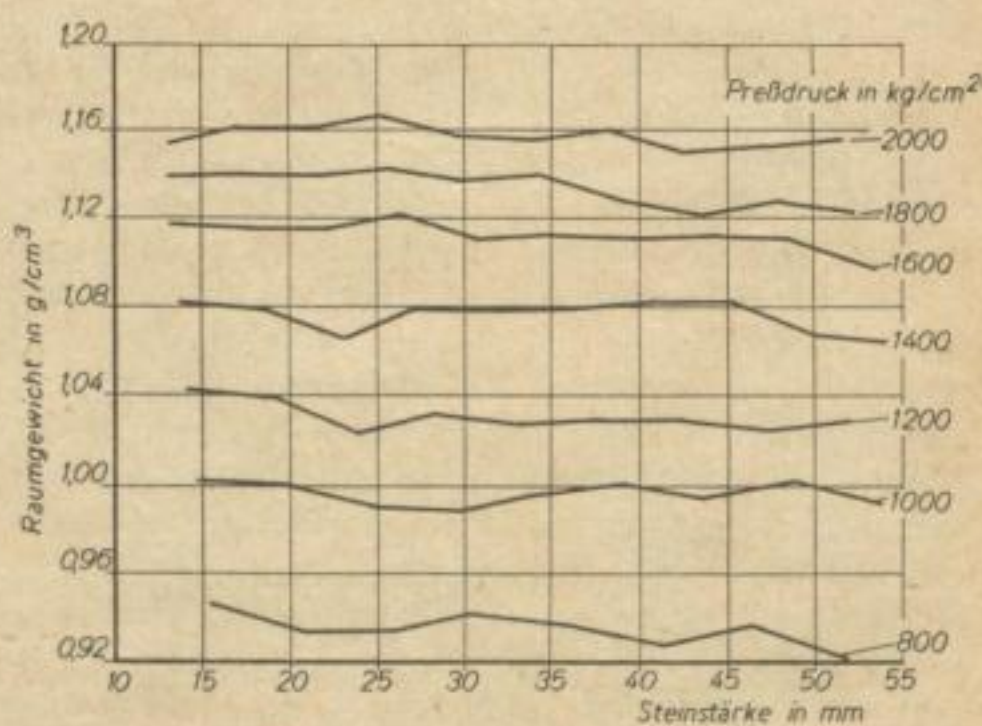


Bild 5. Raumgewicht der Briketts abhängig von der Steinstärke — Preßdruckreihen —
Kohle: Klein-Leipisch Körnung: 0—1 mm
Wassergehalt: ~ 10%

ist zu erkennen, daß die Dichtigkeit des Brikettgefüges von der Steinstärke nicht merklich beeinflußt wird. Die zu erkennenden Schwankungen liegen innerhalb der Grenzen der Meßgenauigkeit und können nicht zu Rückschlüssen verwendet werden. Diese Verhältnisse gelten jedoch zunächst nur bei Verpressung auf hydraulischen Pressen, wo die Preßdauer relativ hoch ist. Bei Strangpressen ist der Einfluß der Steinstärke auf das Verdichtungsverhältnis auf jeden Fall vorhanden. Jedoch ist auch da der entscheidende Faktor für den Abfall der Brikettfestigkeit bei Erzeugung stärkerer Steine im Formeinfluß und nicht in der inneren Festigkeit, also der Gefügedichte der Briketts, zu suchen. — In welchem starkem Maße hingegen Raumgewicht und Porenvolumen vom Preßdruck beeinflußt werden, zeigt der senkrechte Abstand der Linien in Bild 5. Es ist also zu dieser Versuchsreihe zu sagen, daß die Steinstärke die gemessene Druckfestigkeit in sehr starkem Maße beeinflußt, während das Raumgewicht überhaupt keine Abhängigkeit von der Brikettstärke zeigt. Es kann demnach angenommen werden, daß die innere Festigkeit für alle Steinstärken gleich ist und der Abfall der gemessenen Druckfestigkeiten mit steigender Steinstärke nur formbedingt ist. Man kann hieraus folgern, daß es nicht berechtigt ist, von dicken Briketts eine ebenso hohe Druckfestigkeit wie von dünnen Briketts zu fordern.

Rechnet man die im Bild 4 gezeigten gemessenen Druckfestigkeiten mittels der erwähnten Umrechnungsformeln auf die reduzierten Werte um, so erhält man die in Bild 6 dargestellten Kurven. Da die beiden For-

meln nach KLARE und IfB wegen formaler Gleichwertigkeit auch gleiche Ergebnisse liefern müssen, sind nur die nach der IfB-Formel und nach STAMATIU erhaltenen Werte eingezeichnet worden. In Bild 6 betreffen die ausgezogenen Linien die Umrechnung nach STAMATIU, während die reduzierten Festigkeiten nach der KLARE- bzw. IfB-Formel durch punktierte Linien gekennzeichnet wurden. Bei vollkommener Ausschaltung des Steinstärkeinflusses müßten sämtliche Linien waagerechten Verlauf aufweisen. Je besser also die Annäherung an die Waagerechte erreicht wird, um so zuverlässiger ist die Umrechnungsformel. Zu bemerken ist zu Bild 6, daß ein sehr großer Ordinatenmaßstab gewählt wurde, um die Abweichungen von der Horizontalen möglichst deutlich

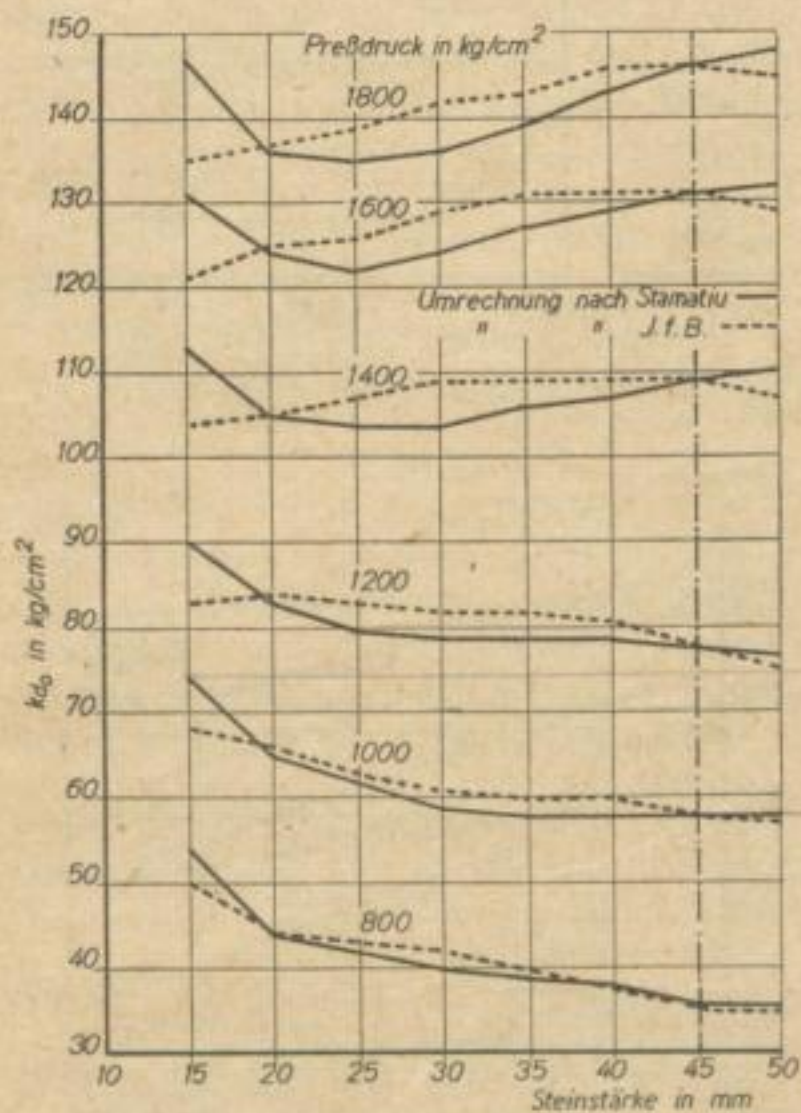


Bild 6. Kd_0 (Stamatiu) und Kd_0 (IfB) abhängig von der Steinstärke — Preßdruckreihe —

heraustreten zu lassen. Im einzelnen läßt Bild 6 erkennen, daß die nach den beiden Umrechnungsformeln erhaltenen Werte sich nicht decken, von dem Punkt für die Bezugssteinstärke von 45 mm abgesehen, der natürlich voraussetzungsgemäß beiden Korrekturformeln gemeinsam sein muß. Ferner liefert im Bereich niedrigerer Preßdrücke die Formel nach STAMATIU anscheinend etwas bessere Werte, während die IfB-Formel im höheren Druckbereich überlegen ist. Die Angleichung an die ideale Waagerechte ist naturgemäß um so besser, je mehr man sich der Norm-Steinstärke nähert. Auffällig sind die starken Abweichungen im Gebiet geringster Steinstärken. Generell verbleibt bei beiden Reduktionsformeln noch ein Anstieg der reduzierten Festigkeiten nach kleineren Brikettdicken hin im Bereich von Preßdrücken unter 1200 kg/cm², während im Bereich höherer Preßdrücke die reduzierten Festigkeiten mit kleinerer Brikettdicke abnehmen (KLARE- bzw. IfB-Formel) oder abnehmen und dann wieder zunehmen (STAMATIU). Die Ursachen für die im einzelnen vorhandenen Abweichungen können dreifacher Natur sein: 1. Die Umrechnungsformel erfaßt die tatsächlichen Verhältnisse nicht ganz. 2. Der funktionelle Zusammenhang zwi-

schen Steinstärke und Druckfestigkeit ist im Bereich größerer Steinstärken anders als z. B. im Gebiet kleinster Brikettdicken. 3. Die als ausgleichende Linien gezogenen Kurven gleichen Preßdruckes in Bild 4 stellen nicht die bestmöglichen Ausgleichskurven dar, was vor allem an den Endpunkten möglich ist. Immerhin kann man wohl den Schluß ziehen, daß die beiden Reduktionsformeln nur Näherungsbeziehungen darstellen und daß die exakte Reduktionsformel noch nicht gefunden ist. — Wenn auch aus dieser einen Versuchsreihe noch keine allgemeingültigen Rückschlüsse auf die Brauchbarkeit der Umrechnungsformeln gezogen werden können, so zeigen diese wenigen Werte doch schon, daß zumindest in nicht allzu großer Entfernung von der Norm-Steinstärke reduzierte Festigkeitswerte zu errechnen sind, deren Genauigkeit zu Vergleichszwecken ausreichend ist. Insbesondere auch deswegen, weil der Druckfestigkeitsprüfung von Briketts wegen apparativer Unzulänglichkeiten und stets vorhandener Inhomogenitäten im Brikettstrang höchstens eine Genauigkeit von ± 2 kg/cm² im normalen Druckfestigkeitsbereich zukommt.

Prüfung von Vierkantbriketts senkrecht und parallel zur Schlagfläche

Eine weitere Möglichkeit, den Höheneinfluß auf nominelle und innere Druckfestigkeit zu erkennen, besteht darin, Briketts von quadratischer Schlagfläche senkrecht und parallel zur Schlagfläche auf Druckfestigkeit zu prüfen. Hierzu wurden wiederum Briketts aus Kohle Kleinleipisch in der Brikettierkörnung 0—1 mm und ca. 10 % Wassergehalt gewählt. Die Schlagfläche betrug 45×45 mm, die Preßdrücke wurden von 800 bis 2000 kg/cm² in Stufen von 200 kg/cm² variiert. Die Steinstärken bewegten sich zwischen 30 und 54 mm, entsprechend 70 bis 120 g Brikettgewicht. Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgte wiederum normal mit dem 7-cm²-Stempel bei 12,5 mm/min Stempelnäherungsgeschwindigkeit.

Bild 7 zeigt die bei diesen Untersuchungen erzielten Ergebnisse. Die gemessenen Druckfestigkeitswerte bei Druckrichtung senkrecht zur Schlagfläche, d. h. beim Drücken auf die Schlagfläche, lassen im Bereich höherer Preßdrücke bereits erhebliche Streuungen erkennen. Wesentlich stärker tritt diese Erscheinung noch bei den Druckfestigkeiten mit Druckrichtung parallel zur Schlagfläche, d. h. beim Drücken auf die Glanzfläche, hervor. Da aber in beiden Fällen eine systematische Krümmung der Linien nicht feststellbar ist, können anstelle der gebrochenen Linienzüge die Ausgleichsgeraden verwendet werden. Das Fehlen der Krümmung erweckt im ersten Augenblick den Anschein, als ob hier grundsätzlich andere Verhältnisse vorliegen würden als bei den Preßdruck-Reihen. Dies ist aber nicht der Fall, sondern nur der Steinstärkenbereich ist ein anderer. Die geringen Brikettdicken fehlen hier, und der Auslauf der hyperbolischen Linien ist ja nahezu eine Gerade. Die Ermittlung der ausgleichenden Geraden erfolgte auf Grund vollkommenen Flächenausgleiches. Die Neigung der Ausgleichslinien wurde durch Mittelung sämtlicher an den gebrochenen Linienzügen auftretenden Winkel gegen die Vertikale bestimmt. Die auf diese Weise erhaltenen Tendenzlinien sind in Bild 8 wiedergegeben. Aus dieser Darstellung ist zu erkennen, daß die Linien, die die gemessene Druckfestigkeit beim Drük-

ken auf die Schlagfläche veranschaulichen, wesentlich steiler verlaufen als diejenigen, die die beim Drücken auf die Glanzfläche ermittelte Druckfestigkeit betreffen. Im ersten Falle wächst die unter dem Druckstempel liegende Brikettabmessung, entsprechend der wachsenden Brikettdicke, an, im letzteren Falle bleibt sie stets gleich. Aus den Meßbefunden geht also hervor, daß die Abnahme der Brikettendruckfestigkeit mit wachsender Brikettdicke — wenn, wie üblich, das Brikett auf die Schlagfläche gedrückt wird — fast ausschließlich durch den Formeinfluß bedingt ist. Wählt man den Maßstab $10 \text{ kg/cm}^2 \text{ Festigkeit} = 2 \text{ mm}$

Steinstärke, so beträgt der mittlere Anstiegswinkel der erstgenannten Linien 26° und derjenige der Festigkeiten parallel zur Schlagfläche 4° gegen die Horizontale. Dabei ist anzunehmen, daß die Festigkeiten mit Druckrichtung parallel zur Schlagfläche im Groben den Verlauf der inneren Druckfestigkeitswerte widerspiegeln. Dem Betrag nach trifft dies allerdings nicht zu, da sonst die Schnittpunkte zwischen den jeweils zusammengehörenden Linien bei 45 mm Steinstärke liegen müßten. Tatsächlich liegen diese aber stets im Bereich höherer Steinstärken, woraus zu erkennen ist, daß die innere Druckfestigkeit bei Druckrichtung parallel zur Schlagfläche niedriger liegt als die bei Druckrichtung senkrecht dazu. Der Grund hierfür ist im Schichtenaufbau der Briketts zu suchen.

Wegen der relativ starken Schwankungen der aus den Meßwerten konstruierten Linien gleichen Preßdruckes wurde hier auf die Errechnung der reduzierten Druckfestigkeit nach STAMATIÜ und KLARE bzw. IfB verzichtet. So könnte zur Charakterisierung der tatsächlichen Festigkeit nur noch das Raumgewicht der Briketts herangezogen werden. Da aber dessen Verlauf nicht viel erkennen läßt, wurde auch auf die Darstellung dieser Werte verzichtet. Ein geringer Abfall des Raumgewichtes ist bei wachsender Steinstärke vorhanden. Um Feinheiten zu erkennen, sind jedoch die Raumgewichtswerte — bedingt durch Meßapparaturen und -verfahren — noch zu grob. Der Unterschied zwischen den Raumgewichten von 70-g- und 120-g-Briketts ist in jedem Falle geringer als der bei der Änderung des Preßdruckes um 200 kg/cm^2 entstehende.

Diese Versuchsreihe hat also gezeigt, daß bei Prüfung auf Druckfestigkeit senkrecht und parallel zur Schlagfläche der Steinstärkeneinfluß auf die nominalen Druckfestigkeitswerte erkannt werden kann. Weiterhin ist bestätigt worden, daß die innere Druckfestigkeit von Briketts, die mit hydraulischen Pressen erzeugt worden sind, nur sehr gering von der Steinstärke beeinflusst wird.

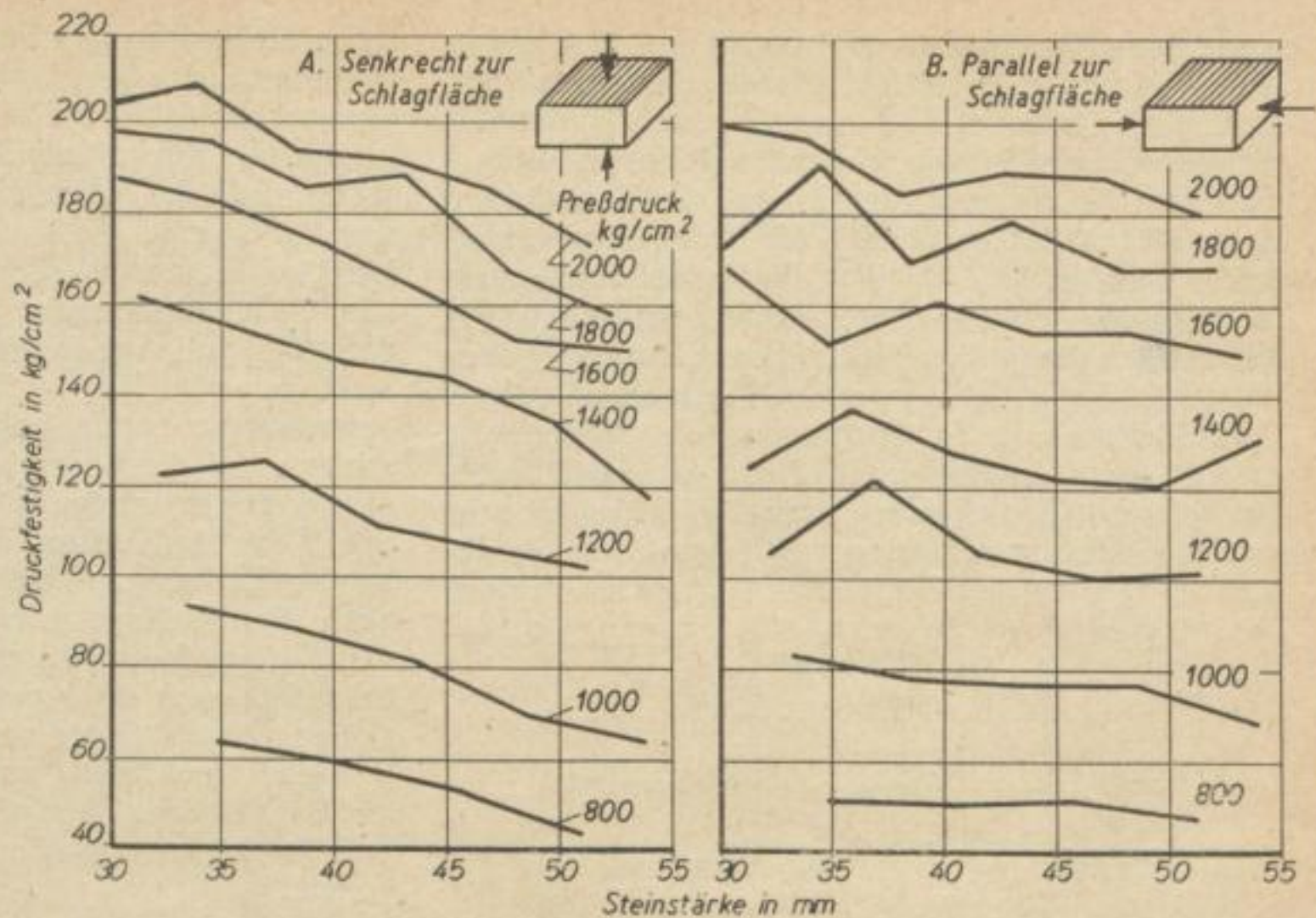


Bild 7. Druckfestigkeit in Abhängigkeit von der Steinstärke

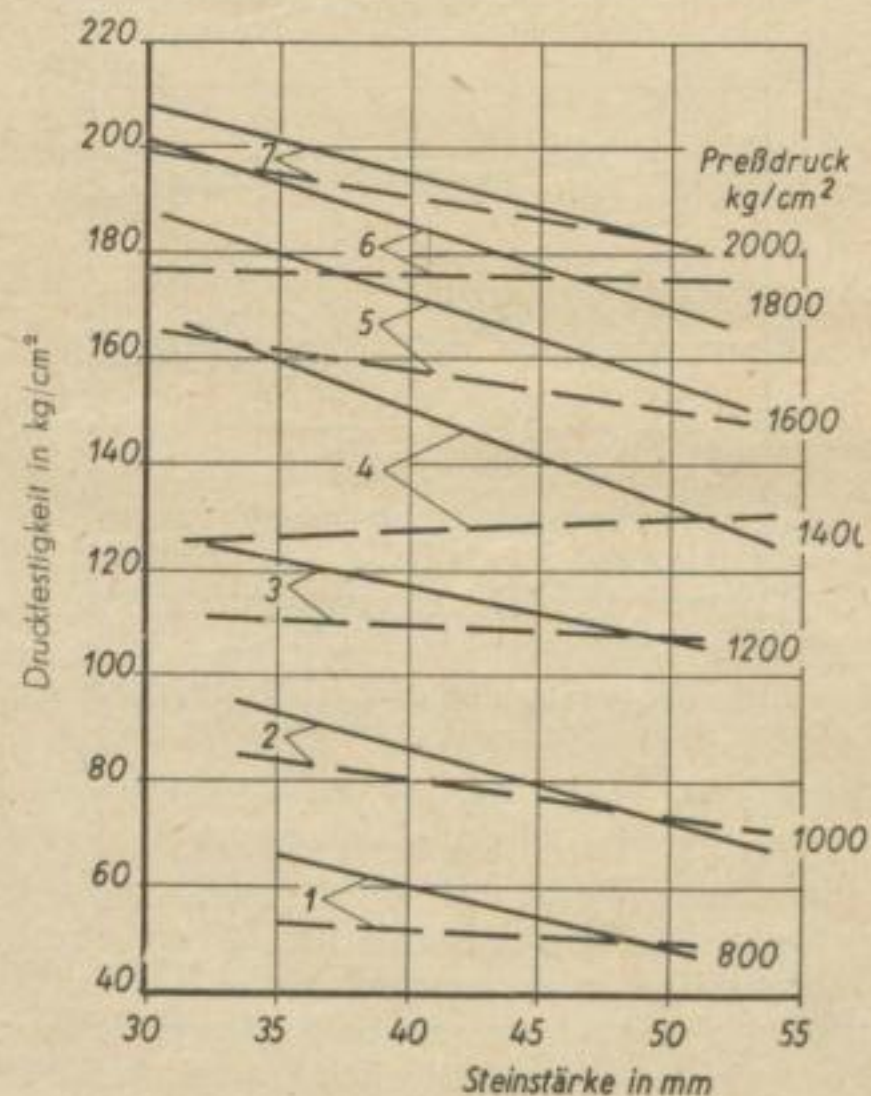


Bild 8. Druckfestigkeit senkrecht und parallel zur Schlagfläche abhängig von der Steinstärke (Ausgleichende Tendenzlinien)
 — senkrecht auf Schlagfläche
 - - - parallel zur Schlagfläche

Dem Bild 8 ist ferner zu entnehmen, daß im Bereich der in der Praxis meist vorkommenden Steinstärken der Preßdruck nur wenig erhöht zu werden braucht, wenn man bei um etwa 10 mm stärkeren Steinen gleiche nominelle Druckfestigkeit erzielen will. Zur Erreichung gleicher innerer Druckfestigkeit beim Anwachsen der Steinstärke muß der Preßdruck nur um ein verschwindend geringes Maß gesteigert werden. Diese Beträge nehmen jedoch im Bereich höherer Preßdrücke zu, da in diesem Gebiet die Festigkeitslinien gleichen Preßdruckes dichter aufeinander folgen.

Hinsichtlich der Absolutwerte der Brikettfestigkeit sei noch bemerkt, daß die auf der hydraulischen Presse erreichten Druckfestigkeiten bei großen Steinstärken auffälligerweise unter denen der Strangpressenbriketts liegen. Bei einer Steinstärke von 40 mm wird eine Druckfestigkeit von 200 kg/cm² aus dem Feinkorn 0—1 mm der Kleinleipischer Braunkohle mit 10 % Wasser z. B. erst bei einem Preßdruck von mindestens 2000 kg/cm² erreicht, während der Preßdruck in der Praxis, soweit Messungen bislang gezeigt haben, nicht so hoch ist.

Formatreihen

Die nächste Versuchsreihe sollte zeigen, ob der Einfluß der Steinstärke bei unterschiedlichem Format und verschiedener Körnung auf die nominelle Druckfestigkeit verschieden ausfällt. Hierzu wurde wiederum die Kohle Kleinleipisch in den Körnungen 0—1, 0—2 und 0—4 mm bei ca. 15 % Wassergehalt verwendet. Der Preßdruck wurde zu 1000 kg/cm² festgelegt. Dabei wurden vier Formate hergestellt und untersucht: 1. Rundbriketts von 50 mm Durchmesser und 13 bis 45 mm Steinstärke, entsprechend 30 bis 100 g Brikettgewicht. 2. Rundbriketts von 40 mm Durchmesser und 14 bis 36 mm Steinstärke, entsprechend 20—50 g Stückgewicht. 3. Vierkantbriketts mit quadratischer Schlagfläche von 45 mm Kantenlänge und 11 bis 46 mm Steinstärke, entsprechend 25 bis 100 g Einwaage und 4. Labor-Langbriketts von ca. 40 mm Breite und ca. 105 mm Länge und 23 bis 47 mm Steinstärke, entsprechend 100 bis 200 g Brikettgewicht. Die im einzelnen gefundenen Festigkeitswerte sind in Bild 9

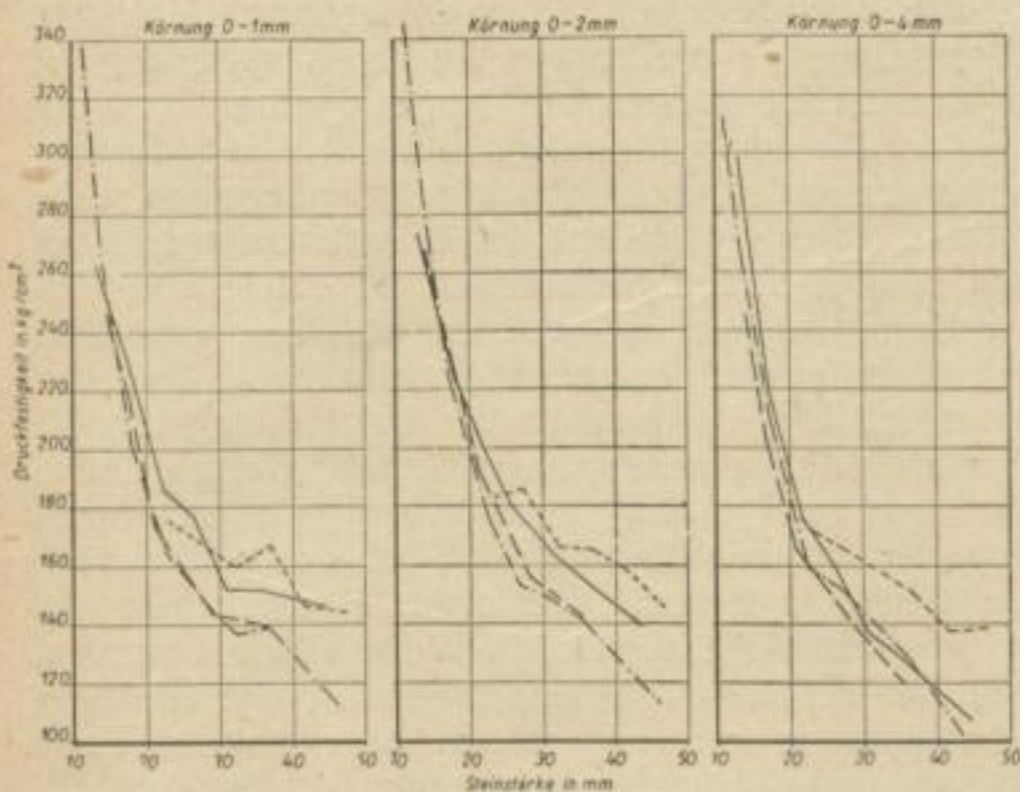


Bild 9. Druckfestigkeit abhängig von der Steinstärke — Formatreihen —

— Rundbriketts von 50 mm ϕ
 — Rundbriketts von 40 mm ϕ
 — Vierkantbriketts von 45 \times 45 mm Kantenlänge
 - - - Labor-Langbriketts

zusammengefaßt worden. Es zeigt sich hierbei wieder der klare — etwa hyperbolische — Höheneinfluß auf die gemessene Druckfestigkeit, der für sämtliche Formate und Körnungen vorhanden ist. Da die einzelnen Kurven grundsätzlich gleichen Verlauf zeigen, aber noch ziemlich starke Schwankungen aufweisen, wurde versucht, durch Mittelbildung über die drei verwendeten Körnungen klarere Tendenzlinien zu erhalten. Diese Mittelbildung ist möglich, da Kohlenart, Wassergehalt und Preßdruck für alle drei Kör-

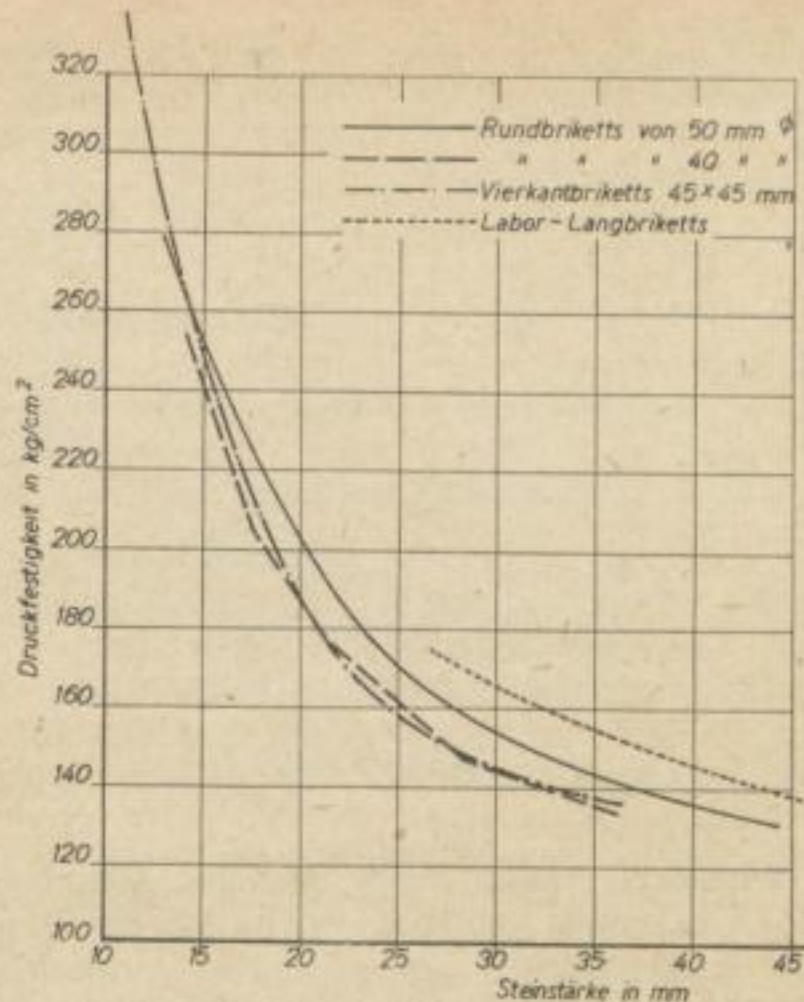


Bild 10. Druckfestigkeit abhängig von der Steinstärke — Formatreihen (Mittelwerte über drei Körnungen) —

nungen gleich sind und auch die entsprechenden Steinstärken nur wenig voneinander abweichen. Bild 10 gibt die so ermittelten Kurven in ausgleichender Darstellung wieder. Wie hieraus hervorgeht, ist ein gewisser Formateinfluß auf die Druckfestigkeitswerte doch vorhanden. Es ist zwar nicht so, daß die Breite des unbelasteten Brikettrandes maßgebend für die Lage der Kurve wäre, denn sonst müßten zwischen den Rundbriketts von 40 mm ϕ und den Vierkantbriketts größere Festigkeitsunterschiede bestehen. Vielmehr muß die Form der Schlagfläche auch von Bedeutung für die erzielbare Festigkeit sein. Nach dem Verlauf der Kurven zu urteilen, ist die runde Schlagfläche gegenüber der quadratischen begünstigt. Demgegenüber zeigt aber das verkleinerte Salonformat bessere Festigkeiten als das Rundformat mit 50 mm Durchmesser, obwohl die Breite der Langbriketts nur 40 mm beträgt. Es läßt sich also aus der Lage der Kurven nicht ableiten, daß die Breite des bei Druckfestigkeitsprüfung unbelasteten Randes maßgebenden Einfluß auf die erzielbaren Festigkeitswerte hat. Vielmehr spielen Größe und Form der Schlagfläche eine Rolle, die restlos zu klären aber aus den wenigen untersuchten Formaten nicht möglich ist. Es kann nur aus der Lage der Kurven festgestellt werden, daß die besten Festigkeitswerte unter sonst gleichen Bedingungen beim Labor-Langbrikett erzielt werden, dann folgt das Rundbrikett von 50 mm Durchmesser, während Rundbriketts von 40 mm Durchmesser und Preßlinge mit quadratischer Schlagfläche von 45 \times 45 mm praktisch gleiche Ergebnisse liefern.

Der Höheneinfluß auf die nominellen Druckfestigkeitswerte wurde wiederum durch Umrechnen mit den schon weiter oben verwendeten Formeln geklärt. Dabei ergaben sich die im Bild 11 festgehaltenen Ergebnisse. Für die Rundbriketts von 50 und 40 mm Durchmesser ergibt sich wieder der schon von Bild 6 her bekannte Verlauf der Linien für die reduzierte Druckfestigkeit. Im Falle der Rundbriketts von 50 mm Durchmesser erhält man durch Umrechnung nach IfB wesentlich bessere Werte als nach STAMATIÜ, während für die 40-mm-Rundbriketts

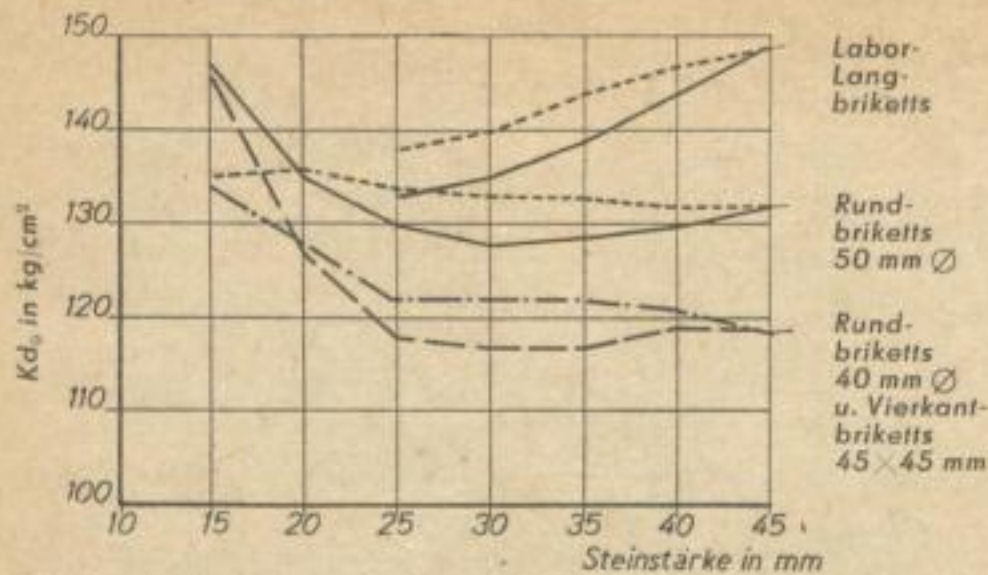


Bild 11. Kd_0 (Stamatiu) und Kd_0 (IfB) abhängig von der Steinstärke — Formatreihen —

— Umrechnung nach Stamatiu
 - - - - - Umrechnung nach IfB

beide Verfahren etwa Werte gleicher Genauigkeit liefern. Zu erkennen ist ferner noch, daß der Bereich kleinster Brikettstärken vor allem bei Umrechnung nach STAMATIU recht zweifelhafte Werte ergibt. Die Kurven für die Labor-Langbriketts zeigen beide eindeutigen — und zwar ziemlich starken — Anstieg bei Annäherung an die Norm-Steinstärke. Auch hier zeigt sich somit wieder, daß die Reduktionsformeln für den Steinstärkeinfluß vorerst nur den Rang verhältnismäßig grober Approximationsformeln haben.

Gemessene Druckfestigkeit bei konstanter innerer Festigkeit

Eine letzte Versuchsgruppe sollte Klärung bringen, wie die nominelle Druckfestigkeit sich verhält, wenn die innere konstant gehalten wird. Dies wurde er-

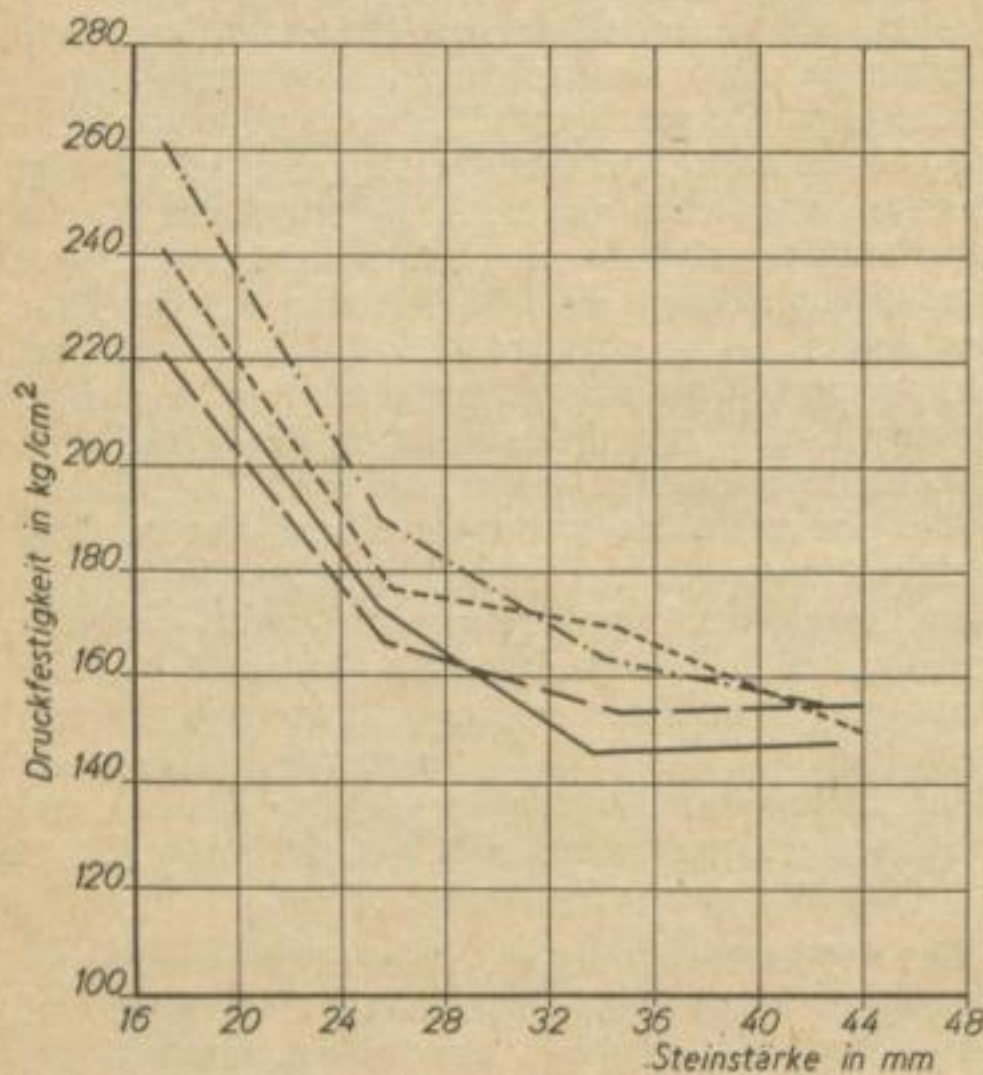


Bild 12.

Bestimmung des Einflusses der Steinstärke auf die Druckfestigkeit durch Aufeinanderlegen mehrerer Steine

— 5 cm² Prüfstempel, mehrere Briketts zu 20 g
 - - - 7 cm² Prüfstempel, mehrere Briketts zu 20 g
 - · - 5 cm² Prüfstempel, ein Brikett von wechselndem Gewicht
 · · · 7 cm² Prüfstempel, ein Brikett von wechselndem Gewicht

reicht durch Aufeinanderlegen mehrerer schwacher Briketts, die alle unter vollkommen gleichen Bedingungen hergestellt worden waren. Parallel dazu wurden Steine untersucht, die, unter gleichen Bedingungen gepreßt, entsprechende Höhen aufwiesen. Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgte mit 2 Stempelflächen, und zwar von 5 und 7 cm². Die Ergebnisse dieser Versuchsgruppe sind in Bild 12 enthalten. Im allgemeinen zeigen auch diese Kurven wieder das übliche Verhalten. Wenn somit zwei oder mehrere dünne Briketts aufeinandergelegt werden, so fällt die nominelle Druckfestigkeit ab, obwohl die einzelnen Briketts, die den Stapel zusammensetzen, für sich allein gedrückt, alle die gleiche, und zwar eine höhere Druckfestigkeit ergeben. Dieses Experiment, das schon früher von KLARE einmal ausgeführt worden ist, zeigt schlagend den Form- bzw. Brikettdickeneinfluß auf die nominelle Brikettfestigkeit. Die Linien, die die nominellen Druckfestigkeiten eines Briketts von wechselndem Gewicht veranschaulichen, liegen im allgemeinen etwas unterhalb derjenigen, die für mehrere aufeinandergelegte Briketts gelten. Dies zeigt, daß eine geringfügige Abnahme der inneren Druckfestigkeit bei größerer Steinstärke gegenüber kleinerer eintritt. Im Bereich größerer Steinstärken überschneiden sich allerdings die Kurven. Welche Faktoren für diese starke Streuung der Werte im Bereich großer Steinstärken verantwortlich zu machen sind, kann aus diesen wenigen Versuchen nicht entschieden werden.

Zusammenfassung

Zusammengefaßt haben die Versuche zur Klärung des Einflusses der Steinstärke auf die nominelle und innere Druckfestigkeit folgendes ergeben: Die innere Druckfestigkeit von Briketts wird bei Verpressung auf hydraulischen Pressen mit langer Preßzeit von der Steinstärke nur sehr wenig beeinflußt. Die gemessene oder nominelle Druckfestigkeit zeigt dagegen eine sehr starke Abhängigkeit von der Brikettdicke, vor allem im Bereich kleiner Steinstärken. Mit Hilfe von Umrechnungsformeln ist es möglich, die nominellen Druckfestigkeiten auf etwa vergleichbare Werte zu bringen. Die Genauigkeit der Umrechnungsformeln konnte an einigen Beispielen überprüft werden. Dabei hat sich gezeigt, daß sie im Gebiet geringster Steinstärken noch mit relativ großen Fehlern behaftet sind, während für Briketts, die nicht allzuweit von der Norm-Steinstärke abweichen, Werte erhalten werden, die für Vergleichszwecke genügend genau sind. Ob diese Umrechnungsverfahren, die für verschiedene Preßdrücke und Körnungen hier benutzt worden sind, für alle Kohlenarten und alle sonstigen Verpressungsbedingungen brauchbare Werte liefern, müßte noch überprüft werden. Die genauen Reduktionsformeln sind jedenfalls noch nicht bekannt. Durch Variation des Preßdruckes läßt es sich erreichen, daß für jede Steinstärke eine gewünschte nominelle Druckfestigkeit der Briketts erzielt wird. Im Gebiet höherer Preßdrücke sind auch die erforderlichen Preßdrucksteigerungen größer als bei niedrigem Stempeldruck, wenn stärkere Steine von gleicher Festigkeit wie dünne Steine erzeugt werden sollen. Es ist aber an sich nicht berechtigt, für stärkere Steine gleich hohe Druckfestigkeiten wie für dünnere Steine zu fordern, da man damit, im Grunde genommen, eine Erhöhung der inneren Festigkeit und infolgedessen eine Steigerung des Preßdruckes fordert, die zu erhöhtem Verschleiß und

verkürzter Lebensdauer der Pressen führt. Man muß sich also klar darüber werden, welche Steinstärke man als Norm ansehen will. Für diese würden die festgelegten Druckfestigkeiten gelten. Dünnere Steine müssen höhere, dickere Steine dürfen niedrigere Druckfestigkeiten haben derart, daß die nach der KLARE- bzw. IfB-Formel oder STAMATIU-Formel reduzierten Werte den festgelegten Richtwerten entsprechen. Man muß sich dabei für eine der Reduktionsformeln entscheiden.

Zum Schluß sollen dem Einfluß der Vorschubgeschwindigkeit der Prüfstempel bei der Druckfestigkeitsbestimmung auf die gemessenen Druckfestigkeitswerte noch einige Worte gewidmet werden. Versuche in dieser Richtung haben gezeigt, daß der Einfluß der Stempelnäherungsgeschwindigkeit auf die Druckfestigkeiten unbedeutend ist, sofern erstere nicht über den vierfachen z. Z. vorgeschriebenen Betrag hinaus gesteigert wird. Als Mittelwerte aus je 160 Bestimmungen wurde gefunden: Für 12,5 mm/min Vorschubgeschwindigkeit: 224,7 kg/cm²; für 25,0 mm/min: 224,8 kg/cm²; für 37,5 mm/min: 228,6 kg/cm²; und für 50 mm/min: 233,6 kg/cm²; d. h., die Verdoppelung der üblichen Vorschubgeschwindigkeit bringt noch keine spürbare Steigerung der Festigkeitswerte, beim dreifachen Betrage nimmt die Druckfestigkeit um 1,7% zu, und bei der vierfachen Geschwindigkeit werden Werte erhalten, die um rund 4% höher liegen als bei 12,5 mm/min. Diese Werte dürften klar genug zeigen, daß die Erhöhung der Stempelvorschubgeschwindigkeit, die im Interesse der Zeitersparnis bei der Druckfestigkeitsprüfung anzustreben ist, die Vergleichbarkeit der unter jetzigen und geänderten Bedingungen

erzielten Ergebnisse nicht beeinträchtigt, sofern man nicht über den 3- bis 4fachen z. Z. üblichen Betrag hinausgeht.

— 428 —

Diskussion

Dr.-Ing. Haase, Berlin:

Herr Metzner stellt Untersuchungen in Aussicht zur Klärung der Frage, inwieweit die Druckfestigkeit und das Raumbgewicht von der Kohlenbeschaffenheit abhängig sind. Ich möchte auf Untersuchungen hinweisen, die Herr Dr. Rademacher im Jahre 1947 in der Brikettfabrik Emanuel II durchführte. Er hat dort mit Hilfe der Statistik der Betriebsuntersuchungen die Abhängigkeit der Biege-, Druck- und Abriebfestigkeit vom Aschengehalt der Kohle festgestellt, d. h., wenn man den Aschengehalt als Indikator für die Kohlenart, also für die Beziehungen zwischen den drei Festigkeitswerten und der Kohlenart, ansieht. Er ist damals zu dem Ergebnis gekommen, daß es einen optimalen Aschengehalt gibt. Es zeigte sich bei allen drei Festigkeitskurven, daß bei 4% Asche im Brikett — auch für Emanuelverhältnisse ein günstiger Wert — ein Maximum in der Biege-, Druck- und Abriebfestigkeit erreicht wurde.

Prof. Dr.-Ing. Rammler:

Der Vortrag von Herrn Dipl.-Ing. Metzner stellt ein Kapitel aus umfassenden Untersuchungen dar, die wir im Rahmen eines Forschungsauftrages über die Methodik der Untersuchungen in Brikettfabriken gegenwärtig durchführen. Was die Ausführungen von Herrn Metzner über den Einfluß der Stempelvorschubgeschwindigkeit bei der Druckfestigkeitsprüfung anbelangt, so wird es erforderlich sein, daß der Arbeitskreis für Gütevorschriften für Briketts des Ausschusses für Brikettfabriken sich noch mit dieser Frage befaßt.

Literatur

- [1] ERICH SIEBEL: Handbuch der Werkstoffprüfung. 3. Bd. Verl. Springer Berlin 1941.
- [2] A. VOLLMAIER: Genauigkeit und Vergleichsfähigkeit der üblichen Festigkeitsuntersuchungen an Braunkohlenbriketts. Braunkohle 39 (1940) S. 411—425.
- [3] M. STAMATIU: Beiträge zur Klärung einiger Abbauprobleme bei den rumänischen Salzgruben. Habilitationsschrift. Freiberg 1936.
- [4] KLARE: Über die Methode für die Bestimmung der Druckfestigkeit von Briketts. Nicht veröffentlicht.



Versuche zur Herstellung von Versandtroddenkohle als halbveredeltes Erzeugnis

Von Nationalpreisträger Prof. Dr.-Ing. ERICH RAMMLER und Dipl.-Ing. FRITZ BAUNACK, Freiberg (Vorgetragen von Fritz Baunack)

Die Notwendigkeit, die Steinkohle den wichtigsten Verbrauchern, insbesondere den Gaswerken, also der Veredelung, zuzuführen, nötigt dazu, sie im Sektor der Verfeuerung weitgehend durch Braunkohlenbrennstoffe zu ersetzen. Für Zonenwanderroste kommt nur die Umstellung auf Braunkohlenbriketts und Schwelkoks in Frage; für Mühlenfeuerungen kann Schwelkoks und Rohbraunkohle eingesetzt werden; für Kohlenstaubfeuerungen mit Zentralmahlanlagen, wie die der Zementfabriken, steht, feuerungstechnisch gesehen, Schwelkoks im Vordergrund. Der vielseitig einsetzbare Schwelkoks ist aber zur Mangelware geworden. Wollte man Rohbraunkohle in Staubfeuerungen mit Zentralmahlanlagen einsetzen, so müßte man beim Verbraucher zusätzliche Trockenanlagen bauen. Ein Teil der umzustellenden Mühlen- und Staubfeuerungen liegt in beträchtlicher Entfernung von den Braunkohlenrevieren. Wenn man hier Rohkohle einsetzen würde, so würde nicht nur die Frachtbelastung und damit der Wärmepreis für die Verbraucher hoch werden; vielmehr würde vor allem der knappe Frachtraum für die Verfrachtung von Wasser auf weite Entfernungen in untragbarer Weise in Anspruch genommen werden.

Es drängt sich daher die Frage auf, ob die Decke an Braunkohlenbrennstoffen erhöhten Heizwertes durch Versand von Trockenbraunkohle verbreitert werden könnte. In kleinen Mengen ist Trockenbraunkohle, wie sie für die Brikettierung verwendet wird, also in der Körnung 0–6 mm mit 16 bis 18 % Wassergehalt, schon seit mehr als 25 Jahren verfrachtet worden. E. RAMMLER [1] hat seinerzeit umfangreiche Transportversuche mit solcher Brikettiertrockenbraunkohle durchgeführt. Die Unannehmlichkeiten, die durch Staubeentwicklung bei der Be- und Entladung sowie beim Transport und bei der Bunkerung entstehen, sind aber beträchtlich; auch kommt so feinkörnige Trockenkohle nur für Mühlen- und andere Staubfeuerungen in Betracht. Als daher im Rahmen des Fünfjahrplanes die Frage der Bereitstellung von Versandtroddenkohle für die Deckung des zusätzlichen Bedarfes an im Heizwert angereicherter Kohle akut wurde, entschlossen sich die zuständigen Stellen zur Errichtung von Trocknungsanlagen mit Feuergastrommeltrocknern, in denen Rohkohle von 0–30 mm getrocknet werden soll, wobei durch anschließendes Absieben teils Brikettierkohle mit der Körnung 0–6 mm mit üblichem Brikettierwassergehalt und zum anderen Trockenknorpel oder Trockennüsse der Körnung 6–30 mm mit 30 bis 35 % Wassergehalt gewonnen werden sollen.

Da somit das Problem der Gewinnung halbveredelter Braunkohle, wie man die Versandtroddenkohle bezeichnen kann, ansteht, haben wir über die Anwendung von Feuergastrommeltrocknern hinaus noch weitere Möglichkeiten zur Herstellung von Trockennüssen vergleichend geprüft.

Auch in der Tschechoslowakei hat man sich mit der Erzeugung fester Trockenknorpel mit niedrigem Wassergehalt und geringem Feinkornanfall bei der Trocknung beschäftigt, und zwar im Hinblick auf die Gewinnung von möglichst grusfreier Vergasungskohle für die Druckvergasung [2].

Technische Möglichkeiten zur Erzeugung von Trockennüssen

Grundsätzlich stehen zur Trocknung von Braunkohle verhältnismäßig grober Körnungen folgende Möglichkeiten offen:

- Büttner-Turbinentrockner
- Lurgi-Trockner (Spülgastrockner wie beim Lurgi-Schmelofen)
- Röhrentrockner
- Feuergastrommeltrockner
- Trocknung durch Druckdämpfung (Fleißner-Verfahren)

Die ersten vier Möglichkeiten sind in der Tschechoslowakei für Hartbraunkohle untersucht worden [1], wobei besonderes Augenmerk auf die Trocknungsleistung und den Kornerhaltungsgrad gelegt wurde. Getrocknet wurde dabei von ~ 30–45 % auf etwa 10–16 % Wassergehalt. Die Lagerungsfähigkeit der Kohle wurde nicht untersucht.

Die Anwendbarkeit von Röhrentrockner, Trommeltrockner und Druckdämpfung zur Erzeugung von Trockennüssen wurde im Institut für Brikettierung für Weichbraunkohle untersucht.

Die Druckdämpfung der Kohle, das sog. Fleißner-Verfahren, bewirkt eine Alterung des Kolloids Kohle, in deren Gefolge eine Wasserabscheidung einhergeht. Gleichzeitig erfolgt damit eine Schrumpfung, die schon von SIMEK [3] nachgewiesen wurde. Da der gesamte Prozeß in einer Satttdampf-atmosphäre vor sich geht, erfolgt nicht wie bei der Verdunstungstrocknung eine vorzeitige Austrocknung der Oberfläche. Es können also auch keine hierdurch bewirkten Spannungen im Kohlekorn auftreten. Somit war zu erwarten, daß durch Fleißnern verhältnismäßig feste Trockennüsse auch aus gewissen deutschen Weichbraunkohlen erzeugt werden können. Für Matthartbraunkohlen wird dieses Verfahren schon seit zwei Jahrzehnten angewendet.

Dämpfen ist jedoch verhältnismäßig teuer. Vor allem dürfte z. Z. die Beschaffung der notwendigen Druckgefäße schwierig sein. Feuergastrommeltrockner sind dagegen im Betrieb einfacher und billiger, auch ist ihr Materialbedarf verhältnismäßig gering. Es ergab sich deshalb die Frage, ob es nicht möglich ist, im Trommeltrockner Trockennüsse zu erzeugen. Dabei war es von vornherein klar, daß dies nur gemeinsam mit der Trocknung von normalkörniger Brikettierkohle geschehen könnte, wenn hohe spezifische Verdampfungsleistungen erzielt werden sollten. Wir versuchten also, Kohle der Körnung 0—30 mm so zu trocknen, daß der Kornanteil < 6 mm Brikettierwasser-gehalt hatte, der Kornanteil > 6 mm sollte unter 35 % Wassergehalt haben und bei der Trocknung möglichst wenig zerfallen.

Obwohl nun Trommeltrockner gerade deshalb gebaut werden, weil sie einen geringeren Materialbedarf haben als Röhrentrockner, interessierte es doch, ob sich Röhrentrockner für die Erzeugung von Trockenknorpeln eignen. Wir trockneten deshalb auch Kohle 0—30 mm in einem 7 m langen dampfbeheizten Trockenrohr.

Untersuchungen darüber, ob sich für die Erzeugung von Trockennüssen aus unserer Weichbraunkohle auch der Lurgi-Spülgastrockner eignen würde, sollen demnächst im Versuchsspülgasschweler des Institutes für technische Brennstoffverwertung durchgeführt werden.

Versuchsdurchführung

Die Dämpfung der Kohle wurde in einem kleinen Autoklaven durchgeführt bei Drücken zwischen 5 und 25 atü. Es wurde jeweils zwei Stunden lang gedämpft, vom Erreichen von 1 atü an gerechnet. Eingesetzt wurde Kohle aus den Tagebauen Kleinleipisch und Großkayna mit über 30 mm Korngröße.

Die Versuchsdurchführung und die Ergebnisse sind von uns in einem Aufsatz beschrieben worden [4]. Wir werden deshalb hier nur insoweit darauf zurückkommen, als es in diesem Zusammenhang interessiert.

Die Trommeltrocknung und die Röhrentrocknung wurde mit Kohle aus dem Tagebau „Glückauf“, Niederlausitz, Körnung 0—30 mm, durchgeführt. Der Heizdampfdruck betrug bei der Röhrentrocknung 3 atü entsprechend 143°C Sattedampftemperatur. Die Röhre ist 7 m lang, hat eine lichte Weite von 94 mm und 8° Neigung. Sie ist mit einer Spiralwendeleiste ausgerüstet.

Der Trommeltrockner, ein von der Fa. Schilde, Hersfeld, gelieferter kleiner Versuchstrockner von 3 m Länge und 600 mm Durchmesser, wurde mit Generatorgas beheizt. Die Trommeleintrittstemperatur des Feuer-gases betrug 1000°C .

Versuchsergebnisse

Technische Durchführung der Trocknung

Da die Druckdämpfung der Kohle in einem kleinen Versuchsaufklaven vorgenommen wurde, konnten hier natürlich keine Erfahrungen über ihre Durchführbarkeit im großtechnischen Maßstab gesammelt werden. Diese Erfahrungen liegen jedoch aus verschiedenen Betrieben vor [4]. Die bei der Dämpfung eingesetzte Kleinleipischer Kohle hatte 56 % Wassergehalt, die Geiseltalkohle 52,5 %. Durch die Sattedampf-behandlung bei 15 atü sank der Wassergehalt auf etwa

30 %. Die gedämpfte Kohle hatte nach der Druck-entspannung eine Temperatur von etwa 100°C , eine Kühlung ist also notwendig, sie kann jedoch im Dämpfgefäß durch Durchblasen von Luft vorgenommen werden. Infolge des bei der Dämpfung auftretenden Kornzerfalls ist auch eine Nachsiebung notwendig.

Bei der Trommeltrocknung von Kohle „Glückauf“ mit etwa 55 % Wasser und bis zu 30 mm Korngröße traten betrieblich keine Schwierigkeiten auf. Der Trockner konnte in derselben Weise betriebssicher gefahren werden wie bei der Trocknung von Brikettiernormal-korn. Bei sehr großem Trommeldurchsatz kam es manchmal vor, daß die Schluckfähigkeit der Kohlevertei-lungsvorrichtung im ersten Schuß der Trommel überschritten wurde. Diese müßte also bei derartigen Trocknern reichlicher bemessen werden. Wahr-scheinlich würden diese Schwierigkeiten bei langen Trommeln auch durch die viel höheren Feuergasge-schwindigkeiten in der Trommel etwas gemildert werden. Die Trommelfüllung betrug bei unseren Versuchen zwischen 30—35 %, also etwa ein Drittel des Trom-melvolumens oder der Querschnittfläche der Trommel wurde von Kohle eingenommen.

Die Abgastemperatur betrug bei 170 000 kcal/h Wärmebelastung der Trommel 144 — 153°C . Diese Wärmebelastung entspricht der normalen Belastung von etwa 3 Millionen kcal/m²h einer Trommel von 3 m Durchmesser und 15 m Länge. In Bild 1 sind für einen Versuch die Abgastemperatur, der Wassergehalt des Korns > 6 mm und der Feinkornwassergehalt aufgetragen. Man sieht deutlich, besonders beim Vergleich von Abgastemperatur und Feinkornwassergehalt, daß die Abgastemperatur ein sehr guter Indikator für die Bewegung des Trockenkohlenwassergehaltes ist. Wir fuhren unsere Trommel immer nach der Abgastempe-ratur und konnten wegen ihrer praktisch verzöge-rungslosen Anzeige den Trockenkohlenwassergehalt am besten auf der gewünschten Höhe halten. Auf die Beziehungen zwischen Fein- und Grobkohlenwasser-gehalt werde ich noch zurückkommen.

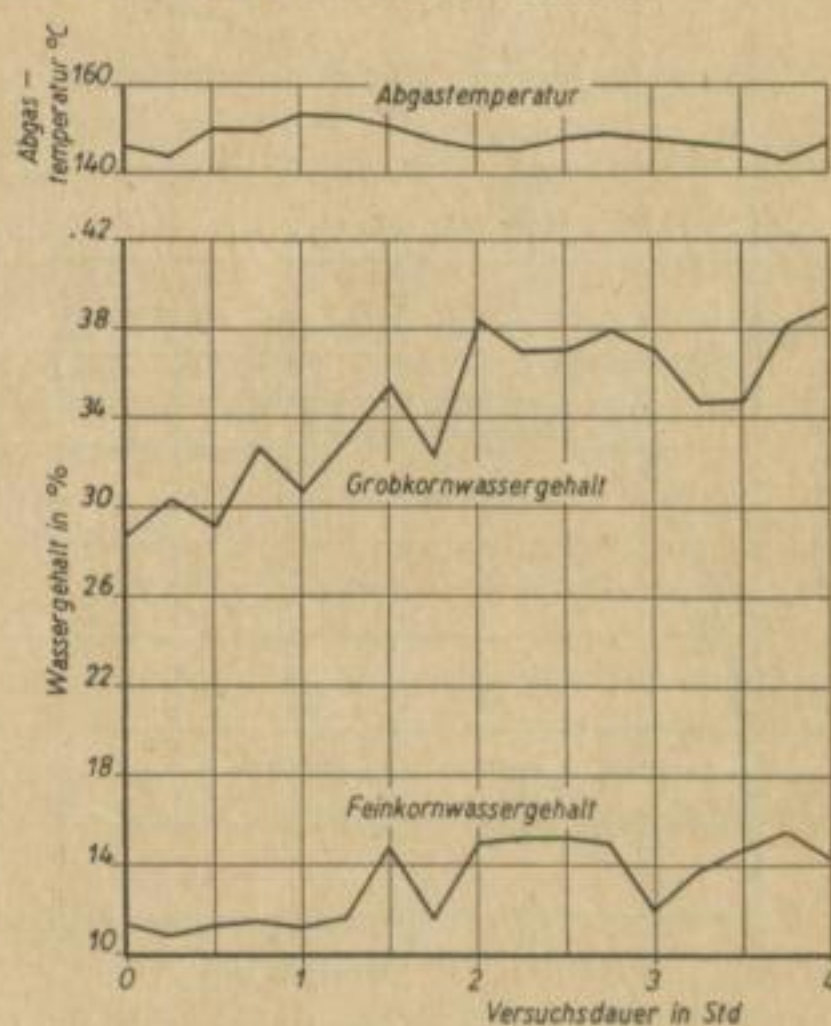


Bild 1. Abgastemperatur, Grobkornwassergehalt und Feinkornwassergehalt bei Trommeltrocknung Kohle „Glückauf“, Trommeleintrittstemperatur 1000°C

Die Temperatur der Trockenkohle betrug im Mittel 73° C. Bei den Versuchen, die sich über fünf bzw. bei einem Versuch 4 std reine Versuchszeit erstreckten, konnte bei 4,6 U/min Trommeldrehzahl 230 kg/m³h spezifische Verdampfungsleistung erreicht werden. Bei 7,2 U/min Trommeldrehzahl war die Verdampfungsleistung um 3,2 % geringer; ein erheblicher Einfluß der Drehzahl auf die Verdampfungsleistung ist also nicht vorhanden.

Auch die Röhrentrocknung konnte mit „Glückauf“-Kohle 0–30 mm in dem Trockenrohr anstandslos durchgeführt werden. Stündlich wurden dem Rohr 25,3 kg Rohkohle aufgegeben, was am Rohranfang einer Füllung von 20 % entspricht. Die spezifische Verdampfungsleistung bei einem Versuch von 5 std 20 min Dauer betrug 5,2 kg/m³h, bei einem Heizdampfdruck von 3 atü. Das Feinkorn wurde im Mittel auf 13,5 %, das Grobkorn auf 35,8 % Wassergehalt getrocknet. Die Trockenkohlentemperatur war mit 80° C nur unwesentlich höher als bei der Trommeltrocknung.

Der Staubanfall, bezogen auf die insgesamt ausgebrachte Trockenkohle, betrug bei der Trommeltrocknung 6,6 %, bei der Röhrentrocknung 2,4 %, er war

also gering, die Feinheit des Staubes groß, wie Bild 2 zeigt. Nur 13,6 bzw. 8,2 % waren größer als 60 µ. Jedoch wird vor allem bei großen Trommeltrocknern infolge der höheren Feuergasgeschwindigkeit mehr und damit gröberer Staub anfallen.

Kornzerfall bei der Trocknung

Für die Erzeugung von Trockennüssen interessiert nun ganz besonders, wieviel des eingesetzten Grobkorns nach der Trocknung als Grobkorn wieder ausgetragen wird.

Nach der Dämpfung von Kohle mit über 30 mm Korngröße fielen bei Kleinleipischer Kohle etwa 1 % unter 10 mm an, bei Großkaynaer Kohle etwa 4 %.

Die Körnungskennlinie der bei der Trommeltrocknung eingesetzten Kohle bringt Bild 3. Der Körnungssprung zwischen 6 und 10 mm ist dabei durch den Übergang von Rundloch- zu Quadratmaschensieben begründet. Die eingesetzte Kohle „Glückauf“ hatte also nach sehr schonender Zerkleinerung 54 % Korn < 6 mm. Zur Feststellung des Kornzerfalls bei der Trocknung muß nun die Siebanalyse der Trockenkohle auf wasserfreie Kohle umgerechnet werden, weil sonst die größten Körnungen infolge ihres hohen Wassergehaltes, nämlich bis zu 45 %, gegenüber den feinsten Körnungen mit 10 bis 12 % H₂O überbewertet würden. Dies ist in dem Bild geschehen. Man sieht, daß vor der Trocknung 54 % der Kohlesubstanz in Körnern < 6 mm vorhanden war, nach der Trocknung aber 61 %. Die Erhöhung des Feinkornanteils ist also nicht groß. Bei der Röhrentrocknung waren die Ergebnisse ähnlich, der Feinkornanteil stieg von 52,2 % auf 59,1 % (Bild 4). Dieser verhältnismäßig geringe Kornzerfall ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß das Grobkorn relativ wenig getrocknet wird und sowohl beim Trommeltrockner als auch beim Röhrentrockner durch Einbetten in das Feinkorn immer wieder Ruhepausen

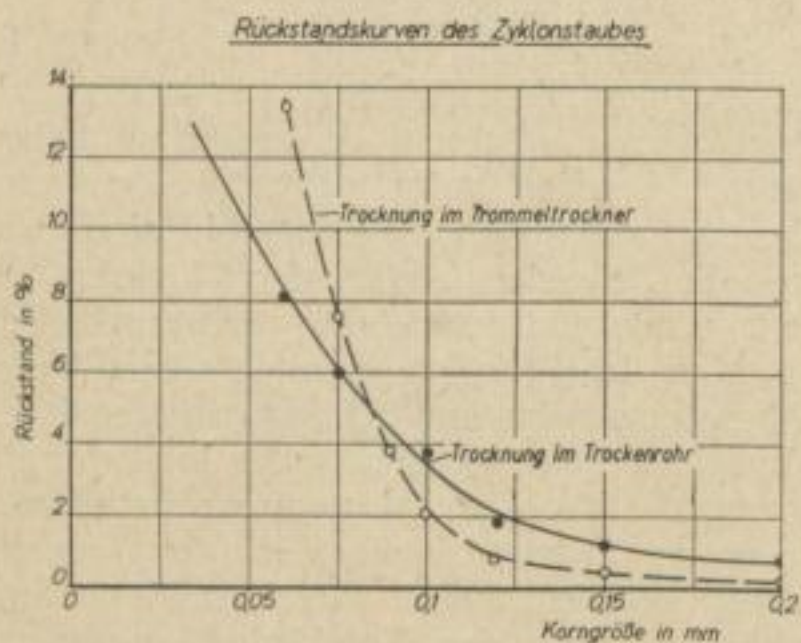


Bild 2. Rückstandskurven des Zyklonstaubes

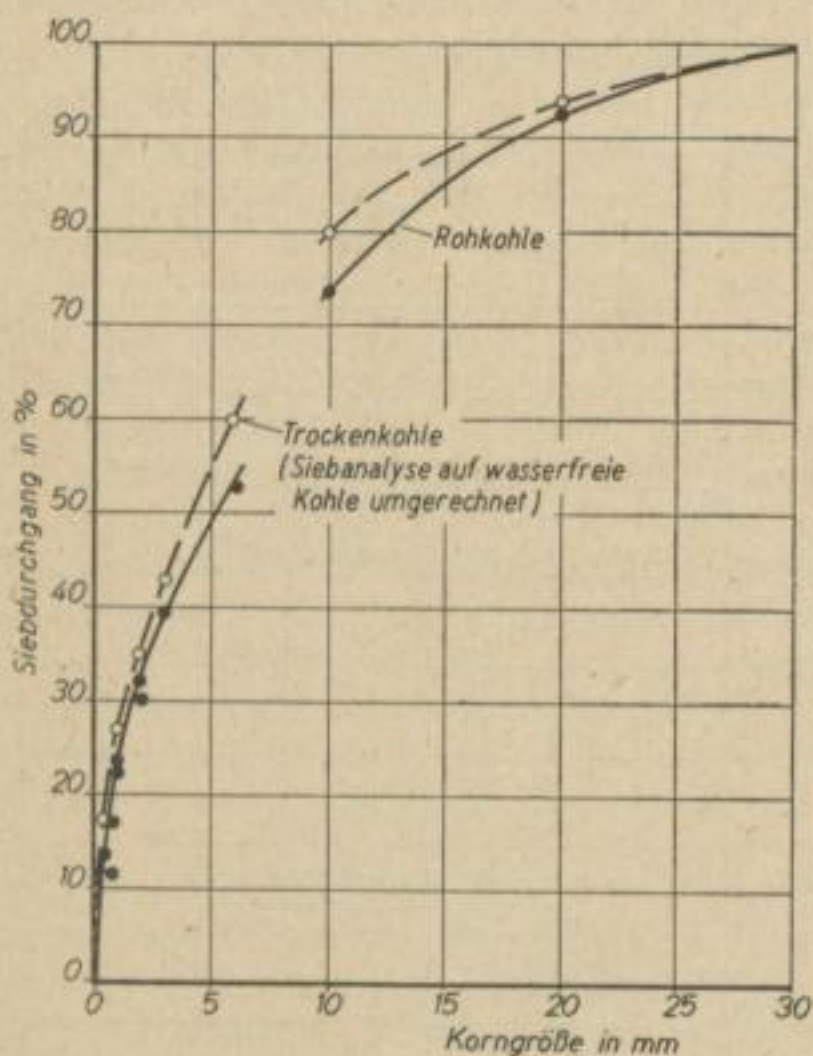


Bild 3. Körnungskennlinien
Trocknung im Trommeltrockner
≤ 6 mm Rundlochsiebe
> 6 mm Quadratmaschensiebe

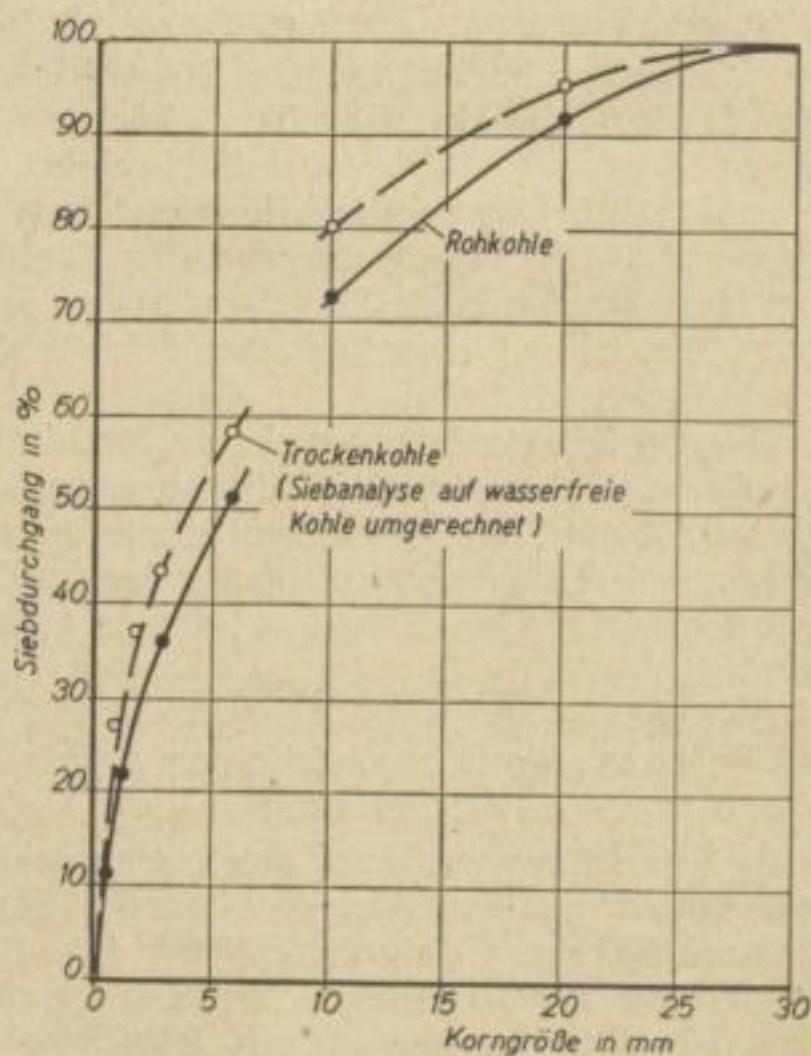


Bild 4. Körnungskennlinien
Trocknung im Trockenrohr
≤ 6 mm Rundlochsiebe
> 6 mm Quadratmaschensiebe

erhält, während denen die auf die Oberfläche übergegangene Wärme ins Korninnere weitergeleitet werden kann. Dadurch wird das Auftreten von großen Temperaturdifferenzen im Korn vermieden.

In Bild 5 ist der Feinkorngehalt der Kohle vor und nach den verschiedenen Trocknungen aufgezeichnet, zum Vergleich auch die von JILEK [2] mit böhmischer Braunkohle gefundenen Werte. JILEK hatte festgestellt, daß im Röhrentrockner am wenigsten Feinkorn neu erzeugt wird. Ein günstiges Ergebnis lieferte auch die Trocknung im Lurgi-Spülgastrockner, ungünstiger arbeiteten der Turbinen- und der Trommeltrockner. Unsere Ergebnisse mit dem Röhrentrockner waren ähnlich, aber auch der Trommeltrockner arbeitete gut. In der Diskrepanz zu den Ergebnissen JILEKs kommt offenbar der unterschiedliche Trocknungsgrad zum Ausdruck: Bei den böhmischen

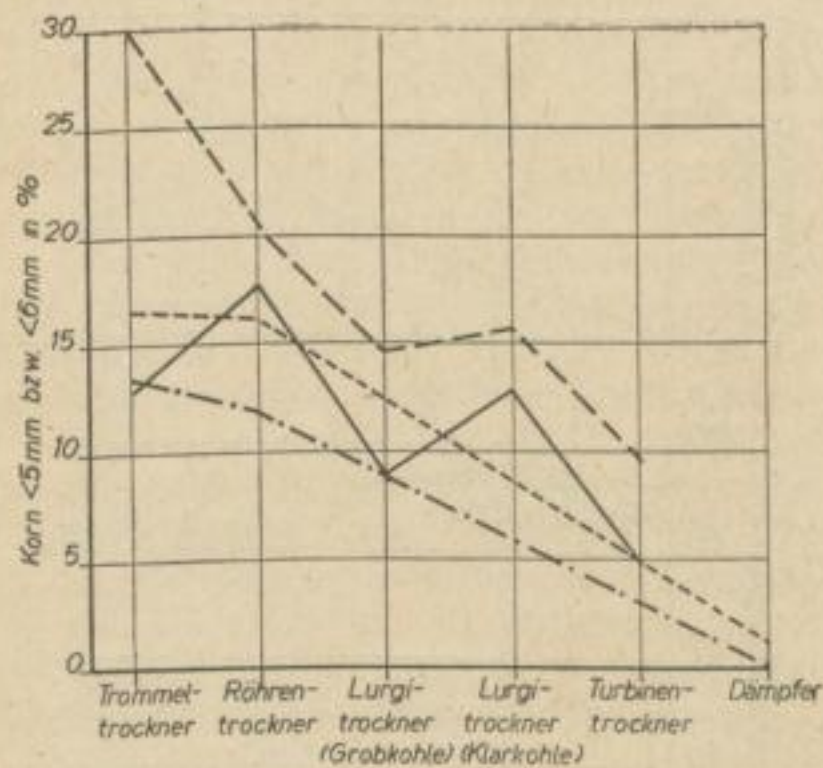


Bild 5. Feinkornanfall beim Trocknen
Böhmische Braunkohle

Korn < 5 mm vor dem Trocknen —————
Korn < 5 mm nach dem Trocknen - - - - -
Niederlausitzer Braunkohle
Korn < 6 mm vor dem Trocknen ······
Korn < 6 mm nach dem Trocknen - · - · -

Kohlen 10% Trockenkohlenwassergehalt, bei uns 35% H₂O im Grobkorn. Den weitaus geringsten Feinkornanfall ergab die Druckdämpfung.

Für Rostfeuerungen interessiert vor allem, wieviel Kohle mit über 10 mm Korngröße erhalten wird. Bei der Dämpfung ist dies die überwiegende Menge, bei Trommeltrocknung waren 27% der Rohkohle > 10 mm und 25% der Trockenkohle bzw. 20% auf wasserfreie Kohle bezogen, also auch ein verhältnismäßig günstiges Ergebnis.

Wassergehalt von Grob- und Feinkorn

Bei der Druckdämpfung traten keine Wassergehaltsspannen zwischen Grob- und Feinkorn auf. Dagegen sind sie bei der Trommel- und der Röhrentrocknung beträchtlich. Wir haben das schon in Bild 1 gesehen, wo einem Feinkornwassergehalt von durchschnittlich 13,4% ein solcher des Grobkorns von 35% gegenüberstand. Grundsätzlich muß aber nun gefordert werden, daß das Feinkorn noch gut brikettierbar ist, das Grobkorn aber im Hinblick auf die Verfeuerung, besonders bei Staubfeuerungen mit Staubmühlen, möglichst 30% Wasser hat. Die Versuche zeigten nun, daß der Grobkornwassergehalt im gleichen Maße sinkt

wie der Feinkornwassergehalt (Bild 6). (Die Streuung der Meßwerte ist damit zu erklären, daß es schwierig war, von der Grobkohle mit ihrer hohen Wassergehaltsspanne von etwa 25% gute Durchschnittsproben zu nehmen.) Durch Übergang zu einer kleineren Trommeldrehzahl konnte jedoch die Wassergehaltsspanne zwischen Grob- und Feinkorn verringert werden. Senkt man den Feinkornwassergehalt noch unter 13% ab, etwa auf 12%, so sinkt der Grobkornwassergehalt schneller, nämlich um etwa 2%. Wenn Wassergehalte im Grobkorn 6–30 mm zwischen 30 und 35% gehalten werden sollen, liegt der Wassergehalt des Feinkorns 0–6 mm zwischen 11 und 13%. Wie sich nun eine andere Kornverteilung auf die Beziehungen zwischen Grobkorn- und Feinkornwassergehalt auswirkt, ist noch nicht untersucht worden. Bei Röhrentrocknung ergaben sich etwa die-

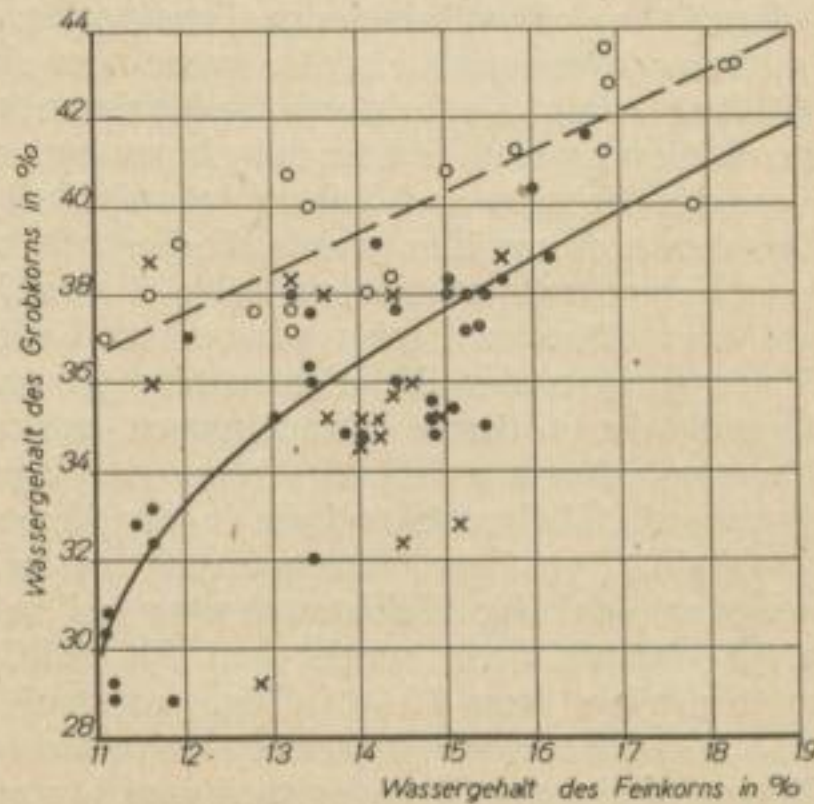


Bild 6.

Abhängigkeit des Grobkornwassergehalts (6–30 mm)
vom Feinkornwassergehalt (0–6 mm)
● — Trommeltrocknung 4,6 U/min
○ — Trommeltrocknung 7,2 U/min
× — Röhrentrocknung 3 atü Dampfdruck

selben Verhältnisse wie bei der Trommeltrocknung mit 4,6 U/min. Die Kreuze in Bild 6 deuten dies an.

Hiernach muß mit der Erzeugung von Nußtrockenkohle entweder die Produktion von Briketts mit einem Wassergehalt um 12%, also z. B. von Generatorbriketts, gekuppelt, oder die Brikettierkohle 0–6 mm muß wieder um einige Prozente aufgefuechtet werden, wozu man z. B. die entsprechend eingedickte Schlammtrübe des Naßteiles der Entstaubung nach dem Verfahren von ANDERSCH benutzen kann. Ein dritter Weg bestünde darin, die Trocknung nur so weit zu treiben, daß das Feinkorn den für Markt briketts üblichen Wassergehalt von z. B. 16–17% hat, dann die Klassierung in 0–6 und 6–30 mm vorzunehmen und hierauf den Anteil 6–30 mm in einer zweiten Trommel nachzutrocknen — eine Lösung, die allerdings die Herstellungskosten der Versandtrockenkohle erhöht.

Überdies ist anzunehmen, daß in einem großen Betriebstrockner infolge der viel höheren Feuergeschwindigkeit durch die erhöhte Sichtwirkung die Wassergehaltsspanne zwischen Grob- und Feinkorn geringer als in unserer Versuchstrommel wird. Unsere Versuchstrommel hat keine Stauvorrichtung. Vielleicht

könnte man ohne Über-
trocknung des Feinkorns
den Wassergehalt des Grob-
korns heruntersetzen, wenn
man eine Stauvorrichtung
aus gelochtem Blech am
Trommelende einbauen
würde, derart, daß sie zwar
dem Feinkorn ungehinder-
ten Durchgang gewährt,
aber das Grobkorn anstaut.

Lagerfähigkeit der Trockenkohle

Wenn Trockenkohle unter 35 % Wassergehalt in Staubfeuerungen verbrannt werden soll, so kommt es nicht darauf an, ob während des Transportes oder der Lagerung Kornzerfall eintritt, wenn nur keine Staubbildung erfolgt. Jedoch soll die Kohle auch bei feuchter Witterung kein Wasser aufnehmen und möglichst geringe Neigung zur Selbstentzündlichkeit zeigen. Um dies nachzuprüfen, wurde die Versuchskohle von zwei Versuchen, jeweils etwa 1,3 t, in zwei Haufen von 1 m Höhe im Freien gelagert und täglich die Temperatur an der Stelle gemessen, wo erfahrungsgemäß die höchsten Temperaturen auftreten, nämlich etwa 50 cm unter der Spitze der Haufen. Bild 7 zeigt die Meßwerte und die in der Versuchsperiode täglich gefallene Regenmenge. Am ersten Lagerungstag sank die Kohletemperatur bei beiden Versuchen ab, um dann wieder auf 70–80° C zu steigen. Sie blieb dann 10–14 Tage konstant, um dann, nachdem die Kohle hinreichend oxydiert war, endgültig abzusinken. Schwelerscheinungen wurden nicht festgestellt. Ein Einfluß des Wetters war ebenfalls nicht feststellbar. Der Wassergehalt der Kohle sank während der Versuchsperiode von 35 auf 26 %. Wenn hier auch keine Schwierigkeiten bei der Lagerung auftraten, so legt es doch die anfänglich starke Temperaturerhöhung nahe, eine Kühlung der Trockenkohle, etwa durch eine Kühltrommel oder mindestens durch lange Bandstraßen, zu erwägen.

Von Trockenknorpeln, die auf Rosten verheizt werden sollen, wird verlangt, daß sie nach der Trocknung hart sind und Transport und Lagerung ohne großen Zerfall überstehen. Wurde gedämpfte Kohle von 20 bis 30 mm Korngröße in der BFI-Trommel auf Abriebfestigkeit untersucht, so betrug nach 4 min Trommelung der Rückstand > 10 mm noch 87 % bei Großkaynaer und 92 % bei Kleinleipischer Kohle. Noch nach 4 Wochen Lagerung in dünner Schicht im Freien bei regnerischem Herbstwetter hatte die gedämpfte Kleinleipischer Kohle 81,6 % Abriebfestigkeit. Auch der Wassergehalt war trotz des schlechten Wetters niedriger als unmittelbar nach der Dämpfung. Es zeigte sich jedenfalls, daß sowohl Großkaynaer als auch Kleinleipischer Kohle sehr gutes Lagerverhalten aufwies, wenn bei 15 atü oder höherem Druck gedämpft wurde.

Auch die im Trommeltrockner getrocknete Kohle „Glückauf“ wies mit 91,7 % Abriebfestigkeit, 96 % Rückstand > 10 mm nach dreimaligem Stürzen aus 2 m Höhe gute Festigkeiten auf. Bild 8 zeigt jedoch, daß die Lagerfestigkeit schlechter ist als bei gedämpfter Kohle. In dünner Schicht gelagerte Kohle zerfällt schnell und zeigt nur geringe Abrieb- und

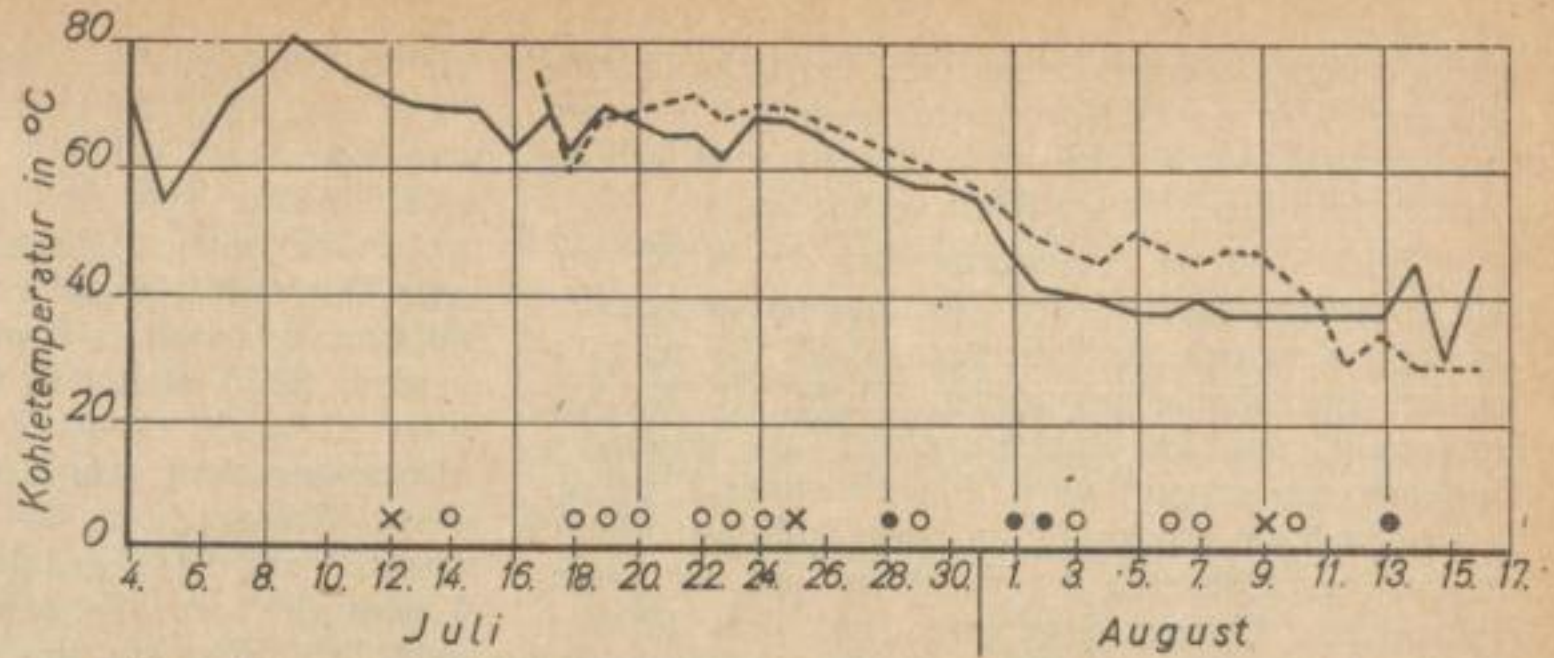


Bild 7. Temperatur getrockneter Kohle 0–30 mm bei Lagerung im Freien

- Regen 0–3 mm/Tag
- Regen 3–8 mm/Tag
- × Regen > 8 mm/Tag

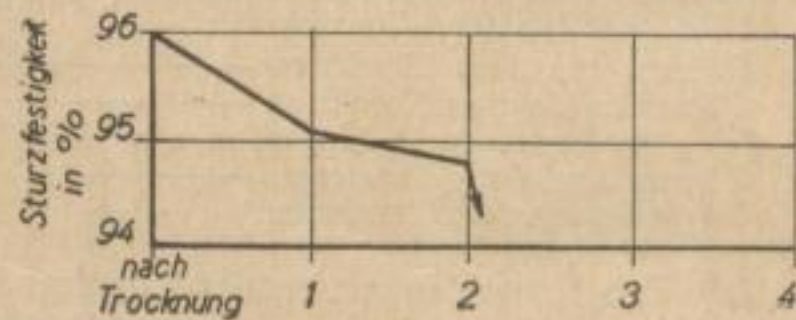
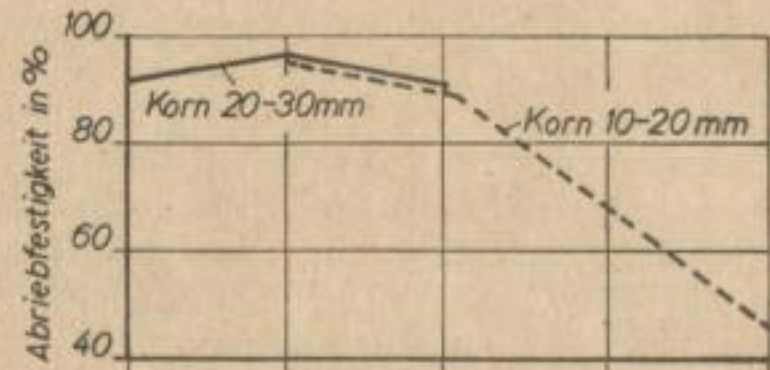
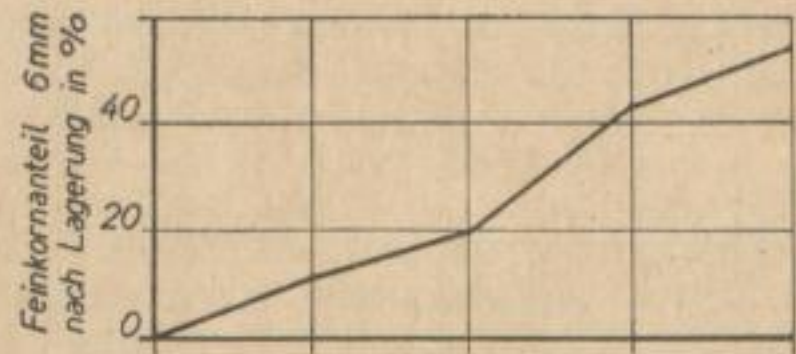


Bild 8.

Lagerungsverhalten von Braunkohlentrockennüssen Kohle „Glückauf“

- 1) 21 Tage in Halle gelagert
- 2) 21 Tage im Freien gelagert
- 3) 14 Tage im Freien in dünner Schicht gelagert
- 4) 14 Tage täglich mit Wasser berieselt

Sturzfestigkeit, besonders bei feuchtem Wetter. Dagegen zeigte Kohle, die in größeren Haufen im Freien gelagert wurde, auch bei feuchter Witterung nur einen kleinen Festigkeitsabfall. Nach drei Wochen betragen die Abriebfestigkeit noch 91,4 %, die Sturzfestigkeit fast 95 %. Bei Lagerung in der Halle waren die Festigkeiten noch besser. Auch die Feinkornzunahme bei der Lagerung in Haufen hielt sich mit 12 % in der Halle und 21 % im Freien in erträglichen Grenzen. Der Wassergehalt der Kohle sank von 37 % beim Auslegen auf 30 % nach 21 Tagen bei Lagerung in der Halle und auf 26 % bei Lagerung im Freien. Die Kohle, die in dünner Schicht ausgelegt und täglich mit Wasser berieselt worden war, hatte nur 28 % Wassergehalt, nachdem ihre Oberfläche abgetrocknet war.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß weder gedämpfte noch trommelgetrocknete Kohle bei der Lagerung Wasser aufnimmt, wenn sie nicht gerade im Wasser liegt. Gedämpfte Kohle ist auch im Freien in dünner Schicht gut lagerfähig, trommelgetrocknete Kohle nur in Haufen. Beide Kohlenarten sind gut transportfähig hinsichtlich ihrer Festigkeit, sie sollten jedoch vor dem Versand tunlichst gekühlt und belüftet werden.

Verwertbarkeit der Trockennüsse

Die im Trommeltrockner getrocknete Grobkohle wird in der Hauptsache in Mahltrocknungs-Einblasefeuerungen, wie der Krämer-Mühlenfeuerung, oder in Staubfeuerungen mit Zentralmahlanlagen verwendet, wobei im letzteren Fall die erforderliche restliche Trocknung entweder in den Mühlen oder in ihnen vorgeschalteten Trocknern erfolgt. Sowohl in bezug auf den Korngrößenbereich wie auch den Wassergehalt ist sie für diese Einsatzgebiete geeignet. Wander- und Planrostfeuerungen wird man, soweit möglich, mit Briketts versorgen. Sollte Versandtrockenkohle auch auf Rosten verfeuert werden müssen, so besteht bei handbeschickten Planrosten die Gefahr, daß beim Aufwerfen Aufflammungen durch den sich unvermeidlich bildenden Abrieb eintreten. In mit Wurfapparaten ausgerüsteten Planrostfeuerungen dürfte sich hingegen die Grobkohle, deren Kornzusammensetzung einem Gemisch Nuß III-V der Steinkohlenklassierung entspricht, gut verheizen lassen. Für den Wanderrost könnte unter Umständen der Wassergehalt mit 30—35 % schon etwas hoch sein, was zu besonderen Maßnahmen, wie Absperrern der ersten Zonen beim Zonenwanderrost oder Einbau von Bessterschen Vorrosten, nötigen könnte, um die Zündung, vor allem aber die Durchzündung der Schicht, zu begünstigen. Eine engere Klassierung — etwa in 18—30 mm (Nuß III), 10—18 mm (Nuß IV) und 6—10 mm (Nuß V) — dürfte vermeidbar sein.

Für Rostfeuerungen, insbesondere einfache kleine Planroste, und überall da, wo eine gute Lagerfähigkeit der Kohle gefordert wird, wären jedoch die durch Druckdämpfung erzeugten Nüsse der geeigneteren Brennstoff, hergestellt aus Knorpelkohlen, wie die schwer brikettierbaren Bankkohlen des Geiseltales, oder Salzkohlen, die zum Zwecke der Entsalzung nach dem LISSNERschen Verfahren [5] ohnehin gedämpft werden müssen. Sie wären auch dort vorzuziehen, wo die Kohle im Freien lagern muß, Briketts aber nicht zur Verfügung stehen.

Verwertbarkeit der anfallenden Feinkohle

Entgegen der bisherigen Meinung, daß Druckdämpfung die Brikettierbarkeit der Kohle stets verschlechtert, konnten wir feststellen, daß dies nicht immer der Fall ist. Bei Kleinleipischer Kohle war eine Abnahme der Brikettierbarkeit nach der Dämpfung zu verzeichnen. Die Festigkeit der Briketts war jedoch auch in den ungünstigsten Fällen noch als gut anzusprechen. Die Festigkeit von Briketts aus Großkaynaer Kohle wurde jedoch durch die Druckdämpfung der Brikettierkohle ganz erheblich verbessert, so daß sie schließlich die der besten Kleinleipischer Briketts übertraf. Man wird also die bei der Dämpfung anfallende Feinkohle wahrscheinlich ohne Schwierigkeiten brikettieren können.

Im Trommeltrockner getrocknete Kohle ist ebenfalls ohne Schwierigkeiten brikettierbar. Der niedrige Feinkornwassergehalt von 11—12 %, auf den man heruntergehen muß, um den Wassergehalt der Grobkohle unter 35 % zu halten, muß bei der Verpressung durch Erhöhung des Preßdrucks kompensiert werden.

Die Wasserbeständigkeit der Briketts aus „Glückauf“-Kohle war auch bei niedrigen Brikettierwassergehalten noch gut. Sie wiesen auch nach 72 Stunden Wässerung noch 15—30 kg/cm² Druckfestigkeit auf.

Leistungen bei der Erzeugung von Trockennüssen

Nun noch einiges zur Größe und Leistung der Aggregate.

Bei Einsatz von Kohle 0—30 mm in einer der untersuchten „Glückauf“-Kohle entsprechenden Körnung könnte ein Trommeltrockner von 3 m Durchmesser und 15 m Länge, also 106 m³ Rauminhalt, bei Zugrundelegung von 220 kg/m³ spezifischer Verdampfungsleistung täglich 890 t Trockenkohle erzeugen, davon 400 t Grobkohle > 6 mm (Bild 9). Röhrentrockner werden zu diesem Zweck wegen ihres höheren Materialbedarfes kaum in Frage kommen. Vergleichsweise sei aber angegeben, daß ein Röhrentrockner mit 2200 m² Heizfläche täglich 410 t Trockenkohle erzeugen könnte, davon 190 t Grobkohle > 6 mm, der Rest Brikettierkohle. Eine Batterie Fleißner-Trockner mit insgesamt 106 m³ Rauminhalt könnte dagegen 244 t Trockennüsse > 20 mm oder bei geeigneten Kohlen > 40 mm täglich erzeugen, wenn eine Dämpfung mit Füllen und Entleeren der Druckgefäße 4 Std. dauert. Da die Dämpfung an sich nur etwa die Hälfte dieser Zeit in Anspruch nimmt, könnte die Leistung erheblich gesteigert werden, wenn durch technische Verbesserungen der Zeitbedarf für die Nebenarbeiten gesenkt würde.

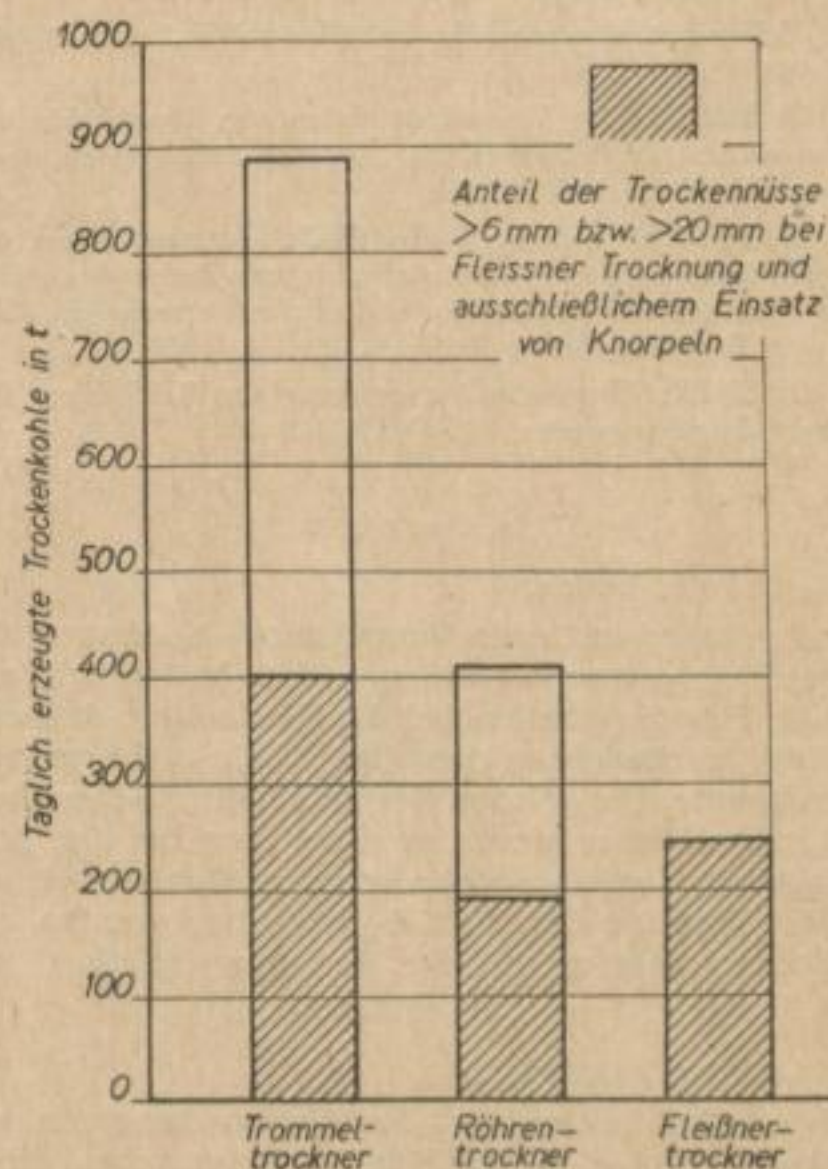


Bild 9. Tagesleistung von Trocknern bei Trocknung auf 25 % Durchschnittswassergehalt

Der Verbraucher hätte neben dem Vorteil des niedrigeren Wärmepreises der Trockennüsse noch den der höheren Leistung und des besseren Wirkungsgrades der Feuerungen. Der für die Volkswirtschaft entstehende Nutzen ist ebenfalls hoch. Wir brauchen nicht mehr Eisenbahnfrachtraum dazu benutzen, um mit 20 t Rohkohle in einem Wagen rund 10 t Wasser spazieren zu fahren; 20 t Trockennüsse enthalten nur noch etwa 6 t Wasser, ihr Wärmeinhalt ist aber fast doppelt so hoch wie der von 20 t Rohkohle. Unser Güterwagen- und vor allem auch Lokomotivpark würde dadurch fühlbar entlastet.

Zusammenfassung

Es wurde über Versuche berichtet, durch Druckdämpfung oder Feuergastrommeltrocknung eine Nußkohle von etwa 30 % Wassergehalt zu erzeugen.

Es ergab sich, daß Druckdämpfung vor allem bei harten, schlecht brikettierbaren Kohlen anwendbar ist, wenn relativ grobe, feste Nüsse für Planroste erzeugt werden sollen. Druckgedämpfte Kohle ist verhältnismäßig wetterfest.

Trommelgetrocknete Nüsse eignen sich vor allem für Staubfeuerungen, erst in zweiter Linie für Wanderroste. Ihre Wetterfestigkeit ist geringer, aber immer noch ausreichend.

Bei unserer gegenwärtigen Lage in bezug auf Brennstoffe erhöhten Heizwertes für die Verfrachtung über weitere Entfernung und angesichts der Notwendigkeit, Steinkohle in beträchtlichem Umfange durch Braunkohlenbrennstoffe ersetzen zu müssen, ist die Erstellung der geplanten und schon im Bau befindlichen Trockenkohleerzeugungsanlagen mit Feuergastrommeltrocknern als eine volkswirtschaftlich vertretbare Lösung anzusehen.

Literaturverzeichnis

- [1] E. RAMMLER: Transportversuche mit Trockenbraunkohle. Braunkohle 27 (1928) S. 1117—1130, 1147—1152.
- [2] J. JILEK: Sušeni mosteckého hnědého uhli Paliva 5—6 (1950), S. 109.
- [3] B. G. SIMEK: Die Volumkontraktion von Braunkohle beim Austrocknen. Mitteilungen des Kohlenforschungsinstitutes in Prag. Band 2 (1935) S. 254.
- [4] E. RAMMLER und F. BAUNACK: Untersuchungen über Druckdämpfung von Weichbraunkohle und deren Auswirkung auf Trockenguteigenschaften und Brikettverhalten. Freiburger Forschungshefte, Reihe A. Heft 6 (1952) S. 11.
- [5] A. LISSNER: Chemische Aufbereitung von Salzkohlen. Freiburger Forschungshefte, H. 1 (1951) S. 88.

— 413 —

Diskussion

Ing. Leitlof, Leuna:

Seinerzeit sind in Leuna Versuche mit Kohle von 30 % Wassergehalt gemacht worden, dabei hatten wir aber derartige Schwierigkeiten bei der Verladung, daß ohne erhebliche Veränderung derartige Kohle nicht verladen werden konnte. Die offenen Gummibänder müßten durch geschlossene Redler ersetzt werden, denn bei den jetzigen Fallstufen ergeben sich derartige Staubauswirkungen, daß diese für den Betrieb gefährlich werden können. Ebenso steht es mit der Verladung in die Güterwagen.

Dr. Stimmel, Dresden:

Es ist zu befürchten, daß bei Verwendung von vortrockneter Kohle in den Kraftwerksbetrieben erhebliche Staubbelastung auftreten wird. Schon jetzt ergeben sich große Schwierigkeiten bei der Bunkerung

und Förderung von Brikettabrieb. Bei Trockenkohle werden sich diese Anstände noch vergrößern. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Explosionsgefahr hinzuweisen. Hier besteht je nach dem Ursprung der betreffenden Trockenkohle eine mehr oder weniger große Explosionsgefährdung, die vor Verwendung des Brennstoffes jeweils sorgfältig überprüft werden muß.

Beim Bau von neuen Kraftwerkanlagen, die mit vortrockneter Braunkohle arbeiten sollen, kann selbstverständlich von vornherein diesen Schwierigkeiten begegnet werden, indem die Bunkerung und Förderung bei völligem Staubabschluß erfolgt. Die Schwierigkeiten werden aber im großen Umfange dort auftreten, wo in bereits bestehenden Anlagen mit vortrockneter Braunkohle gearbeitet werden soll.

Es wird die Anregung gegeben, versuchsmäßig festzustellen, ob durch Abriebeinrichtungen, die im Anschluß an die Trocknung vorzusehen wären, eine wesentliche Beeinträchtigung der Staubbelastung erzielt werden kann. Zweifellos entsteht die größte Menge des Staubes durch Abrieb aus der übertrockneten Grenzschicht der Kohlestückchen. Wenn diese Grenzschicht mechanisch abgetragen werden könnte, wäre zweifellos eine Milderung der beim späteren Umschlag entstehenden Staubentwicklung zu erreichen.

Dr. Haase, Berlin:

Wir haben bei unseren Projekten selbstverständlich sowohl der Kühlung als auch dem Staubanfall beim Abwerfen von einem Transportmittel auf das andere Rechnung getragen. Es liegen Erfahrungen von Grotzsch zu Grunde, wo wir Kohle in Korngröße 0—10 mm auf 21 % Wassergehalt heruntertrockneten und dann über eine 200 m lange Bandstraße führten. Die Bandstraße gibt ab auf eine Schrägbandstraße. Dort haben wir außerordentliche Staubaufwirbelungen gehabt. Die erste Entstaubungsanlage reichte nicht aus, um den Staub zu beseitigen. Bei einer neuen Entstaubungsanlage ist es jedoch gelungen, den Staub wegzubekommen. Wir haben bei unseren neuen Projekten zunächst einen Transport mit Kettenförderern vorgesehen, an die sich zur Kühlung möglichst lange Transportbandstraßen anschließen. Die Verladung geschieht mit Hilfe von Teleskoprohren, die bis auf den Boden des Waggons reichen.

Dr. Teufer, Oberröblingen:

Herr Baunack hat berichtet, daß in Großkayna aus druckgedämpfter Kohle Briketts hergestellt worden sind, die eine erheblich höhere Festigkeit hatten als normale Briketts. Ich möchte in diesem Zusammenhang daran erinnern, daß in Großkayna s. Z. zwei Versuche gemacht worden sind, Trockenkohle mit 2—4 atü Druck zu dämpfen mit dem Ziele, die Wetterfestigkeit der Briketts zu verbessern. Die Festigkeit der Briketts ist meiner Erinnerung nach damals nicht höher gewesen. Es wäre interessant zu erfahren, ob bei der großen Erhöhung der Druckfestigkeit bei den jetzigen Vorversuchen auch die Wetterbeständigkeit entsprechend gewachsen ist.

Dipl.-Ing. Baunack, Freiberg:

Wir haben bei der Verpressung druckgedämpfter Großkaynaer Braunkohle tatsächlich überraschend hohe Festigkeiten erzielt. Auch die Wetterbeständigkeit ist erheblich gestiegen. Wir haben das in dem Aufsatz Rammler-Baunack, „Einige Untersuchungen über Druckdämpfung von Weichbraunkohle und deren Auswirkung auf Trockenguteigenschaften und Brikettverhalten“ in den „Freiburger Forschungsheften“ Reihe A, Heft 6 (Okt. 1952), S. 29—48, eingehend beschrieben.

In Großkayna ist seinerzeit von Bube die Kohle zuerst getrocknet und dann gedämpft worden. Die Folge waren sehr schlechte Briketts. Auch wir haben die Bri-

kettierkohle versuchsweise in dieser Reihenfolge behandelt: erst trocknen, dann dämpfen und brikettieren. Das Ergebnis waren glanzlose, poröse Briketts mit geringer Festigkeit. Um feste und wetterbeständige Briketts zu erzeugen, muß man eben zuerst dämpfen, dann nach-trocknen und brikettieren.

Prof. Dr.-Ing. R a m m l e r , Freiberg:

Der Fragenkomplex der Verladung, des Entladens, der Förderung und Bunkerung der Trockenkohle, der von den Herren Leitlof und Dr. Stim mel angeschnitten worden ist, wird uns zweifellos noch manche Nüsse zu knacken geben. Ich habe mich diesbezüglich schon einmal eingehend mit Dipl.-Ing. W i e s e n a c k von der Bewag, Kraftwerk Klingenberg, Berlin, unterhalten. Diese Fragen müssen sehr sorgfältig studiert werden, vor allem auch vom sicherheitlichen Standpunkt aus, den Dr. Stim mel mit Recht besonders betont hat.

In diesem Zusammenhang möchte ich darauf hinweisen, daß eine Anlage zur Herstellung von Versand-trockenkohle schon um das Jahr 1933 in der Tschecho-

slowakischen Republik, und zwar auf dem Thomas-Schacht in Ratiskovice (Mähren), der der Schuhfabrik Bata in Zlin gehörte, erstellt worden ist. Ich habe seinerzeit bei der Errichtung dieser Anlage als Berater mit-gewirkt. In Ratiskovice wurden von der Firma Wiesner, Chrudim, zwei Feuergastrommeltrockner erstellt. Die Trockenkohle, etwa in der Körnung 0—20 mm, wurde zunächst durch Bänder in die Verladebunker gefördert. Später hat man die Bänder wegen der zu starken Ver-staubung der in einem Gebäude vereinigten Trocken- und Kesselanlage durch Kettenförderer ersetzt. Die aus einer xylitischen Braunkohle mit 48—50 % Wassergehalt hergestellte Trockenbraunkohle wurde in gewöhnlichen O-Wagen nach dem etwa 70 km entfernten Zlin trans-portiert. Die Waggonen wurden hier mittels Waggonkip-pers entladen. Die Staubentwicklung war dabei tragbar, zumal man die Entladung etwas abseits vom Kraftwerk vornahm. Es war aber von mir vorgeschlagen worden, die Kippstelle mit einer kleinen Entladehalle zu um-bauen und eine Raumentstaubung vorzusehen. Die Kohle wurde den Mühlen des Kraftwerks zugeführt.

Die
FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

bringen die

Vorträge des Berg- und Hüttenmännischen Tages 1952

in den folgenden Heften:

A 12 Bergbautechnik

A 13 Aufbereitung und Brikettierung der
Braunkohle

52 Seiten, 81 Bilder, 6 Tabellen

Preis DM 6,50

A 14 Chemische Kohleveredlung

44 Seiten, 42 Bilder, 9 Tabellen

Preis DM 6,—

B 3 Metallkunde

B 4 Metallhüttenwesen · Eisenhüttenwesen ·
Gießereiwesen

C 5 Geologie · Mineralogie

C 7 Geophysik und Markscheidewesen

Das Erscheinen der Hefte wird jeweils in der Zeitschrift „Bergakademie“ angekündigt

Akademie-Verlag · Berlin

Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. phil. Friedrich Leutwein. — Verantwortlicher Schriftleiter: Rolf W e n d l e r, Stellvertreter: Ernst-Günther B ö h m e, beide Freiberg (Sa.), Klubhaus der Bergakademie, August-Bebel-Str. 5, Fernruf: Freiberg 21 98. — Verlag: Akademie-Verlag GmbH, Berlin NW 7, Schiffbauerdamm 19 (Fernruf 42 55 71); Postscheckk. 350 21. Die Zeitschrift „Bergakademie“ erscheint monatlich, Bezugspreis: 1,— DM je Heft; dazu „Freiberger Forschungshefte“ in zwangloser Folge. Preis dieses Beiheftes: 6,50 DM. Bestell- und Verlags-Nr. dieses Heftes: 1026 B/A 13. Bestellungen sind an das zuständige Postamt oder eine Buchhandlung zu richten. — Satz und Druck: E. F. Keller's Witwe VOB, Stollberg (Sa.), August-Bebel-Straße 16 — III/6/50 1,5 253 (1508). Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 1224 des Amtes für Literatur und Verlagswesen der Deutschen Demokratischen Republik. Printed in Germany

Günter Seidler
Bücherei
Freiberg i. Sa.
Waldschmidtstr. 4

Bücherei
Bergakademie
Freiberg

