

**Die Separation von  
Feuerungsrückständen und  
ihre Wirtschaftlichkeit**  
einschließlich der Brikettierung  
und Schlackensteinherstellung

Von

**Dipl.-Ing. W. Engel**

Mit 30 Textabbildungen



**Berlin**  
Verlag von Julius Springer  
1925

ISBN-13:978-3-642-89654-5      e-ISBN-13:978-3-642-91511-6  
DOI: 10.1007/978-3-642-91511-6

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1925

## **Vorwort.**

Vorliegende Arbeit soll der Aufgabe gerecht werden, das Gebiet der Aufbereitung von Feuerungsrückständen einer wissenschaftlichen Betrachtung zu unterziehen, nachdem in der Zeitschriftenliteratur eine große Zahl von verstreuten Aufsätzen erschienen ist, die den genannten Gegenstand in keiner Weise objektiv würdigen. Die vergangenen Jahre der Brennstoffarmut haben für die Frage der Aufbereitung von Feuerungsrückständen einen raschen Aufschwung gebracht, der jetzt wieder im Abklingen ist. In Wirklichkeit stehen wir am Anfang einer Entwicklung. Diese Zusammenhänge sollen geklärt, ihr Anschluß an die übrigen Aufgaben einer rationellen Wärmewirtschaft gefunden werden. Ich möchte nicht verfehlen, an dieser Stelle den verschiedenen Maschinenfabriken für ihr Entgegenkommen bei der Beschaffung von Unterlagen, sowie den verschiedenen Wärmestellen für die Übermittlung von Versuchsergebnissen zu danken, wobei ich Herrn Oberingenieur Dr. Ing. e. h. O. Ullrich, Magdeburg, und Herrn Oberingenieur Richter, Kattowitz, hervorheben möchte. Besonders bin ich weiter noch Herrn cand. ing. K. Schimz verpflichtet, der mir bei der Materialbeschaffung und der Drucklegung des Manuskriptes behilflich war.

Berlin-Lichterfelde, im Februar 1925.

**Walther Engel.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung . . . . .	1
I. Die Verfahren zur Aufbereitung von Feuerungsrück- ständen . . . . .	4
1. Allgemeine Ausführungen und die Handsetzmaschine nach Pintsch, Bamag, Eitle u. a. . . . .	4
2. Das magnetische Verfahren nach Krupp . . . . .	7
3. Das Verfahren nach Schilde . . . . .	17
4. Das Verfahren nach Weber . . . . .	24
5. Das Setzverfahren nach Meguin, Humboldt, Gröppel-Rheinmetall u. a. . . . .	28
6. Das Verfahren nach Eukonomos . . . . .	34
7. Die Handauslese . . . . .	36
8. Neuere Verfahren nach Bifa, Ambi, Mitteldeutsche Apparatebau- Gesellschaft, Hessel, Eitle, Graue . . . . .	40
II. Die Ausgangs- und Endprodukte der Schlackenseparation und ihre Verwendung . . . . .	44
1. Die Feuerungsrückstände . . . . .	44
2. Das Brennstoffausbringen . . . . .	65
a) Verbrennung und Vergasung . . . . .	65
b) Brikettierung . . . . .	83
3. Das Schlackenausbringen . . . . .	90
a) Schlackensteinherstellung . . . . .	90
b) Der Regenerativschachtofen nach Didier . . . . .	105
III. Die Wirtschaftlichkeit einzelner Separationsanlagen und der Aufbereitung von Feuerungsrückständen allgemein	111
Schlußbetrachtung . . . . .	134

## Einleitung.

Unser Jahrhundert wird der Nachwelt gekennzeichnet sein durch den Raubbau an der Kohle, diesem Stoff, zu dessen Werden die Vegetation von Jahrtausenden hat niedersinken müssen, versumpfen und versteinen bis zur Geburt der Generation, die es verstand, aus ihr einen raschen, unerhörten Reichtum zu schaffen. Wer sich einmal klar darüber geworden ist, daß die Gesamtheit unserer Güter, aller Fortschritt, jede technische und kulturelle Errungenschaft letzten Endes aus dem scheinbar unversiegbaren Schatz dieser schwarzen Diamanten geschöpft ist, der erkennt mit Entsetzen das geringe Verdienst unserer eigenen Kraft gegenüber älteren Epochen am Rad der Entwicklung. Wer bedenkt, daß dieser von Ewigkeiten geschaffene Stoff nahezu wahllos in die Atmosphäre verpufft wird, um letzten Endes nur einen winzigen Anteil der in ihm akkumulierten Energie in Arbeit umzusetzen, erfaßt den Mangel des heutigen Systems an einer organischen Stoffwirtschaft.

Wenn auch grundsätzlich dieser anarchische Verbrauch unsere Wirtschaft in vollem Maße beherrscht, so machen sich doch geringe Ansätze bemerkbar, die als Vorläufer einer ökonomischen Denkweise gelten dürfen. Ihre Erhärtung und allgemeine Anwendung wird nur auf gesetzgeberischem Wege möglich sein. Nicht zuletzt hat in Deutschland die territoriale Abgeschlossenheit während des Weltkrieges neue Gedanken für die Lösung einer organischen Rohstoffverteilung gebracht. Die aus dem Kriege entstandenen Verträge, insbesondere die eingegangenen Verpflichtungen über die Kohlelieferungen sollten uns in weit höherem Maße dazu zwingen, die vorhandenen Rohstoffe und Kraftquellen auf das äußerste auszunutzen. Dieser Appell ist an die gesamte Welt zu richten, denn die durch den Weltkrieg gerissenen Lücken — tausend und abertausendmal sei es der Vernunft gesagt — sind nicht von einem einzigen Volk wiederaufzubauen. Das Ausmaß der erforderlichen Umstellung ist unerhört, die Interessen der Bewohner des ganzen Erdballs sind darin so miteinander verstrickt, daß nur die Gemeinsamkeit aller Staaten ihr den Weg bahnen kann.

Die Bewirtschaftung der Kohle steht dabei im Vordergrund. Die weitgehende Destillation der fossilen Kohlen, die Urteergewinnung, die Brennstoffvergasung, die Abwärmeverwertung sind Etappen auf diesem

Wege. Sie werden durch vorläufige Änderungen, wie die Verbesserung der Feuerungseinrichtungen, ergänzt, die in diesem Sinne als Übergangsmaßnahmen aufzufassen sind. Die weit in der Zukunft liegende endgültige Lösung wird Umstellungen in anderem Ausmaß erfordern und ist auch nur gemeinsam mit der Ausnutzung aller übrigen Kraftquellen denkbar.

Weit entfernt davon, in einem perspektivischen Blickpunkt dieser Verhältnisse zu stehen, richtet heute die Industrie ihr Hauptinteresse auf diese Verbesserung der bestehenden Feuerungseinrichtungen. Tiefer schürfende Änderungen durch vollständige Neuanlagen zu treffen, verbietet die Wirtschaftslage und die hohe Belastung der industriellen Unternehmungen. Unterwindfeuerung, automatische Rostbeschickung, Zugregelung, erhöhte Betriebskontrolle durch selbsttätige Anzeigevorrichtungen sind hier die Errungenschaften. Doch selbst diese Einrichtungen lassen noch Verlustquellen offen, abgesehen davon, daß aus Gründen schwieriger Kapitalbeschaffung oder falscher Sparsamkeit eine Unzahl von Feuerungen ältester Konstruktion in Anwendung sind. So ist es zu erklären, daß heute eine Reihe von Betrieben in der Lage sind, Anlagen für die Aufbereitung von Feuerungsrückständen wirtschaftlich zu betreiben, die aus den anfallenden Herdrückständen ihrer Dampfkessel und Generatoren Brennstoffe zur Wiederverfeuerung rückgewinnen.

Dieser Weg verzichtet bewußt darauf, die Verlustquelle des Verbrennlichen in den Rückständen bei der ursprünglichen Feuerung zuzuschütten. Eine Entgegnung in diesem Sinne ist gegenstandslos, nachdem erwiesen ist, daß Gaswerke, Eisenbahnen und verschiedene Industriefeuerungen zur Zeit Rückstände mit verbrennlichen Bestandteilen bis zu 40% und mehr austragen. Es bleibt dabei außer Zweifel, daß eine Feuerung mit anschließender Separation einer Feuerung mit erhöhtem Ausbrand wärmetechnisch unterlegen ist. Eine Entwicklung in dem Sinne wie im Eisenhüttenwesen, bei dem nach Aufkommen der Gichtgasverwendung durch die Gasmaschine der spezifische Koksverbrauch seine Bedeutung verlor, ist durch die reine Separation daher nicht zu erwarten. So bleibt bei dem heutigen Stande der Feuerungstechnik der Schlackenseparation ihr beschränkter Platz vorbehalten. An welchem Punkt die wirtschaftliche Grenze zwischen Ausbrand und Aufbereitung gezogen werden muß, ist noch eine andere Frage.

Marktschreierische Pressemitteilungen in den Tages- und Fachzeitungen übertreiben die durch Schlackenseparation erzielten Gewinne natürlich ins Unerreichbare. Doch ist die Aufbereitung von Feuerungsrückständen tatsächlich wirtschaftlich zu betreiben. Die Größenordnung dieser Zahlen in wärmewirtschaftlicher und finanzwirtschaftlicher Hinsicht zu ermitteln, ist Zweck vorliegender Arbeit.

Es soll untersucht werden, welchen Einfluß die Schlackenseparation auf die Wärmewirtschaft der einzelnen Anlage wie auf die Gesamtwärmewirtschaft des Landes ausübt, und welche Gewinne dabei erzielt werden können. Zu diesem Zweck müssen zunächst die einzelnen Verfahren, die für die Separation von Feuerungsrückständen bekannt geworden sind, und danach die Verwendungsmöglichkeiten der durch Separation erhaltenen Brennstoffe einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Es zeigt sich, daß auch die gereinigten Schlacken durch Veredlung zu verkaufsfähigen Produkten umgewandelt werden können. Der Verwertung dieser Abfallstoffe, die im Rahmen der oben gemachten Ausführungen von besonderem Interesse ist, wird daher auch ein Kapitel gewidmet.

# I. Die Verfahren zur Aufbereitung von Feuerungsrückständen.

## 1. Allgemeine Ausführungen und die Handsetzmaschine nach Pintsch, Eitle, Bamag u. a.

Die Beobachtung, daß viele Feuerungen, auch unter verhältnismäßig günstigen Umständen bezüglich der Beschaffenheit der verfeuerten Brennstoffe, der Feuerungen und der Betriebsverhältnisse eine noch lohnende Ausbeute von Brennstoffen aus ihren Rückständen aufwiesen, brachte schon frühzeitig die Maschinenindustrie dazu, maschinelle Einrichtungen zur Rückgewinnung von Brennstoffen aus Feuerungsrückständen zu konstruieren. Die ersten Maschinen auf diesem Gebiet, sogenannte Handsetzmaschinen, arbeiteten nach einem Naßverfahren, d. h. unter Verwendung einer Flüssigkeit. Doch war ihr Aufbau so primitiv, daß man mehr von einer Waschung des Materials, als von einer tatsächlichen Separation sprechen konnte. Wir finden jedoch in fachtechnischen Zeitschriften bereits des ersten Jahrzehntes Berichte und Veröffentlichungen von Betriebsergebnissen größerer Gasanstalten, die über den Erfolg derartiger Maschinen Mitteilung machen. Tatsächlich neue und patentfähige Gedanken für die Entwicklung der Schlackenseparationsmaschinen, die eine Durchführung der Separation im Großbetrieb ermöglichen, sind erst in den letzten Jahren gefunden worden, und zwar in einer verhältnismäßig großen Anzahl und von so verschiedenen Prinzipien ausgehend, daß es dem Unternehmer, der die Absicht faßt, seine Feuerungsrückstände zu separieren, schwer fallen muß, eine Auswahl unter den vielen Angeboten zu treffen.

Gleichartig für die gesamten Verfahren ist die Bauweise der Separationsanlage. Für diese Industriebauten — derartige eigene Gebäude kommen natürlich nur für Anlagen größerer Leistungen in Frage — ist die ausgesprochen vertikale Bauweise charakteristisch (Abb. 1, 2 u. 3). Dieser Anordnung liegt die Absicht zugrunde, möglichst lange Förderwege ohne Kraftaufwand auf Rutschen unter Ausnutzung der Schwerkraft des Fördergutes zurückzulegen. Überhaupt spielt die Lösung der Transportfrage besonders bei größeren Separationsanlagen eine hervorragende Rolle. Die Wichtigkeit dieser Frage wird erläutert durch



die Tatsache, daß von den gesamten Betriebsunkosten einer größeren Separationsanlage 50 ÷ 60 % auf die Unkosten für An- und Abtransport entfallen. Der Projektierende muß daher bei der Planung der Anlage den Transportmitteln ein besonderes Augenmerk schenken. Es gelangen die verschiedensten Förderelemente zur Anwendung. Innerhalb der Anlage werden Muldenkipper, Gurtförderer, Schüttelrinnen, Elevatoren, Schnecken, Pendelbecherwerke, Stahlbänder und Handhängebahnen benutzt. Außerhalb der Anlage werden Muldenkipper (Abb. 3 u. 9), von Hand und mit Dampfkraft angetrieben, Spezialwagen (Abb. 2 u. 10), Hand-

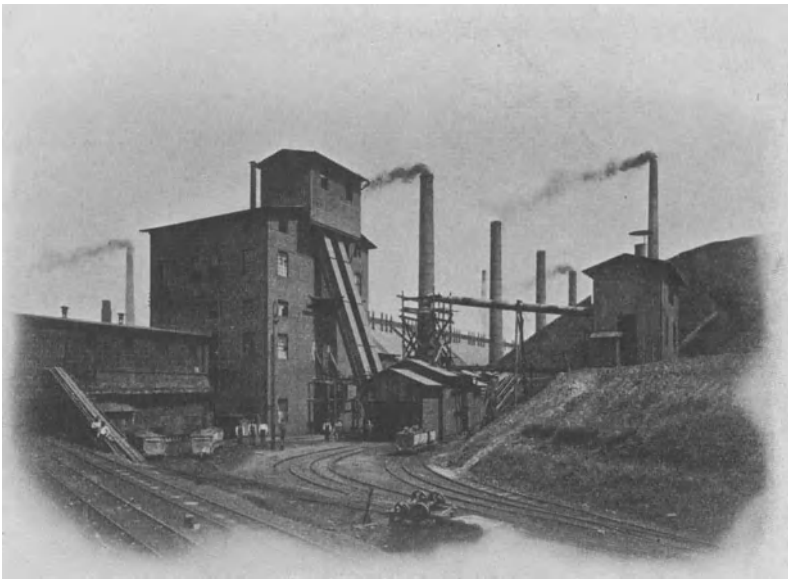


Abb. 1. Schlackenseparationsanlage (Ziegelsteinbau),  
(Gröppel-Rheinmetall).

und Elektrohängebahnen, Waggonkipper in Verbindung mit Pendelbecherwerken oder Elevatoren u. a. angewendet. Bei größeren Entfernungen erfolgt auch die Fortschaffung in Fuhrwerken oder Schiffen. Die geeignete Lösung kann nur für den einzelnen Fall und unter Berücksichtigung der besonderen Betriebsverhältnisse gefunden werden.

Bei der Bewertung der nachstehend beschriebenen Separationsverfahren werden einige Bezeichnungen wie der Separationsgrad, der Brennstoffgehalt, Verunreinigung von Brennstoff- und Schlackenausbringen u. a. benutzt, die einer exakten Definition bedürfen.

6 Die Verfahren zur Aufbereitung von Feuerungsrückständen.

Diese Definitionen werden in dem unten folgenden Abschnitt über die Feuerungsrückstände gegeben (s. S. 44 ff.).

Wenn nunmehr die Betrachtung der Separationsverfahren in ungefähr chronologischer Reihenfolge erfolgen soll, so ist als erstes Separationsverfahren — allerdings neben der weiter unten behandelten Handauslese

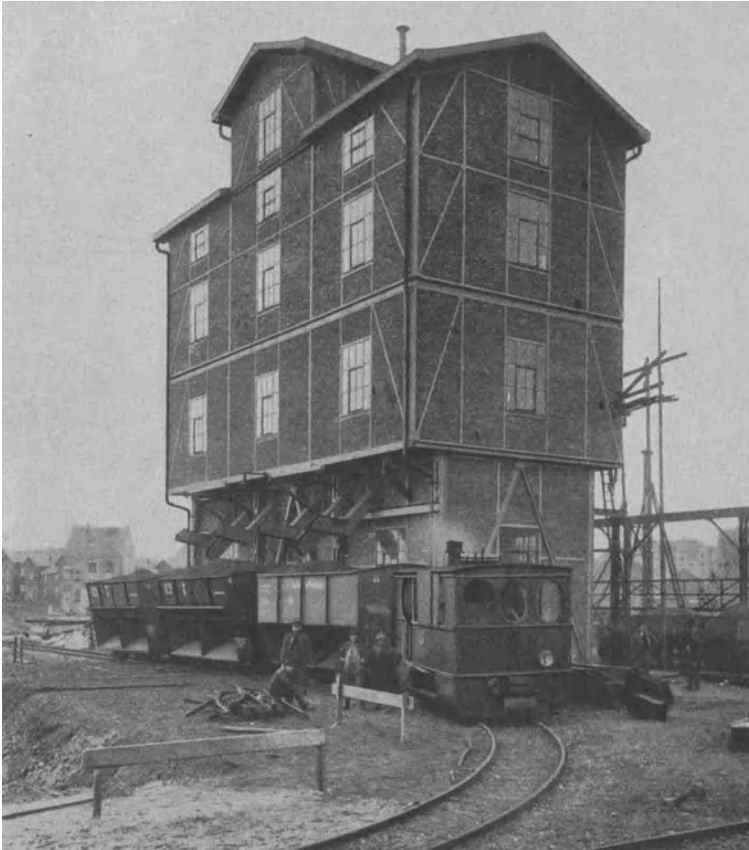


Abb. 2. Schlackenseparationsanlage (Eisenfachwerkbau), (Krupp).

— die Handsetzmaschine aufzuführen (Abb. 4). Ihre Herstellung erfolgt von verschiedenen Firmen wie der Julius Pintsch A.-G., Berlin, Eitle, Stuttgart, Bamag, Berlin, u. a. Die Maschine besteht aus einem Wasserbehälter, in den ein muldenförmiges Sieb eingehängt ist. Das um eine feste Achse schwenkbare Sieb wird von Hand mit einem Hebel in dem Wasserbade auf- und abbewegt, und die Separation durch die von der

Kohlenaufbereitung her bekannte Setzwirkung herbeigeführt. Der Brennstoff sammelt sich in der vorderen Hälfte des Siebes und die Schlacke in dem vertieften hinteren Teil. Mit Hilfe eines Kratzers werden die beiden Endprodukte nacheinander ausgetragen. Die Leistung einer solchen Maschine beträgt etwa 0,5 t/st, die Dauer des Setzprozesses etwa 2÷3 min. Über den Effekt der Separation mit einer solchen Maschine sind keine exakten Angaben zu machen, da er zu sehr von der Geschicklichkeit des Arbeiters abhängt. Immerhin

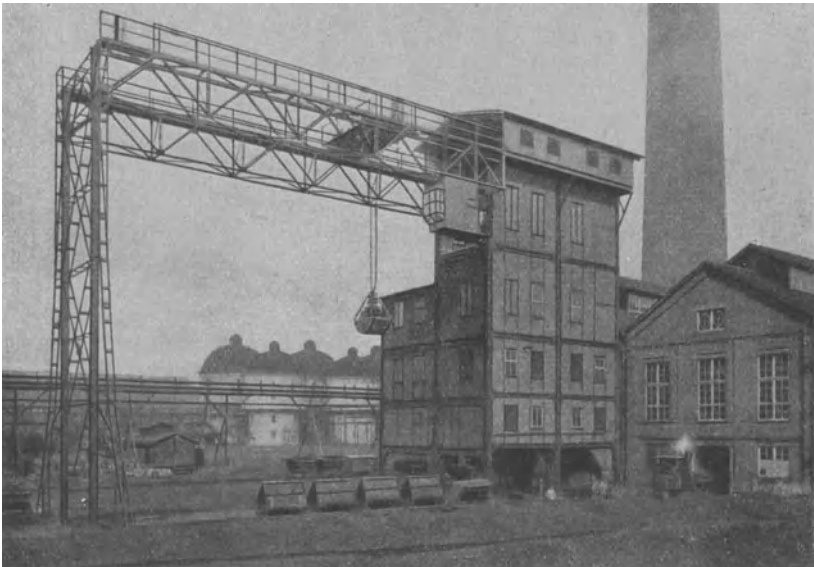


Abb. 3. An- und Abtransport in einer Schlackenseparationsanlage durch ferngesteuerte Greiferkatze und Muldenkipper (Krupp).

sollen noch heute diese Handsetzmaschinen in Gaswerken eine große Verbreitung besitzen.

## 2. Das magnetische Verfahren nach Krupp.

Während bisher eine ganze Reihe von Naßverfahren bekanntgeworden sind, ist als Trockenverfahren, d. h. als Verfahren, bei dem die Rückstände in trockenem Zustand ohne Verwendung einer Flüssigkeit separiert werden, eine einzige Erfindung von Herrn Oberingenieur Dr. Ing. e. h. Ullrich durch die Friedrich Krupp A.-G.-Grusonwerk, Magdeburg-Buckau, herausgebracht worden. Abgesehen wird hierbei von der Handauslese, die einer besonderen Betrachtung

unterzogen werden soll. Die Firma Krupp stellte bereits seit längeren Jahren magnetische Trommelscheider für die Erzaufbereitung her, die unter Benutzung der magnetischen Eigenschaften des Eisens das Erz von Schutt und anderen Unreinigkeiten säuberten. Das Grusonwerk hatte auf dem Gebiet der Erzaufbereitung diese Art von Maschinen durch eingehende Versuche in einer hierfür eingerichteten Versuchsanstalt sowie langjährige Betriebserfahrungen vervollkommenet und unter Auffindung von neuen Patenten die verschiedensten Typen herausgebracht.

Bei diesem Trommelscheider rotiert eine Messingtrommel um eine

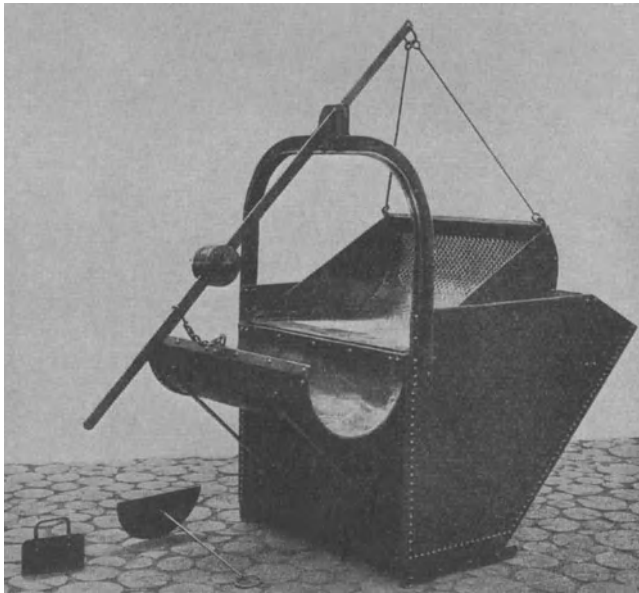


Abb. 4. Handsetmaschine (Julius Pintsch A.-G.).

Achse, auf der feststehend Magnetspulen angebracht sind. Die magnetischen Kraftfelder halten das in dem Rohgut befindliche magnetische Erz auf der Trommel fest, führen es bei der Rotation der Trommel in die untere Totlage und lassen es dort erst fallen, während der unmagnetische Schutt durch die Zentrifugalwirkung bereits vorher über ein Zwischenblech abgeworfen wird. Diese Maschine hatte in der konstruktiven Ausführung bei aller Einfachheit des Grundgedankens bereits eine sehr glückliche Form gefunden.

Man kam nun, angeregt durch die Entwicklung der Schlackenseparation, auf den Gedanken zu untersuchen, ob auch Feuerungsrückstände

auf magnetische Weise separiert werden könnten. Es stellte sich heraus, daß die Schlacken in Feuerungsrückständen schwach magnetische Eigenschaften besitzen. Der in allen Kohlen als Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) oder Markasit enthaltene Sulfidschwefel oxydiert im Laufe der Verbrennung unter Bildung von schwefliger Säure ( $\text{SO}_2$ ) und Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Durch die reduzierende Wirkung der Kohle entsteht außerdem Eisenoxydul ( $\text{FeO}$ ). Diese beiden magnetischen Eisenoxydverbindungen gehen in die Silikate über und verleihen den Schlackenstücken magnetische Eigenschaften, während die verbrennlichen Bestandteile der Feuerungsrückstände unmagnetisch sind. Der Grad der Magnetisierbarkeit ist im wesentlichen von dem Schwefelgehalt der verfeuerten Kohle abhängig. Der Schwefelgehalt der Kohlen kann bis zu 8% steigen. Über seine Größe liegen eingehende statistische Aufstellungen vor. Da sich der Schwefelgehalt der Kohlen neben den Formen als Konstitutionschwefel und Sulfatschwefel zum weitaus größten Teil aus dem Sulfidschwefel herleitet, geben diese Tabellen einen hinreichenden Anhalt für die Magnetisierbarkeit der Schlacken, die durch Verbrennung der zugehörigen Kohlsorten entstehen. Aufstellungen, die sich direkt auf den Gehalt von Schlacken an den genannten Eisenoxydverbindungen beziehen, existieren bisher noch nicht. Auf diese Frage wird weiter unten im Zusammenhang mit einer allgemeinen Besprechung über die Zusammensetzung von Feuerungsrückständen zurückgegriffen. Nach praktischen Feststellungen in bezug auf die Separationsfähigkeit der verschiedensten Feuerungsrückstände kann angenommen werden, daß alle Schlacken, aus Steinkohlenfeuern jedenfalls, für die Verarbeitung mit dem Kruppschen Trommelscheider genügend intensive magnetische Eigenschaften besitzen. Die von Seiten der Konkurrenz vorgebrachten Bedenken gegen die ungenügende Magnetisierbarkeit der Schlacken scheinen demnach unge rechtfertigt zu sein.

Der Kruppsche Magnetscheider für die Aufbereitung von Feuerungsrückständen ist ganz ähnlich gebaut wie der beschriebene Erztrommelscheider. Die grundsätzliche Wirkungsweise des Scheiders zeigt Abb. 5. Auf einem feststehenden Achsgestell sind die Elektromagneten halbkreisförmig angebracht, so daß die eine Hälfte der darüber rotierenden Trommel aus Messingblech in starken magnetischen Feldern verschiedener Abstufung liegt. Bei der Normaltype des Grusonwerkes handelt es sich um vier solcher Magnete. Die Messingtrommel ist gegen den verschleißenden Angriff der Schlacke durch leicht auswechselbare Stahlbänder geschützt, die

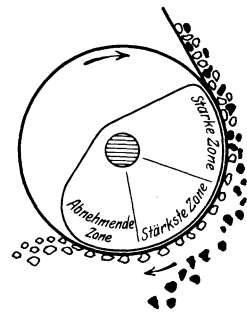


Abb. 5. Wirkungsweise des Kruppschen Trommelscheiders.

## 10 Die Verfahren zur Aufbereitung von Feuerungsrückständen.

mit einem einfachen Verschuß um die Trommel gelegt sind. Die Achsgestelle ruhen zusammen mit einer Schüttelaufgabe auf einem gemeinsamen Eisenrahmen. Die Schüttelaufgabe besteht aus einer schwach geneigten Schüttelrinne mit vier Holzfedern, die durch einen Exzenter angetrieben wird. Der Schütteltisch hat vier Ausläufmündungen, die über der Trommel auf die vier Stahlbänder gerichtet sind (Abb. 6). Der Trommelscheider wird für die Separation von größeren Körnungen, d. h. über 40 mm, auch mit zwei Feldern, die dann wesentlich stärker sind, als sogenannter Grobscheider ausgeführt.



Abb. 6. Kruppsche Trommelscheider (Vierfeldtype) in einer größeren Schlackenseparationsanlage.

Außerdem führt Krupp neuerdings für die üblichen Korngrößen Einfeld- und Zweifeldtrommelscheider, die für kleine Leistungen benutzt werden (Abb. 7). Die Elektromagneten müssen mit Gleichstrom gespeist werden und haben bei den Typen für normale Korngrößen, d. h. bis 40 mm, einen Stromverbrauch von  $0,8 \div 1$  kW/t Rückstände, die Grobscheider für Korngrößen bis 80 mm ca 1,3 kW/t Rückstände. Die Stromzuführung erfolgt sehr einfach durch die feststehende Achse. Der Trommelscheider wird auch fahrbar gebaut. Diese Ausführung ist gedacht zum Aufarbeiten von Schlackenhalde unter Ersparnis von Transportkosten oder, um evtl. mehrere kleine Unternehmer zu

veranlassen, sich gemeinsam zum Kauf einer solchen Separationsmaschine zu entschließen (Abb. 8). Ein Trommelscheider mit vier Feldern separiert stündlich 2,0÷2,5 t Rohschlacke und hat einen Kraftbedarf von ca 3,5 kW, das ist ca 1,3÷1,5 kW/t Rückstände, einschließlich der Magneterregung. Der Kraftbedarf und die Leistung der Ein- und Zweifeldtypen liegen entsprechend der Felderanzahl tiefer.

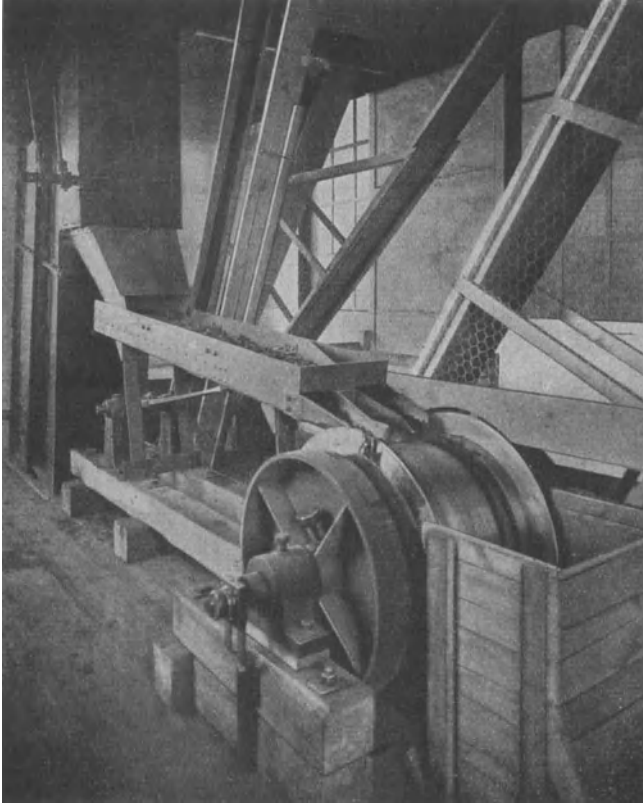


Abb. 7. Kruppcher Trommelscheider (Zweifeldtype).

Bei dem Grobscheider erhöhen sich die Werte um den Mehrbetrag für die stärkere Magneterregung. Als normale Drehzahlen für die Trommel können gelten bei Körnungen von 5÷15 mm 50 Umdr./min, von 15÷35 mm 35 Umdr./min, von 35÷80 mm 20 Umdr./min.

Der Kruppche Trommelscheider war ursprünglich für die Separation der Körnungen von 5÷25 mm, dann bis 40 mm gedacht. Erst

später ist es möglich geworden, durch Anwendung noch stärkerer Felder mit dem obengenannten Grobscheider Körnungen bis 80 mm zu separieren. Bei Besprechung der Betriebsergebnisse wird auf den Separationsvorgang mit großen Körnungen und seine Voraussetzungen noch zurückgegriffen. Das Grusonwerk hat auch Versuche gemacht, das feinkörnige Material bis 5 mm magnetisch zu separieren. Man darf diesen Bestrebungen einige Wichtigkeit beimessen. Der dabei gewonnene Brennstoff ist für die später zu betrachtende Brikettierung, die Verfeuerung auf Spezialrosten und in der Kohlenstaubfeuerung zu verwenden. In dem Abschnitt über Brikettierung werden nähere An-

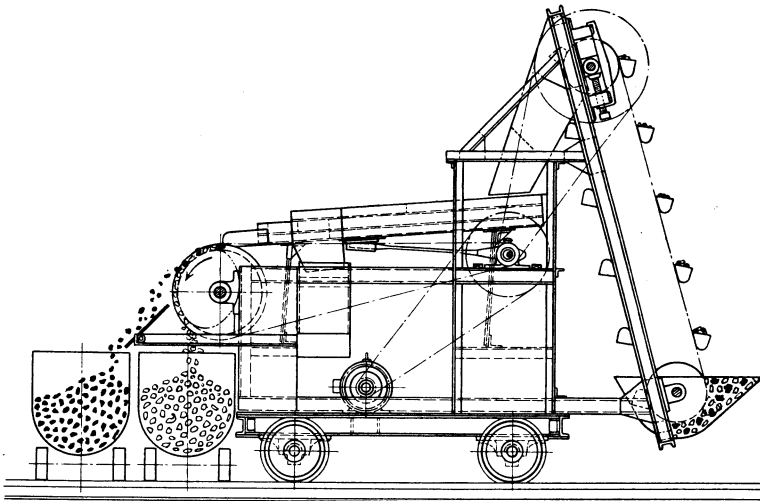


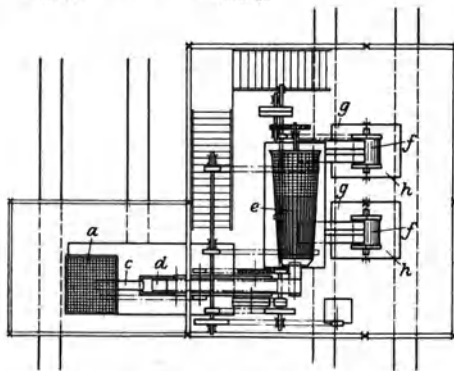
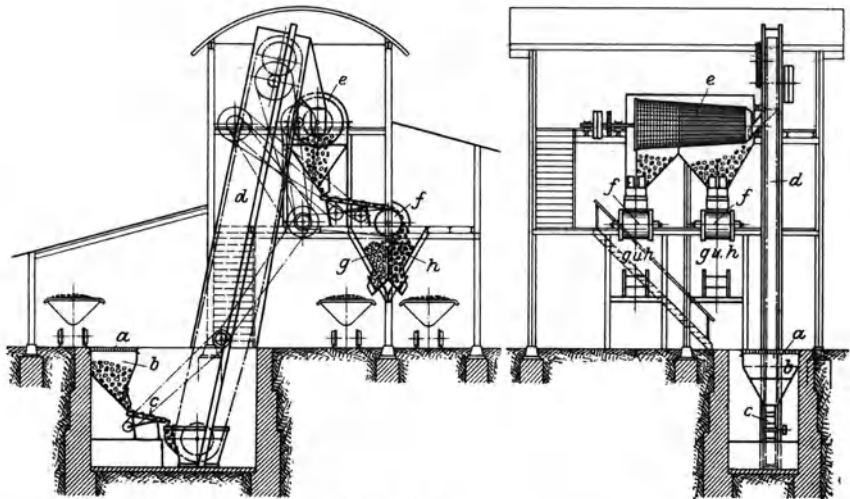
Abb. 8. Krupp'scher Trommelscheider (fahrbare Ausführung).

gaben über die Betriebsergebnisse einer Separation derartigen Materials und seine Verwendung gemacht (s. S. 84).

Aus dem Grundgedanken des Verfahrens geht hervor, daß nur eine Trennung zwischen magnetischen und unmagnetischen Stoffen erfolgen kann. Alle nicht magnetischen Verunreinigungen der Rückstände gehen daher mit in das Koks ausbringen. Die Folgen müssen sich bei der Separation eines in diesem Sinne unreinen Materials, in dem sich z. B. Steine und Chamottestücke aus Feuerbüchsen befinden, unangenehm bemerkbar machen. Auch schieferhaltige Rückstände sind ungünstig, da der Kohlenschiefer nahezu unmagnetisch ist. Die Güte der Separation hängt also in gewissem Maße von der Beschaffenheit der Brennstoffrückstände ab. Eine eingehende Untersuchung der Rückstände in dieser Hinsicht ist daher vor Auswahl der Separationsmaschine ratsam.



In der Separationsanlage erfolgt ein Betrieb nach dem Kruppschen Verfahren in der Weise, daß die Rückstände in Eisenbahnwagen, Muldenkippern oder sonstigen Fördermitteln angefahren und über einen Rost mit ca 80 mm Gitterweite in einen meist unter Flur angeordneten Behälter abgeworfen werden. Das Rohgut wird durch einen



- a* = Rost
- b* = Bunker für Feuerungsrückstände
- c* = Aufgabevorrichtung
- d* = Elevator
- e* = Siebtrommel
- f* = Trommelscheider
- g* = Bunker für Schlackenausbringen
- h* = Bunker für Brennstoffausbringen

Abb. 9. Entwurf einer Schlackenseparationsanlage mit Kruppschen Trommelscheidern (Leistung 1,5 t/st).

Elevator oder ein Pendelbecherwerk gehoben und einer Siebtrommel zugeführt, die den Grus unter 5 mm absiebt und bei größeren Leistungen das übrige Material in verschiedene, vielleicht zwei oder drei Körnungen klassiert. Durch Rutschen, Schüttelrinnen oder andere stetige Förderer wird das Gut den Schüttelaufgaben der Magnetscheider zugeführt, separiert und getrennt in Bunkertaschen gesammelt. Von hier aus setzt dann der Abtransport ein. Die Abb. 9 und 10 lassen

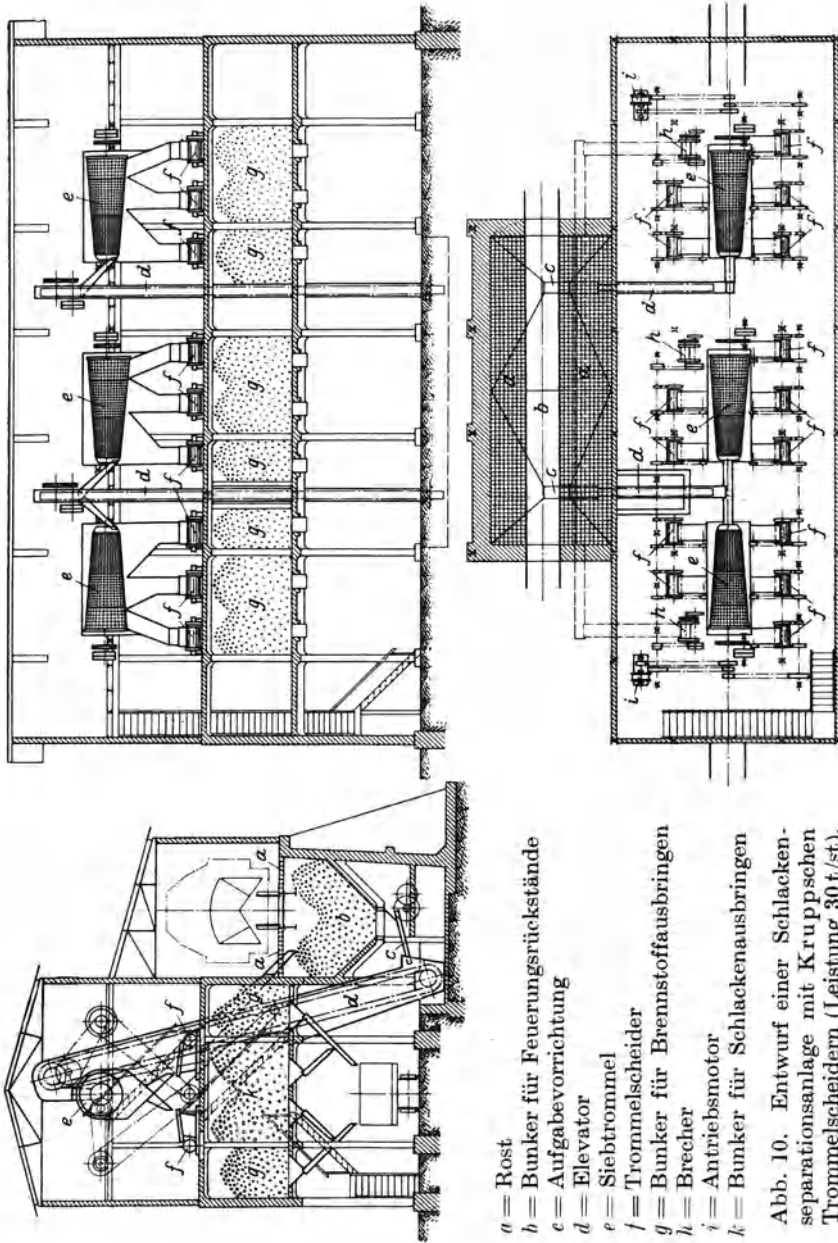


Abb. 10. Entwurf einer Schlacken-separationsanlage mit Kruppschen Trommelscheidern (Leistung 30 t/st).

diesen Materialgang für einige Schlackenseparationsanlagen verschiedener Leistungen erkennen.

Es sei hierbei grundsätzlich erwähnt, daß eine Separation, welcher Art sie auch sei, dann am günstigsten erfolgt, wenn das Material möglichst weitgehend klassiert und die Beschickung möglichst stetig gehalten wird. Die Behandlung von Körnungen gleicher Größe untereinander wird immer das beste Ergebnis erzielen, da sich die Maschine nur für eine Korngröße genau einrichten läßt. Bei dem Kruppschen Trommelscheider sind es z. B. die verschiedenen Fliehkräfte großer und kleiner Stücke, die bei einem größeren Körnungsbereich die Separation ungünstig beeinflussen. Theoretisch ist jeder Korngröße eine bestimmte Drehzahl der Trommel zugeordnet. Bei verschiedenen Korngrößen wirkt die Separation immer nur auf eine einzige in der bestens erreichbaren Weise ein. Ein zweiter grundsätzlicher Gesichtspunkt für den Betrieb einer Separationsanlage ist die Stetigkeit der Materialaufgabe. Das gilt auch für den Trommelscheider. Die Arbeitsweise der Maschine kennzeichnet, daß sie eine Überlastung schlechthin nicht verträgt. Sobald der Schlackenstreifen auf der Trommel zu stark wird, besitzen die magnetischen Felder nicht mehr die genügende Intensität, da die magnetische Anziehung mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt. Weiter hat die Übereinanderlagerung der Körner das Einkeilen von Koksstücken durch Schlackenstücke und andererseits das Mitreißen von Schlackenstücken in den Koks zur Folge. Eine Unterlastung des Scheiders hat auf die Güte der Separation weiter keinen Einfluß; sie ist aber durch die unvollkommene Ausnutzung der Maschine nicht erwünscht. Es muß also Gewicht darauf gelegt werden, die Stetigkeit der Aufgabe zu gewährleisten. Diese Forderung wird durch Vorratsbehälter an geeigneter Stelle, z. B. bei den Elevatoren und Aufgabevorrichtungen, erfüllt.

Nach Betriebsergebnissen ausgeführter Anlagen erreicht das Kruppsche Verfahren einen Lieferungsgrad von rund 95% bei einer Unreinheit des Koks von 4÷8%. Verschiedene Feststellungen ergaben unter normalen Verhältnissen einen Separationsgrad von 75÷85%, ja sogar über 85%, für die Körnungen von 5÷25 mm, den man als günstig bezeichnen muß. Es ist für die Beurteilung des Verfahrens zu berücksichtigen, daß man ein trockenes Endprodukt erhält und der Betrieb infolge der Trockenbehandlung sehr angenehm verläuft.

Der Kruppsche Magnetscheider eignet sich immer für Körnungen von 5÷25 mm, die er tatsächlich mit dem günstigsten Separationsgrad verarbeitet. Er ist in großen Separationsanlagen mit Stundenleistungen über 10 t unentbehrlich. Für kleinere Körnungen kommt er nahezu ausschließlich in Frage, da bei einigen Naßverfahren diese vorher abgeseibt werden und auf ihre Separation von vornherein verzichtet wird.

Werden die kleinen Kornklassen aber mit in die Separation herein-  
genommen, so ist zu sagen, daß die Naßseparation kleiner Körnungen  
hinter der Trockenseparation zurückbleiben muß, wie in dem folgenden  
Abschnitt noch näher begründet werden soll.

Die obenerwähnte Abhängigkeit zwischen Anziehungskraft und  
Entfernung sagt aus, daß große Stücke nur dann gleich wirksam sepa-  
riert werden können, wenn der Fluß quadratisch mit der Korngröße  
gesteigert wird. Der Erhöhung des magnetischen Flusses ist jedoch  
durch die Erwärmung, Baumaße und Bauart der Maschine eine Grenze  
gesetzt. Dazu kommt, daß die spezifische Auflagefläche bei größeren  
Korngrößen stark abnimmt; d. h. je größer das Schlackenstück ist, eine  
desto kleinere Fläche, auf die Masse des Körpers bezogen, gelangt an  
dem Mantel der Trommel zur Auflage. Die spezifische Auflagefläche ist  
aber für die Haltekraft des Magneten von großer Bedeutung. Es muß  
hierbei bedacht werden, daß die magnetischen Eigenschaften der Schlacken  
von sehr geringer Größenordnung sind. Diese theoretischen Betrach-  
tungen weisen also ebenfalls daraufhin, daß die magnetische Auf-  
bereitung eine besondere Eignung für die kleinen Körnungen besitzt.  
Aus diesen Rücksichten sind viele größere Anlagen nach einem kom-  
binierten System gebaut worden, bei dem in sogenanntem Parallelbetrieb  
die Körnungen bis 25 oder 35 mm trocken und die größeren Körnungen  
naß aufbereitet werden. Nach mehrfacher Erprobung der Grob-  
scheider projiziert Krupp allerdings sämtliche Anlagen auch größter  
Leistungen für rein magnetische Aufbereitung, trotzdem er selbst Setz-  
maschinen herstellt und früher benutzt hat.

Es hat sich gezeigt, daß ein Absieben des Gutes an verschiedenen  
Stellen, z. B. auf der Schüttelaufgabe vor dem Scheider, sehr günstig  
auf die Reinheit des Brennstoffausbringens und die Güte der Separation  
wirkt. Aus diesem Grunde führt Krupp die Schütteltische neuerdings  
mit doppelten Böden, einem Siebboden und einem Vollblechboden,  
aus. Er ist dadurch auch in der Lage, eine Klassierung direkt vor dem  
Scheider herbeizuführen. Diese Ausführung der Schütteltische kann  
auch zur Ersparnis an Bauhöhe führen.

Abgesehen von den Transport- und Siebvorrichtungen, die un-  
abhängig von dem angewandten Verfahren bei allen Separations-  
anlagen in gleichem Maße dem Verschleiß ausgesetzt sind, beschränkt  
sich bei dem Trommelscheider die Abnutzung auf die Stahlbänder der  
Trommel, die häufiger ausgewechselt werden müssen. Der Nachteil des  
Gleichstrombedarfes für die Magneterregung wird von der Konkurrenz  
sehr ausgenützt. Häufig ist dieser vielleicht nicht so bemerkenswert,  
denn eine Dynamo ist leicht an die Transmission angehängt. Betriebs-  
sicherer ist die Aufstellung eines besonderen Umformeraggregats oder  
eines Quecksilberdampfgleichrichters, falls nicht überhaupt, wie es z. B.

in Hüttenwerken gewöhnlich der Fall ist, ein Gleichstromnetz zur Verfügung steht. Als Vorteil wäre noch zu erwähnen, daß die magnetische Aufbereitungsanlage von der Jahreszeit unabhängig ist und bei Frost keiner besonderen Heizung bedarf, soweit diese für die Belegschaft nicht erforderlich wird.

### 3. Das Verfahren nach Schilde.

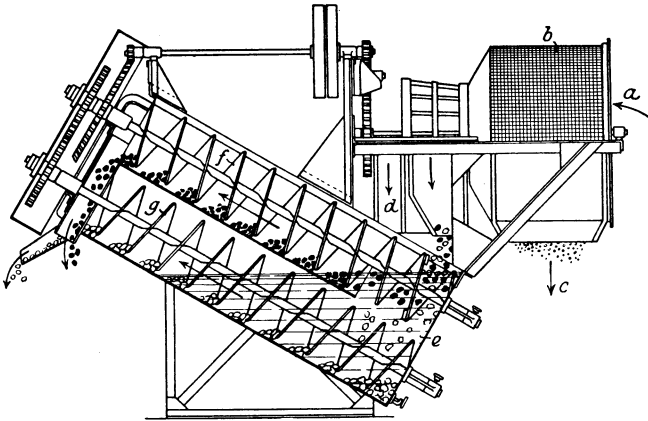
Sämtliche Naßverfahren zur Separation von Feuerungsrückständen beruhen grundsätzlich auf der Ausnutzung der verschiedenen spezifischen Gewichte von Koks und Schlacke. Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich voneinander nur durch die Art und Weise, auf die sie diese Gewichtsverschiedenheit zur Auswirkung bringen. Die eine Reihe der Verfahren wendet eine Trennflüssigkeit an, deren Dichte innerhalb des Differenzbereiches der spezifischen Gewichte von Koks und Schlacke liegt, wobei der Koks zum Schwimmen und die Schlacke zum Untersinken gebracht wird. Die andere Reihe der Naßverfahren benutzt unvermengtes Wasser und sucht, durch Strömung, Wallung oder sonstige Bewegungen des Wassers das verschiedene Verhalten von Koks und Schlacke in dem Bade auszunutzen.

Zu der ersten Gruppe der Naßverfahren gehört die Separation mit dem Columbuswäscher der Firma Benno Schilde G. m. b. H., Hersfeld. Der Grundgedanke des Verfahrens ist, in einem gemeinsamen Bade von bestimmtem spezifischen Gewicht, das der besonderen Art der Rückstände angepaßt werden muß, den Koks zum Schwimmen sowie die Schlacke zum Untersinken zu bringen und mit geeigneten Vorrichtungen die beiden Produkte getrennt auszutragen (Abb. 11). Da das spezifische Gewicht des Koks kleiner ist als das der zugehörigen Schlacke, so muß das Verfahren in normalen Fällen zum Ziele führen. Als Trennflüssigkeit dient eine Aufschlemmung von Lehm, Kalk, Karbidschlamm, Schlick oder sonstigen schlemmfähigen Produkten, wie sie gerade am billigsten zu beschaffen sind. Auch Salz-, Kalilaugen, Wassertrüben mit Kreideabgängen und ähnliche mit einem spezifischen Gewicht von ca 1,09÷1,34 entsprechend 25÷35° Bé kommen in Betracht. Die Dichte der Trennflüssigkeit wird mit einem Aräometer bestimmt und kontrolliert.

Der Aufbau der Maschine ist folgender. In einem aus Winkel-eisen zusammengesetzten einfachen Eisengestell ruht um ca 25° geneigt eine gußeiserne Doppelmulde. In dieser Doppelmulde rotieren übereinander angeordnet zwei Förderschnecken, die durch Stirn- und Kegelaradtriebe von einer horizontalen Welle angetrieben werden. Der untere Teil der Mulde bildet ein Bassin für die Trennflüssigkeit, in dem die eigentliche Separation vor sich geht. Über dem Bassin ist eine zwei-

stufige Siebtrommel eingebaut, in der die Rückstände vor der Zuführung in die Separationsmaschine klassiert werden. Der Antrieb der Siebtrommel erfolgt durch Kette und Kettenrad von der gleichen eben genannten Antriebswelle, die auf dem schmiedeeisernen Rahmen des Apparates gelagert ist (Abb. 11 und 12).

Der Columbuswäscher wird in drei Größen hergestellt für eine Stundenleistung von minimal  $1,5 \text{ m}^3$  bis maximal  $10 \text{ m}^3$ , entsprechend  $1,2 \div 8 \text{ t}$  mit einem Kraftbedarf von etwa  $1 \div 4 \text{ PS}$ . Man kann im Durchschnitt mit einem Kraftbedarf von ungefähr  $1,1 \text{ kW/t}$  Rückstände rechnen. Der stündliche Wasserverbrauch durch die Feuchtigkeitsaufnahme der Rückstände beträgt etwa  $60 \div 90 \text{ l/t}$



$a$  = Einwurf  $b$  = Siebtrommel  $c$  = Abzug für Grus  $d$  = Abzug für Rückstände über  $80 \text{ mm}$   $e$  = Trennbassin  $f$  = Schnecke für Brennstoffausbringen  $g$  = Schnecke für Schlackenausbringen

Abb. 11. Wirkungsweise des Columbuswäschers (Schilder).

Rohschlacke je nach deren Feuchtigkeit. Die Apparate werden meist stationär, doch auch fahrbar aus den gleichen Gründen wie der Krupp'sche Trommelscheider, also zum Aufarbeiten von Halden usw., ausgeführt.

Eine vollständige Anlage arbeitet in der Weise, daß die Rückstände durch Zuschippen von Hand, durch Elevatoren, Rutschen oder sonst irgendwie der Siebtrommel des Wäschers zugeführt werden. Diese siebt zuerst das Gut unter etwa  $8 \div 12 \text{ mm}$  ab, das nicht in die Separationsmaschine gelangt. Im zweiten Teil der Siebtrommel werden die Körnungen früher bis  $40 \text{ mm}$ , nach neueren Angaben bis  $80 \text{ mm}$ , ausgesiebt und fallen in das Trennbassin des Wäschers. Die Stücke über  $80 \text{ mm}$  werden von der Siebtrommel ausgeworfen und besonders, meist von Hand, ausgelesen, soweit sie noch Brennstoffe enthalten. Die

in das Trennbassin eingefallenen Rückstände werden in der Trennflüssigkeit separiert und der schwimmende Koks von der oberen Schnecke, die abgesunkene Schlacke von der unteren getrennt ausgetragen. Die Zubereitung der Trennflüssigkeit erfolgt in einem zweckmäßig oberhalb der Maschine aufgestellten Rührbottich, der bei größeren Anlagen maschinell angetrieben wird. Auf der höher liegenden Seite der Schnecke werden Schlacke und Koks durch Schurren abgezogen.

Der Columbusseparator beschränkt sich also auf die Separation der Körnungen von 8 oder 12 ÷ 80 mm. Der Vorwurf, der den Naßverfahren gemacht wird, daß sie einen feuchten Brennstoff austragen, trifft auch

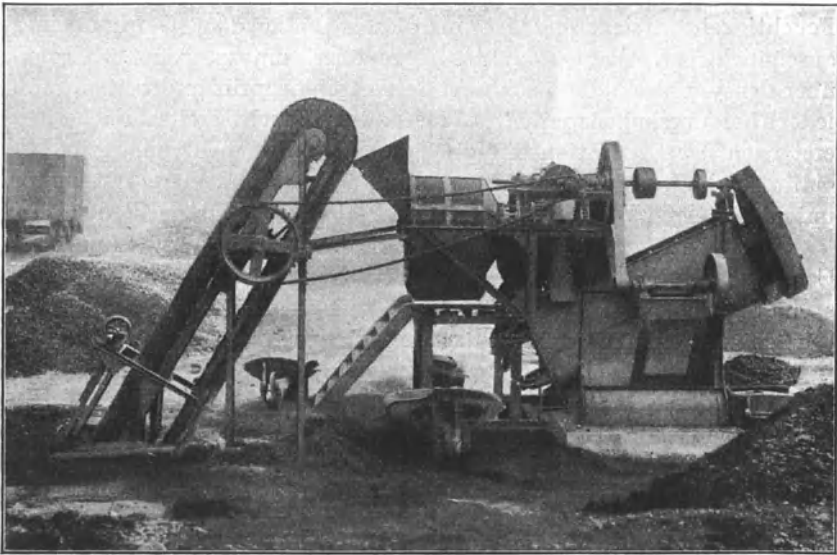


Abb. 12. Der Columbuswäscher in einer kleineren Schlackenseparationsanlage (Schilde).

für den Schildeschen Apparat zu, doch befinden sich die Koksstücke verhältnismäßig kurze Zeit in der Trennflüssigkeit. Der andere Vorwurf, der gegen die Verfahren erhoben wird, die mit einer besonderen Scheidflüssigkeit arbeiten, bezieht sich auf die Wertverminderung des Brennstoffes durch den Schlemmüberzug. Es hat sich im praktischen Betrieb gezeigt, daß der geringe Schlemmüberzug oft von keiner besonderen Bedeutung für die Heizkraft des Materials ist. An anderer Stelle zeigten sich allerdings bei Verwendung von Lehm als Schlemmmaterial nicht zu beseitigende Anstände bei der Verfeuerung, da die schmelzende Lehmhaut den Koks mit einer abschließenden Glasur überzog. Es scheint, daß bestimmte chemische Zusammensetzungen des Lehmes die Zündfähig-

keit des Separationskoks beeinträchtigen können. Bei Verwendung von Kalk als Schlemmaterial konnte in bezug auf das Anbrennen kein Nachteil festgestellt werden. Das Vorhandensein der Schlemme wird von den angegriffenen Firmen sogar als Vorteil bezeichnet, da diese die Poren des porösen Brennstoffes verschließt und durch Verhinderung der Wasseraufnahme die Erhaltung des geringeren spezifischen Gewichtes bewirkt. Jedenfalls ist die durch den Schlemmüberzug hervorgerufene Unansehnlichkeit des Brennstoffes, besonders bei der Verwendung von Lehm, nachteilig, wenn der gewonnene Koks verkauft werden soll. Die Firma Schilde sieht daher eine besondere Abspritztrommel vor, in der der Koks von dem Überzug befreit wird. Der Nachteil der Feuchtigkeitsanreicherung ist in diesem Falle dem Gewinn eines ansehnlichen Verkaufsproduktes gegenüber untergeordnet. Gegenüber den Verfahren, die nach dem Setzmaschinenprinzip arbeiten, muß jedoch hervorgehoben werden, daß diese zweite Feuchtigkeitsanreicherung erst nach der Separation erfolgt, diese also nicht mehr ungünstig beeinflussen kann. Diese Tatsache gewinnt im Zusammenhang mit weiter unten erörterten Verhältnissen des Separationsvorganges an Bedeutung.

Unangenehm für die Güte der Separation bei Verwendung des Columbuswäschers, als auch sämtlicher anderen Naßverfahren, ist die Tatsache, daß sich in den Feuerungsrückständen Beimengungen von sogenannten Schaum- oder Schwammschlacken befinden; das sind Schlacken, die in geschmolzenem Zustande einer intensiven Gasentwicklung ausgesetzt waren und darauf in mehr oder weniger porösem Zustand erkalteten. Diese Art von Schlacken hat ein wesentlich geringeres spezifisches Gewicht als die Schlacke normaler Bildung und ist auch leichter als der Koks. Die Folge ist, daß die Schaum- oder Schwammschlacken von dem Wäscher zusammen mit dem Koks ausgetragen werden. Es zeigt sich hierbei, daß für die Wahl der Separationsmaschine eine vorherige Untersuchung der Feuerungsrückstände, die aufgearbeitet werden sollen, auf den Gehalt an Schaum- oder Schwammschlacken empfehlenswert ist.

Schon die Beschränkung der Separation auf bestimmte Körnungen kennzeichnet, daß die Ausrüstung einer größeren Separationsanlage nur mit Columbuswäschern kaum in Frage kommt, da in diesem Falle die Ausbeutung der Rückstände soweit wie möglich gehen muß. Die Behauptung, daß die Separation der kleinen Körnungen niemals wirtschaftlich sei, ist übertrieben und trifft bei größeren Anlagen keinesfalls zu. Aus diesem Grunde sind Columbuswäscher in größeren Betrieben im Parallelbetrieb mit Kruppschen Magnetscheidern verwandt worden. Es hat sich in solchen Anlagen als günstig erwiesen, den Bereich der Körnungen für die Columbusseparatoren noch weiter zu beschränken und die gesamten kleineren Körnungen bis 20 meist 35 mm mit dem Trommelscheider zu separieren, da dieser für die kleinen Kornklassen den besten



Separationsgrad aufweist. Hierzu sei eine Betrachtung eingeschaltet, die diese Erfahrung des praktischen Betriebes theoretisch erfaßt.

Wie im Anfang erwähnt wurde, beruhen die Naßverfahren durchweg auf dem Prinzip der Ausnutzung des Gewichtsunterschiedes zwischen Koks und Schlacke. Es hängt infolgedessen die Güte der Separation wesentlich von der Größe dieses Gewichtsintervalles ab. Dieser Intervall, der in trockenem Zustande der Rückstände einen bestimmten Betrag ausmacht, ändert sich, sobald das Gut in das Wasserbad eintritt. Die Koksstücke saugen infolge ihrer porösen Struktur Wasser auf, nachdem sie in das Bad gelangt sind, und je länger sie sich darin befinden, desto mehr nimmt bei gleichbleibendem Auftrieb ihr spezifisches Gewicht zu. Im Gegensatze dazu bleibt die Dichte der Schlacke nahezu unverändert. Die Folge dieser Veränderung der spezifischen Gewichte von Koks und Schlacke ist eine Annäherung ihres Verhaltens gegenüber dem Einfluß des Trennbades, da der hydrostatische wie der hydrodynamische Zustand der Separation von der Differenz zwischen Schwerkraft und Auftrieb der einzelnen Stücke abhängt.

Die Situation sei durch folgendes Zahlenbeispiel, dem ein Betriebsversuch zugrunde liegt, gekennzeichnet. Der durch Separation erhaltene Koks zeigte im trockenen Zustand ein spezifisches Gewicht von  $s_1 = 0,98$ , und im feuchten Zustand nach der Separation  $s_2 = 1,12$ . Das sind beides sogenannte scheinbare spezifische Gewichte, da die in den Poren der Koksstücke enthaltenen Lufträume bei der Bestimmung der Dichte nicht in Abzug gebracht wurden. Das wahre spezifische Gewicht des untersuchten Koks hatte den Wert  $s_0 = 1,67$ . Aus diesen Zahlen kann die Porosität oder der Luftraumanteil des Koks errechnet werden. Es ist

$$\frac{g_1}{v_1} = s_1 \quad \text{und} \quad \frac{g_0}{v_0} = s_0$$

wenn

- $g_1$  das Gewicht des Koksstückes im trockenen Zustand,
- $v_1$  das Volumen des Koksstückes im trockenen Zustand,
- $g_0$  das Gewicht des Koksstückes im trockenen Zustand ausschließlich des Luftanteils,
- $v_0$  das Volumen des Koksstückes im trockenen Zustand ausschließlich des Luftanteils bezeichnet.

Es sei beide Male ein bestimmtes Koksstück betrachtet, d. h.

$$g_1 = g_0$$

dann ist:

$$\frac{v_0}{v_1} = \frac{s_1}{s_0}; \quad v_0 = \frac{s_1}{s_0} \cdot v_1 = \frac{0,98}{1,67} \cdot v_1 = 0,59 v_1$$

Unter Vernachlässigung des Luftgewichtes nehmen die festen Bestandteile des Koks also 59 Vol. % des betrachteten Koksstückes ein. Für die in den Poren enthaltene Luft bleiben demnach 41 Vol. % entsprechend einer Porosität des Koks von 41%. Dieses Luftvolumen wird bei vollkommener Sättigung des Koksstückes durch Wasser ersetzt. Im Fall der Sättigung ergibt sich für das Koksstück die Dichte  $s_g$ :

$$s_g = \frac{g_w}{v_1}; \quad g_w = g_1 + 0,41 \cdot 1$$

für  $v_1 = 1$  wird  $g_1 = 0,98$  und weiter

$$s_g = \frac{0,98 + 0,41}{1} = 1,39$$

Der Koks kann also im Zustande völliger Sättigung eine Steigerung des spezifischen Gewichtes von 0,98 auf 1,39 d. h. um 42% gegenüber dem trockenen Zustand erfahren.

Umgekehrt läßt sich auf Grund des obengenannten spezifischen Gewichtes  $s_2 = 1,12$  die Wasseraufnahme ermitteln, die der Koks im Laufe der Separation erfahren hat. Wird wieder angenommen, daß  $v_1 = 1$  ist, so wird:

$$s_2 - s_1 = g_2 - g_1 = 1,12 - 0,98 = 0,14$$

Der Koks hat also im Laufe der Separation entsprechend einer Zunahme der Dichte 0,98 auf 1,12 eine Feuchtigkeitsaufnahme von 14,3% erfahren. Durch Versuch wurde im vorliegenden Fall die Feuchtigkeitsaufnahme des Koks mit 13% ermittelt.

Gleichzeitig wurden die spezifischen Gewichte der Schlacke vor und nach der Separation zu 1,70 und 1,73, die Feuchtigkeitsaufnahme mit 11% festgestellt, d. h. die Schlacke war nach der Separation mit Flüssigkeit äußerlich benetzt und hatte sie nur zu ganz geringem Teil aufgesaugt. Gegen die Theorie kann eingewendet werden, daß auch die Struktur der Schlacke nicht immer eine völlig dichte ist. Hierzu ist zu sagen, daß vorhandene Luftzellen infolge des Schmelzvorganges der Schlacke für sich abgeschlossen sind, während die Lufträume im Koks in Form eines Aderbündels miteinander in Verbindung stehen.

Ob nun die Separation auf hydrostatischem oder hydrodynamischem Wege erfolgt, in jedem Fall sind die Verhältnisse so aufgebaut, daß sich ein Körper mittlerer Dichte zwischen Schlacke und Koks dem Einfluß des Bades gegenüber neutral verhält, d. h. er kann ebensogut schwimmen wie absinken. Bei starker Feuchtigkeitsanreicherung kann aber das zu separierende Koksstück noch in dieses neutrale Bereich hereinkommen, wie die eben angestellte Rechnung zeigt. Das Verhalten der Koksstücke in dem Wasserbade ist daher unmittelbar von der Feuchtigkeitsaufnahme abhängig. Diese Verhältnisse liegen aus folgenden Gründen für die kleinen Körnungen besonders ungünstig.

Das Eindringen der Flüssigkeit erfolgt gleichmäßig, von jedem Punkt der Oberfläche aus, in den Kern des Koksstückes hinein, und zwar bei großen und kleinen Stücken in den äußeren Schichten jedenfalls mit der gleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Ein kleines Stück Koks muß daher viel schneller mit Flüssigkeit angefüllt sein, als ein großes, d. h. ein großes Koksstück kann seine Leichtigkeit länger bewahren, als ein kleines Stück, da große und kleine Stücke sich die gleiche Zeit lang in dem Wasserbade befinden, während die Flüssigkeit verschieden lange Wege zurückzulegen hat, um bis zu dem Kern des Koksstückes vorzudringen. Die Betrachtung zeigt, daß die Naßverfahren günstiger auf die größeren Körnungen einwirken müssen, als auf die kleinen, für deren Separation sie weniger geeignet sind. Die Anziehung der erfolgreichen Naßseparation von kleinen Körnungen in der Kohlenaufbereitung für einen Gegenbeweis ist bei den gänzlich anderen Verhältnissen nicht berechtigt. Die Struktur von Kohle und Koks ist eine völlig verschiedene und auch die Abfallprodukte, der Berg und die Schlacke, stehen in einem ganz anderen Gewichtsverhältnis zu den entsprechenden Gewinnprodukten. Die Dauer des Separationsprozesses, das ist die Zeit, während der sich die Rückstände in dem Trennbade aufhalten, erweist sich als ein Maß für den Verwendungsbereich der Separationsmaschine, da diese mit abnehmender Dauer des Separationsprozesses in der Lage sein wird, fortschreitend kleinere Körnungen wirksam zu separieren. Diese Zwangsläufigkeit stellt der Konstruktion Bedingungen, die alle Hersteller von Separationsmaschinen, die nach einem Naßverfahren arbeiten, neuerdings mehr und mehr zu erfüllen suchen.

Der Columbuswäscher hat sich sehr schnell in kleineren Betrieben eingebürgert, da die Handhabung sehr einfach ist und die volle Ausbeutung der Rückstände, besonders der kleinen Körnungen, in diesen Betrieben keine wesentliche Rolle spielt. Bei der schnellen Verbreitung, die das Schildesche Verfahren gefunden hat, ist vielleicht zu berücksichtigen, daß der Columbuswäscher als Naßverfahren seinerzeit nahezu konkurrenzlos auf dem Markt erschien. Die unten besprochenen Apparate existierten erst zum Teil oder befanden sich noch in der Entwicklung. Die Betriebsergebnisse kleiner Anlagen lauten auf einen Lieferungsgrad von 90÷95% bei einer Unreinheit des Koks von 6 bis 12% und der separierten Schlacke von 1÷5%. Für größere Anlagen, in denen der Wäscher im Parallelbetrieb verwandt wird, haben Untersuchungen einen Separationsgrad von 65÷80% für die Körnungen von 20÷40 mm ergeben.

Der Columbuswäscher arbeitet bei Körnungen von 20÷40 mm recht gut. Kohlestücke in den Rückständen werden allerdings infolge ihres größeren spezifischen Gewichtes oft mit der Schlacke ausgetragen. Nachteilig

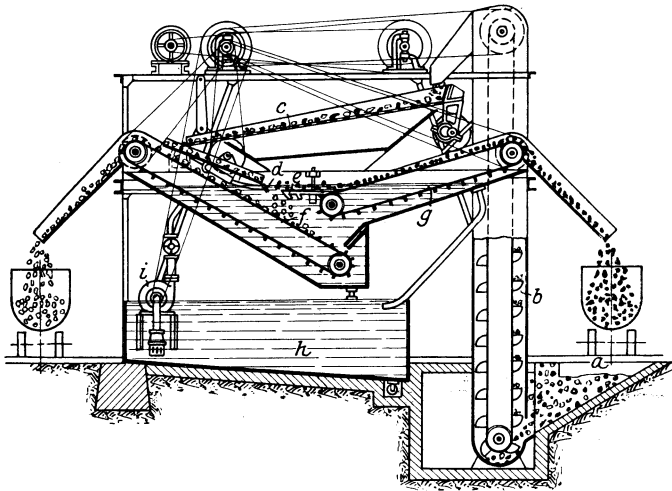
auf den Separationsgrad wirkt die mangelhafte Separation der Schlammschlacken, die sich in allen Rückständen befinden und unvermeidlich mit dem Koks ausgetragen werden. Wie alle Naßverfahren kann auch der Columbuswäscher nur einen feuchten Brennstoff und feuchte Schlacke austragen. Der Feuchtigkeitsgehalt des von der Abspritztrommel ausgetragenen Brennstoffes beläuft sich auf etwa 20÷30%. Es empfiehlt sich also, den Koks vor seiner neuen Verwendung zur Lagerung zu bringen, wozu in den meisten Fällen bereits die Betriebsverhältnisse zwingen. Ein Nachteil hierdurch macht sich höchstens in den feuchten Jahreszeiten bemerkbar, falls die Lufttrocknung nicht mehr ausreicht. Im übrigen hat die Naßaufbereitung der Rückstände den Vorteil, daß der Brennstoff staubfrei in gewaschenem Zustande anfällt. Das Aussehen wird erheblich verbessert, wenn der Schlemmüberzug in der obenerwähnten Abspritztrommel entfernt wird.

Dem Verschleiß ist neben der Siebtrommel besonders die gußeiserne Doppelmulde ausgesetzt, die, trotzdem Schilde bei den Neukonstruktionen zu einer kräftigeren Ausführung übergegangen ist, von der meist unterschätzten Härte und Sprödigkeit der Schlacke stark angegriffen wird, desgleichen die Förderschnecken, wenn auch nicht ganz in dem gleichen Maße. Die Kegel- und Stirnräder nutzen sich infolge der unvermeidlichen Verschmutzung und des ungünstigen Übersetzungsverhältnisses ab. Die Dichtungen in den unteren Schneckenlagern verhindern das Austreten der Trennflüssigkeit und müssen gut beobachtet werden. Die Packungen sind bei Dauerbetrieb alle 4 bis 5 Tage zu erneuern. Die Einstellung der Schnecken in bezug auf den Abstand von der Mulde ist zu kontrollieren, ebenfalls die Höhe des Wasserspiegels. Da sich in dem Trennbassin allmählich Schlamm absetzt, der durch den Grusgehalt der Rückstände und den Abrieb entsteht, so ist eine Reinigung des Apparates etwa alle 8 bis 14 Tage vorzunehmen. Im Winter muß durch Kochsalzzusatz, Unterstellen eines glühenden Kokskorbes, Einblasen von Dampf oder Raumbeheizung das Einfrieren der Trennflüssigkeit verhindert werden.

#### 4. Das Verfahren nach Weber.

Ein weiteres Naßverfahren ist der Geffa-Gesellschaft für Förderanlagen und Aufbereitung, Essen, jetzt W. Weber & Co., Gesellschaft für Industrie- und Bahnbau, Wiesbaden, patentiert, die den Aschenwäscher, System „Weberco“, herausgebracht hat. Der Webercöwäscher gehört der im Anfang des vorigen Abschnittes erwähnten zweiten Gruppe von Naßverfahren an, welche die Separation durch eine geeignete Bewegung, also auf hydrodynamischem Wege bewirken, während es sich bei dem eben geschilderten Verfahren nach Schilde

mehr um einen hydrostatischen Vorgang handelt. Der Grundgedanke des Systems ist der, das Gemisch aus Koks und Schlacke, d. h. zweier Stoffe verschiedenen spezifischen Gewichtes, einer Strömung auszusetzen und die Verschiedenheit des Verhaltens beider Stoffe in dieser Strömung für die Separation auszunutzen (Stromwäsche). Der spezifisch leichtere Körper wird von dem Wasserstrom mehr mitgerissen als der schwerere, dessen Schwerkraft den Einfluß der Strömung überwindet und den Körper aus der Stromrichtung ablenkt. Die Intensität der Strömung muß daher so bemessen sein, daß sie die Koksstücke mit sich reißt, während sie das Absinken der Schlacken nicht verhindert.



*a* = Einwurf *b* = Elevator *c* = Schüttelsieb *d* = Düse *e* = Trennzunge  
*f* = Gurtförderer für Schlackenausbringen *g* = Gurtförderer für Brennstoffausbringen *h* = Klärbehälter *i* = Zentrifugalpumpe

Abb. 13. Der Aschenwäscher „Weberco“ (Weber).

Der Gedanke dieser Separationsmöglichkeit wurde in dem Schlackenwäscher System „Weberco“ durch nachstehend beschriebene Konstruktion gelöst. In einem Wasserbehälter, etwa rechteckigen Querschnittes, laufen unter einer Neigung von ca 25° und 15° zwei Gurtförderer mit entgegengesetzt gerichteter Förderrichtung (Abb. 13). Bei der neuesten Ausführung ist die Anordnung der Gurtförderer etwas geändert, ohne daß jedoch die grundsätzliche Wirkungsweise dadurch berührt wird. Der eine Förderer ist für den Koks, der andere stärker geneigte für die Schlacke bestimmt. Über dem Behälter ist ein Schüttelsieb aufgebaut, das die Körnungen unter etwa 6÷8 mm, d. h. den Grus absiebt. Das gesiebte Gut wird von dem Schüttelsieb über eine Rutsche dem Wasserbad zugeführt, sinkt jedoch nicht gleich unter, da es dem

Einfluß einer kräftigen Oberflächenströmung ausgesetzt ist. Diese Strömung wird durch eine etwa 50 mm unter dem Wasserspiegel liegende, besonders geformte flache Düse erzeugt, die mit einer Druckleitung in Verbindung steht. Das Wasser wird durch diese Düse über die ganze Breite des Wasserbehälters hinweg in eine kräftige Oberflächenströmung versetzt, die sich in der Einfallrichtung des Schüttgutes bewegt. Die Strömung nimmt also die Rückstände mit sich fort und führt sie auf eine Trennzunge hin. Die Trennzunge ist ein horizontales Blech von der Breite des Wasserbehälters und wird durch einen besonderen Mechanismus eingestellt. Sie ist so zwischen den beiden Gurtförderern angeordnet, daß von ihr alles oberhalb der Zunge vom Wasser mitgeführte Gut auf das obere Förderband und alles unterhalb des Zungenbleches angeschwemmte Gut auf das untere, in entgegengesetzter Richtung laufende Förderband abgelenkt wird. Die Einstellung der Zunge, die horizontal und vertikal möglich ist, muß in der Weise erfolgen, daß die Strömung den Koks gerade noch über die Zunge hinwegspült und die Schlacke noch vor der Zunge zum Sinken kommen läßt. Zu dieser Regulierung kann auch die Druckänderung in der Druckleitung, an welche die Düse angeschlossen ist, hinzugezogen werden. Der Wasserstrom verläuft von dem Wasserbehälter, in dem die Separation erfolgt, über einen Klärbehälter, eine Zentrifugalpumpe, die Druckleitung und die Düse wieder in den Separationswasserraum. Der Klärbehälter ist direkt unter dem Separationswasserraum angeordnet und so bemessen, daß ein hinreichendes Absetzen der festen und schlammigen Bestandteile des Wassers gesichert ist.

An dem Profileisengerüst, in dem Wasser- und Klärbehälter hängen und die beiden Gurtförderer gelagert sind, ist dann noch ein Becherwerk angebaut, daß die zu verarbeitenden Rückstände auf das Schüttelsieb fördert. Das Becherwerk hat seinen Einlauf gewöhnlich unter Flur, und die zu ebener Erde anfahrenen Muldenkipper entleeren ihren Inhalt in eine Schüttgrube, die unmittelbar in den Einlauf des Elevators mündet. Die Schüttgrube ist mit einem Rundeisenrost von 80 mm Lochweite abgedeckt, der die Stücke über 80 mm Korngröße zurückhält. Diese größeren Stücke müssen, soweit sie noch Brennstoffe enthalten, von Hand ausgeklaut oder zerschlagen werden. Der Abwurf des Becherwerkes führt auf eine Schurre, die das Material dem erwähnten Schüttelsieb zuleitet. Weiter sind auf dem Eisengerüst noch zwei Schurren angeordnet, die das Abziehen von Koks und Schlacke oberhalb der beiden Gurtförderer ermöglichen, eine weitere Abzugsschurre für den Grus, der von dem Schüttelsieb abgeseibt wird, die Zentrifugalpumpe und eine gemeinsame Transmission, an die sämtliche Arbeits- und Förderelemente des Wäschers angehängt sind. Der Antrieb der Transmission erfolgt meist durch einen Elektromotor, der auch noch auf dem Eisengerüst Platz findet.

Eine Anlage mit einem solchen Aschenwäscher System „Weberco“ arbeitet in folgender Weise. Die in Kippwagen angefahrenen oder auf andere Weise herangeschafften Feuerungsrückstände werden über den 80 mm - Rost in die Schüttgrube des Elevators entleert. Der Elevator hebt das Gut unter 80 mm und bringt es auf das Schüttelsieb, das die Rückstände auf Körnungen über 6÷8 mm klassiert und den Grus durch eine Schurre abführt. Die Rückstände, nunmehr nur noch in den Körnungen von 6 oder 8÷80 mm, fallen in das Wasserbad, werden in der Strömung separiert, und Koks und Schlacke getrennt auf je einem Förderband ausgetragen. Von den beiden Gurtförderern gelangt das gewonnene Gut über Abzugsschurren in Kippwagen, die Koks und Schlacke zur Gebrauchsstelle oder zum Lagerplatz führen.

Der Webersche Wäscher wird in fünf Größen hergestellt mit Stundenleistungen von 0,5÷7,5 t Rohschlacke, und einem entsprechenden Kraftbedarf von 1÷7 PS. Es ist im Durchschnitt demnach mit einem Kraftbedarf von 1 kW/t Rückstände zu rechnen. Der stündliche Wasserverbrauch beträgt 60÷100 l/t Rückstände, je nach deren Feuchtigkeit. Der Webersche Wäscher verwendet das gleiche Wasser, das dem Klärbehälter wieder entnommen wird, doch wird durch die Feuchtigkeitsaufnahme der durchlaufenden Rückstände ein gewisser Frischwasserzusatz nötig. Die ersten drei Größen des Wäschers, d. h. von ca 0,5 bis 2,5 t Stundendurchsatz, werden auch fahrbar ausgeführt. Die Vorteile dieser Ausführung wurden bereits bei den oben besprochenen Verfahren erwähnt.

Der Webercowäscher separiert also Rückstände in Körnungen von ca 8÷80 mm. Der Wäscher macht sich durch diesen Körnungsbereich empfehlenswert für Betriebe, die infolge der geringen anfallenden Mengen darauf sehen müssen, einen Apparat zu kaufen, der sämtliche Körnungen verarbeitet. Für die Güte der Separation an sich ist der große Körnungsbereich, wie bereits erwähnt wurde, ungünstig, da grundsätzlich die Separation um so besser erfolgt, je gleichkörniger das Material ist. Der Webersche Wäscher hat bisher in der Schlackenseparationsindustrie erst geringen Eingang gefunden. Sein Anwendungsgebiet beschränkt sich vorläufig auf einige Bezirke in Westdeutschland.

Dem Weberschen Wäscher haften alle Fehler an, die sich aus dem Grundgedanken der Naßseparation herleiten. Der Wäscher separiert also um so schlechter, je größer der Schaumslagengehalt der Rückstände ist, und trägt keinen trockenen, sondern einen feuchten Brennstoff sowie feuchte Schlacke aus. Die Feuchtigkeit kann je nach Beschaffenheit der eingeführten Rückstände bis zu 30% betragen. Die Folgen der Feuchtigkeitsaufnahme auf die Separation der kleinen Körnungen, wie sie in dem vorangegangenen Abschnitt eingehend erörtert wurden, sind nicht zu vermeiden. Andererseits kommt dem

System zugute, daß ein gewaschenes staubfreies Material ausgetragen wird, besonders, da der Webercowäscher mit unvermengtem Wasser arbeitet. Die Beeinträchtigung des Aussehens durch Anhaften des Schlemmüberzuges aus der Trennflüssigkeit fällt fort. Alle diese Eigenschaften des Weberschen Wäschers lassen ihn geeigneter für kleinere Anlagen erscheinen, wo eine weitgehende Ausnutzung des Materials nicht die Hauptforderung bildet, und die Mengen der anfallenden Rückstände die Leistung einer einzelnen Separationsmaschine nicht überschreiten. Bei größeren Anlagen wird man sich für dieses Verfahren nur im Parallelbetrieb mit dem Trockenverfahren für kleinere Körnungen entschließen.

Die Betriebserfahrungen mit dem Webercowäscher in kleineren Anlagen sprechen von einem durchschnittlichen Lieferungsgrad von ca 90--95% bei einer Unreinheit des Koksausbringens von ca 8--15%. Der aus erreichbaren Angaben errechnete Separationsgrad ergibt ca 65--80% bei Körnungen über 20 mm. Die Bedienung des Wäschers erfordert keine besondere Geschicklichkeit, da mit der einmaligen Einstellung der Trennzunge und der Druckleitung die Hauptbedingungen für das gute Arbeiten des Wäschers erfüllt sind. Neuerdings baut die Firma Weber in den oberen Trennbehälter eine Glasscheibe ein, durch die eine Beobachtung des Separationsvorganges, insbesondere des Stromverlaufes und der Einwirkung auf Koks und Schlacke, ermöglicht werden soll. Unangenehm für den Betrieb sind die Abdichtungen für die unteren Lager der Gurtförderer, die in dem Wasserbade arbeiten, sowie der Verschleiß, dem die Zentrifugalpumpe und die Druckleitung durch den Gehalt des Wassers an Schlackenkörnern ausgesetzt sind. Die Abdichtung der Lager muß häufiger erfolgen, ebenfalls eine Reinigung des Klär- und Separationsbehälters, die mit der Zeit durch den Grusgehalt der Rückstände verschlammten. Vorteilhaft für die Lebensdauer der Förderer ist, daß ihre Anordnung einen Verschleiß durch Schöpfwiderstände vermeidet. Im Winter muß durch Heizung in gleicher Form, wie oben bei Besprechung des Schildeschen Verfahrens ausgeführt (s. S. 24), das Einfrieren des Wasserbades verhütet werden.

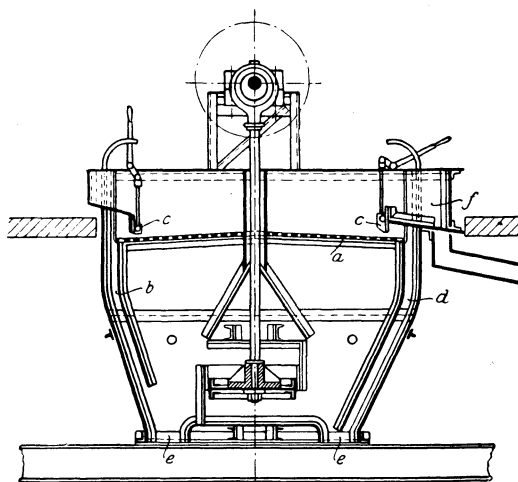
### 5. Das Setzverfahren nach Meguin, Humboldt, Gröppel-Rheinmetall u. a.

Ein anderes Separationsverfahren, das der erwähnten zweiten Gruppe von Naßverfahren angehört, die nur unvermengtes Wasser als Trennflüssigkeit verwenden und die Separation auf hydrodynamischem Wege bewirken, ist die sogenannte Braschenwäsche der Firma Meguin A.-G., Butzbach in Hessen. Die Maschine ist ziemlich un-



verändert aus der Kohlenaufbereitung übernommen, mit deren Einrichtungen sich dieses Unternehmen hauptsächlich beschäftigt, und zwar handelt es sich um eine Kolben-setzmaschine mit unter dem Bett angeordneten, doppelt wirkenden Kolben (Abb. 14). Die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte von Brennstoff und Schlacke wird bei diesem System durch periodische Bewegungen des Wassers zur Auswirkung gebracht.

Das Wallen des Wasserbades bewirkt allmählich ein Sammeln der leichteren Teile in den oberen und ein Absinken der schweren in die unteren Schichten des Setzbettes. Das aufsteigende Wasser hebt die leichteren Koksstücke schneller als die Schlacken, und das absinkende Wasser reißt die Schlacken schneller nach unten als den leichteren Koks. Nach dem gleichen Verfahren arbeiten auch Setzmaschinen, die von den Firmen Baum in Herne, Gröppel-Rheinmetall A.-G., Dortmund



*a* = Setzsieb *b*, *d* = Schlackendurchgänge  
*c* = Schlackenschieber *e* = Schlackenabzug  
*f* = Koksüberlauf

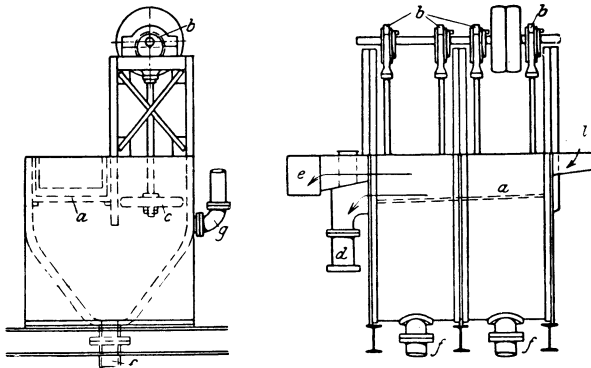
Abb. 14. Setzmaschine für die Separation von Feuerungsrückständen (Meguin).

(Abb. 16), Maschinenbauanstalt Humboldt, Köln-Kalk (Abb. 15), der Karlshütte, Krupp-Grusonwerk, Magdeburg, Schüchtermann & Krämer, Dortmund und anderen zur Aufbereitung von Feuerungsrückständen gebaut werden. Auch für diese haben die nachstehenden Ausführungen im wesentlichen Geltung. Die Meguinsche Braschenwäsche hat eine besondere Verbreitung gefunden und wird daher als Beispiel für die Setzmaschinen besprochen. Von der gleichen Firma wurde übrigens inzwischen eine neue verbesserte Type herausgebracht, die am Schluß des Abschnittes beschrieben wird.

Es ist fraglich, ob die Übernahme einer Kohlenaufbereitungsmaschine — um solche handelt es sich bei diesen sämtlichen Setzmaschinen — für die Zwecke der Schlackenseparation gerechtfertigt ist. Die Bejahung dieser Frage erscheint um so bedenklicher in Anbetracht der Tatsache, daß bei Verwendung dieser Maschinen als Schlackenseparatoren grundlegende Erfahrungen der Kohlenaufbereitung, wie z. B. die Behandlung nach Kornklassen, übergangen werden. Wenn auch bei

der Separation von Feuerungsrückständen ähnliche Verhältnisse vorliegen, verschiebt sich der Gang des Separationsprozesses infolge der Verschiedenheit der behandelten Stoffe erheblich. Wie bereits zum Ausdruck gebracht, ist das Verhältnis der spezifischen Gewichte von Bergen und Rohkohle größer, d. h. günstiger, als von Schlacke und Koks. Rohkohle und Berge sind ziemlich homogene Stoffe bei gleichen Vorkommen, und die Kohle hat ein dichtes Gefüge. Schlacke und Koks treten bei den gleichen Rückständen in sehr ungleichen Dichten bei ungleicher Struktur auf. Außerdem ist der Koks porös und erfährt im Verlauf der Separation eine Erhöhung des spezifischen Gewichtes, das sich mit fortschreitender Zeit dem spezifischen Gewicht der Schlacke nähert (s. S. 21).

Das sind Schwierigkeiten, die bei der Kohlenaufbereitung gar nicht auftreten und bei der Konstruktion der Setzmaschinen daher nicht



$a$  = Setzsieb  $b$  = Exzenter  $c$  = Kolben  $d$  = Schlackenabzug  $e$  = Koksüberlauf  $f$  = Schlammabzug  $g$  = Wassereintritt  $l$  = Einwurf

Abb. 15. Setzmaschine für die Separation von Feuerungsrückständen (Humboldt).

berücksichtigt wurden. Aus diesem Grunde erscheint es verfehlt, die gleichen Maschinen für die Schlackenseparation wie für die Kohlenaufbereitung anzuwenden. Die Bestätigung dieser Hypothese gibt die Entwicklung der nach Naßverfahren arbeitenden neueren Konstruktionen, denn bei den letztentwickelten Maschinen dieser Art richten sich die Neuerungen durchweg auf eine Verkürzung der Separationsdauer, die als ein Maß für die Eignung der Maschine erkannt wurde (s. S. 23).

Die Bauart der Meguinschen Setzmaschine sei nachfolgend beschrieben. In einem großen Bottich von rechteckigem Querschnitt, der nach unten pyramidenförmig spitz zuläuft, ist ein Sieb eingehängt (Abb. 14). Der Bottich ist mit Wasser gefüllt, so daß der Wasserspiegel

etwa 200 mm über dem Sieb liegt. Der Raum zwischen Wasserspiegel und Sieb stellt das eigentliche Setzbett dar, in dem sich der Separationsvorgang abspielt. Unter dem Sieb sind je nach Größe der Type ein oder zwei Zylinder eingebaut, in denen sich doppelt wirkende Tauchkolben bewegen. Die Kolben werden von einem Exzentertrieb betätigt und rufen durch das Auf- und Niedertauchen die gewünschte wallende Bewegung in dem Setzbett hervor, indem sich das Wasser abwechselnd durch das Sieb hochdrückt und wieder absinkt. Von einem Schüttelsieb, daß die Körnungen bis etwa 8 mm absiebt, wird das aus besonderen Gründen in zwei ungleich große Felder unterteilte Setzbett beschickt. Auf diese Schicht wirkt die Setzarbeit der auf- und niedergehenden Tauchkolben in oben geschilderter Weise ein. Während sich Koks und Schlacke in den oberen und unteren Schichten sammeln, bewegt sich die Charge unter dem Einfluß der Strömung langsam vorwärts, bis schließlich die obere Koksschicht über einen Überlauf hinwegespült wird, während die untere Schlackenschicht durch einen verstellbaren Schieber und die Schlackendurchgänge nach unten absinkt. Ein Teil der Schlacken wird bereits am Anfang des Setzbettes durch einen zweiten auch verstellbaren Schieber ausgetragen. Der herausgespülte Brennstoff gelangt auf ein gelochtes Sieb. Hier kann der Koks abtropfen und dann über eine Schurre in Muldenkippwagen abgezogen werden. Die in das untere des Behälters abgesunkenen Schlacken werden durch einen im Wasser arbeitenden Elevator, der seine Einlaufmündung am unteren Ende des Setzbottichs hat, in gelochten Bechern gehoben und, nachdem sie so entwässert sind, gleichfalls über eine Schurre in Kippwagen abgezogen.

Die Meguinsche Braschenwäsche wird für die verschiedensten Leistungen bis zu 40 t/st je nach Wunsch gebaut und hat ausschließlich der Nebenapparate einen Kraftbedarf von 1,5÷2,0 kW/t Rückstände. Die Meguinsche Wäsche ist bisher nur feststehend ausgeführt worden. Von der Firma Gröppel wird auch eine fahrbare Type geführt (Abb. 16).

Zu einer vollständigen Anlage mit einer solchen Braschenwäsche gehören neben dem Separationsbottich, dem Schüttelsieb für die Aufgabe der Rückstände, dem Sieb für das Abtropfen des separierten Koks und dem Elevator zum Austragen der separierten Schlacke, ein weiterer Elevator, der das Aufgabelschüttelsieb beschickt, ein Klärbehälter zum Reinigen des Wassers, eine Zentrifugalpumpe, die für den Umlauf des Wassers sorgt, und eine oder mehrere Transmissionen. Der Antrieb erfolgt in den meisten Fällen durch einen Elektromotor gemeinsam, doch kommt auch nach einer den besonderen Verhältnissen entsprechenden Unterteilung Gruppen- und Einzelantrieb vor. Die Anlage hat besonders bei größeren Leistungen zur Aufnahme aller dieser

Einzelapparate einen nicht unbeträchtlichen Platzbedarf. Der Elevator für die Beschickung des Schüttelsiebes hat seinen Einlauf unter Flur in einer Schüttgrube, die durch anfährende Kippwagen, bei größeren Anlagen auch durch Waggonkipper beschickt wird. Die Schüttgrube ist mit einem Rost von 80 mm Lochweite abgedeckt. Die Braschenwäsche separiert also Körnungen von etwa  $8 \div 80$  mm.

Der Betrieb einer derartigen Anlage erfolgt kurz wiederholt in der Weise, daß die angefahrenen Rückstände in die Schüttgrube des ersten Elevators auf einen Spaltrost entleert werden, wobei das Gut unter Körnungen von 80 mm klassiert wird. Die größeren Stücke müssen auf dem Rost der Schüttgrube von Hand ausgelesen, zerschlagen oder durch einen Brecher (s. Abb. 16) geschickt werden. Der Elevator hebt die Rückstände auf das Schüttelsieb, das den Grus unter 8 mm absiebt und über eine Schurre abführt. Das so nur noch aus Körnungen von 8 bis 80 mm bestehende Gut wird auf das Setzsieb gefördert. Nach erfolgter Separation wird der Koks über das gelochte Sieb in Kippwagen ab-

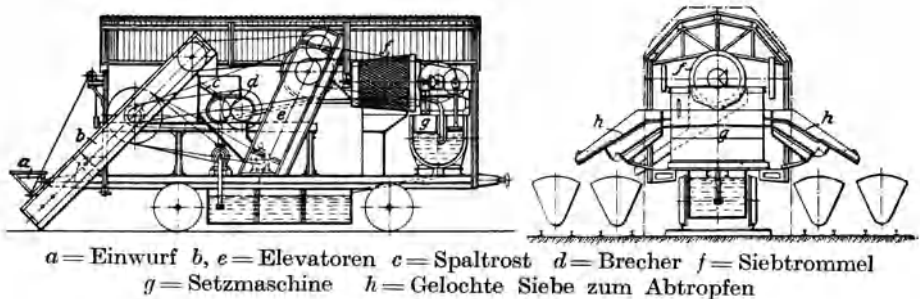


Abb. 16. Fahrbare Anordnung einer Setzmaschine für die Separation von Feuerungsrückständen (Gröppel-Rheinmetall).

gezogen, während die Schlacke aus dem Innern des Setzbottichs durch den zweiten Elevator gehoben, in den gelochten Bechern entwässert, und ebenfalls über eine Schurre Kippwagen zugeführt wird. Das Wasser zirkuliert über die Zentrifugalpumpe zwischen dem Klärbehälter und dem Setzbottich. Frischwasser muß in dem Maße zugesetzt werden, daß der Wasserspiegel über dem Setzbett stets dieselbe Höhe zeigt.

Die Ausdehnung einer solchen Anlage kennzeichnet das Verfahren als nur für größere Anlagen mit größeren Tagesdurchsätzen geeignet. Die Meguinsche Wäsche erzielt bei Körnungen über 20 mm einen Separationsgrad, der etwa zwischen 65 und 80% liegt. Die gleichen Werte dürften für die Setzmaschinen der obengenannten anderen Firmen zutreffen.

Für die Setzmaschinen gelten neben allen Vorteilen für die Naßaufbereitung von großen Körnungen alle Nachteile, die sich bei der

Naßseparation von kleinen Körnungen bei einer längeren Zeitdauer des Separationsprozesses ergeben und oben in dem Abschnitt über das Schildeverfahren eingehend erörtert wurden (s. S. 22 ff.). Die Separation wird durch die große Verschiedenheit der Körnungen beeinträchtigt ein Nachteil, der es ratsam erscheinen läßt, entweder die kleinen Körnungen überhaupt nicht mit dem Naßverfahren zu behandeln, d. h. nur die großen mit der Setzmaschine zu separieren, oder aber das Material erst in verschiedene Korngrößen zu klassieren und jede Kornklasse für sich auf getrennten Wäschen, vielleicht zwei oder drei, zu behandeln. Gerade die Kohlenaufbereitung, aus der diese Maschine übernommen ist, hat die Erfahrung gebracht, daß die Aufbereitung um so wirksamer erfolgt, je gleichkörniger das behandelte Gut ist. Der 20÷35% feuchte Brennstoff bedingt eine Ablagerung vor dem Verbrauch. Die Schlacke weist einen entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt auf. Der eine Elevator für die Austragung der Schlacke arbeitet zum großen Teil im Wasser kommunizierend mit dem Setzbottich und ist daher schwer zugänglich. Der Schöpfwiderstand der porösen, äußerst harten Schlacke bedingt einen unerwünschten Verschleiß für den Schlackenelevator. Der Separationsbehälter, Elevator, Klärbehälter verschlammten mit der Zeit und müssen häufiger, bei Dauerbetrieb in Abständen von etwa 4÷6 Wochen, gereinigt werden. Für die ständige Reinhaltung dienen Schlammabzüge an verschiedenen Stellen. Die Dichtungen in den unteren Lagern des Schlackenelevators sind häufiger zu erneuern. Die Pumpe und die Rohrleitungen sind durch den Gehalt des Wassers an Schlackenkörnern einem Verschleiß ausgesetzt. Im Winter muß durch genügende Heizung das Einfrieren des Wasserbades, auch des Klärbehälters, verhindert werden.

Die Firma Meguin hat, wie bereits bemerkt, noch eine neue Type herausgebracht, die mehr auf die Verhältnisse der Schlacken-separation zugeschnitten ist. Diese Maschine hat wesentlich kleinere Baumaße, die sich schon durch Fortfall des getrennt vorzusehenden Klärbehälters vermindern. Die Klärung der Flüssigkeit — es gelangt ebenfalls reines Wasser zur Verwendung —, die durch eine Zentrifugalpumpe in Umlauf gehalten wird, erfolgt in einem vor die Maschine gestellten Wasserraum von geringen Abmessungen. Der Kolben ist wieder unter dem Setzbett angeordnet. Das Brennstoffausbringen wird durch ein Schöpfrad, das Schlackenausbringen durch einen Schlackenelevator ausgetragen. Ein besonderer Schwimmer sorgt durch automatischen Frischwasserzusatz für die Aufrechterhaltung des Wasserpiegels. Die Klassierung der Rückstände erfolgt in einer angebauten Siebtrommel. Die Maschine hat eine Leistung von ca 1,2 t/st. Die wesentlich kleineren Baumaße des Apparates führen eine Verbilligung der Konstruktion herbei. Außerdem soll die verringerte Ausdehnung des

Setzbettes eine Steigerung der Setzwirkung und damit eine Verkürzung der Separationsdauer aus den mehrfach angeführten Gründen bewirken.

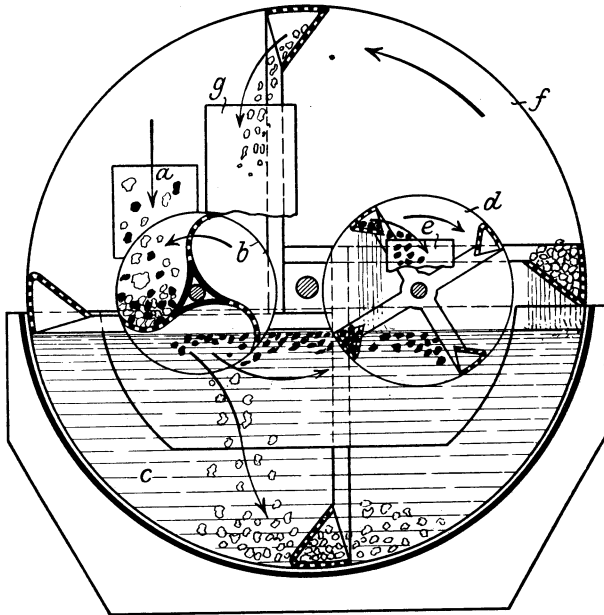
### 6. Das Verfahren nach Eukonomos.

Eine weitere Separationsmaschine, die auch nach einem Naßverfahren arbeitet, ist der Eukonomator, herausgebracht von den Eukonomos-Werken, Maschinenfabrik und Apparatebauanstalt, Rastatt in Baden. Das Verfahren gehört zu der Reihe von Naßverfahren, bei denen die Separation mit Hilfe einer besonderen Trennflüssigkeit bewirkt wird.

Die Rückstände werden in ein Bad von mittlerem spezifischen Gewicht geleitet, dessen Dichte zwischen der des Koks und der Schlacke liegt, und die abgesunkene Schlacke sowie der schwimmende Koks getrennt ausgetragen. Der Apparat ist gegenüber dem Schildeschen Wäscher durch eine besondere Aufgabevorrichtung für die Zuleitung der Rückstände an das Bad gekennzeichnet. Hierdurch sucht das Verfahren dem gegen die Schildesche Methode erhobenen Einwand gerecht zu werden, daß die Fallbeschleunigung der einfallenden Koks- und Schlackenstücke die Auswirkung der spezifischen Gewichte ungünstig beeinflußt. Die Aufgabevorrichtung besteht in einer Trommel mit drei Flügeln, deren Achse etwa in Höhe des Wasserspiegels liegt. Der Umfang der Trommel befindet sich also zur Hälfte innerhalb und zur anderen Hälfte außerhalb des Wasserbades. Die drei Flügel sind raufenartig gebogen, und ihre Rotation erfolgt in dem Sinne, daß die konkave Seite der Schaufeln das Bad zuerst berührt. In diese Schaufeln werden die Rückstände eingeleitet und durch die Drehung in das Bad überführt. Die Aufgabevorrichtung hat einerseits den Zweck, die Fallenergie der eingeworfenen Stücke zu vernichten und deren Einfluß auf die Separation auszuschalten, andererseits durch ihre Bewegung einen Wasserstrom in horizontaler Richtung hervorzurufen, der die schwimmenden Koksstücke schnell und sicher der Koksaustragevorrichtung zuführt (Abb. 17). Außerdem, und das ist das Wesentliche, erzeugen die Schaufeln bei der Rotation auf ihrer Innenseite ein gewisses Vakuum, das einen wirksamen Auftrieb hervorruft. Daher ist grundsätzlich über dieses Verfahren zu sagen, daß es nicht mehr nach einer rein hydrostatischen Methode arbeitet, sondern auch eine gewisse hydrodynamische Einwirkung durch die Aufgabevorrichtung verfolgt wird; denn es ist ohne Frage, daß die Strömungen, die von dem Zuteilapparat hervorgerufen werden, einen entscheidenden Einfluß auf die Separation ausüben werden. Diese Kombination läßt das Verfahren jedenfalls der Erfindung nach von besonderem Interesse erscheinen.

Der Apparat besteht aus einem rechteckigen Trog aus starken Blechen, die mit Winkeleisen versteift und vernietet sind. Über dem

halbzylindrisch geformten Boden des Bottichs rotiert ein zylindrisches Gestell aus Winkeleisen, an dessen Mantelseite gelochte Baggerbecher angeordnet sind. Innerhalb dieses Becherrades, das die Austragung der Schlacke besorgt, rotieren rechts und links von dessen Drehachse zwei weitere Trommeln, deren Durchmesser nur etwa ein Drittel von dem Durchmesser des großen Schaufelrades betragen. Die eine davon ist die bereits erwähnte Aufgabevorrichtung mit den drei gebogenen Schaufeln aus gelochtem Blech. Die andere Trommel hat die gleiche Konstruktion wie die große Vorrichtung zum Befördern der Schlacke,



$a$  = Einwurf  $b$  = Aufgabevorrichtung  $c$  = Trennbassin  $d$  = Schöpfrad für Brennstoffausbringen  $e$  = Abzug für Brennstoffausbringen  $f$  = Schöpfrad für Schlackenausbringen  $g$  = Abzug für Schlackenausbringen

Abb. 17. Wirkungsweise des Eukonomators (Eukonomos-Werke).

ist also ebenfalls ein zylindrisches Gestell aus Winkeleisen mit Bechern aus gelochtem Blech und dient zur Austragung des Koks. Die Achsen der beiden kleineren Systeme liegen etwa in Höhe des Wasserspiegels der Separationsflüssigkeit, die den halbzylindrischen Bottich fast anfüllt. Die Schlackenausstrage- und Aufgabevorrichtung haben die gleiche, die Koksaustragevorrichtung die entgegengesetzte Drehrichtung (Abb. 17). An dem Einlauf für die Rückstände, desgleichen an den Ausläufen der beiden Schaufelräder für die Austragung von Koks und

Schlacke. Zu der vollständigen Anlage gehört noch eine Siebtrommel für die Klassierung der Rückstände vor der Einführung in die eigentliche Separationsmaschine und ein Rührbottich, in dem die Trübe angemengt wird. Wenn ein reiner Brennstoff ohne Schlemmüberzug verlangt wird, wird noch eine Waschtrommel angebaut, in der das separierte Brennstoffausbringen gereinigt wird. Hierfür sind die gleichen Gesichtspunkte maßgebend, die oben bei Besprechung des Schildeschen Verfahrens klargelegt wurden (s. S. 20).

Der Eukonomator wird in drei Typen gebaut, die nach Angaben der Kataloge außerordentlich große Leistungen von 6, 10 und 20 t/st bei äußerlich kleinen Abmessungen aufweisen. Die Apparate können auch fahrbar gebaut werden. Der Antrieb erfolgt über eine kleine Transmission, meist durch einen Elektromotor, dessen Kraftbedarf auf 0,6 kW oder 0,8 PS bei der kleinen Type bestimmt wurde. Das würde die auffallend geringe Leistung von 0,4 kW/t Rückstände bedeuten. Der Apparat soll angeblich sämtliche Körnungen, allerdings wohl bis zu einer bestimmten Größe, separieren. Nach den für den Körnungsbereich bei Naßseparation oben angestellten Erörterungen (s. S. 21 ff.) dürfte für den Eukonomator praktisch ein Körnungsbereich von höchstens 8 ÷ 70 oder 80 mm in Frage kommen.

Es ist vorläufig, solange noch keine ausreichenden praktischen Betriebsergebnisse vorliegen, kaum zu übersehen, für welche Art von Betrieben diese Separationsmaschine geeignet und welche Bedeutung dem Verfahren beizumessen ist. Nach vorliegenden Versuchsergebnissen wurden Koksausbringen mit Unreinheiten von 5 ÷ 9% und Unreinheiten des Schlackenausbringens bis 5% erzielt. Immerhin kann vielleicht gesagt werden, daß die Maschine bei Bewährung auf Grund ihrer großen Einfachheit für kleine Betriebe geeignet sein wird. Das Verfahren wird alle Nachteile der Naßseparation aufweisen, d. h. der Schaumslagengehalt wird die Separation ungünstig beeinflussen und Brennstoffe wie Schlacke werden in unerwünscht feuchtem Zustande ausgetragen werden. Außerdem werden das Aussehen und die Qualität des ausgebrachten Brennstoffes von der Art der verwandten Trübe abhängen. Für den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes und des Schlemmüberzuges gelten die gleichen Ausführungen, die oben für das Schildesche Verfahren gemacht wurden. Äußerlich betrachtet scheint die Konstruktion der Schaufelräder in Anbetracht des starken Verschleißes bei großen Schöpfwiderständen nicht günstig. Gegen die Gefahr des Einfrierens muß der Apparat im Winter durch Heizung geschützt werden.

## 7. Die Handauslese.

In diesem vorletzten Abschnitte über die Separationsverfahren sei noch einiges über die einfachste Möglichkeit einer Separation, das



Auslesen von Hand, gesagt. Vom Standpunkt der technischen Entwicklung erscheint dieses Verfahren durchaus unerwünscht, da es die unqualifizierte Handarbeit an Stelle der Maschine verwendet. Für die Entwicklung der Schlackenseparationsindustrie ist das Auslesen von Hand von geschichtlicher Bedeutung. Viele Separationsanlagen verwandten bei ihrer Entstehung dieses Verfahren in weit größerem Umfange als heute, und in einigen Anlagen wurde anfangs versucht, die Separation nur mit Handarbeit durchzuführen. Wenngleich sich heute diese Versuche längst an verschiedenen Unzulänglichkeiten und natürlich nicht zuletzt an ihrer Unwirtschaftlichkeit zerschlagen haben, andererseits durch die technische Entwicklung überholt wurden, so kommt doch auch heute die moderne Separationsanlage nicht ohne das Verfahren des Auslesens von Hand aus. Die Wirklichkeit jedenfalls ist, daß keine einzige größere Separationsanlage läuft, ohne an irgendeiner Stelle doch mit der Handauslese einzuspringen, um der Maschine nachzuhelfen. Aus diesem Grunde sei auch dieses primitive und so unfortschrittliche Verfahren einer näheren Betrachtung unterzogen.

Wie in den vorhergehenden Abschnitten schon erwähnt, kommt bei allen Verfahren für die Separation der Körnungen über 70--80 mm die Handauslese in Frage, falls die großen Stücke nicht zerschlagen werden. Außerdem werden besonders dort, wo der gewonnene Koks als Verkaufsprodukt verwandt wird, Nachlesebänder hinter den Separationsmaschinen angeordnet, auf denen die in dem Brennstoffausbringen verbliebenen Schlackenstücke von Hand ausgelesen werden, um ein besseres Aussehen und gleichzeitig einen besseren Heizwert für den Separationskoks zu erhalten. Doch auch bei Eigenverbrauch kommt die Handauslese oft in Anwendung, um einen qualitativ besseren Brennstoff zu erzielen.

Die Lesearbeit wird auf Gurtförderern (Abb. 18) und Drehtischen (Abb. 19) vorgenommen. Der Lesetisch ist auf Abb. 19 im Vordergrund rechts erkennbar.

Für die Förderbänder sind Stahldrahtgurte ratsam, die sich dem Verschleiß der harten Schlacke gegenüber recht widerstandsfähig gezeigt haben. Für längere Strecken sind mit Rücksicht auf die mangelhafte Elastizität der Stahldrahtgurte Gummi- oder Ballatabänder vorzuziehen. Zu beiden Seiten des Fördergurtes sind meist Führungsleisten angebracht, besonders bei Behandlung von großen Körnungen. Besser jedoch werden Hohlbänder benutzt, die durch ihre besondere Form ein Herabgleiten des Fördergutes verhindern. Die Lagerung der Führungsrollen auf einem durchlaufenden eisernen Gerüst sollte etwa aus Sparsamkeitsgründen nie umgangen werden, da sonst ein Ecken der Roilen unvermeidlich ist und Betriebsstörungen die Folge sind. Die Schmierung der Lager erfolgt durch

Staufferbuchsen, die gegen Eindringen von Staub am meisten schützen. Für die Bemessung der Bandbreite ist die Leistung maßgebend. Es kommen Breiten von 40÷60 mm vor. Mit Rücksicht auf die Anlagekosten, die Betriebssicherheit und den Verschleiß sind die Bänder möglichst kurz zu halten. Der Antrieb der Gurtförderer erfolgt von einer Transmission aus oder durch Einzelantrieb mittels Elektromotor.

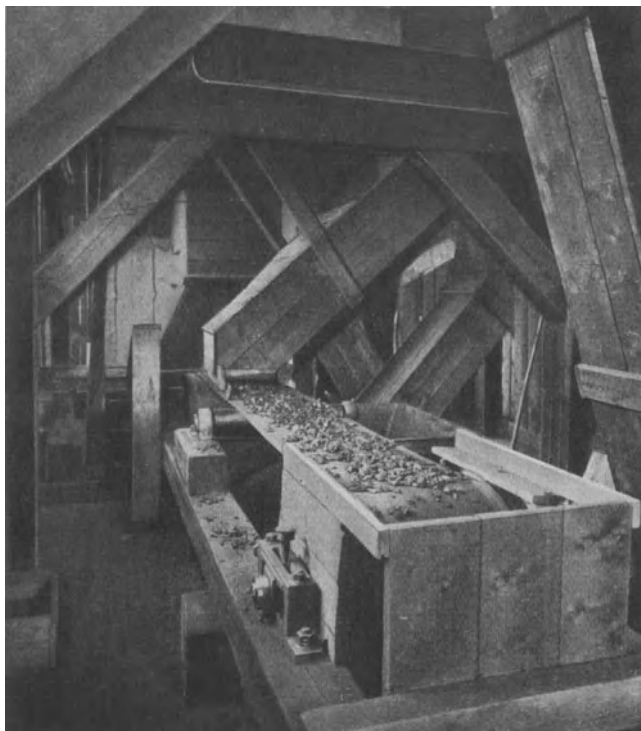


Abb. 18. Gurtförderer zum Auslesen der Feuerungsrückstände von Hand (Krupp).

Das Gut wird durch eine Schurre aufgegeben, während der Förderung ausgelesen und hinter der Umlenkrolle in einen Sammeltrichter abgeworfen. Die ausgeklaubten Koks- oder Schlackenstücke werden in Körben gesammelt oder unmittelbar in einen Bunker abgeworfen.

Die Lesetische sind kreiselförmige Gestelle mit einem Außendurchmesser von 4÷5 m. Sie bestehen aus einem etwa 400÷500 mm breiten Blechrand mit gebördelten Kanten, der durch Speichen nach oben und unten gegen eine zylindrische Achse versteift ist. Der Antrieb der Lese-

tische erfolgt gewöhnlich durch Transmission. Das Gut wird über eine Schurre aufgegeben und durch einen Abstreifer abgeführt.

Die Lesearbeit wird meist von weiblichen Arbeitern ausgeführt, die stehen oder sitzen können. An einem wie oben bemessenen Lesetische finden etwa 7–9 Frauen Platz. Die Güte der Separation und die Leistung sind verschieden und hängen von der Schulung der Frauen ab. Wenngleich es nicht schwer ist, die schwarzen Koks- und Kohlenstücke aus den meist rotbraunen, bronzefarbenen Schlacken herauszukennen, so gehört doch für die unqualifizierte Arbeiterin eine gewisse Übung dazu.

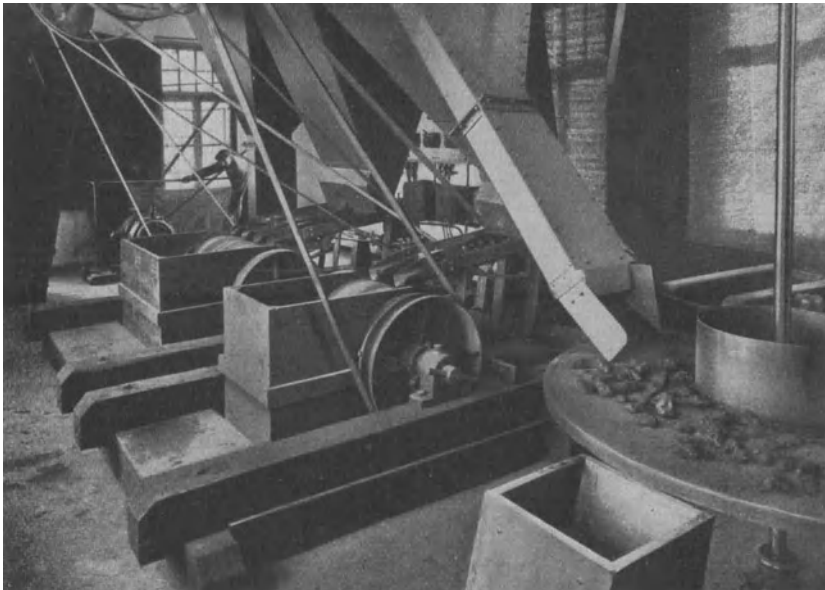


Abb. 19. Lesetisch zum Auslesen der Feuerungsrückstände von Hand (Krupp).

Welche verschiedenen Ergebnisse die Separation durch Auslesen von Hand erzielen kann, sei an folgenden zwei Beispielen gezeigt, die gleichzeitig auch einige Zahlen für dieses Verfahren nennen. In dem einen Falle wurden sämtliche Feuerungsrückstände über 40 mm auf einem Lesetisch von sieben Frauen durch Handauslesen separiert. Es war übrigens vorgesehen, diesen Lesetisch später gegen eine Setzmaschine auszuwechseln. Die sieben Frauen separierten in der Stunde 0,63 t Koks aus 5 t Rückständen, d. h. auf eine Frau bezogen 90 kg/st. In dem zweiten Falle wurden nur die Körnungen über 70 mm auf einem Förderband von zwei Frauen durch Hand sepa-

riert. Die anderen Körnungen wurden im Parallelbetrieb von Trocken- und Naßverfahren behandelt. Die Rückstände über 70 mm fielen in Mengen von 0,7 t/st an, und es wurden von den Frauen zusammen 100 kg Koks je Stunde ausgelesen, d. h. auf eine Frau bezogen 50 kg/st. Bei Beurteilung dieser Leistungsverschiedenheit in den beiden Anlagen ist noch zu berücksichtigen, daß im ersten Falle infolge der kleineren Korngrößen eine höhere Anzahl von Griffen nötig war, um die gleiche Menge an Gewicht herauszuklauben als in dem zweiten Falle, bei dem nur Korngrößen über 70 mm vorkamen. Danach erhöht sich die Überlegenheit der ersten Lesetruppe noch um ein wesentliches.

Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, daß die Frauen in der erstgenannten Anlage saßen und je zwei gemeinsam die ausgeklauten Koksstücke rechts oder links in einen Trichter abwarfen, der in bequemer Reichhöhe und -weite angeordnet war. Die Frauen waren gut eingearbeitet und wurden ständig von einem Vorarbeiter überwacht. In der anderen Anlage standen die Frauen und sammelten die Koksstücke in einen Korb, den sie in einen 3÷4 m entfernten Bunker entleerten. Die Frauen waren in einem besonderen Raume untergebracht und wurden nur von Zeit zu Zeit durch den Werkmeister kontrolliert. Die Güte der Separation in bezug auf die Reinheit des ausgebrachten Brennstoffes und der Schlacke war in beiden Fällen etwa die gleiche. Die Beispiele lassen deutlich erkennen, von welchen verschiedenen Einflüssen, auch der Betriebseinrichtungen, der Effekt des Auslesens von Hand abhängt. Die Betriebseinrichtungen und die Organisation sind gerade bei derartig einfachen Arbeitsvorgängen von bedeutendem Einfluß, wie die bekannten Beobachtungen von Taylor und Barth gezeigt haben.

Das Verfahren der Handauslese ist teuer. Da es jedoch als Aushilfsverfahren nur für einen untergeordneten Teilbetrag der Leistung einer Anlage in Betracht kommt, spielen diese Mehrkosten eine geringe Rolle, besonders, da sie sich durch das bessere Aussehen und die größere Reinheit des Brennstoffes mehrfach bezahlt machen.

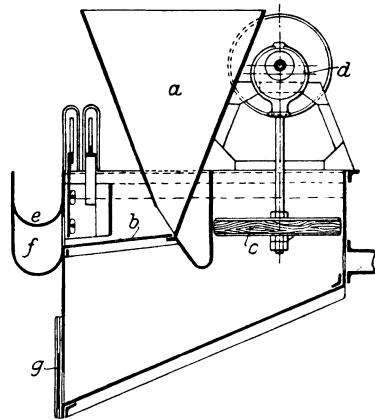
### **8. Neuere Verfahren nach Bifa, Ambi, Mitteldeutsche Apparatebau-Gesellschaft, Hessel, Eitle, Graue.**

Mit welchem Optimismus die Entwicklung der Schlackenseparation von der Maschinenindustrie beurteilt wird, zeigt die Tatsache, daß bis in die letzte Zeit eine ganze Reihe von Firmen die Herstellung von Schlackenseparationsmaschinen aufgenommen haben und dauernd neue Systeme bekanntwerden. In nachstehendem seien einige dieser neueren Verfahren beschrieben, soweit Angaben über ihre Wirkungsweise bereits vorliegen.

Von der Bifa, Frankfurt a. M., wird ein Schlackenseparator unter dem Namen „Vulkan“ gebaut<sup>1)</sup>. Es handelt sich um eine Feinkornsetzmaschine mit zwei Kammern und seitlich neben dem schrägliegenden Setzbett angeordnetem Kolben (Abb. 20). Die Maschine ist einfach gehalten und nach den aus der Kohlenaufbereitung bekannten Gesichtspunkten durchgebildet. Der durch Exzenter angetriebene Kolben befindet sich in der einen Kammer des Wasserbehälters und ist einseitig wirkend. Als Trennflüssigkeit wird unvermengtes Wasser benutzt, das separat geklärt werden muß. Die Austragung von Brennstoff- und Schlackenausbringen erfolgt durch Überlauf und Schlackenschieber in zwei übereinanderliegende Mulden. Bei den sonst kleinen Baumaßen der Maschine ist ein besonderer Klärbehälter erforderlich. Durch die geringen Abmessungen des Setzbettes sollen eine kräftigere Setzwirkung und ein schnellerer Durchgang der Charge bei der Separation erzielt werden.

Eine weitere Konstruktion der genannten Firma, die unter dem Namen „Komet“ herausgebracht wurde, ist von der Ambi-A.-G., Berlin, übernommen worden. Dieser Kometseparator arbeitet ebenfalls nach dem Setzmaschinenprinzip mit einem einfachwirkenden, unter dem Setzbett angeordneten Kolben.

Die Austragung des Brennstoffausbringens erfolgt an einem Überlauf durch die Strömung. Die Schlacke wird mit einem Schöpfrad, ähnlich wie bei dem Eukonomator, abgeführt. Das Setzbett ist schräg angeordnet und wird über eine Zulaufschurre aus der oberhalb angebauten Siebtrommel beschickt, in der eine Klassierung der Rückstände auf Körnungen von ca 6–80 mm erfolgt. Für die Ausstoßung von Koks und Schlacke aus der Maschine sind besondere Kratzer vorgesehen, die auf zwei Schurren münden. Die fahrbar ausgebildete Maschine arbeitet ohne besondere Schlemmflüssigkeit mit reinem Wasser, das in einer getrennten Anlage geklärt wird. Irgendwelche Besonderheiten sind bei diesen beiden Bifa-Konstruktionen nicht festzustellen. Es handelt sich scheinbar um gewöhnliche Setzmaschinen,



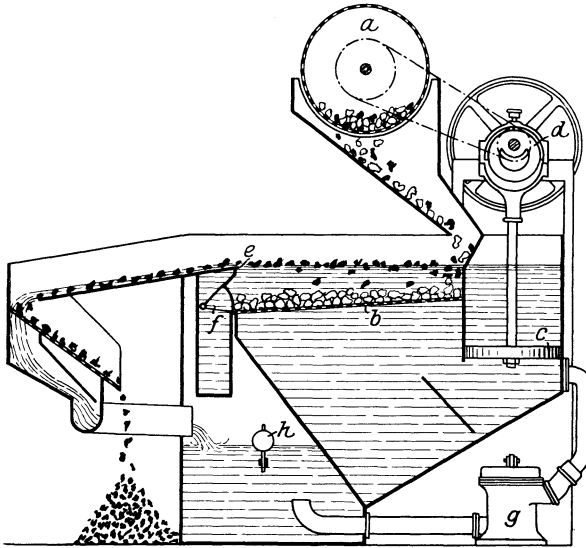
$a =$  Einwurf  $b =$  Setzsieb  $c =$  Kolben  $d =$  Exzenter  $e =$  Koksüberlauf  
 $f =$  Schlackenaustritt  $g =$  Schlammabzug

Abb. 20. Schlackenseparator „Vulkan“ (Bifa).

<sup>1)</sup> G. Reder: Aufbereitung von Feuerungsrückständen, Industrie und Technik, 4. Jahrgang, Heft 2, 1923, S. 26.

die in Abmessungen und Leistungen auf einen Schlackenseparationsbetrieb kleinerer Ausdehnung zugeschnitten sind.

Von der *Ambi-A.-G.* ist noch eine neue Konstruktion herausgebracht worden, die verschiedene Verbesserungen gegenüber dem Kometapparat aufweist. Die Maschine, deren grundsätzliche Wirkungsweise die Abb. 21 zeigt, arbeitet mit reinem Wasser. Ein besonderer Klär-



*a* = Siebtrommel    *b* = Setzsieb    *c* = Kolben    *d* = Exzenter    *e* = Koksüberlauf    *f* = Schlackenschieber    *g* = Pumpe    *h* = Wasserstandsregler

Abb. 21. Wirkungsweise des *Ambi*-Schlackenseparators (*Ambi*).

behälter ist nicht erforderlich, sondern dieser ist in Form eines ausreichenden Wasserraumes in die Maschine eingebaut. Der Setzvorgang wird durch einen neben dem Setzbett angeordneten, einfachwirkenden Kolben eingeleitet, der mit einer Druckpumpe in Verbindung steht. Durch eine Exzentersteuerung wird bewirkt, daß die Pumpe periodisch beim Hochgang des Tauchkolbens eine Wassermenge unter das Setzbett drückt, die dem von dem Kolben freigegebenen Verdrängungsraum entspricht. Hierdurch wird ein Absinken des Wasserspiegels verhindert, und eine kontinuierliche, sehr kräftige Strömung innerhalb des Setzbettes erzielt. Der Einrichtung liegt die Absicht zugrunde, den Separationsvorgang nach Möglichkeit zu beschleunigen. Zur Verminderung des Verschleißes sind Kratzer für die Austragung von Koks und Schlacke vermindert. Die Austragung des Brennstoffausbringens erfolgt durch einen Überlauf nach dem Gegenstromprinzip. Die Schlacke wird allerdings wieder durch einen Elevator entfernt,

doch ist versucht, die Schöpfwiderstände möglichst gering zu halten. Ein besonderer Wasserstandsregler sorgt für die Aufrechterhaltung des normalen Wasserspiegels und bewirkt eine automatische Frischwasserzufuhr. Die Klassierung der Rückstände erfolgt in einer angebauten Siebtrommel auf einen Körnungsbereich von ca 6–80 mm. Die Maschine hat eine Leistung von ca 2 t/st. Der Apparat weist äußerlich eine gut durchgebildete geschlossene Bauart auf. Bei seiner Konstruktion ist jedenfalls den Erfahrungen Rechnung getragen, die bei Verwendung der normalen aus der Kohlenaufbereitung übernommenen Setzmaschinen zu Zwecken der Schlackenseparation gemacht wurden.

Ein anderer Apparat wird von der Mitteldeutschen Apparatebau-Gesellschaft, Frankfurt a. M., unter dem Namen „Merkur“ angeboten. Auch hier liegt eine mit reinem Wasser arbeitende Setzmaschine vor, die in den Baumaßen und der Anordnung dem Schlackenseparationsbetrieb angepaßt ist.

Die Firma Hessel, Essen, bewirkt die Separation der Rückstände durch einen kreisenden Wasserstrom, der in einem trichterförmigen Behälter aufsteigt<sup>1)</sup>. Die Bewegung des Wassers wird durch ein Rührwerk mit einem Rechen erzeugt. Während der Koks oben über einen Überlauf abgespült wird, erfolgt die Austragung der nach unten abgestnkenen Schlacken durch eine schräg angeordnete Schnecke, die ihren Einlauf am Boden des Behälters hat. Die Maschine arbeitet mit reinem Wasser, das durch eine Pumpe in Umlauf gehalten wird.

Von der Firma F. C. Eitle, Stuttgart, die bisher nur Handsetzmaschinen (s. S. 6) herstellte, ist ebenfalls ein neuer Separationsapparat herausgebracht worden. Die Maschine arbeitet mit reinem Wasser. Die Austragung von Koks und Schlacke erfolgt durch Schöpfräder. Der Apparat besitzt eine Zuteiltrommel, ähnlich wie sie bei dem Eukonomator beschrieben wurde. Da diese Trommel gleichzeitig eine Bewegung des Wassers hervorruft, so liegt bei diesem Verfahren wieder eine Kombination der hydrostatischen und hydrodynamischen Methode vor. Eine angebaute Siebtrommel soll vor Einführung der Rückstände in den Apparat den Grus und die größten Stücke entfernen. Im übrigen weist die Maschine eine sehr einfache Bauart auf.

Als neueste Schlackenseparationsmaschine ist ein von der Graue A.-G., Hannover, herausgebrachter Apparat zu nennen. Er ist in der Hauptsache für die Aufbereitung von Gießereischutt, Kupolofenabraum und Abstichschlacke zur Rückgewinnung von Eisenteilen und Koks bestimmt. Die Maschine, die nach einem Naßverfahren arbeitet,

<sup>1)</sup> Dipl.-Ing. F. Schulte: Die Wiedergewinnung von Koks und Kohle aus Feuerungsrückständen, Glückauf, 58. Jahrgang, Nr. 18, Mai 1922, S. 534.

soll jedoch nebenher für die Aufbereitung von Feuerungsrückständen zu verwenden sein<sup>1)</sup>).

Erwähnt sei schließlich ein in Amerika für die Aufbereitung von Anthrazit gebräuchliches Separationsverfahren, das de Grahl als Anregung für die Separation von Feuerungsrückständen erwähnt<sup>2)</sup>. Nach diesem Verfahren erfolgt die Trennung zwischen Anthrazit und taubem Gestein durch Zentrifugalwirkung. Das Rohgut wird auf spiralenförmig ausgebildeten Rutschen in Bewegung gebracht, bis schließlich die schwereren Steine von der überwiegenden Zentrifugalkraft aus der Bahnrichtung abgelenkt und so ausgeschieden werden. Bedeutungsvoll ist an diesem Verfahren, daß die Aufbereitung trocken erfolgt.

## II. Die Ausgangs- und Endprodukte der Schlackenseparation und ihre Verwendung.

### 1. Die Feuerungsrückstände.

In diesem Teil der Arbeit sollen die Ausgangs- und Endprodukte der Separation einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Da nach Kenntnis der verschiedenen Separationsverfahren und ihrer Wirkungsweise ein genügendes Verständnis vorausgesetzt werden kann, seien nunmehr nachträglich die exakten Definitionen der für die Brennstoffseparation wesentlichen Bezeichnungen und Begriffe gegeben. Eine eingehende Besprechung und Klärung dieser Begriffe erscheint erforderlich mit Rücksicht auf die Tatsache, daß diese in verschiedenen Veröffentlichungen verwechselt und mißbraucht werden. Es sei daher von vornherein darauf hingewiesen, daß einige der nachfolgenden falschen Bezeichnungen und Begriffe nur mit Rücksicht auf ihre häufig unrichtige Anwendung diskutiert werden.

Mit Feuerungsrückständen ganz allgemein werden die Restprodukte verfeuerter Brennstoffe bezeichnet, die nach Beendigung des Verbrennungsprozesses aus einer Feuerung ausgetragen werden; im Rahmen der Schlackenseparation handelt es sich ausschließlich um die Rückstände fester Brennstoffe. Diese Restprodukte werden auch Herdrückstände, Brennstoffrückstände oder nur Rückstände, auch Braschen, Rohschlacke oder allgemeiner Schlacke genannt.

Durch den Vorgang der Separation ergibt sich ein Brennstoffausbringen und ein Schlackenausbringen. Mit Brennstoffausbringen wird das Verhältnis der bei der Separation ausgeschiedenen Menge an verbrennlichen Teiler der Feuerungsrückstände zu der Gesamtmenge an separierten Rückständen bezeichnet. Daher werden auch allerdings zu

<sup>1)</sup> Gießerei-Zeitung, 21. Jahrgang, Nr. 11, Juni 1924, S. 223.

<sup>2)</sup> Dipl.-Ing. G. de Grahl: Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe, 3. Auflage, Verlag Oldenbourg, München u. Berlin, 1924, S. 491.



Unrecht die Ausdrücke: Verbrennliches und Ausbringen an Verbrennlichem benutzt. Da es sich bei Steinkohlenfeuerungen hauptsächlich um Koks als gewonnenen Brennstoff handelt, sind auch die nachstehenden Bezeichnungen gebräuchlich: Koksausbringen, Separationskoks, Koks-zinder oder einfach Koks und Breeze.

Schlackenausbringen ist die Bezeichnung für das Verhältnis der bei der Separation zurückbleibenden Menge an unverbrennlichen Bestandteilen zu der Menge an separierten Rückständen. Hierfür gelten daher oft ebenfalls zu Unrecht die Benennungen: Unverbrennliches und Ausbringen an Unverbrennlichem. Andere Bezeichnungen sind Schlacke und Reinschlacke. Auf den Unterschied von Brennstoff- und Schlackenausbringen gegenüber dem Gehalt an Verbrennlichem und Unverbrennlichem wird weiter unten eingegangen. Als Bestandteile des Schlackenausbringens sind noch zu erwähnen die Halbschlacken, unter denen teilweise verschlackte oder mit Schlacken verklebte Brennstoffteile verstanden werden, deren Verschlackung so weit vorgeschritten ist, daß sie für eine nochmalige Verfeuerung als Brennstoff nicht mehr in Frage kommen. Weiter gehören hierzu die Schaum- oder Schwammschlacken, das sind Schlackenstücke, die in flüssigem Zustande einer intensiven Gasentwicklung ausgesetzt waren, und als Körper geringen spezifischen Gewichts in poröser Struktur erkalteten. Für die Ermittlung des Brennstoff- und Schlackenausbringens kommen natürlich nur Korngrößen in Frage, die an der Separation teilnehmen. Da bei allen Separationsverfahren der Grus vorher abgesiebt wird, so treten sie nur in Körnungen über 5 mm auf, es sei denn, daß der Grus einer getrennten Separation für sich unterworfen wird.

Der feinkörnige Rest der Rückstände unter 5 mm Korngröße wird mit Grus bezeichnet. Der Grus ist ein feinkörniges Gemisch von koksigen und kohligen Bestandteilen einerseits, Schlackenkörnern und Asche andererseits. Dieses Produkt weist oft den relativ größten Gehalt an Kohle auf, die von dem Rostdurchfall herrührt.

Nach dieser Festlegung der Bezeichnungen für die Produkte folgen die eigentlichen Begriffsdefinitionen. Unter dem Brennstoffgehalt der Rückstände wird verstanden das Verhältnis der in einem bestimmten Quantum von Feuerungsrückständen tatsächlich enthaltenen brauchbaren und durch die Separation im Idealfall zu gewinnenden Brennstoffmenge zu der in die Separationsmaschine gelangenden Menge an Rückständen, ausgedrückt in Gewichtsprozenten.

$$\text{Brennstoffgehalt} = \frac{\text{ideell gewinnbare Brennstoffmenge}}{\text{separierte Menge an Rückständen}}$$

Für den Brennstoffgehalt kommen daher ebenfalls nur Körnungen über 5 mm oder nur Körnungen unter 5 mm in Betracht, da der Grus an der Separation entweder gar nicht teilnimmt oder getrennt für sich verarbeitet wird. Die Bestimmung der ideell gewinnbaren Brennstoffmenge

erfolgt bei Korngrößen über 5 mm durch Auslesen der Rückstände von Hand, d. h. nur die tatsächlich separationslohnenden Brennstoffteile werden berücksichtigt. Die Halbschlacken werden zur Schlacke gerechnet.

Der Brennstoffgehalt der Rückstände ist also ein Gewichtsverhältnis und kennzeichnet eine ganz andere Größe wie der Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem. Der Brennstoffgehalt ist ein praktischer Wert und erfaßt daher nur den Anteil derjenigen Brennstoffteile, die für eine nochmalige Verfeuerung in Frage kommen. Eine Auslese dieser Brennstoffteile erfolgt mit Sicherheit von Hand. Ein geübtes Auge ist ohne weiteres in der Lage zu unterscheiden, welche Schlacken als Halbschlacken in obengenanntem Sinne zu bezeichnen sind.

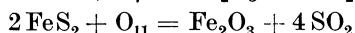
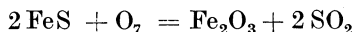
Die Auslese erfolgt bei einem Probequantum, das den zu separierenden Feuerungsrückständen zu entnehmen ist. Für die einwandfreie Entnahme der Durchschnittsproben ist das vom Staatlichen Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem, und dem Verein Deutscher Ingenieure im Verein mit anderen Verbänden empfohlene und weitverbreitete Verfahren zu benutzen. Der in dem Probequantum befindliche Grus wird durch Absieben entfernt und das übrigbleibende Quantum zweckmäßig in mehrere Korngrößen klassiert, um das Auslesen zu erleichtern. Es ist zu beachten, daß die Untersuchung möglichst bei normaler Feuchtigkeit vorgenommen wird, in der die Rückstände verarbeitet werden. Diesen Probeentnahmen und der Bestimmung des Brennstoffgehaltes ist die allergrößte Aufmerksamkeit zuzuwenden. Besondere Sorgfalt ist erforderlich, wenn die Unterlagen über die Separationsfähigkeit der Rückstände entscheiden sollen.

Der Unterschied der beiden Begriffe des Brennstoffgehaltes und des Gehaltes an Verbrenlichem liegt in der Bewertung der in dem Grus und dem Schlackenausbringen noch befindlichen brennbaren Bestandteile. Ein Rückschluß auf den Brennstoffgehalt, ausgehend von dem Gehalt an Verbrenlichem, ist daher nur unter Kenntnis dieser Differenzgrößen möglich. Da jedoch in den meisten Fällen der Gehalt an Verbrenlichem zuerst bekannt sein wird, und dieser auch im anderen Zusammenhang für die Schlackenseparation von Bedeutung ist, so sei auch auf diesen Begriff eingegangen. Nur wenn es sich ausschließlich um die Separation von Körnungen unter 5 mm handelt, tritt der Gehalt an Verbrenlichem an die Stelle des Brennstoffgehaltes, in der Annahme, daß Halbschlacken hierbei nicht mehr auftreten.

Der Gehalt an Verbrenlichem in den Feuerungsrückständen kennzeichnet den Gehalt der Rückstände an verbrennlichen Bestandteilen. Seine Ermittlung erfolgte bisher durch Bestimmung der Glühverluste bei Luftzutritt durch Veraschung bis zur Gewichtskonstanz. Bei dieser Methode wird von der Annahme ausgegangen, daß sich alle flüchtigen Bestandteile des ursprünglichen Brennstoffes bei der hohen

Temperatur in der Feuerung bereits verflüchtigt haben. Der bei Bestimmung der Glühverluste auftretende Gewichtsverlust wird daher als reiner Kohlenstoff mit einem Heizwert von 8100 kcal eingesetzt. Diese Methode ist verhältnismäßig einfach und wird in vielen Betrieben angewendet. In dem beachtenswerten Heftchen von Ed. Donath: „Die Verfeuerung der Mineralkohlen und die Aufbereitung der Feuerungsrückstände“<sup>1)</sup>, auf das an anderer Stelle zurückgegriffen wird, macht jedoch Donath darauf aufmerksam, daß diese bisher übliche Methode erhebliche Ungenauigkeiten aufweist und nach seinen Erfahrungen in vielen Fällen unrichtige Resultate ergibt. Nähere zahlenmäßige Angaben über die Größe der Abweichungen werden leider nicht gemacht. Die Feststellungen Donaths waren das Ergebnis eingehender Beschäftigung mit der chemischen Zusammensetzung der Feuerungsrückstände, die bisher wenig beachtet wurden. Man schloß vielmehr von der chemischen Zusammensetzung der in dem ursprünglich verfeuerten Brennstoff enthaltenen Asche auf die Zusammensetzung der Feuerungsrückstände, während eine Übereinstimmung zwischen diesen beiden gar nicht besteht.

Die Feuerungsrückstände enthalten nach neueren Feststellungen z. B. sämtlich Eisenoxydulverbindungen sowie Einfachschwefeleisen. Die Oxydation des Eisenoxyduls verursacht jedoch beim Glühen eine Gewichtszunahme und entstellt dadurch das Ergebnis der bisher üblichen Glühverlustmethode in unrichtiger Weise. Andererseits bewirkt die Verbrennung des Einfachschwefeleisens einen Gewichtsverlust.



Um genaue Resultate zu erhalten, ist es daher erforderlich, das Eisenoxydul sowie Substanzen, die zur Bildung von Eisenoxydul führen können, das ist in diesem Fall Einfachschwefeleisen, vor dem Glühen zu entfernen.

Hierfür schlägt Donath nachstehendes Verfahren als Verbesserung der Glühverlustmethode vor. Die folgenden Ausführungen sind dem obengenannten Heftchen fast wörtlich entnommen. Man kocht die feinstgemahlene Probe mit Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,18 hinreichend lange, evtl. wiederholt. Dadurch sind nahezu alle Eisenoxydulverbindungen, zunächst aber das Einfachschwefeleisen und die Hauptmenge aller vorhanden gewesenen Mineralsubstanzen in Lösung gegangen, während alle verbrennlichen Bestandteile unverändert zurück-

<sup>1)</sup> Dr. techn. h. c. emer. o. ö. Prof. Ed. Donath: Die Verfeuerung der Mineralkohlen und die Aufbereitung der Feuerungsrückstände, Verlag Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 1924.

bleiben. Der ungelöste Rückstand wird vollständig bis zum Verschwinden der Chlorreaktion ausgewaschen, und das Filter samt dem Rückstand bei 120° C scharf getrocknet, so daß man diesen vom Filter entfernen kann. Der vollkommen trockene und gewogene Rückstand, der meistens jetzt schon ganz schwarz aussieht, wird nun bis zur Gewichtskonstanz im offenen Tiegel vor dem Gebläse geglüht, wobei eine verhältnismäßig geringe Menge von entweder schwach gelblich oder schwach grau gefärbter Asche zurückbleibt. Wird diese von der Menge der angewendeten, am Filter gebliebenen, absolut trockenen Substanz abgezogen, so erhält man das Verbrennliche in den Rückständen.

Die Glühverlustmethode für die Bestimmung der verbrennlichen Bestandteile in den Feuerungsrückständen, bedingt jedoch noch weitere Abweichungen. Die Methode basiert auf der Annahme, daß die Rückstände brennbare Bestandteile nur in Form von fixem Kohlenstoff enthalten. Wie jedoch aus weiter unten angestellten Betrachtungen hervorgeht, ist der in den Rückständen enthaltene Brennstoff keineswegs als vollkommen entgast anzusprechen, vielmehr tritt die Kohle in allen Zwischenstadien des fossilen und verkokten Zustandes auf (s. S. 57). Das trifft besonders für die feinkörnigen Bestandteile der Rückstände zu, die aus dem Rostdurchfall herrühren und daher nur sehr kurze Zeit der Kesseltemperatur ausgesetzt waren. So wurde z. B. in der Thermochemischen Versuchsanstalt Hamburg bei der Verkokungsprobe eines durch Separation von Feuerungsrückständen der Staatsbahn erhaltenen Brennstoffausbringens für Körnungen von 5÷20 mm ein Gasgehalt von 2,94 %, für Körnungen von 20÷40 mm von 3,52 % festgestellt. Die Richtigkeit der obengemachten Annahme zeigt sich auch darin, daß bei dem gleichen Ausbringen für die Körnungen über 40 mm ein Gasgehalt von nur 0,49 % ermittelt wurde. Der Grus wurde in diesem Falle leider nicht untersucht. Es ist jedoch ganz außer Frage, daß gerade bei den Körnungen bis zu 5 mm die gasförmigen Bestandteile am reichhaltigsten auftreten. Der Gasgehalt wurde für Grus bei zwei anderen Proben mit 6,5 % und sogar 6,93 % ermittelt. Er wird in besonderen Fällen noch mehr betragen können, so daß der durch Bestimmung der Glühverlustmethode erhaltene Heizwert größere Abweichungen von der Wirklichkeit ergibt.

Die weiter zur Bestimmung des Gehalts an Verbrennlichem in den Feuerungsrückständen verbreitete kalorimetrische Methode hat sich allgemein bei Brennstoffen mit hohem Aschengehalt als sehr unzuverlässig erwiesen. Die Untersuchung erfolgt bekanntlich bei festen Brennstoffen in der Mahlerschen oder Krökerschen Bombe, evtl. auch mit den Verbesserungen von Feldmann. Um eine sichere Zündung zu erreichen, wird ein leicht verbrennlicher Brennstoff der zu untersuchenden Brennstoffprobe beigemischt. Wie jedoch auch von Do-

nath in dem obenerwähnten Heft berichtet, zeigen die erhaltenen Werte bei wiederholter Untersuchung der gleichen Feuerungsrückstände erhebliche Abweichungen. Die kalorimetrische Methode ist daher für die Untersuchung von Feuerungsrückständen auf ihren Gehalt an Verbrenlichem ungeeignet.

Es bleibt danach für eine exakte Untersuchung die Elementaranalyse unter Benutzung der Dulong'schen Formel. Die Durchführung der Analyse mit dem Häreusofen ist schwierig und setzt große Übung im Umgang mit dem Versuchsapparat voraus. Es empfiehlt sich daher, soweit kein eigenes Laboratorium zur Verfügung steht, bei derartigen Untersuchungen stets ein öffentliches Untersuchungsinstitut in Anspruch zu nehmen.

Für den praktischen Betrieb in der Schlackenseparationsanlage ist die bisher verwandte Glühverlustmethode, evtl. mit den Donath'schen Verbesserungen, weiter zu empfehlen. Die Abweichungen der erhaltenen Werte sind ratsam von Zeit zu Zeit durch Stichproben auf Grund der Elementaranalyse zu kontrollieren. Soweit Feuerungsrückstände gleicher Provenienz zur Verarbeitung gelangen, wird eine derartige Betriebskontrolle hinreichend genau sein.

Nach diesen etwas abschweifenden Betrachtungen, die jedoch für die Schlackenseparation von grundlegender Bedeutung sind, sei zu der Bestimmung des Brennstoffgehaltes zurückgekehrt. Bei der Bewertung einer Separation sollte die Ermittlung des Brennstoffgehaltes der Rückstände durch Auslesen von Hand in Verbindung mit dem noch zu betrachtenden Separationsgrad nicht umgangen werden. Für die laufende Betriebskontrolle mag die Bestimmung der Glühverluste unter Schätzung des Gehaltes an Halbschlacken bei bekannten nicht wechselnden Brennstoffen und Feuerungsanlagen hinreichend sein. Grundsätzlich muß jedoch daran festgehalten werden, daß die endgültige Bezugsgröße der durch Handauslese ermittelte Brennstoffgehalt ist.

Die Unreinheit des Brennstoffausbringens bedeutet den gewichtsprozentualen Gehalt des durch Separation erhaltenen Brennstoffausbringens an Schlacken und anderen unverbrennlichen Bestandteilen. Die Unreinheit des Schlackenausbringens stellt entsprechend den gewichtsprozentualen Anteil von Brennstoffen an dem Schlackenausbringen dar. Diese beiden Begriffe sind so zu verstehen, daß bei der Unreinheit des Brennstoffausbringens auch die Halbschlacken als Verunreinigungen und bei der Unreinheit des Schlackenausbringens nicht als Verunreinigungen einzusetzen sind. Beide Werte sind durch Handauslese zu bestimmen, wie oben für die Bestimmung des Brennstoffgehaltes ausgeführt wurde.

Mit Lieferungsgrad wird bezeichnet das Verhältnis der Menge des bei der Separation ausgeschiedenen Brennstoffausbringens zu der aus

den Rückständen ideell gewinnbaren Brennstoffmenge, beide Gewichte bezogen auf den gleichen Feuchtigkeitsgehalt, oder aber auch das Verhältnis des Brennstoffausbringens zu dem Brennstoffgehalt.

$$\text{Lieferungsgrad} = \frac{\text{Brennstoffausbringen}}{\text{Brennstoffgehalt}}$$

Dieser Lieferungsgrad wird in der Literatur häufig als Wirkungsgrad angeführt und für die Wertung der Separation benutzt. Daß es sich um keinen Wirkungsgrad handeln kann, geht schon aus folgendem Beispiel hervor. Es ist denkbar, daß in dem Brennstoffausbringen wohl 70%, der ideell gewinnbaren Brennstoffmenge enthalten sind, jedoch das Ausbringen infolge einer schlechten Separation zur Hälfte aus unverbrennlichen Bestandteilen besteht. Der Lieferungsgrad würde in diesem Falle mehr als 100% betragen, kann also kein Wirkungsgrad sein. Weiter geht aus dieser Betrachtung, die weiter unten noch vervollständigt wird, hervor, daß durch die Größe des Lieferungsgrades kein Aufschluß über den Effekt der Separation erhalten werden kann. Als eine für die Bewertung einer Separation geeignete Wertungsgröße wird daher der Begriff des nachstehend definierten Separationsgrades eingeführt.

Der Separationsgrad wird gekennzeichnet durch das Verhältnis der Wärmemengen, d. h. der Produkte aus Heizwert und Gewicht, die in dem Brennstoffausbringen und in der ideell aus den Rückständen gewinnbaren Brennstoffmenge enthalten sind, Gewichte und Heizwerte auf die gleiche Feuchtigkeit bezogen.

$$\text{Separationsgrad} = \frac{\text{Brennstoffausbringen} \times \text{Heizwert}}{\text{Brennstoffgehalt} \times \text{Heizwert}}$$

Der Separationsgrad kann auch dargestellt werden durch die Produkte aus dem Lieferungsgrad und dem Verhältnis der Heizwerte von Brennstoffausbringen und ideell gewinnbarer Brennstoffmenge zueinander. Es kommen für die Bestimmung des Lieferungs- und Separationsgrades, ebenso wie für den Brennstoffgehalt nur Korngrößen in Frage, die tatsächlich in die Separationsmaschine gelangten. Ein dem Separationsgrad ähnlicher Ausdruck ist in der Erzaufbereitung als Metall- oder Güteaushbringen bekannt.

Der Effekt der Separation wird also durch ein Verhältnis von Wärmemengen gekennzeichnet. Gegen diese Wahl könnte eingewandt werden, daß bei minderwertigen Brennstoffen, wie sie durch die Schlackenseparation gewonnen werden, der Heizwert nicht als hinreichende Wertungsgröße im Hinblick auf den Effekt der anschließenden Wiederverfeuerung, auf den es eigentlich ankommt, angesprochen werden darf. In Verfolg dieser Erkenntnis wäre es daher richtiger das Verhältnis der Verdampfungsziffern des ideell gewinnbaren Brennstoffes und des

Brennstoffausbringens als Verhältnisgröße zu benutzen. Hierzu ist zu bemerken, daß der Separationsgrad nur das Verhältnis der Heizwerte benutzt. Die Abweichung der aus Heizwerten und Verdampfungsziffern errechneten Verhältnisfaktoren kann daher nur durch die Verschiedenheit der zueinander in Beziehung gesetzten absoluten Werte hervorgerufen werden. Es darf jedoch angenommen werden, daß diese Differenzen in beschränkten Grenzen bleiben. Bei den bedeutenden praktischen Vorteilen — die Feststellung der Verdampfungsziffern bietet Schwierigkeiten und bedingt jedenfalls neue Fehlerquellen — ist daher die Zuordnung von Heizwerten für die Wertung einer Separation als einzig richtig anzusehen.

Abschließend sei hervorgehoben, soweit es nicht besonders an einzelner Stelle geschah, daß bei Bestimmung der vorgenannten Größen des Brennstoffausbringens, des Schlackenausbringens, des Brennstoffgehaltes, den Unreinheiten von Brennstoff- und Schlackenausbringen, des Lieferungs- und Separationsgrades die Verhältnisgrößen stets auf die gleichen Feuchtigkeiten bezogen werden müssen. Diese Bedingung ist z. B. bei den Naßverfahren sehr wichtig, da sonst völlig entstellende Fehler auftreten.

Für die Ermittlung des Separationsgrades müssen also die Heizwerte des Brennstoffausbringens und der ideell gewinnbaren Brennstoffmenge bestimmt werden. Da diese beiden Brennstoffe als Teile von Feuerungsrückständen angesprochen werden müssen, so gelten grundsätzlich für ihre Heizwertbestimmung, zumindest bei höherem Gehalt an Unverbrennlichem, die gleichen Ausführungen, die eben für die Ermittlung des Gehaltes an Verbrennlichem in Feuerungsrückständen gemacht wurden. Nach Erfahrungen der Firma K r u p p auf Grund einer sehr großen Anzahl von Untersuchungen ist die Heizwertbestimmung nach der Glühverlustmethode bei geringen Abweichungen hinreichend genau. Auch die kalorimetrische Methode ergibt mit Rücksicht auf den geringeren Aschengehalt der Brennstoffe bessere Werte und ist neben der Glühverlustmethode gebräuchlich.

Es sei auf eine weitere Unrichtigkeit hingewiesen, die bei Anwendung der vorgenannten Methoden den praktischen Wert der aus Feuerungsrückständen gewonnenen Brennstoffe überschätzen läßt. Brennstoffteile von Brennstoffen mit leicht schmelzbarer Asche werden bei der Verfeuerung öfter mit einer Glasur von Bestandteilen der fließenden Asche überzogen. Bei der Wiederverfeuerung derartiger durch Separation erhaltenen Brennstoffe brauchen jedoch die Temperaturen nicht erreicht zu werden, die für das Schmelzen der Schlackenglasur erforderlich sind, während ihr Wärmewert bei der Heizwertbestimmung in Erscheinung tritt. Auch diese Tatsache, kann eine Täuschung durch den erhaltenen Heizwert herbeiführen, die beachtet werden muß.

Von den oben definierten Begriffen stehen vier Größen, die für die Beurteilung der Güte einer Separation neben dem Separationsgrad von wesentlicher Bedeutung sind, in einem unmittelbaren Verhältnis zueinander. Das sind der Brennstoffgehalt, der Lieferungsgrad, die Unreinheit des Schlackenausbringens und die Unreinheit des Brennstoffausbringens. Die nähere Betrachtung dieses Zusammenhanges ist bereits aus dem Grunde geboten, weil die meisten Firmen sich mit den Angaben dieser Größen in irgendeiner Form begnügen und die Feststellung des Separationsgrades bisher noch nicht gebräuchlich ist. Die Abhängigkeit der vorgenannten Größen ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$[b - (L \cdot b - L \cdot b \cdot k)] \frac{1}{1 - L \cdot b} - s = 0$$

wobei

$L$  den Lieferungsgrad in Gew.%,

$b$  den Brennstoffgehalt in Gew.%,

$k$  die Unreinheit des Brennstoffausbringens in Gew.%,

$s$  die Unreinheit des Schlackenausbringens in Gew.%

bezeichnet.

Die Formel entsteht auf folgende Weise. Wird die betrachtete Menge an Rückständen gleich 100%, d. h. gleich 1, gesetzt, so ist  $b$  die in den Rückständen enthaltene Menge an Koks oder das ideell gewinnbare Brennstoffausbringen.  $L \cdot b$  ist das wirkliche Brennstoffausbringen — entsprechend  $1 - L \cdot b$  das wirkliche Schlackenausbringen — und  $L \cdot b \cdot k$  die in dem wirklichen Brennstoffausbringen als Unreinheit enthaltene Schlackenmenge. Der Ausdruck  $L \cdot b - L \cdot b \cdot k$  ist also die in dem wirklichen Brennstoffausbringen enthaltene Koks menge. Wird diese von dem ideell gewinnbaren Brennstoffausbringen in Abzug gebracht, so verbleibt ein gewisses Koksquantum, das bei der Separation in das Schlackenausbringen verlorengegangen sein muß. Diese Koks menge  $b - (L \cdot b - L \cdot b \cdot k)$ , auf das Schlackenausbringen, das ist  $1 - L \cdot b$ , bezogen, stellt nach der oben gegebenen Definition (s. S. 49) die Unreinheit des Schlackenausbringens dar. Nach Umrechnung dieser restlichen Koks menge auf das Schlackenausbringen und Abzug von  $s$  erhält die Gleichung daher den Wert Null.

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich nun explizite die einzelnen Größen ausdrücken. Es ergibt sich nachstehende Gleichung für  $s$ :

$$s = (1 - L + L \cdot k) \frac{b}{1 - L \cdot b}$$

und für den Fall, daß  $L = 1$  wird, die vereinfachte Form:

$$s = \frac{k \cdot b}{1 - b}$$

Die Gleichung zeigt die bereits gekennzeichnete Tatsache, daß ein günstiger Lieferungsgrad durchaus nichts Endgültiges über die Güte



der Separation besagt;  $s$  kann in diesem Falle immer noch die aller-  
 verschiedensten Werte annehmen, je nach Größe von  $k$ , wobei zu be-  
 denken ist, daß bereits kleine Werte für  $s$  die Güte der Separation stark  
 beeinflussen. Die wahre Größe des Verlustes durch die in der Schlacke  
 verbliebenen Brennstoffe ist erst dann in vollem Maße erkennbar, wenn  
 man die Menge im Verhältnis zum Brennstoffgehalt ausdrückt. Dabei  
 werden sich die Zahlenwerte für  $s$  verzweifachen bis vervierfachen, je  
 nach Größe des Brennstoffgehaltes. Es bedeutet also ein  $s$  von 5% bei  
 einem Brennstoffgehalt von 25% einen Verlust von 15%, bei einem  
 Brennstoffgehalt von 20% einen Verlust von 20%. Das sind also durch-  
 aus keine unwesentlichen Mengen.

Für  $k$ , die Unreinheit des Brennstoffausbringens, erhält die Glei-  
 chung folgende Form:

$$k = \frac{b(L-1) + s(1-L \cdot b)}{L \cdot b}$$

Wird  $L = 1$ , so entsteht dieselbe Gleichung

$$k = \frac{s \cdot (1-b)}{b}$$

wie oben, nur nach  $k$  aufgelöst, aus der wieder die grundsätzliche  
 Bedeutungslosigkeit des Lieferungsgrades für die Güte der Separation  
 ersichtlich wird.

Weiter ist aus dieser Gleichung für  $k$  noch erkennbar, daß für den  
 Fall  $s = 0$  der Lieferungsgrad  $L$  bei positiven endlichen Werten von  $k$   
 größer als 1 wird, d. h. mehr als 100% beträgt. Die Größe  $L$  wurde  
 also durchaus mit Recht als Lieferungsgrad bezeichnet und der Aus-  
 druck „Wirkungsgrad“ verworfen.

Bei der Auflösung nach  $L$  ergibt sich:

$$L = \frac{b-s}{b(1-k-s)}$$

und bei der Auflösung nach  $b$ :

$$b = \frac{s}{1-L(1-k-s)}$$

Die letzte Gleichung läßt erkennen, daß bei einem günstigen  
 Lieferungsgrad kleine Werte für  $s$  und  $k$  nur bei einem größeren Brennstoff-  
 gehalt möglich sind. Diese Abhängigkeit ist sehr interessant. Man  
 kann bei Anführung von Betriebsergebnissen mit großen Lieferungs-  
 graden und geringen Verunreinigungen des Brennstoff- und Schlacken-  
 ausbringens schon immer Verdacht schöpfen. Es ergibt sich häufig bei  
 Nachrechnung nach dieser Formel, daß die Angaben von Musterver-  
 suchen Unrichtigkeiten enthalten. Merkwürdigerweise scheint diese Ab-  
 hängigkeit von  $L$ ,  $b$ ,  $k$  und  $s$  vielen Unternehmern — jedenfalls ihren

veröffentlichten Separationsergebnissen nach — unbekannt geblieben zu sein.

Zur näheren Veranschaulichung der Größenordnungen sei kurz ein Beispiel unter Benutzung dieser Formeln durchgerechnet. Die Separation habe bei einem Brennstoffgehalt von 30% einen Lieferungsgrad von 90% und eine Unreinheit des Brennstoffausbringens von 5% ergeben. Die Unreinheit des Schlackenausbringens ergibt sich dann wie folgt:

$$s = (1 - L + L \cdot k) \frac{b}{1 - L \cdot b}$$

für

$$\begin{aligned} b &= 30\% \\ L &= 90\% \\ k &= 5\% \end{aligned}$$

$$s = (1 - 0,9 + 0,9 \cdot 0,05) \cdot \frac{0,3}{1 - 0,9 \cdot 0,3} = 0,145 \cdot \frac{0,3}{0,73} = 0,0596 = 5,96\%$$

für  $L$ ,  $k$  und  $b$  als Unbekannte zeigen die Gleichungen folgendes Bild:

$$k = \frac{0,3(0,9 - 1) + 0,06(1 - 0,9 \cdot 0,3)}{0,9 \cdot 0,3} = \frac{-0,03 + 0,0438}{0,27} = 0,05 = 5\%$$

$$L = \frac{0,3 - 0,06}{0,3(1 - 0,05 - 0,06)} = \frac{0,24}{0,27} = 0,9 = 90\%$$

$$b = \frac{0,06}{1 - 0,9(1 - 0,05 - 0,06)} = \frac{0,06}{1 - 0,9 \cdot 0,89} = \frac{0,06}{0,2} = 0,3 = 30\%$$

Die Kenntnis dieser Größen ist jedoch, wie mehrfach betont, für die Beurteilung der Separation unzulänglich. An ihre Stelle ist der Separationsgrad gesetzt. Es sei daher hier eine kurze Kritik angefügt, um die Betrachtung, die zu der Festlegung dieses Begriffes führte, abzuschließen.

Nach dem Vorangegangenen ist ohne Zweifel, daß der Separationsgrad dem Untersuchenden tatsächlich ein Mittel in die Hand gibt, für die Separation von Feuerungsrückständen eines bestimmten Brennstoffes, die Maschine auszuwählen, von der die Separation mit dem besten Effekt ausgeführt wird. Auf die Bedürfnisse der Praxis übertragen, ist der Unternehmer in der Lage, durch Einsendung von Proben seiner Rückstände an die bewerbenden Maschinenfabriken nach deren Aufgabe von Separationsgraden und Hnizwerten auf Grund von exakten Versuchen die für seine Absichten am besten geeignete Separationsmaschine auszuwählen. Der Separationsgrad ist also durchaus von praktischer Bedeutung und nicht etwa ein theoretischer Wert.

Nach eingehender Betrachtung der einzelnen Separationsverfahren und ihrer Wirkungsweise ist sogar zu erkennen, daß dieser Maßstab nur ein relativer ist und auf absolute Eigenschaften nicht einmal Anspruch erheben darf. Es hat sich gezeigt, daß sämtliche Verfahren einen

begrenzten Bereich in bezug auf die Körnungen oder auf die besondere Zusammensetzung der Rückstände besitzen. Diese Tatsache bedingt von vornherein eine nur relative Bewertung und relative Abwägung der Verfahren untereinander. Es wäre völlig ungerecht, den Vergleich zwischen verschiedenen Verfahren etwa dadurch herbeizuführen, daß man die gleiche Menge von Rückständen bestimmter Beschaffenheit durch die verschiedenen Separationsmaschinen laufen läßt und nach den erhaltenen Separationsgraden die Verfahren untereinander abstuft und bewertet. Eine solche Vergleichsmethode wäre nur unter der Voraussetzung zulässig, daß jede Separationsmaschine jede Art von Feuerungsrückständen gleich gut, d. h. mit konstantem Separationsgrad, separiert. Diese Voraussetzung trifft aber nicht zu. Ein Krupp-scher Trommelscheider separiert eine mittelkörnige, saubere Schlacke sehr gut und versagt bei einem stark verunreinigten, schieferhaltigen Rohprodukt; ein Schildeapparat separiert eine grobkörnige, dichte Schlacke ausgezeichnet und ist für eine feinkörnige, stark poröse, schaumschlackenhaltige unbrauchbar, wie die Ausführungen des ersten Abschnittes zeigen. Daraus folgt, daß die verschiedenen Separationsverfahren nicht ohne weiteres zu vergleichen sind. Weiter folgt, daß der Separationsgrad als eine rein praktische Wertungsgröße anzusehen und ihm als Vergleichswert nur relative Bedeutung beizumessen ist. Aus diesen Gründen wurden auch die diesbezüglichen Daten der Separationsverfahren in weiteren Grenzen angegeben.

Auch der Separationsgrad läßt sich, jedenfalls annäherungsweise, formelmäßig erfassen. Setzt man die in dem bei der Separation gewonnenen Brennstoffausbringen abzüglich seiner Verunreinigungen und die in der ideell gewinnbaren Brennstoffmenge enthaltenen Wärmemengen in Verhältnis zueinander, so gilt folgende Gleichung:

$$S = \frac{(b \cdot L - b \cdot L \cdot k) H_u + b \cdot L \cdot k \cdot H_u^1}{b \cdot H_u}$$

wobei

$S$  den Separationsgrad,

$b$  den Brennstoffgehalt der Rückstände,

$L$  den Lieferungsgrad,

$k$  die Unreinheit des Brennstoffausbringens,

$H_u$  den unteren Heizwert der ideell gewinnbaren Brennstoffmenge,

$H_u^1$  den unteren Heizwert der Verunreinigungen des Brennstoffausbringens bezeichnet.

Unter der Annahme, daß die Verunreinigungen des Brennstoffausbringens ausschließlich aus unverbrennlichen Bestandteilen bestehen, wird  $H_u^1 = 0$ , d. h.

$$S = \frac{(b \cdot L - b \cdot L \cdot k) H_u}{b \cdot H_u} \quad \text{oder} \quad S = L(1 - k)$$

Bei der obengemachten Annahme würde diese Formel einen Minimalwert für den Separationsgrad ergeben, da die Verunreinigungen noch einen gewissen Gehalt an Verbrennlichem aufweisen werden.

Man braucht also nur den Lieferungsgrad und die Verunreinigung des Brennstoffausbringens zu kennen, um den Separationsgrad ziemlich genau festlegen zu können. Es erscheint anfangs befremdend, daß der Brennstoffgehalt in der Gleichung nicht mehr auftritt. In Wirklichkeit jedoch bestätigt diese Tatsache, daß der Separationsgrad einen Maßstab für die Güte der Separation darstellt, deren Beurteilung mit dem Wert der Rückstände, der sich in dem Brennstoffgehalt ausdrückt, gar nichts zu tun hat<sup>1)</sup>.

Wie entstehen nun die Feuerungsrückstände und warum läßt sich nicht eine vollkommene Verbrennung der Brennstoffe erreichen?

Es sei vorausgeschickt, daß es sich im Rahmen der Schlackenseparation in erster Linie um die Rückstände von verfeuerten Steinkohlen handelt. Die Rückstände der übrigen festen Brennstoffe wie Braunkohle, Torf, Holz, Abfallprodukte und andere spielen entweder gar keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Sie enthalten zu geringe Brennstoffmengen oder diese in einer Form, die eine Separation und nochmalige Verwendung als Brennstoff unmöglich oder zum mindesten unwirtschaftlich macht. Am ehesten kommen noch die Rückstände von Braunkohlen in Frage, jedoch gewöhnlich nur dann, wenn die Braunkohlen ursprünglich mit Steinkohlen vermischt zur Verfeuerung gelangten. Braunkohlen allein besitzen für eine nachträgliche Separation wenig Eignung. Für eine Naßseparation sind sie infolge ihrer hygroskopischen Eigenschaften ungeeignet. Außerdem enthalten sie große Stücke nur in geringem Maße. Der hohe Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bewirkt vielmehr ein frühzeitiges Zerspringen der Kohlestücke während der Entgasungsperiode, so daß die Rückstände eine vorwiegend feinkörnige grusartige Bildung zeigen. Der Koks ist mehr pulverförmig wie bei Sandkohlen. Für eine magnetische Scheidung macht sie dagegen ihr geringer Gehalt an Eisenoxydverbindungen ungeeignet, der allerdings meist durch einen größeren Gehalt an ebenfalls magnetisierbarem Markasit ersetzt wird.

<sup>1)</sup> Der Separationsgrad hat insofern noch einen Nachteil, als er neben dem Güteausbringen nicht das Optimum des Brennstoffausbringens erfaßt. Er beurteilt die Separation deshalb bei stark abweichenden Lieferungsgraden nicht richtig. In den Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung Bd. VI, Lieferung 3, schlägt W. Luyken den Ausdruck  $\frac{S - b \cdot L}{100 - b}$  als allgemeingültigen Wirkungsgrad für die Bewertung eines Anreicherungs Vorganges vor. Die Verwendung dieses Ausdruckes bietet gewisse Vorteile und ist durchaus zu empfehlen, wengleich der Separationsgrad für die Separation von Feuerungsrückständen vollkommen ausreicht, da hierbei nur normale Lieferungsgrade vorkommen.

Die Entstehung von Koks in den Feuerungsrückständen und das Vorhandensein von Kohle ist dadurch zu erklären, daß einige Kohlestücke infolge verschiedener Umstände verhindert wurden, einen Verbrennungsprozeß unter vollkommener Verbrennung, wie es in der Feuerung angestrebt wird, durchzumachen, sondern infolge des Mangels oder völligen Fehlens von Verbrennungsluft unter dem Einfluß der hohen Temperaturen entgasten und eine mehr oder weniger vollkommene Verkokung erfahren. Das gleiche gilt für die Entstehung von brennstoffhaltigen Rückständen beim Generatorprozeß.

Der Gehalt an verbrennlichen Teilen in Form von Kohle in den Rückständen rührt, soweit es das Feinkorn betrifft, meist von dem Rostdurchfall her. Der Kohlegehalt an großen Stücken entsteht bei Rosten mit Handbeschickung auch dadurch, daß der Brennstoff gar nicht in das Schürloch gelangte, sondern gegen das Geschränk geworfen wurde und in den Aschenfall geriet. Bei Generatoren sind die Schattenkegel großer Schlackenklumpen, die sich bei zu starkem Heißfahren bilden, der Grund für das Auftreten der Kohle. So kam es bei einem schlecht geleiteten Generatorbetrieb mit Braunkohlenbriketts vor, daß ganze Briketts in vollkommen unverletztem Zustande ausgetragen wurden.

Die Ursachen, die eine vollkommene Ausbrennung der Brennstoffe verhindern, können verschiedener Art sein. Sie sind in der chemischen Zusammensetzung des verfeuerten Brennstoffes, besonders seiner Asche, der Höhe des Aschengehaltes, der Bauart der Feuerung, in der Rostbelastung und schließlich der Betriebsführung zu suchen.

Ein Hauptgrund für die Verluste in den Rückständen ist die Minderwertigkeit des ursprünglich verfeuerten Brennstoffes, die sich vornehmlich in der Höhe des Aschengehaltes ausdrückt. Die Verschlechterung der Brennstoffe während des Krieges und der darauffolgenden Zeit der Brennstoffknappheit hat die Aufmerksamkeit der praktischen Betriebe wieder besonders auf diesen Umstand gelenkt. So wurde z. B. in der Zentrale der Hanomag, die täglich bis 150 t Kohlen verbraucht, während des Krieges ein Aschengehalt bis zu 57 % beobachtet. Das mittlere Ergebnis für eine Reihe von Monaten betrug 20 %, das sind 13 % mehr gegenüber Friedenszeiten (1913/14). Auf die Förderung an der Ruhr umgerechnet ergibt dies die tägliche Abfuhr von 97 mit Gestein vollbeladenen Güterzügen<sup>1)</sup>.

Die Verunreinigungen der Kohle hindern den Luftzutritt, stören die Verbrennung und erhöhen den Anfall an Feuerungsrückständen. Aufbereitete und gewaschene Kohlen werden stets intensiver aus-

---

<sup>1)</sup> Dipl. Ing. G. de Grahl: Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe, 2. Auflage, Verlag Oldenbourg, München und Berlin, 1921.

brennen als ungewaschene Förderkohlen oder Abfallprodukte der Kohlenaufbereitung. Je reiner und hochwertiger der verfeuerte Brennstoff ist, desto geringer wird der Brennstoffgehalt der Rückstände sein. Aus diesem Grunde gelten Kohlen mit 7% Aschengehalt als gut, solche bis 15% Aschengehalt als mittelgut und mit mehr als 15% Aschengehalt als schlecht.

Der Nachteil des hohen Aschengehaltes macht sich jedoch in eigentlichem Maße erst bemerkbar, wenn der Brennstoff zum Schlacken neigt. Die Erscheinung des Schlackens beruht auf einem Schmelzvorgang der Asche und ist daher eine Funktion des Aschenschmelzpunktes. Die Folgen dieser Erscheinung machen sich in bedeutenden Störungen des Verbrennungsprozesses unter Verhinderung des Luftzutrittes bemerkbar. Einerseits setzen sich die Rostspalten zu, und andererseits schließen die fließenden Aschen Brennstoffteile ein, die erst teilweise entgast sind oder sich in einem anderen Stadium der Verbrennung befinden. Der eigentlichen Verflüssigung, für deren Eintreten die erforderliche Temperatur gar nicht erreicht zu werden braucht, voran geht ein Klebrigwerden der Asche, das vielleicht auf eine teilweise Verflüssigung von Bestandteilen der Asche zurückzuführen ist. In diesem Zustand der Brennstoffschicht verkleben die Brennstoffteile mit verbrannten Teilen oder sie werden mit einer Schlackenglasur überzogen, die sie vor einem weiteren Zutritt der Verbrennungsluft schützt. Derart behaftete Teile geraten ebenfalls in unvollständig ausgebranntem Zustand in den Aschenfall.

Das Schlacken der Brennstoffe hat für den Feuerungsbetrieb noch eine ganze Reihe von anderen Nachteilen wie die Abkühlung des Feuer-raumes infolge der häufigen und erschwerten Rostbearbeitung, den schnelleren Verschleiß der Roststäbe und andere, die jedoch für den Verlust in den Rückständen nicht von Bedeutung sind.

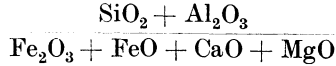
Nach den Versuchen von Constam<sup>1)</sup> übt die Größe des Aschengehaltes an sich keinen Einfluß auf den Schmelzpunkt aus. Dieser wird vielmehr durch den Mineralgehalt der Brennstoffe gekennzeichnet. Nach neueren Untersuchungen ist anzunehmen, daß die Aschen um so weniger zum Schlacken neigen, je größer ihr Gehalt an Kieselsäure und Tonerde ist, andererseits wird die Neigung zum Schlacken besonders durch vorhandene Eisenoxydverbindungen erhöht. Die Versuche von Theune<sup>2)</sup> mit verschiedenen Aschen von deutschem und englischem Gas- und Gießereikoks bestätigen die Abhängigkeit der Höhe des Schmelzpunktes von folgendem Verhältnis:

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

<sup>1)</sup> Schweizerische Bauzeitung, Bd. 62, Nr. 14, S. 192.

<sup>2)</sup> Journal für Gasbeleuchtung, 56. Jahrgang, Nr. 9, S. 213, 1913.

Auf Grund der Feststellungen über die Bedeutung des Gehaltes der Asche an Eisenoxydul hat Donath die Formel erweitert auf folgende Gestalt:



Die Asche kommt häufig nicht gleichmäßig zum Fluß, sondern es genügt, daß nur ein Bestandteil der Asche in den flüssigen Zustand übergeht, um die obenerwähnten nachteiligen Folgen hervorzurufen. Aus diesem Grunde spielt auch der geringe Gehalt an leicht schmelzbaren chemischen Verbindungen wie den Eisenoxyden eine bedeutende Rolle. Nachstehend sei auszugsweise eine Tabelle (Zahlentafel 1) wiedergegeben, die über die Schmelztemperaturen von Kohlenaschen einiger bekannter Brennstoffe unterrichtet.

Zahlentafel 1. Schmelztemperaturen von Kohlenaschen<sup>1)</sup>.

Art des Brennstoffes	Zahl der untersuchten Proben	Schmelztemperaturen der Aschen °C
(1)	(2)	(3)
Ruhrmagerkohlen . . . . .	7	1250 ÷ 1380
Ruhrkohlen . . . . .	14	1250 ÷ 1670
Ruhrfettkohlen . . . . .	22	1250 ÷ 1580
Saarfettkohlen . . . . .	18	1300 ÷ 1470
Ruhrgasflammkohlen . . . . .	3	1270 ÷ 1540
Saarflammkohlen . . . . .	31	1330 ÷ 1670
Rheinische Braunkohlenbriketts . . . . .	2	über 1720
Oberrheinische Briketts . . . . .	18	1125 ÷ 1440
Ruhrzechenbriketts . . . . .	15	1260 ÷ 1770
Gaskoks . . . . .	19	1290 ÷ 1625
Ruhrzechenkoks . . . . .	14	1150 ÷ 1580

Ein Auszug aus einer weiteren von Simmersbach<sup>2)</sup> veröffentlichten Tabelle gibt die chemische Zusammensetzung von verschiedenen deutschen Steinkohlenaschen, die im Rahmen dieser Arbeit besonders interessieren, wieder (Zahlentafel 2).

Zur Verhütung des Schlackens empfiehlt Constam den Zusatz von Kaolin. Wenn in der Praxis überhaupt zu derartigen Mitteln gegriffen wird, so kommen vermutlich nur billigere Stoffe wie z. B. Ton in Frage. Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung des Schlackens besteht bei Vorhandensein von mehreren geeigneten Brennstoffen in der Gattierung.

<sup>1)</sup> Dr. techn. h. c. emer. o. ö. Prof. Ed. Donath: Die Verfeuerung der Mineralkohlen und die Aufbereitung der Feuerungsrückstände, Verlag Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig, 1924, S. 67.

<sup>2)</sup> O. Simmersbach: Grundlagen der Kokschemie, 2. Auflage, Berlin, Julius Springer, 1914, S. 140.

Zahlentafel 2. Analysen von Steinkohlenaschen.

(1)	Ruhr- revier (2)	Aachener Revier (3)	Königreich Sachsen (4)	Ober- schlesien (5)	Nieder- schlesien (6)
SiO <sub>2</sub> . . . . .	27,37	1,70	45,30	55,41	31,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	22,55	2,12	22,47	18,94	8,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	46,90	60,79	25,83	16,06	54,47
CaO . . . . .	2,69	19,22	2,80	3,20	3,44
MgO . . . . .	—	5,03	0,52	1,86	1,60
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,30	0,35	0,60	2,04	0,07
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,24	0,08	0,28	n. b.	0,29
SO <sub>3</sub> . . . . .	Sp.	10,71	2,37	n. b.	0,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,54	n. b.	n. b.	1,73	n. b.

Als meist bekanntes und wirksamstes Mittel für die Einschränkung der schädlichen Einflüsse, die durch das Schlacken hervorgerufen werden, ist die Kühlung der Roste mittels eines Wasserstromes von innen oder durch Einblasen von Wasserdampf unter den Rost zu erwähnen.

Weiter ist die Bauart der Rosten von Einfluß auf den Ausbrand. Bei feststehenden Rosten ruft das Abschlacken der Rosten durch das unvermeidliche Herausziehen nur teilweise und unvollkommen verbrannter Teile Verluste hervor. Diese Verluste erhöhen sich besonders bei aschenreichen Brennstoffen, die ein häufiges Putzen der Rosten notwendig machen. Das Aufrühren und Schüren unterstützt die Einschließung unverbrannter Teile durch fließende Schlacken. Soweit der Ausbrand der Brennstoffe durch die Bewegung der Brennstoffschicht beeinflusst wird, bieten die beweglichen Rosten daher Vorteile gegenüber den festen. Andererseits fehlt bei den Wanderrosten das Grundfeuer, und es erhöht sich der Rostdurchfall. Dieser Verlust steigert sich je kleinstückiger die Kohle und je größer die Spaltweite der Rosten ist, auch wenn der in den Aschenfall geratene Brennstoff der Feuerung noch einmal zugeführt wird. Der Grusgehalt der Rückstände von Wanderrosten ist daher besonders hoch.

Die Wahl der Rostbauart, ihre Anordnung als Unter-, Vor- oder Innenfeuerung für einen bestimmten Brennstoff, andererseits die Eignung der Brennstoffe für eine vorhandene Kesselanlage sind maßgebend für den Effekt der Verbrennung und den Verlust in den Rückständen. Die Bauart der Feuerung wird auch dann von Einfluß sein, wenn durch die örtlichen Verhältnisse die Beobachtung der Brennstoffschicht und das Abschlacken aus rein mechanischen Gründen mit Schwierigkeiten verbunden sind, wie z. B. bei Lokomotiven, auch feststehenden Lokomobilen infolge der Raumknappheit und tiefen Lage der Feuerbuchse.

Außerdem beeinflusst die Rostbelastung den Ausbrand der Brennstoffe. Die Verluste in den Rückständen steigern sich, falls nicht eine entsprechende Erhöhung der Luftzufuhr bei zunehmender Rost-



belastung erfolgt, abgesehen von der unerwünschten CO-Bildung. Eine ausreichende Zugregulierung ist besonders bei Feuerungen alter Bauart nur in geringen Grenzen möglich. Erst in letzter Zeit wird diesen Einrichtungen, die für die Anpassung der Feuerung an verschiedene Brennstoffe sehr wichtig sind, mehr Augenmerk geschenkt. Durch zu hohe Schichttemperatur nähert sich die Schlacke mehr und mehr ihrem Schmelzpunkt. Es vergrößern sich die oben beschriebenen Nachteile infolge schwieriger Rostbearbeitung. Die Luftzufuhr erfolgt ungleichmäßig und ein homogener Zustand der Brennstoffschicht ist immer schwieriger aufrechtzuerhalten. Bei Rosten mit Handbeschickung und bei minderwertigen Brennstoffen werden sich diese Nachteile besonders bemerkbar machen. In bezug auf die Betriebsart wird der Einfluß der Rostbelastung hervorragend bei Anlagen mit wechselnder Dampfenahme, also mit großen Belastungsschwankungen, in Erscheinung treten.

Letzten Endes ist die Betriebsführung, vor allem die Geschicklichkeit des Heizers, von größter Bedeutung für den Effekt einer Feuerung und den Ausbrand der Brennstoffe. Die Vermeidung unnötigen Rostdurchfalls, die richtige Wahl der Rostgeschwindigkeit bei beweglichen Rosten, die Gleichmäßigkeit der Beschickung, die weitmögliche Verhinderung des Schlackens sind wichtige Faktoren, die von den Heizern und der Betriebsführung beachtet werden müssen, um den Verlust durch Unverbranntes in den Rückständen niedrig zu halten. So kann z. B. eine Kohle mit einer Asche normaler Zusammensetzung bei zu reichlicher seltener Kohlenaufgabe ein schnelles und häufiges Verschlacken der Brennstoffschicht herbeiführen, da eine unerwünschte, reichliche FeO-Bildung herbeigeführt wird.

Um ein Bild von der Zusammensetzung der Rückstände bei verschiedenen Feuerungsbetrieben in bezug auf die Korngrößen zu geben, sei nachstehende Aufstellung gezeigt (Zahlentafel 3).

Die Angaben dürften genügen, um ein Bild über die rein äußerlich verschiedenartige Zusammensetzung der Feuerungsrückstände in den hauptsächlichsten Feuerungen wiederzugeben. Außerdem werden noch beispielsweise Angaben über Haldenaschen gemacht, wie sie vielfach bei Hüttenwerken, natürlich in sehr verschiedener Zusammensetzung, zu finden sind. Die Zahlen sind Mittelwerte aus einer Reihe von Stichproben, so daß sie als Durchschnittswerte gelten dürfen. Es sei ausdrücklich auf die Bedeutung der Korngrößen, in denen die Rückstände anfallen, hingewiesen. Wie obengemachte Ausführungen zeigen, spielt die Korngröße bei der Auswahl des Separationsverfahrens eine erhebliche Rolle. Die Zusammensetzung der Rückstände nach den Korngrößen muß dem Projektierenden also genau bekannt sein. Die Tabelle soll nur einen Aufschluß über den Anteil der verschie-

Zahlentafel 3.

Zusammensetzung von Feuerungsrückständen nach Korngrößen.

Ursprünglich verfeuerter Brennstoff		Feuerung	Korngrößen der Feuerungsrückstände			
			bis 5 mm	5÷15 mm	15÷35 mm	über 35 mm
(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Oberschlesische Steinkohle	Steinkohle	Flammrohrkessel mit Planrost	36,94 %	46,24 %		16,64 %
Oberschlesische Steinkohle	Steinkohle	Wasserrohrkessel mit Wanderrost	52,27 %	31,34 %		16,39 %
Oberschlesische Steinkohle	Nußkohle	Generator	27,8%	16,2 %	32,2 %	23,8%
60% Steinkohle. 30% Koks 10% Steinkohlenbriketts		Lokomotivkessel	30,3%	40,4 %	17,2 %	12,1%
Oberschlesische Steinkohle	Steinkohle	Haldenasche unbekanntes Ursprungs	8,0%	60,0 %	22,0 %	10,0%

denen Körnungen geben. Auf den Brennstoffgehalt der Feuerungsrückstände wird getrennt eingegangen.

Der Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem bewegt sich in weiten Grenzen. Über seine Größe wurden mehrfach Aufstellungen gemacht. Doch seien diese nicht angeführt, da nach dem Vorgegangenen die den Brennstoffgehalt beeinflussenden Umstände zu verschiedener Art sein können, als daß es nützlich erscheint, irgendwelche ganz bestimmten Verhältnissen zugeordnete Werte aufzuzählen. Auch zeigten bisher die Beobachtungen, daß keiner der genannten Einflüsse etwa von stets ausschlaggebender Bedeutung ist, also als Verhältnisgröße dienen kann. Es sei daher nur gesagt, daß der Gehalt an Brennbarem in Herdrückständen etwa zwischen 5% und 70% schwanken kann, im Mittel sich um 15÷40% bewegt. Der Brennstoffgehalt, d. h. der Gehalt an tatsächlich brauchbaren Brennstoffen, liegt etwa 10÷30% unter den genannten Werten, je nach Höhe des Halbschlacken- und Grusgehaltes. Die Zahlen sind jedoch über alle gebräuchlichen Feuerungen und Brennstoffe gezogene Durchschnittswerte, die für den Einzelfall in keiner Weise Anspruch auf irgendwelche Verbindlichkeit machen können.

Es sei noch auf einen Umstand hingewiesen, der ganz unabhängig von den obengenannten Gründen auf die Veränderlichkeit des Brennstoffgehaltes von Einfluß sein kann und z. B. für die Beurteilung von

Eisenbahnrückständen bedeutungsvoll ist. Bei der Untersuchung von Feuerungsrückständen auf ihre Eignung für eine Separation ist nämlich darauf zu achten, ob die Rückstände in dem Zustande vorliegen, wie sie aus der Feuerung ausgetragen wurden, oder ob sie vorher zur Lagerung kamen und dort bereits von Hand ausgelesen wurden. Hierfür kann die Reichsbahn keine Sicherheit übernehmen, da deren Schlackenhaldden mehr oder weniger zugänglich sind und die Tatsache des Brennstoffgehaltes der Feuerungsrückstände den minderbemittelten Volksschichten schon längst bekannt ist. Auch hat bisher die Reichsbahn, wie übrigens auch viele große Industriewerke, ihren Beamten und Arbeitern das Auslesen der Halden gestattet und den ausgelesenen Koks an diese gegen geringe Bezahlung verkauft.

Von Interesse für die Beurteilung der Rückstände und die Wahl der Separationsmaschine ist noch der Feuchtigkeitsgehalt der Rückstände. Ein sehr feuchtes Material wird sich, wie aus den weiter oben angestellten Erwägungen hervorgeht, nicht für eine Naßseparation eignen, da die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte durch einen ursprünglichen Feuchtigkeitsgehalt der Rückstände verringert wird. Diesem Umstand ist durch eine längere Lufttrocknung, jedenfalls in den trocknen Jahreszeiten, zu begegnen, doch ist häufig, besonders bei großen Mengen, eine geeignete Lagerung nicht möglich. Gewöhnlich wird der Feuchtigkeitsgehalt der Rückstände, soweit er von atmosphärischen Einflüssen herrührt, nicht in unerträglichem Maße störend sein, jedoch bereiten Generatorschlacken, die aus dem Sumpf der Wassertasse ausgetragen werden, auch Eisenbahnrückstände, die in glühendem Zustand mit Wasser abgelöscht oder ersäuft werden, Schwierigkeiten. In diesen Fällen ist der Feuchtigkeitsgehalt für die Wahl des Separationsverfahrens zu berücksichtigen.

Die Feuerungsrückstände werden als ein Abfallprodukt nicht bestens behandelt und enthalten oft die merkwürdigsten Verunreinigungen. So sind in diesen zu finden Feldsteine, Ziegelsteine, Schamottestücke, Glas, Lappen, Blechstücke, Eisenteile, Holz, Sand und vieles andere mehr. In Eisenbahnrückständen wurden Steine bis zu 8 kg Gewicht gefunden. Diese Verunreinigungen, besonders die Eisenteile, sind gefährlich durch die Zerstörungen und Betriebsunterbrechungen, die sie an den Förderern und Separationsmaschinen hervorrufen können. Ihre rechtzeitige Entfernung verlangt daher besondere Vorkehrungen.

Die Rückstände können stetig anfallen und anschließend in der gleichen Anlage separiert werden, doch kommt auch die Verarbeitung großer Halden unter Einschaltung von Wegen und Verladungen in Frage. Hierfür sind die großen Sammelplätze der Eisenbahnen, wie im Berliner Bezirk das Rote Bruch, ein Beispiel, weiter die Schlackenhaldden großer Hüttenwerke. Selbst bei stetig anfallenden Rückständen

jedoch sind in jedem Fall erhebliche Transporte unvermeidlich und werden selbst umfangreicher Art in Kauf genommen.

Es bleibt noch zu erörtern, in welchem Maße der Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem die Wärmebilanz einer Feuerung beeinflusst. Hierfür sei folgende Aufstellung gezeigt, die wohlgemerkt den Gehalt an Verbrenlichem berücksichtigt, nicht den Brennstoffgehalt (Zahlentafel 4). Es kann durch die Separation also nur ein Bruchteil der angeführten Werte für die Wärmebilanz zurückgewonnen werden unter Berücksichtigung des Halbschlacken-, des Grusgehaltes, falls der Grus nicht ebenfalls verwandt wird, des Separationsgrades und des Wirkungsgrades der Wiederverfeuerung. Die Bezugnahme auf die Wärmebilanz der ersten Verbrennung erscheint konstruiert, da diese in Wirklichkeit abgeschlossen ist, andererseits die Separation und Wiederverwendung der gewonnenen Brennstoffe getrennte Vorgänge für sich sind. Der Zusammenhang ist jedoch vorhanden und als solcher, wie weiter unten gezeigt wird, wärmetechnisch von Bedeutung (s. S. 130 ff.).

Zahlentafel 4. Verluste durch Unverbranntes in den Feuerungsrückständen in der Wärmebilanz.

Feuerungsrückstände	Aschengehalt der ursprünglich verfeuerten Kohle				
	5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
5% Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem. . . . .	0,38	0,59	0,93	1,3	2,3
20% Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem. . . . .	1,3	2,8	4,3	6,3	11,4
40% Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem. . . . .	3,5	7,4	11,6	16,7	28,6

Die Werte der Tabelle sind auf folgende Weise errechnet. Bezeichnen  $a$  den Aschengehalt der ursprünglich verfeuerten Kohle in Gew.%,  $b$  den Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem in Gew.%,  $r$  die Menge der Rückstände bezogen auf die Menge an ursprünglich verfeuerter Kohle in Gew.%,  $v$  den Verlust durch Unverbranntes in den Rückständen in % in der Wärmebilanz, so errechnet sich  $r$ , wenn  $a$  und  $b$  gegeben sind, wie folgt:

$$r = a + r \cdot b = \frac{a}{1 - b}$$

und andererseits:

$$v = b \cdot r \cdot \frac{1}{1 - a}$$

wobei die Annahme gemacht, daß der Heizwert der ursprünglich verfeuerten Kohle dem Aschengehalt proportional ist, ebenso wie oben in

der Gleichung für  $r$  die Flugstaubverluste vernachlässigt werden. Beide Annahmen können für eine ungefähre Beurteilung gelten. Bei Substitution von  $r$  ergibt sich:

$$v = \frac{a \cdot b}{(1-a) \cdot (1-b)}$$

Diese Formel wurde für die Aufstellung der Tabelle zugrunde gelegt.

Bei einer Kohle mit 10% Aschengehalt und 40% Brennbarem in den Rückständen gehen also bereits 7,4%, bei 15% Aschengehalt 11,6% des Heizwertes verloren. Eine entsprechende von de Grahl<sup>1)</sup> aufgestellte Tabelle vernachlässigt zumindest die Tatsache, daß die ursprünglich verfeuerte Steinkohle und das Verbrennliche in den Rückständen (fixer Kohlenstoff) verschiedene Heizwerte besitzen. Die dort angegebenen Werte sind daher bis über 55% zu niedrig.

Die Verluste in der Wärmebilanz durch den Gehalt der Rückstände an Verbrennlichem betragen nach vorstehender Aufstellung mindestens 4,3% und mehr, wenn der Aschengehalt des verfeuerten Brennstoffes 15% bei normalem Gehalt der Rückstände an Verbrennlichem beträgt. Ein derartiger Aschengehalt ist jedoch bei den heutigen Brennstoffverhältnissen eher gewöhnlich als ungewöhnlich zu bezeichnen. Bei minderwertigen Brennstoffen tritt nach Untersuchungen von Ebel<sup>2)</sup> der Verlust in den Rückständen gegenüber den Verlusten durch unvollkommene Verbrennung sogar in den Vordergrund.

## 2. Das Brennstoffausbringen.

### a) Verbrennung und Vergasung.

In den weitaus meisten Fällen wird für die Anschaffung von Schlackenseparationsanlagen die Gewinnung von Brennstoffen das ausschlaggebende Moment gewesen sein. In den Zeiten der Brennstoffzwangswirtschaft war nicht einmal der dabei erzielte Gewinn, sondern vielmehr die Schaffung einer Brennstoffquelle, unabhängig von den Zuweisungen des Reichskohlenkommissars, ausschlaggebend. Die Verwendung der durch Separation gewonnenen Brennstoffe ist verschiedenster Art. Neben den hauptsächlichlichen Verwendungsarten, der Verbrennung auf dem Rost unter dem Dampfkessel und der Vergasung im Generator, kommt die Verfeuerung in Zentralheizungen, Ringöfen, Trocken- und Brennöfen, Schmiedefeuern, Kohlenstaubfeuerungen, Glühöfen und im

<sup>1)</sup> Dipl. Ing. G. de Grahl: Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe, 2. Auflage, 1921, S. 364. Verlag Oldenbourg, München und Berlin.

<sup>2)</sup> Dipl. Ing. F. Ebel: Die Bedeutung der Feuerungsverluste durch Unverbranntes bei minderwertigen Steinkohlen, Glückauf, 58. Jahrgang, Nr. 24 Juni 1922, S. 739.

Hausbrand in Frage. Es interessiert daher neben den Mengen wesentlich, welche Brennstoffqualitäten die Schlackenseparation zur Verfügung stellt. Zu diesem Zweck sei die Ausbeute einer angenommenen größeren Separationsanlage, die einen Schichtdurchsatz von etwa 100÷200 t hat, näher betrachtet.

Eine solche Anlage soll die Separation nach dem Parallelverfahren mit magnetischen Trommelscheidern in Verbindung mit irgendeiner Naßseparation für die größeren Körnungen durchführen und die Brennstoffe in Klassierungen bis 5 mm, 5÷35 mm, 35÷80 mm und darüber auswerfen. Für die Körnungen von 5÷35 mm, die mit Rücksicht auf den großen Durchsatz klassiert etwa mit 5÷15 mm und 15÷35 mm Korngröße behandelt werden sollen, sei die trockenmagnetische Separation angenommen. Die Höhe der prozentualen Anteile, in denen diese Kornklassen ausgebracht werden, hängt von der Art der Rückstände ab. Auf diese Verschiedenheit, die im wesentlichen durch den ursprünglich verfeuerten Brennstoff und die Verfeuerungsart bedingt ist, wurde oben bereits eingegangen (s. S. 61).

Betrachten wir zunächst den Grus bis 5 mm, so haben wir einen Brennstoff allerdings zweifelhafter Qualität vor uns. Der Grus ist zusammengesetzt aus Kohlenstaub, der vom Rostdurchfall herrührt, aus Asche, Schlacken- und Kokskörnern, die nicht zum geringsten Teil durch den Abrieb während des Durchganges der Rückstände durch die Separationsanlage entstehen. Die Masse zeigt ein sandähnliches Gefüge und weist einen größeren Feuchtigkeitsgehalt bis zu 25% auf. Der Heizwert des Gruses schwankt gewöhnlich zwischen 3000 und 4000 WE/kg. Seine Verwendungsmöglichkeit ist gering. In den weitaus häufigsten Fällen wird der Grus als Abfallprodukt behandelt, auf die Halde geworfen oder wenn möglich für Bauzwecke, auch die Gipssteinherstellung verkauft.

Um die Qualität dieses Brennstoffes zu erhöhen ist versucht worden, den Brennstoffgehalt durch Separation anzureichern. Das Grusonwerk hat es sich besonders angelegen sein lassen, auf trockenmagnetischem Wege, der hierfür vorläufig einzig angewandt wurde, einen verwendungsfähigen Brennstoff aus dem Grus herzustellen. Die Anreicherung ist bei Anwendung von höheren Tourenzahlen für den Trommelscheider mit Erfolg durchgeführt worden. An anderer Stelle wird im Zusammenhang mit der Brikettierung über die Versuchsergebnisse berichtet und allgemein auf die Aufbereitung des Gruses eingegangen (s. S. 84). Der Wert dieses feinkörnigen Brennstoffes ist aber selbst nach erfolgter Anreicherung für den praktischen Feuerungsbetrieb noch immer recht gering. Eine Verfeuerung auf dem Rost kommt selten in Frage, jedenfalls nicht auf dem gleichen, auf dem die ursprüngliche Verfeuerung stattfand, sonst würde der aus dem Rostdurchfall herrührende

Teil sofort wieder in den Aschenfall geraten. Einige Anlagen können jedoch den aufbereiteten Grus in Vermischung mit anderen hochwertigen Brennstoffen auf Unterwindrosten mit engen Rostspalten verfeuern. Es gibt eine Reihe von Spezialrosten, die ausschließlich für die Verfeuerung derartiger minderwertiger, feinkörniger Brennstoffe und Abfallprodukte gebaut sind, doch haben diese, wenngleich gute Erfahrungen und Betriebsergebnisse vorliegen, infolge der hohen Anschaffungs- und Betriebskosten bisher keine wesentliche Verbreitung gefunden. Zu derartigen Spezialbauarten gehören der Perret-Rost, die Kudlicz-Feuerung von Kridlo, Prag, der Plutorost oder -stoker und die Wilton-Feuerung der Deutschen Evaporator-Gesellschaft, Berlin. Ähnliche Konstruktionen sind von den Firmen Adler&Hentsen, Coswig, Steinmüller, Seyboth & Co., Zwickau, Alfa-Feuerungsgesellschaft, Charlottenburg und Vesuvio-A.-G., München u. a. bekannt.

• Bei höherem Gehalt an verbrennlichen Bestandteilen kommt in Verbindung mit hochwertigen Bindemitteln eine Brikettierung in Frage, auf die noch in einem späteren Abschnitt eingegangen wird (s. S. 83ff.). Schließlich hat man in letzter Zeit Versuche gemacht, derartigen Grus als Zusatz zu hochwertigen Brennstoffen in Ringöfen auf Ziegeleien und Kalkbrüchen zu verwenden. Diese Versuche haben recht gute Erfolge gezeitigt. Sie ließen einwandfrei erkennen, daß bei geeigneter Feuerführung der Grus praktisch in Ringöfen verfeuert werden kann. Die Wirtschaftlichkeit der Verfeuerung eines so minderwertigen Materials trotz der erhöhten Betriebskosten wird durch den sehr geringen Preis ermöglicht. Allerdings wird eine eigene Verwertung des Gruses in dieser Form nur wenigen Separationsanlagen möglich sein. Es sei jedoch erwähnt, daß in einem Fall von einer Gesellschaft beabsichtigt wird, ein Kalkwerk zu erwerben zu dem Zweck, eine Verwendungsmöglichkeit für den Grus aus verschiedenen Separationsanlagen durch Verfeuerung in Ringöfen zu schaffen. Der gebrannte Kalk soll für die den Separationsanlagen angegliederten Schlackensteinfabriken verwendet werden.

Für die meisten Separationsanlagen ist jedoch der Grus eine unangenehme und kostspielige Erscheinung, die nicht selten die Wirtschaftlichkeit der Anlage gefährdet. Nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Separationsanlagen ist in der Lage, den Grus nutzbringend zu verwenden oder zu verkaufen, während andere noch Geld dazuzahlen müssen, damit ihnen der Grus vom Platz durch Achse oder auf dem Wasserwege abgefahren wird.

Die zweite Körnung des Brennstoffausbringens der angenommenen Separationsanlage mit den Korngrößen von 5–15 mm weist schon ein günstigeres Bild auf. Es handelt sich um einen feinkörnigen, größtenteils entgasten, schwarzen, etwas weichen Koks mit geringen Kohle-

beimengungen. Der Brennstoff ist als eine Art Halbkoks anzusprechen. Die Ansicht, daß der Kohlenstoff beim Passieren der ersten Feuerung eine graphitartige Form annimmt, trifft durchaus nicht immer zu. Der Koks zeigt eine dichte Struktur und besteht mehr aus runden Stücken ohne Kanten und Spitzen, die sich im Verlauf der Verbrennung, andererseits durch den Abrieb in der Separationsanlage verloren haben. Die Koksstücke schließen häufig kleine Schlackenteile ein, wie bei Definition der Halbschlacken näher erläutert wurde (s. S. 45). Die Gleichkörnigkeit des Materials als Folge der Klassierung bei der Separation ist hervorzuheben. Der Heizwert des Brennstoffes liegt je nach Art der Rückstände zwischen 3500 und 6600 WE/kg.

Als Verwendungsmöglichkeit kommt in erster Linie die Verbrennung auf dem Rost unter dem Dampfkessel in Betracht. Der Effekt der Verfeuerung hängt wesentlich von dem Aschengehalt des Brennstoffes von und der verwandten Feuerung ab. Das Verschlacken der Rosten bedingt die Notwendigkeit, bei festen Roststäben das Freilegen der Rosten öfter vorzunehmen. Diese Unterbrechung wirkt, wie ausführlich behandelt wurde (s. S. 57 ff.), störend auf den Verbrennungsvorgang durch die häufige Entziehung des Wärmeakkumulators, den die Brennstoffschicht im Kessel darstellt. Dann aber ist die Schlackenablagerung ein Hindernis für den Zutritt der Verbrennungsluft. Sie ruft erhöhte Verluste durch unvollkommene Verbrennung hervor, und bewirkt eine Vergrößerung der Verluste in den Rückständen.

Da die durch Separation gewonnenen Brennstoffe häufig einen größeren Aschengehalt aufweisen, so sind die genannten Nachteile in eine Bewertung miteinzubeziehen. Es ergibt sich die Notwendigkeit, für die Beurteilung der gewonnenen Brennstoffe nicht allein den Heizwert zugrunde zu legen, sondern ihre Heizkraft durch Versuche festzustellen. Bei der Verfeuerung unter dem Dampfkessel ist praktisch die Verdampfungsziffer als Wertmaßstab zu benutzen.

Für die Betrachtung der Verluste, die durch Verschlackung und häufiges Bearbeiten der Rosten entstehen, seien nachstehende von der Firma Krupp-Grusonwerk freundlichst zur Verfügung gestellten Diagramme (Abb. 24—29) gezeigt, die Verbrennungsvorgänge von Separationskoks wiedergeben. Die Versuche erfolgten an einem alten Einflammrohrkessel mit 60 m<sup>2</sup> Heiz- und 2 m<sup>2</sup> Rostfläche, der für Unterwindfeuerung mit Evaporatorrosten umgebaut war. In den Diagrammen sind die CO<sub>2</sub>- und Temperaturkurve der Abgase abgebildet. Durch vertikale Marken, punktiert und ausgezogen, sind die Feuerbearbeitung und Kohlenaufgabe gekennzeichnet; die Zeiten für das Abschlacken werden durch schraffierte Flächen hervorgehoben. Die Versuche erstreckten sich auf 8 Stunden und wurden vergleichsweise mit verschiedenen Brennstoffen durchgeführt.



Bei dem Versuch (Abb. 22) wurde Separationskoks der Korngröße von 5-15 mm, Heizwert 5600 WE/kg, bei einer mittleren Abgastemperatur von 385° C und einem mittleren CO<sub>2</sub>-Gehalt von 9,6 % mit 4,3 facher Verdampfung verbrannt. Die Anstrengung des Rostes betrug 113 kg/m<sup>2</sup> st. Die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes lassen auf die Schwierigkeit der Feuerbeherrschung schließen. Das Abschlacken nahm eine beträchtliche Zeit in Anspruch, da die Rosten durch Losbrechen der Schlacken Kuchen freigelegt werden mußten. Es ergab sich ein

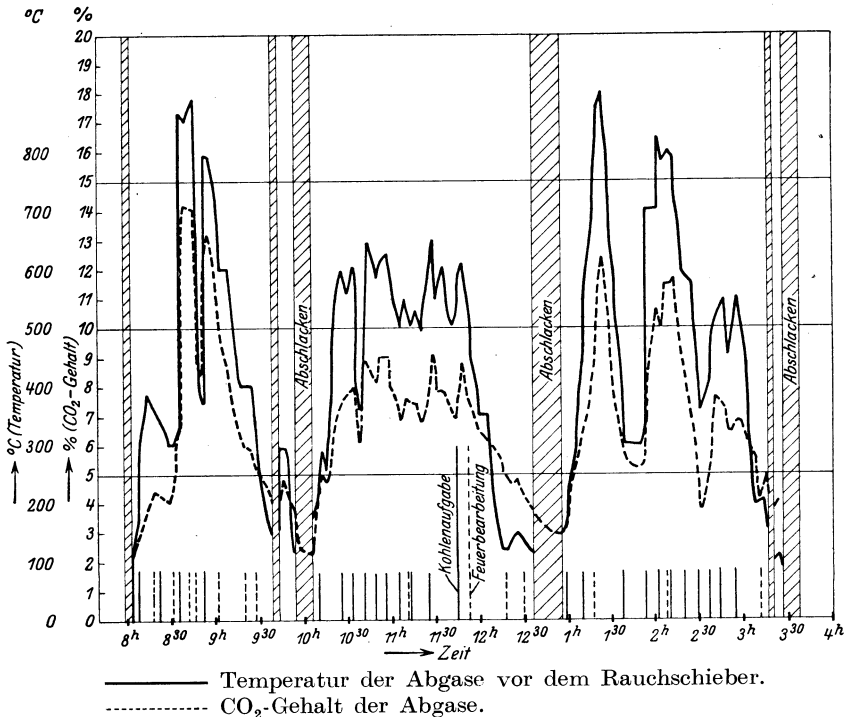


Abb. 22. Verbrennungsdiagramm für Separationskoks von 5-15 mm Korngröße.

Kesselwirkungsgrad von 49,5%. Das Ergebnis kann immerhin mit Rücksicht auf die Minderwertigkeit, insbesondere die Kleinkörnigkeit des Brennstoffes, als befriedigend angesprochen werden.

Ein anderer Versuch (Abb. 23) wurde mit einem Brennstoffgemisch aus dem gleichen Separationskoks und feinkörniger Steinkohle im Verhältnis 1:1 durchgeführt. Das Gemisch hatte einen Heizwert von 6177 WE/kg. Es ergab sich eine Abgastemperatur im Mittel von 270° C bei einem mittleren CO<sub>2</sub>-Gehalt von 6,95 % und eine Verdampfungsziffer von 4,91 kg Dampf/kg Brennstoff. Als Rostleistung wurden 92,7 kg/m<sup>2</sup> st

erzielt. Der Versuch ist leider unvollständig. Das Abschlacken erfolgte seltener und nahm wesentlich kürzere Zeit in Anspruch. Trotz der weniger großen Abkühlungsverluste wurde daher nur ein Wirkungsgrad von 52,3% erreicht. Die Verbrennung erfolgte wesentlich gleichmäßiger als bei dem ersten Versuch und läßt bereits die günstige Verfeuerung des Separationskoks als Zusatz zu hochwertigen Brennstoffen erkennen.

Der dritte Versuch (Abb. 24) an dem gleichen Kessel zeigt zum

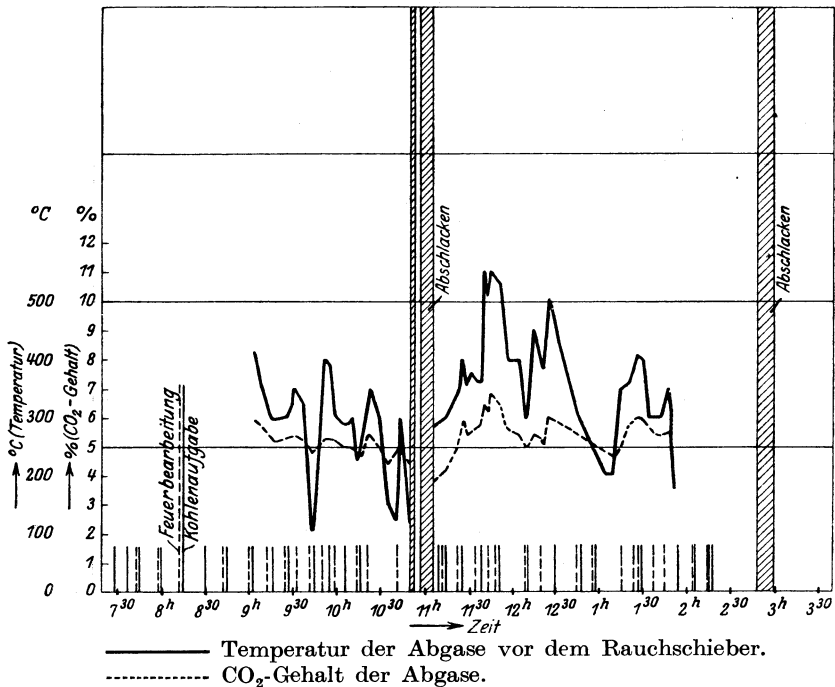


Abb. 23. Verbrennungsdiagramm für Separationskoks von 5-÷-15 mm Korngröße und Steinkohle (Mischungsverhältnis 1 : 1).

Vergleich die Verbrennung von Steinkohlenbriketts mit 7290 WE/kg, denen etwas Steinkohlengrus beigemischt war. Es wurden eine mittlere Abgastemperatur von 390° C, ein mittlerer Kohlensäuregehalt von 10,2% bei 7,45 facher Verdampfung und ein Kesselwirkungsgrad von 65,6% erzielt. Die Anstrengung des Rostes betrug in diesem Fall 104 kg/m<sup>2</sup> st.

In der Praxis hat sich durchweg gezeigt, daß die Verbrennung dieser Körnungen und auch der von 15-÷-35 mm unvermischt auf Planrosten und Wanderrosten mit natürlichem Zug nicht zu bewerkstelligen war. Das Feuer ging nach kurzer Zeit ohne weiteres aus und war selbst unter

Anwendung aller Kunstkniffe bei genauer Beobachtung nicht zu halten. Diese Tatsache ist voneinander unabhängig an mehreren Stellen beobachtet worden.

Man muß sich zum Verständnis dieser Beobachtung klarmachen, wie der Separationskoks entstanden ist, und darf nicht vergessen, daß der Koks bereits in einer Feuerung gelegen hat, in der er hohen, teilweise vielleicht höheren Temperaturen als bei der zweiten Verbrennung ausgesetzt war. Dieser Umstand spielt z. B. eine wesentliche Rolle für Koks-

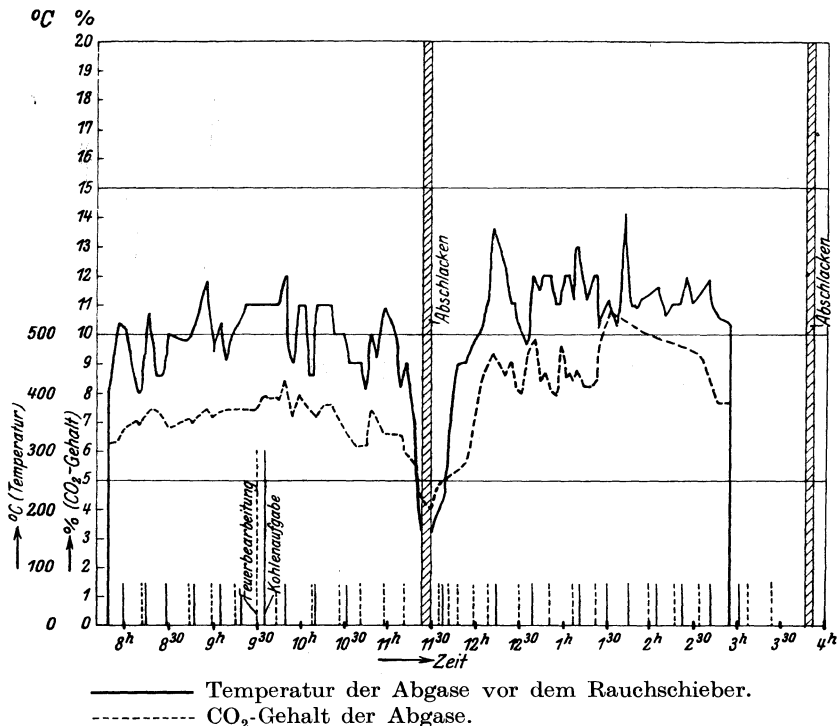


Abb. 24. Verbrennungsdiagramm für Steinkohlenbriketts.

stücke, die mit einer Schlackenglasur überzogen sind. Diese schmilzt natürlich erst bei der Temperatur, unter der sie entstanden ist. Weiter muß man in Betracht ziehen, wie ein solches Koksfeuer zum Brennen kommt und sich in diesem Zustand erhält. Während bei einem Steinkohlenfeuer die Kohlen entgasen, und die entzündeten Gase das kalte Kohlenstück erwärmen und zum Brennen bringen, erfolgt die Entzündung im Koksfeuer dadurch, daß sich die Koksklumpen gegenseitig anstrahlen und die Strahlung die Erwärmung fortschreitend bis zur Entzündung hervorruft.

Bei langflammigen Kohlen ist das gleich nach Eintritt in die Feuerung entwickelte Gas der Temperaturerzeuger und Leiter des Verbrennungsvorganges. Bei dem kurzflammigen Koks erfolgt die Verbindung mit dem Luftsauerstoff nur an der Oberfläche, und die Strahlung muß die Wirkung der fehlenden flüchtigen Bestandteile ersetzen. Die Kohle durchläuft den Kochvorgang eines sich halbverflüssigenden Körpers, während der feste Koks bereits in gekochtem Zustand in die Feuerung gelangt. Das ungünstige Verhalten des

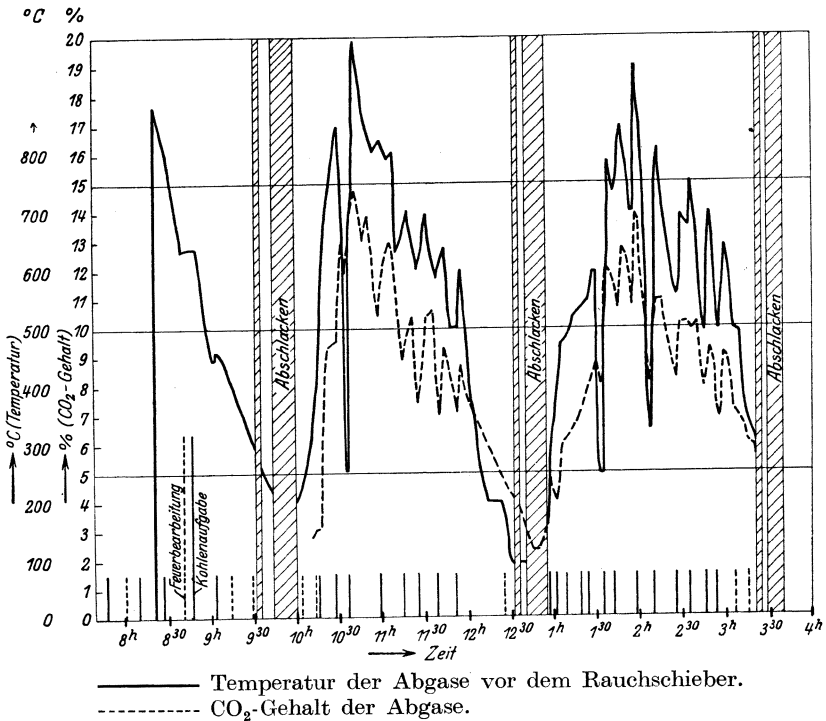


Abb. 25. Verbrennungsdiagramm für Separationskoks 5 ÷ 15 mm und 15 ÷ 35 mm Korngröße (Mischungsverhältnis 1 : 1,27).

Separationskoks wird unterstützt durch den Umstand, daß seine Entgasung eine recht starke ist, und die Koksstücke eine vorwiegend runde Form aufweisen. Dadurch wird die Entzündung erschwert, die bei einem spitzen und kantigen Koks viel leichter erfolgt.

Die Verbrennung des Separationskoks auf Unterwindrosten, bereitet jedoch keine Schwierigkeiten und wird in den verschiedensten Betrieben mit gutem Erfolg durchgeführt. Es ist an sich ganz natürlich, daß dieser gasarme Brennstoff viel Luft für seine Verbrennung erfordert. Eine leicht zu erzeugende Stein- oder Stauhitze in dem Ge-

wölbe bei Wanderrosten ist sehr günstig für die Entzündung. Gegen eine zu starke Verschlackung der Rosten kann Abhilfe geschaffen werden durch Einführen von Frischdampf in die Windleitung direkt vor dem Rost (s.S.60). Es genügt eine geringe Dampfmenge, um die Schlacke mürbe zu machen und die Rosten so weit zu kühlen, daß ein Zusammenbacken verhindert wird. Man kann auch versuchen, den Schlackenanzahl durch Vermischung mit besseren Brennstoffen herabzusetzen. Auf die Verwendung von Separationskoks dieser Körnungen im Generator wird unten zurückgegriffen; auch ihre Verwendung als Brikettiergut wird getrennt behandelt.

Die dritte Korngröße von 15--35 mm entspricht der von 15--15 mm in Struktur und Eigenschaften bis auf die Korngröße in jeder Weise. Der Heizwert liegt gewöhnlich etwas höher, je nach Art der Rückstände zwischen 3900 und 7000 WE/kg. Einige Diagramme für die Verfeuerung dieses Brennstoffes unter dem gleichen Dampfkessel wie oben seien nachstehend wiedergegeben.

Der Versuch (Abb. 25) wurde mit unvermischem Separationskoks durchgeführt, allerdings enthielt dieser nur 56% der Körnung von 15--35 mm, denen 44% der eben besprochenen kleineren Körnung von 5--15 mm beigemischt waren. Der Koks hatte einen Heizwert von 5530 WE/kg. Es wurden eine mittlere Abgastemperatur von 460° C und ein mittlerer CO<sub>2</sub>-Gehalt von 11,4% bei 4,05facher Verdampfung erzielt. Das Diagramm zeigt kein sehr günstiges Bild. Der Rost verschlackte stark, und das Freilegen der Rostfläche nahm viel Zeit in Anspruch. Das Schwanken der Kurven kennzeichnet einen unruhigen Verlauf der Verbrennung. Es wurde bei einer Rostleistung von 143 kg/m<sup>2</sup> st ein Kesselwirkungsgrad von 47,4% erreicht.

Zwei andere Versuche wurden mit Brennstoffmischungen aus Separationskoks und feinkörniger Steinkohle durchgeführt. Das Verhältnis von Koks 5--35 mm Korngröße zu Steinkohle betrug bei dem Versuch (Abb. 26) 2:1. Das Gemisch hatte einen Heizwert von 6000 WE/kg. Die Verbrennung erfolgte wesentlich günstiger als bei unvermischem Koks. Bei einer mittleren Abgastemperatur von 330° C und 8,9% CO<sub>2</sub> wurde eine Verdampfungsziffer von 5,27 kg Dampf/kg Brennstoff erzielt. Die Verbrennung ist als sehr günstig zu bezeichnen und läßt erkennen, wie erfolgreich der Separationskoks als Zusatz zu verfeuern ist. Das Abschlacken ging leicht vonstatten, und der Kessel erreichte einen Wirkungsgrad von 56,7% bei einer Rostleistung von 102 kg/m<sup>2</sup> st.

Das Brennstoffgemisch bei dem Versuch (Abb. 27) setzte sich aus Separationskoks 15--35 mm Korngröße und Steinkohle im Verhältnis 1:2 zusammen und hatte einen Heizwert von 6880 WE/kg. Die Verbrennung dieses recht guten Brennstoffgemisches ging entsprechend

günstiger vor sich. Bei einer mittleren Abgastemperatur von 200° C und einem Kohlensäuregehalt von 7,1 % wurde eine 6,14 fache Verdampfung erreicht. Der Kesselwirkungsgrad betrug 59 % bei einer Leistung des Rostes von 97,4 kg/m<sup>2</sup>st. Der Rost verschlackte weniger, und das Abschlacken war leicht zu bewerkstelligen. Die Verbrennung erfolgte gleichmäßig.

Es seien einige Verdampfungsversuche<sup>1)</sup> ausführlich mitgeteilt, die unter Verfeuerung von Separationskoks in Körnungen von 5 bis

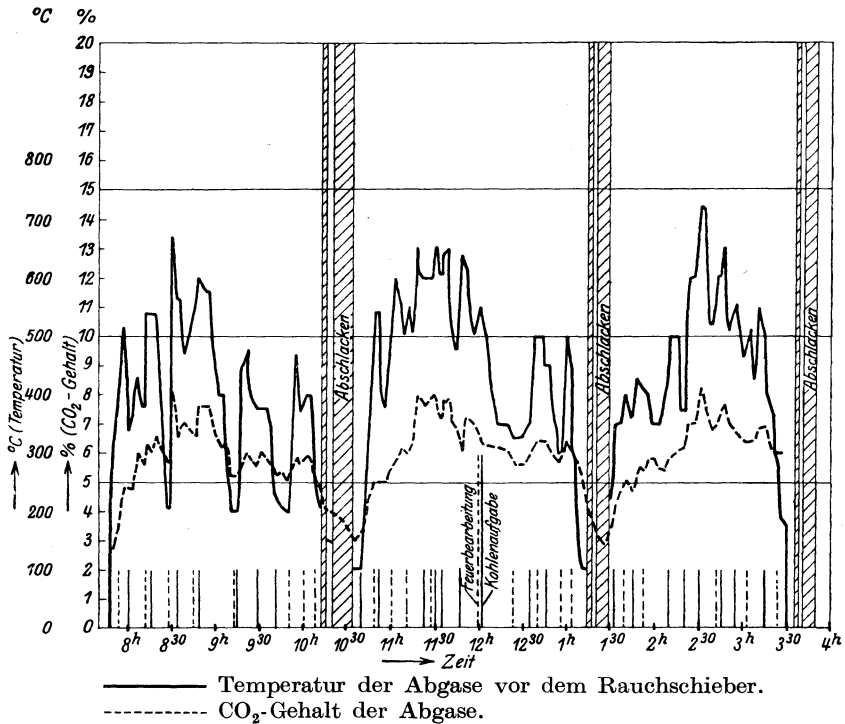


Abb. 26. Verbrennungsdiagramm für Separationskoks von 5-35 mm Korngröße und Steinkohle (Mischungsverhältnis 2: 1).

35 mm durchgeführt wurden (Zahlentafel 5, 6 und 7). Der Koks gelangte ungemischt zur Verwendung, und zwar bei dem erstfolgenden Versuch (Zahlentafel 5) in einem alten Zweiflammrohrkessel, dessen Planroste durch Evaporatorunterwindroste ersetzt waren. Der Dampf diente zu Heizzwecken, und die Kessel arbeiteten daher mit nur 3,7 atm Überdruck. Es zeigte sich jedoch, daß der Rost stark verschlackte und nur mit dem Brecheisen freizulegen war. Aus diesem Grunde wurde eine geringe

<sup>1)</sup> Versuchsberichte der Wärmestelle deutscher Eisenhüttenleute, Kattowitz.

Frischdampfmenge in die Windleitung eingeführt, die den Übelstand beseitigte. Die Dampfmenge und der Gebläsedampf wurden bei Errechnung des Wirkungsgrades nicht berücksichtigt. Nachstehend folgen die Versuchszahlen (s. S. 76).

Als Zusatz zu hochwertigen Brennstoffen wird der Separationskoks erfolgreich in Verbindung mit besonders bituminösen Steinkohlen verwendet. Der Separationskoks wirkt bei diesen fetten Brennstoffen als wirksames Magerungsmittel und verhindert das Backen der Kohle.

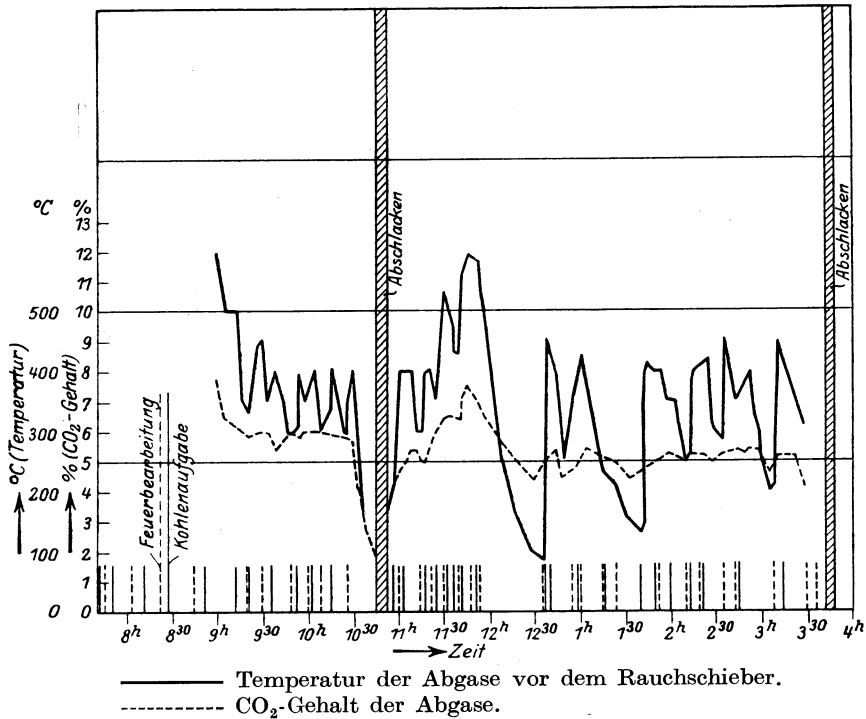


Abb. 27. Verbrennungsdiagramm für Separationskoks von 15-35 mm Korngröße und Steinkohle (Mischungsverhältnis 1:2).

Das Backen ist bekanntlich eine sehr unangenehme Erscheinung, deren Beseitigung sehr erwünscht ist. Man ist vielfach auch in der Lage, mit einem geeigneten Koksbezug die Verluste durch Rauch und Ruß gegenüber reinen Steinkohlenfeuern herabzusetzen. Die Vermischung dient ferner dazu, aus Betriebsrücksichten den Schlackenanteil besonders bei Separationskoks mit höherem Aschengehalt zu vermindern. Hauptsächlich aber kommt die Verwendung des Separationskoks als Zusatz zu hochwertigen Brennstoffen deshalb in Frage, weil die üblichen Feuerungen und Kesselanlagen für langflämmige wertvolle Kohlen

Zahlentafel 5. Verdampfungsversuch mit Separationskoks auf Unterwindrosten<sup>1)</sup>.

Verdampfungsversuch, Datum: 14. Oktober 1921.		
1. Kessel: Zweiflammrohrkessel mit Evaporatorunterwindrosten.		
Heizfläche des Kessels . . . . .	m <sup>2</sup>	104
Heizfläche des Überhitzers . . . . .	m <sup>2</sup>	40
Rostfläche . . . . .	m <sup>2</sup>	3,16
Verhältnis von Rostfläche zu Heizfläche . . . . .		1 : 32,91
2. Dauer des Versuches . . . . . min 240		
3. Brennstoff: Separationskoks in Körnungen von 5–35 mm, durch trockenmagnetische Aufbereitung gewonnen.		
Verheizt im ganzen . . . . .	kg	1425
„ in der Stunde . . . . .	kg/st	356,25
„ „ „ „ bezogen auf 1 m <sup>2</sup> Rostfläche	kg/m <sup>2</sup> st	112,7
Unterer Heizwert (kalorimetrisch bestimmt) . . . . .	WE/kg	5630
4. Speisewasser: Verdampft im ganzen . . . . . kg 6850		
Stündliche Dampferzeugung . . . . .	kg/st	1712,5
Beanspruchung der Heizfläche . . . . .	kg/m <sup>2</sup> st	16,37
Temperatur bei Eintritt in den Kessel . . . . .	° C	27
5. Dampf: Überdruck . . . . . atm Ue 3,7		
Temperatur des Sattedampfes . . . . .	° C	148,6
„ „ überhitzten Dampfes . . . . .	° C	238,0
Erzeugungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	630,3
Überhitzungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	44,8
Erzeugungs- und Überhitzungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	675,1
6. Abgase: Kohlensäure CO <sub>2</sub> . . . . . Vol. % 13,4		
Sauerstoff O <sub>2</sub> . . . . .	Vol. %	5,3
Kohlenoxyd CO . . . . .	Vol. %	1,2
Stickstoff H <sub>2</sub> . . . . .	Vol. %	80,1
Temperatur vor dem Rauchschieber . . . . .	° C	273,0
7. Verbrennungsluft: Temperatur vor dem Rost . . . . . ° C 18		
Barometerstand . . . . .	mm Q S	754
Luftüberschußzahl . . . . .		1,33
8. Zugstärke: Zug über dem Rost . . . . . mm WS 2,8		
Zug hinter dem Überhitzer . . . . .	mm WS	4,9
Zug im Schornstein . . . . .	mm WS	17,4
9. Verdampfung: Verdampfte Wassermenge, bezogen auf 1 kg Brennstoff . . . . . kg Dampf/kg Brennstoff 4,81		
Desgl. bezogen auf Normaldampf von 100° C, 639,2 WE/kg		
Wärmeinhalt . . . . .	kg Dampf/kg Brennstoff	5,08
10. Wirkungsgrad des Kessels: (675,1 × 4,81) : 5630 . . . . . % 57,70		
11. Herdrückstände: Gesamtmenge . . . . . kg 325		
Desgl. bezogen auf die verheizte Brennstoffmenge . . . . .	%	22,8
Verbrenliches in den Rückständen . . . . .	%	31,56
Wärmewert des Verbrenlichen in den Rückständen, bezogen auf 1 kg Brennstoff . . . . .	WE/kg Brennstoff	623
12. Wärmebilanz (alle Werte bezogen auf 1 kg Brennstoff):		
A. Zugeführte Wärme (Heizwert) . . . . .	WE/kg	%
B. Abgeführte Wärme		
a) im Dampf . . . . .	3247	57,70
b) durch unvollständige Verbrennung . . . . .	338	6,00
c) durch freie Wärme in den Abgasen . . . . .	708	12,58
d) durch Unverbranntes in den Rückständen . . . . .	623	11,06
e) Restglied (Strahlung, Leitung usw.) . . . . .	714	12,66
	5630	100,00

<sup>1)</sup> Versuchsberichte der Wärmestelle deutscher Eisenhüttenleute, Kattowitz.



Zahlentafel 6. Verdampfungsversuche mit Separationskoks auf Unterwindrosten und mit natürlichem Zug<sup>1)</sup>.

Verdampfungsversuche	Datum	
	Versuch I 21. 12. 1920	Versuch II 13. 1. 1921
1. Kessel: Babcock-Schiffskessel. Versuch I: Unterwindrost, System Nyeboe & Nissen. Versuch II: Babcock-Kettenrost mit schmalen Gliedern.		
Heizfläche des Kessels . . . . . m <sup>2</sup>	650	650
Heizfläche des Überhitzers . . . . . m <sup>2</sup>	215	215
Rostfläche . . . . . m <sup>2</sup>	21	28,7
Verhältnis von Rostfläche zu Heizfläche . . . . .	1 : 30,9	1 : 22,6
2. Dauer des Versuches . . . . . min	400	480
3. Brennstoffe:		
Versuch I: Separationskoks in Körnungen von 5-35 mm, durch trockenmagnetische Aufbereitung gewonnen, unvermischt.		
Versuch II: Separationskoks in Körnungen von 5-35 mm, durch trockenmagnetische Aufbereitung gewonnen, vermischt mit Steinkohlen (Nußgröße) im Verhältnis 1 : 1,07.		
Verheizt im ganzen . . . . . kg	21 170	23 730
„ in der Stunde . . . . . kg/st	3175,5	2966,25
„ „ „ bezogen auf 1 m <sup>2</sup> Rostfläche . . . . . kg/m <sup>2</sup> st	151,21	103,35
Unterer Heizwert (kalorimetrisch bestimmt) WE/kg	4042	4863
Bei Versuch II betrug der Heizwert des Separationskoks 4192 WE/kg, der Heizwert der Steinkohle 5552 WE/kg.		
4. Speisewasser: Verdampft im ganzen . . . kg	93 030	101 700
Stündliche Dampferzeugung . . . . . kg/st	139 54,5	12 712,5
Beanspruchung der Heizfläche . . . . . kg/m <sup>2</sup> st	421,47	19,56
Temperatur bei Eintritt in den Kessel . . . ° C	166,6	137,2
5. Dampf: Überdruck . . . . . atm Ue	14,6	14,7
Temperatur des Satttdampfes . . . . . ° C	196,0	196,3
Temperatur des überhitzten Dampfes . . . ° C	339	337
Erzeugungswärme . . . . . WE/kg Dampf	503,6	533,1
Überhitzungswärme . . . . . WE/kg Dampf	80,1	79,0
Erzeugungs- und Überhitzungswärme WE/kg Dampf	583,7	612,1
6. Abgase: Kohlensäure CO <sub>2</sub> . . . . . Vol. %	9,1	5,9
Sauerstoff O <sub>2</sub> . . . . . Vol. %	10,3	14,0
Kohlenoxyd CO . . . . . Vol. %	—	—
Stickstoff H <sub>2</sub> . . . . . Vol. %	80,6	80,1
Temperatur vor dem Rauchschieber . . . ° C	326	302
7. Verbrennungsluft:		
Temperatur vor dem Rost . . . . . ° C	22,5	30,0
Luftüberschusszahl . . . . .	1,93	2,92
8. Zugstärke: Zug über dem Rost . . . mm WS	0,2	5,0
Zug vor dem Rauchschieber . . . . . mm WS	5,0	17,2

<sup>1)</sup> Versuchsberichte der Wärmestelle deutscher Eisenhüttenleute, Kattowitz.

## Fortsetzung der Zahlentafel 6.

Verdampfungsversuche	Datum	
	Versuch I 21. 12. 1920	Versuch II 13. 1. 1921
9. Verdampfung: Verdampfte Wassermenge, bezogen auf 1 kg Brennstoff		
kg Dampf/kg Brennstoff	4,39	4,29
Dgl. bezogen auf Normaldampf von 100° C, 639,2 WE/kg Wärmehalt... kg Dampf/kg Brennstoff	4,01	4,07
10. Wirkungsgrad des Kessels . . . . . %	63,46	53,94
11. Herdrückstände: Gesamtmenge . . . . . kg	6720	4275
Dgl. bezogen auf die verheizte Brennstoffmenge %	31,74	18,02
Verbrennliches in den Rückständen . . . . . %	17,0	20,2
Wärmewert des Verbrennlichen in den Rückständen, bezogen auf 1 kg Brennstoff WE/kg Brennstoff	437	294
12. Wärmebilanz: Alle Werte bezogen auf 1 kg Brennstoff.		
Versuch I:	WE/kg	%
A. Zugeführte Wärme (Heizwert) . . . . .	4042	100
B. Abgeführte Wärme:		
a) im Dampf . . . . .	2565	63,46
b) durch unvollständige Verbrennung . . . . .	—	—
c) durch freie Wärme in den Abgasen . . . . .	863	21,35
d) durch Unverbranntes in den Rückständen . . . . .	437	10,81
e) Restglied (Strahlung, Leitung usw.) . . . . .	177	4,38
	4042	100,00
Versuch II:		
A. Zugeführte Wärme (Heizwert) . . . . .	4863	100,00
B. Abgeführte Wärme:		
a) im Dampf . . . . .	2623	53,94
b) durch unvollständige Verbrennung . . . . .	—	—
c) durch freie Wärme in den Abgasen . . . . .	1399	28,77
d) durch Unverbranntes in den Rückständen . . . . .	294	6,05
e) Restglied (Strahlung, Leitung usw.) . . . . .	547	11,24
	4863	100,00

gebaut sind und eine alleinige Verfeuerung des Separationskoks nicht gestatten. Die Einrichtungen für eine Verfeuerung von Koks, insbesondere für die Erhöhung der Luftzufuhr, sind nicht vorhanden oder nicht ohne weiteres zu schaffen, zum mindesten ist deren Einbau mit Kosten verbunden. Im Generator ist übrigens der Separationskoks anstandslos ungemischt, dann sogar am allerbesten zu verarbeiten.

Zwei Verdampfungsversuche unter Verwendung von Separationskoks als Brennstoffzusatz seien nachstehend wiedergegeben (Zahlentafel 6). Die Brennstoffmischung läßt sich, wie erwähnt, je nach der Art des Mischungsverhältnisses auch mit natürlichem Zug verheizen. Es seien zum Vergleich zwei Versuche gegenübergestellt, von denen der erste die Verbrennung von einem Gemisch aus Separationskoks und Steinkohle mit natürlichem Zug und der zweite die Verbrennung von unvermischten Separationskoks mit Unterwind wiedergibt.

Zahlentafel 7. Verdampfungsversuch mit Separationskoks bei natürlichem Zuge<sup>1)</sup>.

Verdampfungsversuch, Datum: 29. Oktober 1921.		
1. Kessel: Wasserrohrkessel mit Wanderrost.		
Heizfläche des Kessels . . . . .	m <sup>2</sup>	250
Heizfläche des Überhitzers . . . . .	m <sup>2</sup>	90
Rostfläche . . . . .	m <sup>2</sup>	9,6
Verhältnis von Rostfläche und Heizfläche . . . . .		1 : 26,04
2. Dauer des Versuches . . . . . min 220		
3. Brennstoff: Gemisch aus Separationskoks in Körnungen von 5-35 mm, durch trockenmagnetische Aufbereitung gewonnen, mit Steinkohle (Staubkohle) im Verhältnis 1 : 1		
Verheizt im ganzen . . . . .	kg	5200
„ in der Stunde . . . . .	kg/st	1418,16
„ „ „ „ bezogen auf 1 m <sup>2</sup> Rostfläche . . . . .	kg/st m <sup>2</sup>	147,73
Unterer Heizwert d. Steinkohle (kalorimetr. best.) . . . . .	WE/kg	6641
Unterer Heizwert des Separationskoks (kalorimetrisch bestimmt) . . . . .	WE/kg	4473
Unterer Heizwert des Brennstoffgemisches . . . . .	WE/kg	5557
4. Speisewasser: Verdampf im ganzen . . . . . kg 28190		
Stündliche Dampferzeugung . . . . .	kg/st	7688,22
Beanspruchung der Heizfläche . . . . .	kg/m <sup>2</sup> st	30,75
Temperatur bei Eintritt in den Kessel . . . . .	° C	76,5
5. Dampf: Überdruck . . . . . atm Ue 10,6		
Temperatur des Sattdampfes . . . . .	° C	185,4
Temperatur des überhitzten Dampfes . . . . .	° C	349,8
Erzeugungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	591,2
Überhitzungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	88,3
Erzeugungs- und Überhitzungswärme . . . . .	WE/kg Dampf	679,5
6. Abgase: Kohlensäure CO <sub>2</sub> . . . . . Vol. % 9,4		
Sauerstoff O <sub>2</sub> . . . . .	Vol. %	10,3
Kohlenoxyd CO . . . . .	Vol. %	0,1
Stickstoff H <sub>2</sub> . . . . .	Vol. %	80,2
Temperatur vor dem Rauchschieber . . . . .	° C	379,8
7. Verbrennungsluft: Temperatur vor dem Rost . . . . . ° C 17,0		
Luftüberschußzahl . . . . .		1,93
8. Zugstärke: Zug hinter dem Überhitzer . . . . . mm WS 10,2		
Zug vor dem Rauchschieber . . . . .	mm WS	36,0
9. Verdampfung: Verdampfte Wassermenge, bezogen auf 1 kg Brennstoff . . . . . kg Dampf/kg Brennstoff 5,42		
Desgl. bezogen auf Normaldampf von 100° C, 639,2 WE/kg . . . . .		639,2
Wärmeinhalt . . . . .	kg Dampf/kg Brennstoff	5,78
10. Wirkungsgrad: des Kessels . . . . . % 66,28		
11. Herdrückstände: Gesamtmenge . . . . . kg 695,4		
Desgl. bezogen auf die verheizte Brennstoffmenge . . . . .	%	13,37
Verbrenliches in den Rückständen . . . . .	%	29,76
Wärmewert des Verbrenlichen in den Rückständen, bezogen auf 1 kg Brennstoff . . . . .	WE/kg Brennstoff	179
12. Wärme bilanz (alle Werte bezogen auf 1 kg Brennstoff):		
A. Zugeführte Wärme (Heizwert) . . . . .	WE/kg	%
B. Abgeführte Wärme . . . . .		100,00
a) im Dampf . . . . .	3683	66,28
b) durch unvollständige Verbrennung . . . . .	28	0,50
c) durch freie Wärme in den Abgasen . . . . .	1372	24,70
d) durch Unverbranntes in den Rückständen . . . . .	179	3,22
e) Restglied (Strahlung, Leitung usw.) . . . . .	295	5,30
	5557	100,00

<sup>1)</sup> Versuchsberichte der Wärmestelle deutscher Eisenhüttenleute, Kattowitz.

Bei dem Versuch I wurde absichtlich mit einem schwachen Überdruck im Feuerraum gefahren, um aus den genannten Gründen eine Stauhitzte unter dem Gewölbe zu erzeugen. Der erzielte Wirkungsgrad von 63% muß bei dem verfeuerten Material von geringer Qualität als sehr gut bezeichnet werden. Die Leistung des Kessels bezogen auf die Heizfläche betrug ungefähr 70% der Garantieleistung für Steinkohle mit 6000 WE/kg. Diesem üblich verwandten Brennstoff entsprach eine mittlere Verdampfungsziffer von 5,5 gegenüber 4,4 bei dem oben aufgeführten Versuch.

Der Vergleich läßt erkennen, daß die Unterwindfeuerung gegenüber der Feuerung bei natürlichem Zug im Vorteil ist. Diese Überlegenheit gilt übrigens allgemein bei minderwertigen Brennstoffen. Bei einem wesentlich besseren Wirkungsgrad und annähernd gleicher Verdampfungsziffer wurde bei dem Versuch I nur 15% mehr Brennstoff verbraucht unter Verfeuerung von unvermischem Separationskoks gegenüber dem wertvolleren Brennstoffgemisch aus Separationskoks und Steinkohlen bei Versuch II. Der Unterwindrost arbeitet auch billiger, wenn man berücksichtigt, in welchem Verhältnis, dem Kaufpreise nach, die beiden verfeuerten Brennstoffe, Separationskoks und Nußkohlen, stehen.

Es sei noch ein Versuch (Zahlentafel 7) wiedergegeben, der besonders günstige Werte für den Wirkungsgrad und die Verdampfungsziffer aufwies bei Verfeuerung eines Brennstoffgemisches von Separationskoks und Steinkohlen im Verhältnis von 1:1 mit natürlichem Zug in einem normalen Wasserrohrkessel.

Der Kesselwirkungsgrad von 66,3% und die Verdampfungsziffer von 5,4 sind als ganz ausgezeichnete Werte anzusprechen.

Im Großkraftwerk Stettin wurden ebenfalls Verbrennungsversuche<sup>1)</sup> an einem Steilrohrkessel mit Unterwindrosten von 525 m<sup>2</sup> Heizfläche und 23,3 m<sup>2</sup> Rostfläche durchgeführt. Zur Verwendung gelangte Separationskoks bis 40 mm Korngröße, der durch magnetische Separation gewonnen wurde, — der Grus wurde nicht abgesiebt, sondern ebenfalls aufbereitet — und Steinkohle bei verschiedenen Mischungsverhältnissen (Zahlentafel 8).

Bei den Versuchen 1 bis 6 der Zahlentafel 8 wurde erstrebt, ohne Rücksicht auf den Wirkungsgrad die normale Leistung des Kessels von ca 36 kg Dampf/m<sup>2</sup>st Heizfläche zu erreichen. Bei den letzten Versuchen 7 und 8 wurde versucht, ohne Rücksicht auf die Leistung einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Die Ergebnisse zeigen, daß bei dem Mischungsverhältnis von vier Teilen Kohle und einem Teil

---

<sup>1)</sup> M. Meyer: Schackentransport und Schlackenaufbereitung beim Großkraftwerk Stettin, Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke E. V., 18. Jahrgang, Nr. 359, 1924, S. 135.

Koks die Normalleistung des Kessels erreicht werden konnte, ohne den Wirkungsgrad wesentlich zu beeinflussen.

Auch diese Versuche bestätigen, daß die Verwendung des Separationskoks am besten als Zusatz zu hochwertigen Brennstoffen erfolgt. Als Mischungsverhältnis wurde das Verhältnis 1:4 und 1:5 als das günstigste beobachtet.

Über die Vergasungsmöglichkeit der Körnungen von 5÷35 mm im Generator ist zu sagen, daß diese ein ausgezeichnetes Generatormaterial sind. Die Gleichkörnigkeit in Verbindung mit der weitgehenden Entgasung des Koks machen ihn zu einem Produkt, dessen Homogenität für die Verwendung im Generator von Vorteil ist. Bei der Vergasung ist eine Vermischung der klassierten Körnungen von 5÷15 und 15÷35 mm nicht ratsam. Es ist günstiger, die einzelnen Korngrößen für sich zu verwenden. Ganz besonders in Gaswerken wird der Separationskoks lieber zur Vergasung als zur Verfeuerung herangezogen, da diese Verwendung des Separationskoks einfacher erfolgt und ohne besondere Vorkehrungen vor sich gehen kann. Die Vergasung wird allgemein in großen Gaswerken der Verfeuerung vorgezogen. Versuchsergebnisse für eine Vergasung von Brennstoffen, die durch Separation gewonnen wurden, waren leider nicht zu beschaffen.

Die vierte Klasse von Körnungen der angenommenen Separationsanlage mit den Korngrößen von 35÷70 mm und darüber unterscheidet sich bis auf die Korngröße nicht wesentlich von den eben beschriebenen zwei Kornklassen. Es ist wieder ein weicher Koks, teils mit Schlackenteilchen durchschossen, mit einem Heizwert, der je nach der Art des Brennstoffausbringens zwischen 4200 und 7000 WE/kg schwankt. Da für diese Körnung eine Naßseparation angenommen war, haben wir es mit einem gewaschenen Brennstoff zu tun, staubfrei jedoch ebenfalls ohne Kanten und Spitzen, mehr aus runden Stücken bestehend. An dieser Stelle sei noch kurz auf den Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts, der teils von der Witterung, teils dem angewandten Verfahren abhängt, eingegangen. Bis zu 15% etwa macht er sich keinesfalls störend bemerkbar, sondern wirkt eher günstig auf den Verlauf der Verbrennung. Darüber jedoch vermindert sich der Wert des Brennstoffes nicht nur im Verhältnis des prozentualen Wasseranteils zur Brennstoffmenge, sondern auch noch durch die Wärmemenge, welche für die Verdampfung des Wassers aufgewandt werden muß. Ein Brennstoff mit 90% Feuchtigkeit hat daher gar keinen Heizwert mehr. Der Koks eignet sich zur Verfeuerung unter dem Kessel auf Plan- und Wanderrosten unvermischt mit Unterwind, als Zusatz ohne und mit Unterwind je nach dem Mischungsverhältnis.

Der Brennstoff ist ebenfalls für die Vergasung im Generator zu verwenden. Die Gleichkörnigkeit und Homogenität des Materials sind

Zahlentafel 8. Verdampfungsversuche mit

Versuchs-Nummer	Datum	Dauer st	Mischungsver- hältnis Kohle: Koks	Heizwert			Rost- leistung kg/m <sup>2</sup> st Kohle	Bean- spruchung der Heizfläche kg/m <sup>2</sup> st Dampf
				der Kohle WE/kg	des Separa- tions- koks WE/kg	der Mischung WE/kg		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	19. Nov. 1923	6,75	1 : 1	6190	4950	5541	142,8	28,4
2	20. Nov. 1923	8,0	1 : 1	6385	3808	5097	159,0	31,5
3	23. Nov. 1923	8,0	2 : 1	6259	4768	5762	134,5	34,3
4	14. Dez. 1923	8,0	2 : 1	5560	4811	5310	139,5	31,5
5	7. Dez. 1923	8,0	4 : 1	5667	5071	5498	130,2	33,7
6	11. Dez. 1923	8,0	4 : 1	6331	4826	6026	147,0	40,6
7	11. Jan. 1924	8,0	1 : 1	5751	3996	5185	134,0	27,3
8	14. Jan. 1924	8,0	2 : 1	5616	4394	5360	128,0	32,4

als Generatorprodukt seine besonderen Vorzüge. Zur Vergasung werden auch diese Körnungen hauptsächlich in Gaswerken herangezogen.

Der Separationskoks weist in den größeren Körnungen über 35 mm ein wesentlich ansprechenderes Aussehen — wenn er nach einem Naßverfahren mit besonderer Trennflüssigkeit separiert wurde, muß er natürlich abgespritzt sein — auf und eignet sich daher zum Verkauf. Es zeigte sich, daß dieser Brennstoff für Sammelheizungen geeignet ist und bei Heizwerten über 5500 WE/kg auch die Schlackenbildung keine Schwierigkeiten bereitet. Das Feuer erzeugt eine genügend hohe Temperatur, und das Anbrennen ist bei einiger Übung leicht zu bewerkstelligen. Die Nachteile gegenüber dem üblichen Betrieb bei Verwendung von Gas- und Schmelzkoks sind unbedeutend. Diese an zwei verschiedenen Stellen beobachtete Tatsache ist von besonderer Bedeutung für die Absatzmöglichkeit der durch Separation gewonnenen Brennstoffe. Die Durchführung eines exakten Verbrennungsversuches kam leider aus technischen Gründen nicht zustande. Es können daher für die Verwendung des Separationskoks in Zentralheizungskesseln keine Zahlen angeführt werden.

In letzter Zeit wurden von der AEG im Stahlwerk Henningsdorf Versuche angestellt, Separationskoks der kleinen Körnungen von 5÷15 mm in Kohlenstaubfeuerungen zu verwenden. Für die Versuche stand ein Dampfkessel mit AEG-Kohlenstaubbrenner zur Verfügung. Nach Angaben von Dr. Münzinger ist bei dieser Verwendungsart des Separationskoks ein Wirkungsgrad von 80% bei modernen Anlagen zu erzielen. Für die Aufbereitung von 1 t der genannten Körnung von 5÷15 mm kann mit einem Kraftverbrauch von 25 kW gerechnet werden. Andere Versuche, die von Krupp-Grusonwerk angestellt wurden, verliefen ebenfalls befriedigend. Nach diesen Versuchen zeigt

Separationskoks auf Unterwindrosten<sup>1)</sup>.

Dampfspannung	Temperatur des überhitzten Dampfes	Verdampfungsziffer	Reduzierte Verdampfungsziffer	Raucht gastemperatur hinter d. Economiser	CO <sub>2</sub>	Luftüberschußzahl	Rückstände	Wirkungsgrad
atm Ue	° C			° C	%		%	%
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
14,48	325,5	4,49	4,97	239	9,2	1,96	28,00	58,7
15,20	331,0	4,47	4,93	218	9,7	1,875	33,1	64,8
15,00	321,0	5,74	6,33	243	10,8	2,060	22,6	72,8
14,90	333,0	5,07	5,64	227	9,5	1,910	20,0	67,8
15,10	320,0	5,80	6,43	207	10,0	1,829	19,5	77,2
15,40	312,0	6,20	6,80	213	13,8	1,375	13,38	73,8
14,60	295,0	4,60	4,98	192	9,6	1,890	25,2	63,6
14,80	315,0	5,72	6,25	202	9,9	1,840	24,1	70,8

sich die Verwendung des Separationskoks als Zusatz zu Steinkohle vorteilhafter. Der verwandte Separationskoks muß allerdings sehr minderwertig gewesen sein, da das verfeuerte Gemisch aus Koks und Steinkohle nur 45÷60% Verbrennliches aufwies. Hierdurch erschließt sich besonders für die kleinen Körnungen und den aufbereiteten Grus eine neue Verwendungsmöglichkeit. Die feinkörnigen Separationsbrennstoffe ersparen außerdem durch ihre Kleinkörnigkeit einige Mahlgänge. Von Nachteil für die Aufbereitung sind die eingeschlossenen Schlackenteile, da diese den Verschleiß der Mühlen beträchtlich erhöhen.

Schließlich sei der Vollständigkeit halber erwähnt, daß der Separationskoks für den Hausbrand als Zusatz im Herdfeuer sehr gut zu verwenden ist, wie überhaupt in allen Hausbrandfeuerungen mit Rosten. In Dauerbrandöfen wurde der Koks ungemischt ohne Zusatz mit bestem Erfolg verbrannt.

## b) Brikettierung.

Die kleinen Körnungen von 5 bis etwa 15 mm des Separationskoks stellen immerhin für manche Verbraucher einen schwer verwendbaren Brennstoff dar, teils, weil für ihre Verbrennung geeignete Feuerungsanlagen fehlen und ein Umbau der vorhandenen Einrichtungen zu große Kosten verursacht, teils aus Gründen besonderer Betriebsverhältnisse. Es sind daher andere Wege beschritten worden, diesen feinkörnigen Brennstoff zu verwerten. Hierzu zählt die Brikettierung. Man hoffte, mit der Brikettierung nicht allein eine günstige Verwendung der kleinen Körnungen zu erzielen, sondern gleichzeitig den Grus zu einer wirtschaftlichen Verwertung heranzuziehen.

<sup>1)</sup> Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke E. V. 18. Jg., 1924, Nr. 359, S. 135.

Bereits bei Besprechung des Kruppschen Scheideverfahrens war davon die Rede, daß sich dieses Unternehmen besonders für die Verwertung des Gruses, d. h. der Körnungen bis 5 mm, eingesetzt hat. Es handelte sich darum, durch Behandlung mit magnetischen Trommelscheidern die verbrennlichen Bestandteile in den Feuerungsrückständen soweit anzureichern, daß der Grus eine wirtschaftliche Verfeuerung in dafür geeigneten Feuerungen ermöglichte. Für die Separation wurden neben Trommelscheidern auch Ringscheider, die ebenfalls von der Erzaufbereitung her bekannt sind, herangezogen. Die wirksame Scheidung wurde durch besondere Einstellung des Scheiders, insbesondere der magnetischen Feldstärke und der Umdrehungszahl erreicht. Die Versuche waren durchaus erfolgreich. Es gelang in einem Falle, mit einem Trommelscheider bei Anpassung an die Beschaffenheit des zu behandelnden Gutes von 2760 WE/kg in Körnungen bis 5 mm den Gehalt an brennbaren Bestandteilen bei einem Brennstoffausbringen von 14 % der Gesamtmenge um 74 %, bei einem Ausbringen von 26 % um 68 %, bei einem Ausbringen von 48 % um 53 % zu erhöhen. Die drei verschiedenen Ergebnisse wurden bei verschiedenen Drehzahlen für die Trommel bei gleicher Feldstärke erzielt. Die erstgenannten Werte ergaben sich bei einer Drehzahl von 45 Umdr./min, entsprechend einer Drehzahlsteigerung von 30 % gegenüber normal, die anderen bei 60 und 90 Umdr./min, entsprechend einer Drehzahlsteigerung von 70 und 160 % gegenüber normal. Der behandelte Grus entstammte Eisenbahnrückständen aus dem Eisenbahnbezirk Halle. In einem anderen Fall wurde ebenfalls durch Separation mit dem magnetischen Trommelscheider ein Grus mit 34,4 % Verbrennlichem und 17,33 % Feuchtigkeit um 77,33 % bei einem Ausbringen von 43 % und 20,6 % Feuchtigkeit angereichert. Bemerkenswert ist bei diesem Versuch, daß der hohe Feuchtigkeitsgehalt der Rückstände den auffallend guten Separationsgrad von 93 % nicht beeinträchtigte.

Foxwell beschreibt ein neues Schwimmverfahren (Flotation), das Kohle von Aschen für Korngrößen unter 2 mm zu trennen ermöglicht<sup>1)</sup>. Die Separation wird nicht durch das spezifische Gewicht, sondern die Oberflächenspannung der Trennflüssigkeit hervorgerufen. Dem Wasserbade wird im Verhältnis von 0,25 ÷ 1 kg zu 5 t Amylalkohol oder chemisch ähnliche Stoffe zugesetzt. Beim Rühren bildet sich ein starker Schaum, der die Kohlebestandteile trägt, während die Asche zu Boden sinkt. Das Verfahren wird in Amerika, besonders in Gaswerken angewandt. Der Beschreibung nach könnte es auch für die Separation des Gruses von Feuerungsrückständen geeignet sein. Die praktische Anwendung wird wieder eine Frage der Wirtschaftlichkeit

---

<sup>1)</sup> „Gas World“, September 1922, S. 10.



sein, bei der hauptsächlich die schwierige und teure Trocknung des Brennstoffes eine Rolle spielt. Die Schwimmverfahren wurden bis vor kurzem nur in der Erzaufbereitung angewandt. Erst in letzter Zeit haben sie bei der Kohlenaufbereitung, auch in Deutschland, Eingang gefunden.

In einigen Betrieben weist der abgesiebte Grus bereits in dem Zustand, in dem er in der Separation beim Sieben anfällt, einen so geringen Aschengehalt auf, daß er ohne besondere Aufbereitung für die Brikettierung Verwendung finden konnte. Solche Fälle, in denen das feinkörnige Gut mit einem so beträchtlichen Gehalt an Brennbarem anfällt, werden allerdings selten sein. Doch sind sie tatsächlich in manchen Betrieben zu beobachten, z. B. bei Wassergasanlagen in Gaswerken.

So gibt es verschiedene Anlagen, die den Grus unmittelbar oder aufbereitet, teils zusammen mit dem bei der Separation gewonnenen kleinen Körnungen von 5–15 mm, falls deren Verfeuerung auf dem Rost Schwierigkeiten bereitet, teils in Verbindung mit einem hochwertigen Brennstoff einer Brikettierungsanlage zuführen, um dadurch einen leichter verwendbaren Brennstoff zu erzeugen. Es muß allerdings hinzugefügt werden, daß die Wiederherstellung des Kohlenmarktes inzwischen eine große Anzahl dieser Brikettpressen stillgelegt hat. Doch wenn auch aus wirtschaftlichen Gründen diese Verwendungsmöglichkeit praktisch bisher nur für eine kleine Anzahl von Schlackenseparationsanlagen gegeben war, so ist die Brikettierung des Gruses in jedem Fall bemerkenswert, da sie einen Abfallstoff zu einer wirtschaftlichen Verwertung heranzieht.

Koks ist ein Brennstoffprodukt, das infolge seiner weitgehenden Entgasung jeglichen Bitumengehaltes entbehrt. Von sich aus ist Koks daher für eine Brikettierung ein denkbar ungeeignetes Material. Da es sich bei dem Separationskoks auch um einen wenn auch nicht homogen, so größtenteils entgasten, nahezu bitumenfreien Brennstoff handelt, ist der Zusatz eines besonderen Bindemittels erforderlich, um für die Brikettierung die notwendige Plastizität und Bindefähigkeit zu erzielen. Anorganische bindefähige Stoffe wie Lehm, Kalk, Zement usw. kommen nicht in Betracht, da der geringe Heizwert des Separationsgruses eine weitere Verschlechterung der Heizkraft nicht gestattet. Praktische Versuche eines bedeutenden Kohlenunternehmens in Verbindung mit einer großen Ziegeleifirma eine Brikettierung von Separationskoks unter Verwendung von Kalk als Bindemittel durchzuführen, blieben erfolglos. Die Briketts wurden entweder hart wie Stein, d. h. sie waren zu fest, oder sie fielen sofort auseinander. Es bleiben daher nur die edlen organischen und daher kostspieligen Bindemittel wie Pech und Teer. Die Verbrennung erfolgt um so wirksamer, je näher Brikettiergut und Bindemittel ihrer chemischen Natur nach verwandt

sind. In Anlehnung an den schwer brennenden Separationskoks hat sich Zellpech, das bei Herstellung der Sulfitzellulose gewonnen wird, als brauchbar erwiesen.

Der Aufwand an Pech schwankt je nach der besonderen Beschaffenheit des zu brikettierenden Brennstoffes und kann von etwa 6% bis auf 10% steigen. Bei Verwendung von Pech in Verbindung mit Ölgasteer nach dem unten erwähnten Alexanderschen Verfahren beträgt der Pechzusatz etwa  $5 \div 6\%$  bei Mischung mit  $0,8 \div 1\%$  Ölgas- oder Vertikalofenteer. Um den Zusatz, der für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens eine wesentliche Rolle spielt, in möglichst geringen Grenzen zu halten, weiter aber aus feuerungstechnischen Rücksichten brikettiert man den Grus und die kleinen Körnungen des Separationskoks wenn möglich nicht allein, sondern mischt sie mit einem anderen hochwertigen, hauptsächlich bituminösen Brennstoff, wie z. B. Rauchkammerlöschke, auch Schlammkohle, Braunkohle, Staubkohle oder Sägemehl. Es wurde übrigens festgestellt, daß der Einfluß des untermischten Brennstoffes auf die Höhe des Pechzusatzes unwesentlich ist, solange der untermischte bituminöse Brennstoff in einem kleineren Mengenverhältnis als 20% zur Anwendung kommt<sup>1)</sup>.

Für die Brikettierung minderwertiger Brennstoffe sind verschiedene Verfahren bekanntgeworden. Bei den älteren wird das Bindemittel dem Gut fein verteilt in einem bestimmten Mengenverhältnis durch einfache Mischung zugesetzt. Das Gemisch wird bis zur Formfähigkeit erwärmt, geknetet und dann brikettiert. Neuere Verfahren versuchen einige Nachteile auszugleichen, die sich bei Anwendung dieser einfachen Methoden zeigten. Die Absicht der Verbesserungen geht stets darauf hinaus, eine innigere Vermischung und Durchdringung der Kokspartikel mit dem Bindemittel zu bewirken, sowohl aus feuerungstechnischen Rücksichten, wie Gründen der mechanischen Festigkeit.

Die Porosität des Koks setzt nämlich einer Durchmischung des Brikettiergutes mit dem Bindemittel großen Widerstand entgegen. Die Folge ist, daß unausgefüllte Luftzellen in dem Brikett verbleiben, in die das Bindemittel nicht gelangt ist. Bei der Erwärmung erfährt die eingeschlossene Luft eine Volumenvergrößerung, sprengt das Brikett und bringt es zum Zerfall. Außerdem brennt bei ungenügend feiner Verteilung und Durchmischung des Bindemittels mit dem Brikettiergut das zündfähige Pech aus, ehe noch der Koks bei seiner wesentlich geringeren Zündfähigkeit und Brenngeschwindigkeit zum Anbrennen gekommen ist. Das Verfahren von Alexander sucht diese Nachteile durch einen besonderen Zusatz von Ölgasteer in Verbindung mit dem gewöhnlichen

---

<sup>1)</sup> P. M. Grempe: Moderne Verwertung von Koksgrus, Kali, Erz und Kohle, 19. Jahrgang, 1922, Heft 8, S. 75.

Pechzusatz zu vermeiden. Ein anderes Verfahren nach Behr überwindet die Schwierigkeiten durch Zerstäubung des erweichten Bindemittels und Durchknetung mit dem Brikettiergut in luftverdünnten Räumen. Bei dem ersten Verfahren soll die Dünflüssigkeit des Zusatzes, bei dem anderen das Vakuum, in dem die Verarbeitung erfolgt, die vollkommene Durchsetzung des Brennstoffes mit dem Bindemittel sichern.

Die Arbeitsweise einer Brikettierungsanlage sei nachstehend beschrieben. Das Kokslein bzw. der Grus werden aus der Separationsanlage in einen Sammelbehälter gefördert, in dem die Mischung mit dem anderen bituminösen Brennstoff erfolgt, soweit ein derartiger Brennstoffzusatz vorgesehen ist. Das Gemisch wird in eine Trommel gehoben und nach Einführung des Bindemittels in bestimmtem Verhältnis unter Erwärmung durchgearbeitet. Es sind Knetwerke in stehender Ausführung und Mischschnecken in liegender Anordnung gebräuchlich. Die Erwärmung erfolgt durch Zuführung von überhitztem Dampf. Die erweichte knetbare Masse fällt in die Verteiler der Pressen und verläßt sie als geformte Briketts. Die Pressen werden als Stempelpressen oder Walzenpressen (Abb. 28) ausgebildet.

Als Brikettform sind Rundstücke und Eierbriketts in den verschiedensten Größen von 25–330 g üblich. Die Eiform wird bevorzugt, da sie, bezogen auf den Inhalt, die größte Oberfläche besitzt. Eine möglichst große spezifische Oberfläche ist für die Briketts aus feuerungstechnischen Gesichtspunkten erwünscht.

Das Hartpech muß durch eine Pulvermühle, gewöhnlich eine Walzenmühle, vor dem Einsatz in Pulverform gebracht werden. Nach anderer Meinung ist eine sandige Form von höherer Wirkung. Die Überhitzung des Dampfes für die Erwärmung muß etwa 170–400° C betragen. Sie schwankt nach den Angaben für die verschiedenen Pressen und ist auch von der Zusammensetzung des Brikettiergutes abhängig. Der Dampfverbrauch beträgt etwa 4–6 kg/t Brikettiergut, je nach Beschaffenheit des Brennstoffes. Die Leistungen der Pressen sind bei den einzelnen Ausführungen verschieden. Die Brikettpressen der Firma Meguin haben z. B. eine Leistung von 14 t/st bei einer großen Ausführung.

Neben den konstruktiven Forderungen, denen die Pressen Genüge leisten müssen, auf kräftige Bauart und Einfachheit der Bedienung ist die Gleichmäßigkeit der Materialaufgabe von großer Bedeutung. Das gilt besonders bei Walzenpressen. Auch die Einhaltung des gewählten Mischungsverhältnisses zwischen Rohstoff und Bindemittel ist durch besondere Vorrichtungen zu erzwingen und muß genau beobachtet werden. Von Einfluß für die Eigenschaften der Briketts ist außerdem der Feuchtigkeitsgehalt des Brikettiergutes. Er soll erfahrungsgemäß nicht mehr als 6% betragen. Bei größeren Feuchtigkeiten

erhöht sich der Betrag des erforderlichen Bindemittelzusatzes beträchtlich. Die Erfahrung ist bei der Verarbeitung von Separationskoks besonders zu beachten, da bei der meist ungeschützten Lagerung der

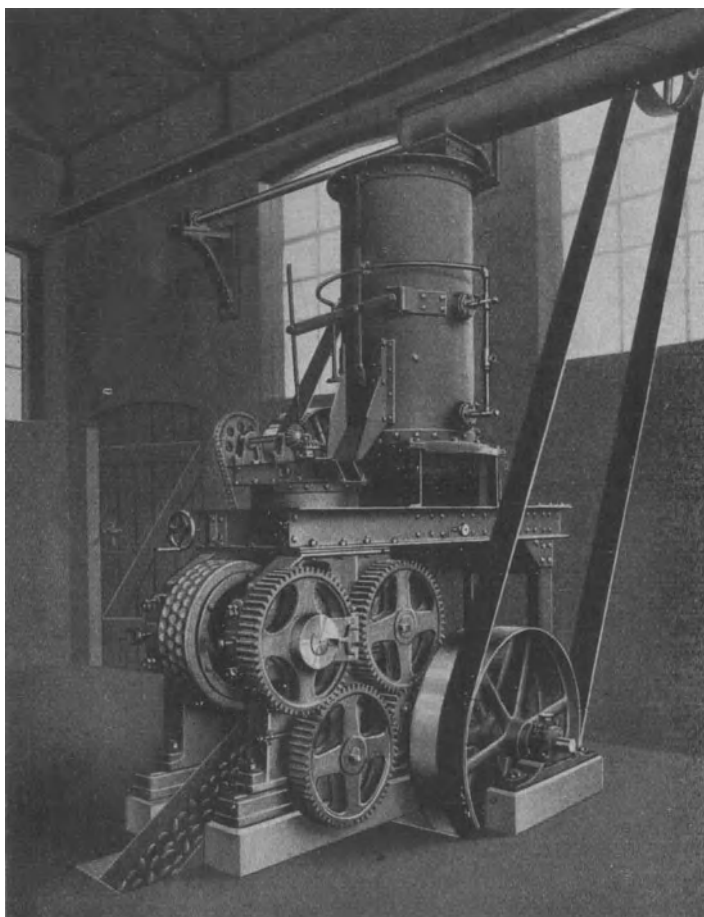


Abb. 28. Walzenpresse für die Brikettierung von Koksgrus (Demag).

Feuerungsrückstände der Koks und der Grus bei feuchter Witterung größere Feuchtigkeiten zeigen werden.

Die Wirtschaftlichkeit einer Brikettierungsanlage setzt besondere, günstige Verhältnisse voraus. Nur in seltenen Fällen wird der Grus so hochwertig sein, daß eine direkte Verarbeitung in Frage kommt. Eine Aufbereitung des Gruses verteuert den Prozeß in jedem Fall. Die

Beschaffung eines geeigneten bituminösen Brennstoffes als Mischzusatz ist auch nicht immer möglich. Die Bereitstellung der Rohstoffe kann also schon beträchtliche Kosten verursachen. Ein Bedarf für die Briketts liegt nicht immer vor, wenigstens nicht in den Braunkohlenbezirken, in denen das Braunkohlenbrikett in jeder Beziehung den Markt beherrscht. Da die Briketts jedoch im Dampfkessel und im Hausbrand zu verfeuern sind, ist in anderen Gegenden ein Bedarf leicht zu erzeugen. Verschiedentlich wird auch die Konjunktur Bedenken, wie die letztgenannten, erübrigen. Lieferungen auf Entfernungen werden durch die Frachtsätze begrenzt und kommen nur für einen beschränkten Verkehrsradius in Frage.

Es besteht ein nicht zu überbrückender Gegensatz zwischen den Zugeständnissen des Erzeugers und den Forderungen des Verbrauchers bezüglich der Eigenschaften der Briketts. Der Erzeuger sucht den Verbrauch an Pech soweit wie möglich herabzudrücken. Der Verbraucher verlangt seinerseits ein transportfähiges haltbares Brikett, das einen guten Ausbrand gestattet. Das sind Eigenschaften, die im wesentlichen durch Erhöhung des Bindemittelzusatzes erreicht werden. Der Kostenaufwand für das Pech ist häufig so erheblich, daß er die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage in Frage stellt. Die Pechpreise haben allerdings in den Jahren 1922 und 23 eine ganz besondere Hausse erlebt.

Die Pressen sind große schwere Maschinen und erfordern zusammen mit der gesamten Anlage, Hilfsmaschinen und Fördereinrichtungen einen beträchtlichen Kapitalaufwand mit entsprechend hohen Abschreibungen. Der Dampfzusatz für die Erwärmung ist auch kostspielig und verlangt, wenn die Aufstellung eines besonderen Kessels und Überhitzers notwendig oder ratsam ist, einen zusätzlichen Kapitalaufwand. Immerhin ist feststehend, daß eine Reihe von Anlagen die Brikettierung des Gruses und der kleinen Körnungen des Separationskoks wirtschaftlich betrieben haben. Eine Wirtschaftlichkeit ist also unter entsprechenden Verhältnissen zu erzielen. Die Planung einer Brikettierung ist daher im Einzelfall, nach der Beschaffenheit des Rohstoffes und den besonderen Betriebs- und Absatzverhältnissen zu erwägen. Günstig scheinen die Verhältnisse bei Gaswerken zu liegen, die sich am ehesten für die Errichtung einer Brikettierungsanlage entschließen. Danach kommen vielleicht Kohlenzechen in Betracht, weiter Anlagen in Gegenden, die außerhalb der Braunkohlenbezirke gelegen sind.

Die Verwendung der aus solchen minderwertigen Brennstoffen hergestellten Briketts, die auch unter der Bezeichnung „Mischbriketts“ auf den Markt kommen, bereitete im Anfang Schwierigkeiten. Die Briketts neigten dazu, in der Feuerung zu zerfallen. Das Bindemittel entzündete sich schnell und brannte aus, bevor der Koks zum Anbrennen kam. Die Mißstände ergaben sich zwangsläufig durch die ge-

meinsame Verfeuerung zweier Brennstoffe mit verschiedener Zündfähigkeit und Brenngeschwindigkeit, des Peches und des Koksgruses. Die Verfeuerung zweier so wenig verwandter Brennstoffe auf dem gleichen Rost unter gleichen Verhältnissen verlangt naturgemäß eine besondere Behandlung. Mit fortschreitender Entwicklung gelang es den Verbrauchern, die Feuerführung den besonderen Eigenschaften der Briketts anzupassen. Andererseits wirkten die praktischen Erfahrungen bei der Verfeuerung auch auf die Herstellungsverfahren zurück. Man erkannte die Wichtigkeit der möglichst innigen Vermischung des Brikettiergutes mit dem Bindemittel, um eine sichere Entzündung des Brennstoffes zu erreichen, bevor das leicht brennbare Bindemittel gänzlich ausgebrannt war. Hierzu war, wie schon oben angeführt, erforderlich, daß beim Pressen des Briketts keine Luftsäcke in den Briketts verblieben, um ihren frühzeitigen Verfall in der Feuerung zu verhüten. Einen gewissen Ausgleich zwischen den verschiedenen Brenngeschwindigkeiten von Koks und Bindemittel soll auch der zugesetzte bituminöse Brennstoff bewirken.

Bei gut geleiteter Herstellung ist ein durchaus brauchbarer Brennstoff zu erzeugen. Unter Verwendung von 60% durch Separation erhaltenem Kleinkoks von ca 3–20 mm Korngröße bei Zusatz von 30% Staubkohle und 10% Pech wurden gute haltbare Briketts mit einem unteren Heizwert von 6000 WE/kg hergestellt. Die Verkokungsprobe ergab 59,37% fixen Kohlenstoff und 13,94% flüchtige Bestandteile. Die Verfeuerung der Briketts kann unter dem Dampfkessel auf Planrosten und Wanderrosten mit Unterwind, auf diesen besser unter Zusatz von Steinkohle erfolgen, doch auch in Sammelheizungen und Dauerbrandöfen im Hausbrand. Die starke Gasentwicklung beim Anbrennen durch Entzündung des Bindemittels läßt das häufigere Aufwerfen kleinerer Mengen ratsam erscheinen. Das Schüren der Glut ist zu vermeiden, da hierdurch die Briketts zum Zerfall gebracht werden; das Bindemittel brennt schnell ab, und der unverbrannte Koks fällt durch die Rostspalten. Wird das Brikett während der Verbrennung durch mechanische Beanspruchungen nicht gestört, so behält es seine äußere Form bis zum völligen Ausbrand, vorausgesetzt, daß die Herstellung richtig erfolgte. Versuche für eine Vergasung der Briketts im Generator verliefen weniger günstig. Die Arbeitsverhältnisse des Vergasungsprozesses sind scheinbar schlecht mit den besonderen Eigenschaften dieser Briketts zu vereinbaren, es sei denn, daß man sich mit einem sehr geringen Durchsatz begnügt.

### 3. Das Schlackenausbringen.

#### a) Schlackensteinherstellung.

Den Mengen nach bilden die gewonnenen Brennstoffe bei der Schlackenseparation immer nur einen kleineren Teil der zu bewegenden

Massen. Da jedoch die Transportkosten auf die Wirtschaftlichkeit einer Schlackenaufbereitungsanlage von beträchtlichem Einfluß sind, diese sogar in Frage stellen können, so ist die Erörterung der Verwendungsmöglichkeiten für die Abfallprodukte, bereits vom wirtschaftlichen Standpunkt aus, nahezu von gleicher Bedeutung wie die der gewonnenen Brennstoffe. Außerdem ist die Verarbeitung derartiger Abfallstoffe heutzutage von größtem volkswirtschaftlichen Interesse und kann auf besondere Beachtung Anspruch erheben.

Meistens bildet, wie oben bereits erwähnt, die Gewinnung von Brennstoffen den ausschlaggebenden Beweggrund für die Errichtung einer Separationsanlage. Da in diesen Fällen kein primäres Interesse an der Verwendung der Schlacken besteht, so kann allein die Kalkulation dafür maßgebend sein, ob die Schlacken verarbeitet werden, wofür bei den größeren Körnungen die Schlackensteinherstellung, in ganz geringem Umfange die Gipssteinherstellung, in Frage kommt oder ob die Schlacken unverarbeitet fortgeschafft werden. Die Fortschaffung der Schlacken ist bei größeren Anlagen nicht einfach, besonders wenn der Unternehmer nicht nur die innerhalb seines Betriebes anfallenden Rückstände verarbeitet, sondern diese aufkauft und aus einem größeren Umkreis an einen Sammelplatz bezieht, wie es ähnlich z. B. für die Eisenbahn zutrifft. Der Absatz der beträchtlichen Schlackenmengen, die auf Halden gelegt, zu Schüttungen und für den Wegebau verwandt werden müssen, bereitet häufiger große Schwierigkeiten. Die Unkosten für die Fortschaffung der Schlacken hängen jedoch ganz von örtlichen Verhältnissen ab. Sie zeigten bei mehreren Separationsanlagen in verschiedenen Gegenden die allergrößten Abweichungen und bewegten sich zwischen Gewinn und Verlust.

Diese Schwierigkeiten werden oft die Frage aufwerfen, ob es nicht ratsamer ist, die Schlacken durch Verarbeitung zu Schlackensteinen zu veredeln und dadurch diese beträchtlichen Mengen zu bewältigen. In diesem Fall würde von der Schlackensteinfabrik unter rechnerischer Einbeziehung in die Separationsanlage gar keine Wirtschaftlichkeit verlangt werden, sondern nur eine Unterschreitung der Unkosten für die Fortschaffung der Schlacken. Auf Grund einer derartigen Kalkulation sind eine ganze Reihe von Schlackensteinfabriken errichtet worden.

Doch sind mit der Herstellung von Schlackensteinen auch Überschüsse zu erzielen. Hierfür kann als Beleg gelten, daß verschiedene Schlackenseparationsanlagen nicht zur Gewinnung von Brennstoffen errichtet wurden, sondern um aufbereitete Schlacken für die Herstellung von Schlackensteinen zu erhalten. Es sehen sogar Separationsanlagen, die zur Brennstoffgewinnung ins Leben gerufen waren, nachträglich eine Verarbeitung der Schlacken zu Schlackensteinen vor, um sich

dadurch wirtschaftlich zu erhalten oder eine verlorene Wirtschaftlichkeit wiederzuerlangen. Günstige Lage zu den Absatzgebieten und Rohstofflagern für Bindemittel und Sand, billige Transportmöglichkeit und geeignete Betriebsverhältnisse sind maßgebende Faktoren für das wirtschaftliche Arbeiten einer derartigen Unternehmung.

Mit welchem Übereifer die Ausbeutung der Kohlschlacken verfolgt wird, läßt erkennen, daß diese bereits ernsthaft für eine industrielle Ausbeutung auf Titan und Wolfram analysiert wurden. Einer anderen Gesellschaft ist es bereits gelungen, unter Beimengung von Kohlschlacken zu Abfallprodukten der Glashütte nach besonderen Verfahren einen Mörtelbildner herzustellen, der gute Erfolge zeigte. Wir stehen auf dem Gebiet der Abfallverwertung sicherlich am Anfang einer Entwicklung. Auch diese Schlacken werden noch einmal zu anderer Bedeutung gelangen. Eine dritte Gesellschaft soll in der Lage sein, aus den durch Separation gewonnenen Schlacken säurebeständige, nicht schwindende Körper nach patentierten Verfahren herzustellen. Bemerkenswert ist hierzu, daß die Rückstände zur restlosen Entfernung der verbrennlichen Beimengungen auf 2 mm Korngröße vorgebrochen werden. Ihre Aufbereitung erfolgt magnetisch.

Es sei vorausgeschickt, daß mit Schlackensteinen verschiedenartige Baustoffe bezeichnet werden. Ganz außer Betracht in diesem Rahmen fallen die aus glühenden Schlacken gegossenen, im Straßenbau verwandten Schlackenblöcke, wie sie z. B. von der Mansfeldschen Kupferschieferbauenden Gewerkschaft hergestellt werden. Die weiteren Sorten von Schlackensteinen unterscheiden sich im wesentlichen durch die Provenienz der jeweils verwandten Schlacken. Es sind dies in erster Linie Hochofenschlacken, dann Schlacken aus Rückständen von Steinkohlen-, Braunkohlenfeuerungen und schließlich aus Müllverbrennungsöfen. Für die angestellte Betrachtung ist die Verwendung der Steinkohlenschlacken von besonderem Interesse. Diese sind im nachfolgenden mit der Bezeichnung Kohlschlacken oder Kesselschlacken gewöhnlich gemeint. Nebenher werden die Schlacken aus Rückständen von Braunkohlenfeuerungen berührt.

Die Verwendung von Kohlschlacken für die Schlackensteinherstellung zu Bauzwecken in größerem Umfang ist erst in letzter Zeit aufgekommen, trotzdem die ersten Versuche auf diesem Gebiet sehr weit zurückreichen. Die Schlackensteinindustrie unter Verwendung von Hochofenschlacken hat sich dagegen schneller entwickelt. Ihre Anfänge reichen bis in die achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Da die Herstellung von Schlackensteinen aus Kohlschlacken immerhin als eine Erweiterung der allgemeiner bekannten Verfahren für die Herstellung von Bausteinen aus Hochofenschlacken angesehen werden muß, so sei auf deren Geschichte näher eingegangen.



Die Hochofenschlacken zeigen bekanntlich verschiedene chemische Zusammensetzungen, je nach Art des Prozesses, aus dem sie entstammen. Die kieselsäurereichen Schlacken erstarren, in Blöcken gegossen, zu einer harten Masse und können zu Stückschlacke zerschlagen werden. Silikat- und tonerdereiche Schlacken zerfallen allmählich zu Schlackenmehl. Erfolgt der Abkühlungsvorgang der flüssigen Hochofenschlacke plötzlich durch Einfließen in einen Wasserstrahl, d. h. werden die Schlacken granuliert, so erhält die Schlacke eine sandige, bei bestimmter Leitung des Prozesses auch eine poröse kleinstückige Struktur.

Das älteste Verfahren zur Herstellung von Schlackensteinen aus Hochofenschlacken stammt von Lührmann und wurde etwa zu der obengenannten Zeit bekannt. Es ist bei Verwendung von basischen Schlacken am wirtschaftlichsten, da bei diesen der Bindemittelzusatz an Kalk sehr gering gehalten werden kann. Der Kalkzusatz erfolgt in einem Mischungsverhältnis von etwa 8%, je nach Beschaffenheit der Schlacken. Im allgemeinen gelten 150–200 kg Kalk auf 1000 Steine als ausreichend. Schlacke und Kalk werden unter Zusatz von Wasser den Mischern zugeführt, und die Masse dann einer längeren Lagerung bis zu 24 Stunden Dauer ausgesetzt. Danach erfolgt die Pressung in Stempelpressen unter hohem Druck, nach der die Steine von Hand im Freien gestapelt werden können. Hier geht die endgültige Abbindung in einigen Wochen vor sich. Das oben beschriebene Verfahren ist als das sogenannte Siloverfahren bekannt, da die Hydratisierung des Mischgutes während der Lagerung in einem Silo erfolgt.

Das Lührmannsche Verfahren wurde von Michaelis dadurch verbessert, daß er zur Verkürzung der Härtungsperiode die gepreßten Steine in Härteöfen verfuhr und sie hier Wasserdampf mittlerer Spannung aussetzte. Der Härtungsprozeß währt etwa 6–8 Stunden bei einem Dampfdruck von 7–8 atm abs, je nach Beschaffenheit der Schlacke. Die Steine sind nach Verlassen des Härtekessels sofort vermauerungsfähig. Durch die Verwendung von Dampf wurde nach dem Siloverfahren das modernere Trommelverfahren bekannt, bei dem auch die Zeit der Hydratisierung des Mischgutes wesentlich verkürzt wird. Das Mischgut wird einer drehbar gelagerten Trommel zugeführt und unter Gegenwart von Frischdampf mittlerer Spannung durchgearbeitet. Der Vorgang verkürzt sich hierdurch auf etwa 15–20 min, je nach Eigenschaft der verwandten Schlacke. Die Pressung der Steine erfolgt bei neueren Anlagen in Drehtischpressen.

Ein weiteres Verfahren von Schol<sup>1)</sup> bezieht sich auf die Herstellung von Leichtsteinen oder Schwemmsteinen, die in einem größeren, dem sogenannten Schwemmsteinformat, im Handel gebräuchlich sind. Bei diesem Verfahren gelangt die bei besonderer Leitung des Granulations-

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung, Jahrgang 47, Nr. 7, 11 u. 14.

prozesses entstehende Schaumslagge zur Verwendung. Das ist eine Schlackge poröser Struktur, die dadurch entsteht, daß die Schlackge bei der Erkaltung einer Gasentwicklung ausgesetzt wird. Als Bindemittelzusatz wird bei dem Scholschen Verfahren Hochofenschlackenzement in einem Mischungsverhältnis von 1:6 benutzt. Schlackge und Zement werden unter Zusatz von Wasser vermengt, und das Gemisch Schwemmsteinpressen zugeführt. Die Pressung erfolgt auf Holzunterlagen, da die frisch gepreßten Steine für eine Stapelung von Hand keine genügende Festigkeit aufweisen. Die mit den Unterlagen auf Plattformwagen abgesetzten Steine werden in Härtekammern verfahren und dort zur Trocknung 6÷8 Stunden lang dem Einfluß von Abdampf bei etwa 60÷80° C ausgesetzt. Nach Ablauf dieses Trockenprozesses, dessen Dauer von der Beschaffenheit der Schlackge abhängt, sind die Steine im Freien stapelfähig. In den Stapeln erreichen sie ihre endgültige Reife nach Ablauf einiger Wochen, je nach der Witterung.

Das modernste Verfahren zur Herstellung von Schlackensteinen aus Hochofenschlacken stammt von Dreßler und beschreitet ganz neue Wege. Die gemahlene oder zerfallene Schlackge basischen Ursprungs wird unter Zusatz von 60% Schlackensand mit ca 7% Wasser innig gemischt, und die so entstehende Masse unter hohem Druck gepreßt. Die gepreßten Steine werden auf Plateauwagen von Hand geschichtet und in die Härtekammern verfahren. In diesen werden sie 40÷60 Stunden lang, je nach den Eigenschaften der Schlackge und dem Mischungsverhältnis, kohlen säurehaltigen Abgasen, z. B. von Gasmaschinen, einer mittleren Temperatur von 70° C bei einem Druck von 400 mm WS ausgesetzt. Ein besonderer Bindemittelzusatz ist bei diesem Verfahren nicht erforderlich. Das letztbeschriebene Verfahren ist entschieden das fortschrittlichste, setzt jedoch bereits mit Rücksicht auf die erforderlichen außerordentlich großen Abgasmengen besondere Verhältnisse voraus.

Diese Verfahren für die Herstellung von Schlackensteinen aus Hochofenschlacken wurden sinngemäß auf die ihrem chemischen Verhalten nach weniger bekannten Kohlen schlackgen übertragen. Mit der Zeit stellten sich hierbei verschiedene Schwierigkeiten heraus, die eine besondere Anpassung und Rücksichtnahme auf die Eigenart der neuen Stoffe bei der Schlackensteinherstellung erforderlich machten.

Eine umfangreiche Propaganda der verschiedensten Baufirmen, die teilweise patentamtlich geschützte Bauweisen unter Verwendung von Kohlen schlackgen anzeigten, hat bei dem Stand des Bauwesens in der Nachkriegszeit für ein reges Interesse an den Methoden der Schlackenbetonbauweisen gesorgt. Die aus der Wohnungsnot heraus entstandene Verbreitung des Siedlungswesens zwang bei den unerschwinglichen Baukosten zur Schaffung billiger Baustoffe und zur Sparsamkeit an allen hochwertigen Materialien. Hierdurch entstand eine Konjunktur

für die Einführung sparsamer Baumittel und so auch der Schlackenbetonbauweise. Andererseits war die Notlage des Baumarktes eine Gefahr für die allzu voreilige und unvorsichtige Einführung eines Baustoffes, über dessen Herstellung und Anwendungsmöglichkeit keine abschließenden Erfahrungen vorlagen. Tatsächlich wurden Kohlen- schlacken in durchaus unsachgemäßer Weise verarbeitet, und die eintretenden Mißerfolge brachten den Schlackenstein bald in den ärgsten Mißkredit. Es ist daher bei der Bewertung der Schlackensteine und Schlackensteinbetonbauweisen grundsätzlich zu unterscheiden zwischen den Erzeugnissen einer systematischen Fabrikation, die auf der Grundlage eingehender Untersuchungen einen Baustoff liefert, der den Anforderungen des Wohnungsbaues gerecht wird, und Sparsamkeitsmethoden, bei denen ohne eine entsprechende technische Vorsicht die Billigkeit der einzig leitende Gesichtspunkt ist. Während diese letzteren von geringem Interesse sind, soll eine systematische Fabrikation wegen ihrer Bedeutung für die Frage der Schlackenseparation näher besprochen werden.

Allein genaue Beobachtungen und praktische Versuche können die Richtigkeit eines Herstellungsverfahrens für Schlackensteine aus Kohlen- schlacken gewährleisten und Hand in Hand muß für eine sachgemäße Verwendung des Steines bei der Vermauerung Sorge getragen werden. Das gilt bei einer Massenherstellung, doch in gleicher Weise auch bei Unternehmungen kleinsten Maßstabes, wie bei den Bauvorhaben der Selbsthilfe. Leider sind bisher nur wenige Bau- und Ziegeleifirmen diesen Aufgaben ernsthaft auf den Grund gegangen. Die Tatsache läßt sich wohl darauf zurückführen, daß von den meisten Unternehmungen Arbeit und Kosten gescheut werden, die Umstellung auf einen solchen neuen Baustoff durchzuführen. Andererseits erschreckt das Risiko eines erheblichen Aufwandes, der bei schwankender Lage des Baumarktes kein sicheres Erträgnis verspricht. Um so mehr ist es anzuerkennen, daß sich trotzdem Unternehmungen dazu gefunden haben, die Verwendung von Schlackensteinen auf Grund eingehender Untersuchungen und einer danach eingerichteten systematischen Fabrikation einzuführen. Nur der in diesen Betrieben geleisteten Arbeit ist es zu verdanken, daß eine Wertung der Schlackenbetonbauweise vom praktischen und wissenschaftlichen Standpunkt bis zu einem gewissen Grade bereits erfolgen kann.

Die angedeuteten Schwierigkeiten lassen es als ungünstig erscheinen, eine Schlackenseparationsanlage mit einer Schlackensteinfabrik zu vereinigen. Denn so wenig eine Ziegelei- oder Baufirma bei der vorgeschrittenen Erstarrung dieser Betriebe die nötigen wärmetechnischen Kenntnisse besitzt, um eine geordnete Schlackenaufbereitung zu organisieren, wird ein Betrieb mit Erfahrungen auf wärme-

technischem Gebiet in der Lage sein, sich auf eine Steinfabrikation einzustellen. Es erscheint daher günstig, die beiden Betriebe innerhalb einer Anlage getrennt zu organisieren.

Der Schlackenstein, d. h. wie bereits bemerkt, der Kohlschlackenstein ist ein Betonstein, dessen Bindemittel Zement oder Kalk, je nach Art des Verfahrens, und dessen Magerungsmittel Kohlschlacke allein oder Sand und Kohlschlacke sind.

Als Bindemittel ist der hochwertige Portlandzement trotz seines hohen Preises nicht zu entbehren, solange die Erhärtung an der freien Luft erfolgt (Lührmann). Seine Verwendung gibt allein die Gewähr für eine sichere Abbindung des Steines und die Erzeugung eines widerstandsfähigen Gefüges. Verschiedentlich wird aus Preisrücksichten Kalk in verschiedenster Form als Zusatz verwandt. Auch Traß hat sich als geeignet erwiesen. Doch ist eine derartige Streckung des Zementverbrauches kaum möglich, ohne die Wertigkeit des Steines herabzusetzen. Bei den Verfahren, die mit Dampf- oder Abgashärtung arbeiten (Michaelis, Schol, Dreßler), kommt ausschließlich Kalk als Bindemittel in Anwendung.

An den Sand, soweit solcher zur Verwendung gelangt, werden neben den üblichen keine besonderen Anforderungen gestellt. Er soll nach Möglichkeit grob und rissig sein.

Das Hauptaugenmerk ist auf die Beschaffenheit der Kohlschlacke zu richten. Die Schlacken sind, wie sie aus der Separationsanlage anfallen, im wesentlichen Gegensatz zu Hochofenschlacken, keinesfalls für eine unmittelbare Verwendung zur Schlackensteinherstellung geeignet, sondern müssen erst einer eingehenden Aufbereitung unterzogen werden. Es seien zunächst die theoretischen Grundlagen besprochen, aus denen sich diese Notwendigkeit ergibt.

Die Schlacken enthalten als gefährliche Stoffe für ihre Verwendung zu Bausteinen wasserlösliche Salze, insbesondere Sulfate. Diese entstammen dem Gehalt der Kohle an Schwefelkies. Die Salze lösen sich bei der Durchfeuchtung des Mauerwerkes, kristallisieren bei der Verdunstung des Wassers an der Oberfläche und erzeugen Ausschlüge und Ausblühungen, die eine Zerstörung des Steines und seiner Festigkeit zur Folge haben. Weiter hindert die Gegenwart dieser Sulfate den Zement am ordentlichen Abbinden durch Bildung von Gips und Kalktonerdesulfat, die ebenfalls eine Zerstörung des Steines durch Sprengwirkungen infolge Volumenvergrößerung zur Folge hat.

Eine zweite Art von Salzen, deren Vorhandensein die Haltbarkeit des Schlackensteines durch Ausblühungen gefährdet, sind die Karbonate; ihr Auftreten ist bei Verwendung eines kalkreichen Bindemittels wie Zement natürlich. Da die Entstehung der Karbonatausblühungen mit der Zusammensetzung der Schlacke nichts zu tun hat, wird die Art

der Aufbereitung dadurch nicht beeinflusst. Es sei jedoch in diesem Zusammenhang kurz auf ihre Bedeutung eingegangen. Die Karbonate entstehen durch die Kohlensäureaufnahme des Kalkes aus der Luft. Man könnte daher leicht annehmen, daß die Möglichkeit für die Entstehung von Ausblühungen durch Karbonatsalze eine dauernde Gefahr für den Bestand einer Schlackensteinwand bildet. Doch haben die praktischen Erfahrungen gezeigt, daß Karbonatausblühungen den Stein nur bei der ersten Erhärtung auf dem Stapelplatz befallen, besonders bei feuchtem und kühlem Wetter, das verzögernd auf die Abbindung wirkt, während sie nach der ersten Reife und Vermauerung des Steines nicht mehr auftreten. Diese Tatsache dürfte insbesondere auf die Beschaffenheit des Zementes zurückzuführen sein, der in frischem Zustand während der Abbindung den atmosphärischen Einflüssen gegenüber weniger widerstandsfähig ist als nach einer gewissen Ablagerung. Andererseits leistet die Porosität des Steines Gewähr für eine sichere Karbonisation des überschüssigen Kalkes<sup>1)</sup>.

Andere schädliche Bestandteile der Schlacke für ihre Verwendung zur Steinfabrikation sind Eisenteile aller Art, die sich, wie oben (s. S. 63) erwähnt wurde, in den Rückständen zeigen. Sie rufen durch Rosten Sprengwirkungen hervor, die einerseits die Festigkeit des Steines gefährden, andererseits das Aussehen der Schlackensteinwände beeinträchtigen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß sich nicht alle Körnungen, in denen die Schlacken anfallen, für die Schlackensteinfabrikation eignen. Durch Versuche wurde festgestellt, daß die Körnungen des verwandten Gemisches und damit die Porosität und Gefügearart des Steines von wesentlichem Einfluß sind auf seine Druckfestigkeit, Wärmehaltung, Feuchtigkeitsaufnahme, Nagelbarkeit u. a. m. Am geeignetsten erwies sich ein Gemisch aus Körnungen von 5–15 mm.

Eine Aufbereitung der Schlacken, wie sie aus der Separationsanlage anfallen, hat also unbedingt und nach verschiedensten Richtungen hin zu erfolgen. Sie muß sich auf die Beseitigung der Sulfate und Eisenteile erstrecken sowie die Herbeiführung der gewünschten Korngröße.

Die Befreiung der Schlacken von den genannten wasserlöslichen Salzen setzt zunächst einen geringen Kohle- und Koksgehalt voraus, der bei den Separationsschlacken in bestimmten Grenzen gegeben ist. Der Grus kommt aus diesem Grunde für eine Verwendung bei der Schlackensteinherstellung nicht in Betracht. Auch aufbereitet liegt dieses Material unterhalb der Kornklasse, die nach Vorangegangenen geeignet ist. Die Schlacken sind also entweder, wie sie in der Separationsanlage

---

<sup>1)</sup> H. W. und A. Eurich: Schlackenbetonsteinbauweise Eurich, Zementverlag, Charlottenburg.

anfallen, getrennt zu halten, oder durch Sieben auf Korngrößen über 5 mm zu bringen.

Die Entfernung der Sulfate wird mit einer intensiven Durchfeuchtung der Schlacken oder durch Einwirkung von Wasserdampf mittlerer Spannung erreicht, die eine Auflösung der Salze bewirken. Die Durchfeuchtung kann sehr einfach herbeigeführt werden, indem die Schlacken durch Lagerung im Freien atmosphärischen Niederschlägen ausgesetzt werden. Doch ist diese Art der Aufbereitung, soweit es sich um eine Fabrikation größeren Maßstabes handelt, nicht durchführbar, da die benötigte Lagerfläche zu groß werden würde; besonders da eine ausreichende Wirkung nur dann zu erwarten ist, wenn die Schlacken in geringer Höhe aufgeschichtet werden. Abgesehen davon widerspricht die Abhängigkeit von der Witterung den Voraussetzungen einer geordneten Fabrikation. Bei größeren Anlagen ist es daher notwendig, die Schlacken durch eine Berieselungsanlage zu schicken, in der eine intensive Feuchtigkeitsaufnahme der Schlacken erfolgt, oder sie in Härtekesseln, wenn diese vorhanden sind (Michaelis), längere Zeit Wasserdampf mittlerer Spannung auszusetzen. In welchem Maße und für welche Dauer die Aufbereitung durchzuführen ist, hängt von der besonderen Zusammensetzung der verwandten Schlacken ab und ist in jedem einzelnen Fall durch chemische Analysen zu prüfen, sowie während der Fabrikation zu überwachen. Als untere Grenzwerte können gelten, daß die Schlacken nach erfolgter Aufbereitung keinen höheren  $\text{SO}_3$ -Gehalt als 1,5–2% aufweisen dürfen. Es zeigt sich hierbei übrigens ein gewisser Vorteil für Schlacken, die aus einer Naßseparation stammen.

Die genaue chemische Untersuchung ergab jedoch auch, daß einige Schlacken für die Schlackensteinherstellung vollkommen ungeeignet sind oder ihr Gehalt an schädlichen Stoffen so groß ist, daß die Kosten für ihre Aufbereitung keine Wirtschaftlichkeit der Schlackensteinherstellung ermöglichen. Wenig geeignet sind z. B. Braunkohlenschlacken, doch ist ihre Nichteignung nicht auf sämtliche vorkommenden Braunkohlenrückstände zu verallgemeinern. Ein endgültiges Urteil über die Verwendungsmöglichkeit der Schlacken ist stets nur durch die chemische Analyse zu erhalten.

Die Beseitigung der Eisenteile aus den Schlacken erfolgt am besten auf elektromagnetischem Wege durch einen magnetischen Trommelseider. Es wurde bereits darauf eingegangen, in welchem Maße die Feuerungsrückstände mit derartigen Verunreinigungen durchsetzt sind (s. S. 63). Die oben beschriebenen Separationsmethoden bedingen sämtlich, die Naßverfahren wie das elektromagnetische Verfahren, daß vorhandene Eisenteile in das Schlackenausbringen geraten. Das Schlackenausbringen zeigt den Feuerungsrückständen gegenüber also

eine Anreicherung an Verunreinigungen durch Eisenteile. Da der Grad dieser Verunreinigungen sehr verschieden ist, so muß im Einzelfall entschieden werden, ob die Einschaltung eines Trommelscheiders für die Ausscheidung der Eisenteile erforderlich ist. Es ist ratsam, diesen Arbeitsgang dem eigentlichen Separationsprozeß auf Rückgewinnung der Brennstoffe vorauszuschicken, um auch die Apparate und Maschinen der Separationsanlage vor Beschädigungen durch Eisenstücke zu schützen.

Die Erreichung des gewünschten Korngemisches erfolgt einerseits nach unten durch Sieben der Schlacken. Wurde der in der Separationsanlage abgeseibte Grus unter 5 mm getrennt abgefahren, so ist eine Aufbereitung des Schlackenausbringens zur Erzielung der gewünschten Korngrößen nur nach oben nötig. Hierzu werden die Schlacken in einem einfachen Mahlgang durch einen Backenbrecher geschickt und auf die gewünschte Korngröße unter 15 mm vorgebrochen. Dann befindet sich die Schlacke in dem erforderlichen Zustand, den sie als Magerungsmittel für eine Verwendung zur Schlackensteinherstellung aufweisen muß.

Von großer Bedeutung für die Wertigkeit des Steines sowie die Wirtschaftlichkeit und gesamte Fabrikation ist das Mischungsverhältnis, in dem die obengenannten Grundstoffe zur Verarbeitung gelangen. Die verschiedenen Herstellungsverfahren weichen in bezug auf das Mischungsverhältnis stark voneinander ab, und es kommen die verschiedensten Gemische in Anwendung. Als Beispiel sei genannt, daß mit dem Verhältnis 1 Raumteil Zement, 2 Raumteile Sand und 7 Raumteile Schlacke Festigkeiten von 80 kg/cm<sup>2</sup> erzielt wurden, ein Ergebnis, das bei dem geringen Zementzusatz als hervorragend anzusprechen ist. Mit dem Mischungsverhältnis 1 Raumteil Zement, 3 Raumteile Sand, 5 Raumteile Schlacke wurde eine Festigkeit von 43 kg/cm<sup>2</sup> erreicht. Die Zahlen sind Ergebnisse der Firmen H. W. und A. Eurich, Hoch-, Tief- und Eisenbetonbaugeschäft, Frankfurt a. M. und der Ambi-Werke, Berlin. Andere Mischungsverhältnisse sind 1 Raumteil Zement, 3÷4 Raumteile Sand, 6 Raumteile Schlacke und  $\frac{1}{3}$  Raumteil Zement,  $\frac{2}{3}$  Raumteile Kalk, 8÷9 Raumteile Schlacke. Die letzte sehr magere Mischung mit Kalkzusatz ergab Festigkeiten bis zu 35 kg/cm<sup>2</sup>. Es handelt sich bei diesen Angaben durchweg um Herstellungsverfahren, die sich an die Lührmannsche Methode anlehnen, bei denen die Erhärtung an der freien Luft erfolgt. Bei Anwendung des Trommelverfahrens mit Dampfhärtung (Michaelis) wurden Festigkeiten von 31÷76 kg/cm<sup>2</sup>, bei Sandzusatz bis 147 kg/cm<sup>2</sup> erzielt.

Die ordentliche Verwendung von Kohlschlacken zu Bauzwecken braucht nicht allein in einer Schlackensteinfabrik mit Tagesleistungen von mehreren Tausenden zu erfolgen, sondern kann unter Umständen

auch in kleinen aussetzend arbeitenden Betrieben geringsten Umfanges mit Handarbeit und ohne maschinelle Einrichtung durchgeführt werden. Da jedoch bei den anfallenden großen Schlackenmengen in Separationslagen, mittlerer Leistung bereits, für deren Verwertung nur eine Schlackensteinherstellung größeren Maßstabes in Frage kommt, so wird eine solche näher behandelt.

Die Herstellung der Schlackensteine erfolgt, soweit es Steine und Binder mit handlichen Abmessungen sind, durch maschinelles Stampfen (Abb. 29). Die Maschinenarbeit ist in bezug auf Genauigkeit der Abmessungen, die homogene Dichte und letzten Endes die Wirtschaftlichkeit dem Stampfen von Hand wesentlich überlegen. Nur für besondere Formsteine, wie Fensterstürze und ähnliche, desgleichen bei den Guß- und Schüttnbetonbauweisen ist die Stampfarbeit von Hand nicht zu umgehen.

Als Bauelemente kommen die verschiedensten Formen in Frage, Mauersteine in Normalziegelformat, im Schwemmstein- und Spezialformat, Platten, Stegbinder, Hohlsteine aller Art und Ecksteine. Die Schlackensteinherstellung nach den Verfahren, die ohne Dampf- oder Abgas-härtung arbeiten und die weiteste Verbreitung erfahren haben, stellt insofern besondere Anforderungen, als der Stein erst nach sehr langer Lagerung seine Stapelfestigkeit erhält und bis dahin für Umschichtungen und Transporte äußerst empfindlich ist. Dieser Umstand beeinflußt die gesamte Herstellung und kann sogar rückwirkend das Verfahren, insbesondere das Mischungsverhältnis, ändern.

Die Steine werden in der Stampfmaschine auf einem Holzbrett, in Serien meist zu sechs Stück, geformt und durch Abheben des Stampfkastens so freigelegt, daß sie ohne Berührung auf dem gleichen Holzbrett zur ersten Ablagerung abgefahren werden können (Abb. 29). Eine Umschichtung erlaubt die Festigkeit der Steine in diesem frisch gestampften Zustand keinesfalls. Die Formbretter werden nach Aufeinanderschichtung auf besonderen Plattformwagen mit senkbarer Plattform in eine geschlossene, zum Schutz gegen Frostgefahr im Winter heizbare Lagerhalle verfahren. Dort werden sie auf entsprechend angeordneten Holmen abgesetzt, ohne daß die Steine irgendwelche Erschütterungen erleiden. Diese Art der Behandlung bedingt eine beträchtliche Ausdehnung der Lagerhalle, die um so weitläufiger wird, je längere Zeit der Stein zur Erreichung einer Anfangsfestigkeit benötigt, die einen Weitertransport gestattet. Es wird daher vielfach versucht, das Mischungsverhältnis so zu wählen, daß bereits nach eintägiger Lagerung in der Lagerhalle eine Vorlagerung der Steine erfolgen kann. Die Vorlagerung wird in Gestellen vorgenommen, die einfache Dächer besitzen, jedoch im Freien liegen können. Sie ist abgeschlossen, wenn die Abbindung des Steines soweit fortgeschritten ist, daß die Steine in den



üblichen Stapeln aufeinander geschichtet werden können. Die Lagerhalle braucht dann nur für die Unterbringung von zwei Tagesleistungen bemessen zu werden. Die Stapel sollen gegen Regen geschützt sein.

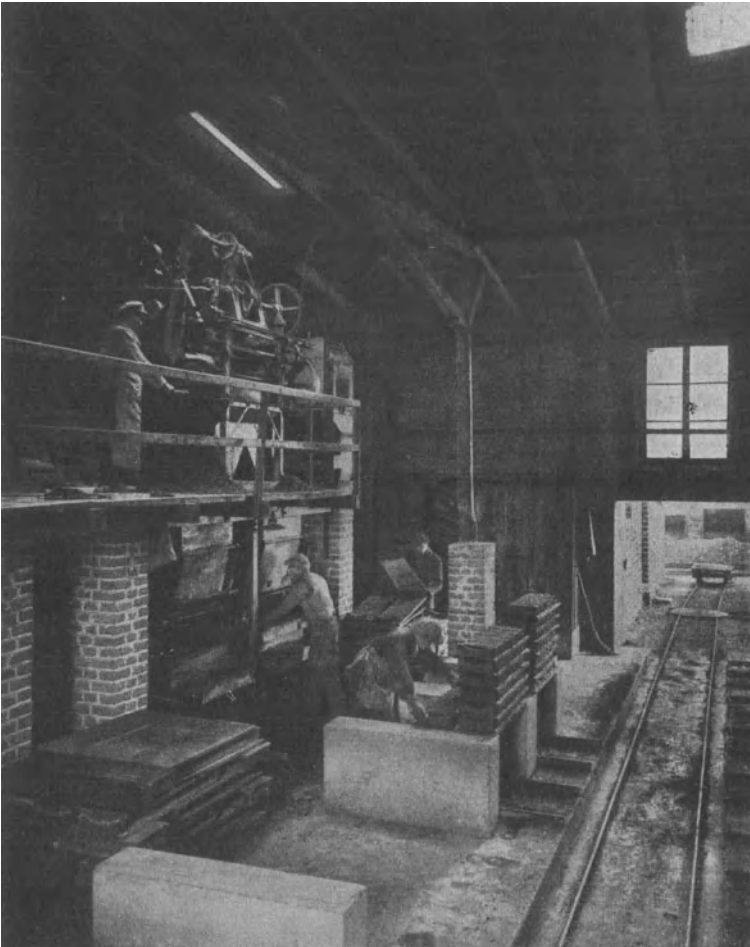


Abb. 29. Schlackensteinfabrik zur Herstellung von Schlackensteinen aus Kohlenschlacken.

Andererseits ist in der heißen Jahreszeit eine starke Trockenheit auch von Nachteil für das Abbinden der Steine, so daß bei großer Hitze und Trockenheit eine Berieselung der Stapel ratsam ist. In den Stapeln verbleibt der Stein ohne weitere Umschichtung, bis er nach 14 bis

21 Tagen, je nach Witterung, seine vollständige Reife erreicht und für die Verladung geeignet ist.

Die Lagerung der Steine wird unter Fortfall der Vorlagerung auch in anderer Weise durchgeführt. Die geformten Steine verbleiben so lange in der Stapelhalle, bis sie eine Festigkeit erreicht haben, die das Stapeln der Steine erlaubt. Bei dieser Einteilung muß die Stapelhalle eine größere Ausdehnung, etwa für die Aufnahme von 4–8 Tagesleistungen, haben. Wegen der großen Wichtigkeit sei auf die Behandlung während des Abbindevorganges ganz besonders hingewiesen.

Bei dem Verfahren nach Michaelis unter Verwendung von Kohlen-schlacken ist der Gang der Herstellung übereinstimmend mit dem oben für die Verwendung von Hochofenschlacken beschriebenen Prozeß. Als Erweiterung fügt sich in den Arbeitsgang nur die Aufbereitung der Kohlen-schlacken in der beschriebenen Weise ein. Die Schlacken werden entweder mit den Kippwagen, auf denen sie anfahren, in die Härtekessel verfahren und dort der Einwirkung des Dampfes ausgesetzt, oder aber die Aufbereitung erfolgt in der Mischtrommel. Das gleiche gilt für die bisher zur Herstellung von Schlackensteinen aus Kohlen-schlacken kaum oder selten angewandten Verfahren von Schol und Dreßler. Hervorzuheben ist noch, daß für diese Verfahren mit Ausnahme des Scholschen, die Schlacken nicht in Korngrößen von 5–15 mm, sondern bis auf etwa 4 mm vorgebrochen benutzt werden. Der Grus bleibt trotzdem aus den genannten Gründen auch hier unverwandt.

Beim Kleinbetrieb und den Herstellungsweisen der Selbstbauweise kommt ausschließlich das Lührmannsche Verfahren in mehrfachen Anlehnungen zur Anwendung. Die Steine werden von Hand in Formkästen verschiedenster Gestalt gestampft. Die Abbindung erfolgt je nach den vorliegenden Verhältnissen an der freien Luft. Die Gefahren des Kleinbetriebes liegen hauptsächlich in der ungenügenden Sachkenntnis, mit der an die Herstellung herangegangen wird. Der Aufbereitung der Kohlen-schlacken wird gar keine oder eine zu geringe Aufmerksamkeit geschenkt. So sind die erhaltenen Steine oft sehr minderwertig. Eine geordnete Herstellung im Kleinbetrieb ist nur zu erhoffen, wenn die oben für den Großbetrieb näher ausgeführten Gesichtspunkte in sinngemäßer Weise beobachtet werden können.

Es wäre nun zu untersuchen, wieweit der Schlackenstein den Anforderungen Genüge leistet, die an Bausteine für die Verwendung zu Hausbauten gestellt werden müssen.

Auf die Festigkeit wurde bereits kurz eingegangen. Sie hängt im wesentlichen von der verwandten Betonmischung ab. Es werden Festigkeiten bis zu 100 kg/cm<sup>2</sup> und mehr erreicht, doch begnügen sich manche Firmen mit schlechteren Ergebnissen.

Die weiteren Untersuchungen haben ergeben, daß die Schwamm-sicherheit der Schlackenbetonbauweise zum mindesten nicht geringer ist als bei gewöhnlichem Ziegelmauerwerk. Die gefährliche Rissebildung für die Entstehung von Hausschwamm ist nur dann zu erwarten, falls die Schlacke noch schwefelsaure Salze führt, die mit der Zeit eine Zer-störung des Zementmörtels herbeiführen, d. h. wenn die Aufbereitung nicht mit genügender Gründlichkeit durchgeführt wurde.

Die Untersuchungen über den Wärmeschutz von Schlackenstein-wänden sind noch nicht abgeschlossen, wenngleich schon bemerkens-werte Vorarbeiten dazu vorliegen. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, daß in dieser Beziehung die Schlackenbetonwand keines-falls Nachteile aufweist, sondern günstigere Verhältnisse zeigt als eine entsprechende Wand aus Ziegelsteinen. So wurden für den Wärme-durchgangskoeffizienten  $k$ , der sich, in WE/st gemessen, auf eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  und  $1^\circ \text{C}$  Temperaturdifferenz bezieht, von dem städtischen Hochbauamt Zürich in Verbindung mit dem städtischen Heizungsingenieur folgende Werte ermittelt: Backsteinmauer (29 cm Gesamtstärke einschließlich Putz)  $k_1 = 1,6$ ; Backsteinmauer (42 cm Gesamtstärke einschließlich Putz)  $k_2 = 1,2$ ; Backsteinhohlmauer (36 cm Gesamtstärke einschließlich Putz und Hohlraum)  $k_3 = 1,25$ ; Schwemm-steinmauer (29 cm Gesamtstärke einschließlich Putz)  $k_4 = 0,6$ ; Schlacken-steinmauer (29 cm Gesamtstärke einschließlich Putz)  $k_5 = 0,7$ . Sämtliche Probewände waren gleichartig verputzt<sup>1)</sup>. Über die Wärme-speicherung sind noch abschließende günstige Ergebnisse zu erwarten.

Das Eindringen von Bodenfeuchtigkeit wird durch die Einfügung der normalen Isolierschicht aus Pappe unmittelbar über dem Keller-fußboden verhindert. Versuche über das Eindringen von Schlag-regen haben ergeben, daß sich die Wirkung des Regens bei Schlackensteinwänden zwar schneller bemerkbar macht als bei Back-steinwänden, sowohl bei verputzten als unverputzten Mauern, doch andererseits nach Aufhören des Regens die Schlackensteinwand schnel-ler abtrocknet als ein entsprechender Ziegelbau. Eine Schlacken-steinwand wies bei einem Versuch bereits nach 10 Stunden die nor-male Feuchtigkeit auf, während die Backsteinwand unverputzt erst nach 48 Stunden denselben Zustand zeigte, verputzt jedoch auch dann noch feucht war. Hiermit hängt auch der Vorzug des schnel-len Austrocknens von Schlackensteinwänden bei Neubauten zusammen. Ein Rohbau aus Schlackensteinen ist nach seiner Fertigstellung wesentlich trockener als ein unter gleichen atmosphärischen Verhält-nissen aufgeführter Ziegelbau<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Baumaterialienmarkt, 20. Jahrgang, 1921, Nr. 2, S. 21.

<sup>2)</sup> H. W. u. A. Eurich: Schlackenbetonsteinbauweise Eurich, Zement-verlag, Charlottenburg.

Die Nagelbarkeit von Wänden aus Schlackensteinen ist vorzüglich und kann als ein besonderer Vorteil gelten.

Häufig wird die Verringerung der Transportkosten als Vorzug für die Schlackenbetonbauweise angezogen, jedoch bezieht sich diese bei den dafür aufgestellten Berechnungen mehr auf die Ersparnisse durch die Hohlbauweise, die bei der Verwendung von Schlackensteinen wie überhaupt neuerdings für den Wohnhausbau oft in Anwendung kommt. Das Gewicht des Schlackensteines an sich unterscheidet sich höchstens um 15–20% vom Gewicht des normalen Ziegelsteines. Dem entspricht für den Schlackenstein ein spezifisches Gewicht von etwa 1,5 in trockenem Zustand.

Wenn trotz alledem heute eine Verwendung von Schlackensteinen noch selten zu bemerken ist, so dürfte dafür hauptsächlich das Mißtrauen bestimmend sein, in das die Schlackensteinbauweise aus den obengenannten Gründen geraten ist. Weiter ist zu bedenken, daß sich vorläufig eine sehr beschränkte Anzahl von Unternehmungen, soweit es sich um solche mit größeren Tagesleistungen handelt, mit der Herstellung von Schlackensteinen befaßt. Statistische Angaben über die Schlackensteinerzeugung liegen leider noch nicht vor. Letztens ist es nicht zum allerwenigsten die durch gesetzliche Maßnahmen auf dem Gebiet des Mieterschutzes bewirkte zwangsläufige Niederhaltung der Bautätigkeit, die einer Verbreitung der Schlackensteinbauweise im Augenblick entgegensteht. Immerhin wurden unter anderem von der genannten Firma Eurich bereits vierstöckige Wohnhäuser, auch die Messebauten in Frankfurt a. M., einschließlich der Fensterkonstruktionen vollständig aus Schlackensteinen erbaut. Es könnten noch viele andere Ausführungen aufgezählt werden.

Eine andere Verwendungsart für Separationsschlacken, die sich einfacher gestaltet, ist die Herstellung von Gipssteinen aller Art in Form von Platten, Dielen, Formsteinen und als Bewurf. Da hierbei die Schlacke mit einem Kalk gebundener Form in Berührung gebracht wird, so fällt das Erfordernis einer Aufbereitung fort. Es genügt die Einhaltung einer gewissen Korngröße des Magerungsmittels, um ein gutes Gemisch und Gefüge zu erzielen. Die Gipssteinfabrikation bedeutet jedoch nur eine geringe Absatzmöglichkeit für die Separationsschlacken. Von einer allgemeinen Verwertung kann gar keine Rede sein, da bereits der Schlackenanteil einer größeren Separationsanlage mit 200 t Schichtdurchsatz den Schlackenbedarf der gesamten Gipssteinfabrikation Deutschlands decken würde.

Die letzte Absatzmöglichkeit für die Schlacken bietet sich, soweit kein eigener Bedarf vorliegt, durch eine Veräußerung, für den Wegebau, für Bauzwecke oder die Auffüllung von Terrains. Wieweit diese Veräußerung von Gewinn ist, hängt von der Konjunktur, nicht vorher

zu sehenden Gelegenheiten und den örtlichen Verhältnissen a. b. Jedenfalls werden derartige Verkäufe ebensooft mit Nutzen für den Käufer wie für den Verkäufer abgeschlossen.

#### b) Der Regenerativschachtofen nach Didier.

Sollte die Verwendung der Schlacken über 5 mm Korngröße in der geschilderten Weise erfolgen, so verbleibt noch immer der Grus. Dieser fällt bekanntlich in recht beträchtlichen Mengen an als ein vorläufig selten verwendbarer Abfallstoff, dessen Fortschaffung große Kosten verursacht. Eine Brikettierung dieses minderwertigen Brennstoffes auch nach vorhergehender Brennstoffanreicherung (s. S. 83ff.) kommt nur bei besonderen Verhältnissen in Anwendung, ebenso wie eine Verfeuerung auf dem Rost.

Die großen Mengen, in denen der Grus anfällt, drängen jedoch nach einer besseren und einfacheren Lösung für die Verwertung dieses Abfallstoffes. Nach wärmetechnischer Einsicht kommt hierfür die Vergasung, evtl. noch die Kohlenstaubfeuerung, in Frage. Die Vergasung feinkörniger und aschenreicher Brennstoffe ist ein in den letzten Jahren heiß umstrittenes Problem. Zu den ersten Versuchen auf diesem Gebiet gehört der Feinkohlengenerator von Pintsch. Dann brachten die M. A. N. und die Berliner-Anhaltische Maschinenbau-Aktiengesellschaft Drehrostgeneratoren für die Vergasung von feinkörnigen Brennstoffen heraus. Sehr günstige Versuchsergebnisse wurden mit dem Kerpelyschen Drehrostgenerator erzielt, doch zeigte auch dieser alle bekannten Anstände bei der Vergasung eines Brennstoffes derart ungünstiger Beschaffenheit: die Staubeentwicklung und schwierige Beherrschung der Feuerzone. Inzwischen sind eine ganze Reihe von Neukonstruktionen und Spielarten der erstlich angewandten Prinzipien entstanden. Bei allen Betriebsergebnissen jedoch, die für diese Generatoren vorliegen, wurde schlimmstenfalls mit Koksgrus, kaum aber mit einem so minderwertigen Brennstoff gefahren, wie dem Grus aus der Schlackenseparation.

Derartigen besonders aschenhaltigen Abfallprodukten versuchte man später durch Anwendung hoher Winddrücke beizukommen. Zuerst verschafften sich in Frankreich, dann auch in Deutschland Abstichgeneratoren Eingang, die bei uns anfangs von den Firmen Pintsch, Berlin, Rehmann, Düsseldorf und Kohle u. Erz, Essen, vertreten wurden. Jedoch eignete sich diese Art von Generatoren nicht für die Vergasung allzu feinkörniger und staubreicher Brennstoffe, vielmehr mußten die ganz feinen Bestandteile vor der Verwendung mit Rücksicht auf die Staubeentwicklung abgesiebt werden, die mit steigendem Winddruck immer unangenehmer war und deren Beherrschung gar nicht gelingen wollte. Es muß daher um so mehr in Erstaunen setzen, daß

jetzt von der Stettiner Chamottefabrik vormals Didier unter der Bezeichnung Regenerativschachtofen eine neue Konstruktion herausgebracht wurde, die erlauben soll, aschenreiche feinkörnige Brennstoffe, wie z. B. Feuerungsrückstände, Lokomotivlöschs, Koksgrus, Ölschiefer,

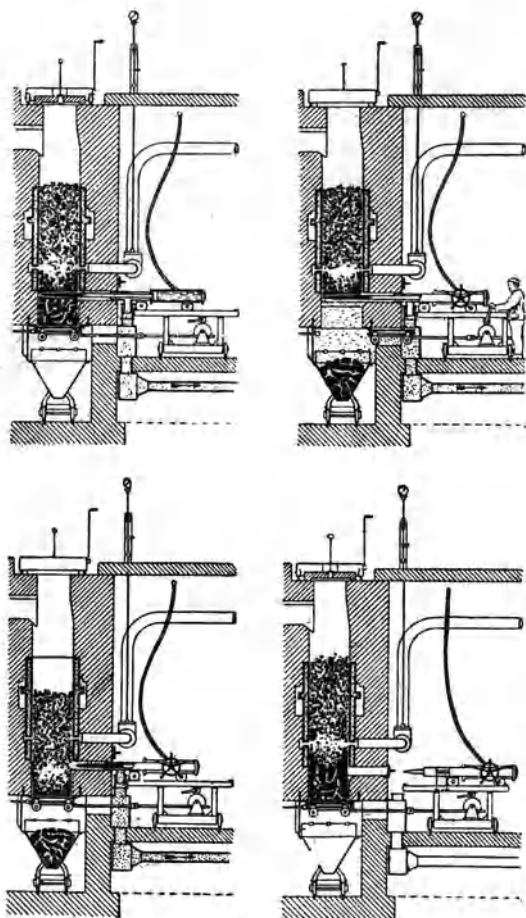


Abb. 30. Arbeitsgänge beim Abstechen der Schlacke an einem Müllverbrennungsofen mit der hydraulischen Abstichvorrichtung.

Waschberge u. a., anstandslos zu verarbeiten. Der Ofen sollte nicht nur den Grus, sondern sämtliche Herdrückstände, auf kleinere Körnungen bis etwa 15 mm vorgebrochen, vergasen als auch bei entsprechender Feuerführung in Art der Müllverbrennungsofen, die ebenfalls von der genannten Firma gebaut werden, vollständig verbrennen.

Über das Verfahren liegen bisher noch keine endgültigen praktischen Erfahrungen vor, wenngleich die ersten ausgeführten Anlagen vor längerer Zeit in Betrieb kamen. Auch hat die herstellende Firma mit Rücksicht auf noch schwebende Patentverfahren alle ausführlichen Veröffentlichungen unterdrückt. Es sind jedoch einige Versuchsergebnisse bekannt, die zuerst von Prof. Dipl. Ing. Dr. K. Bunte auf der

Jahresversammlung der „Hauptstelle für Wärmewirtschaft“ in Dresden vom 22. ÷ 23. September 1921 bei einer gleichzeitigen Vorbesprechung der neuen Erfindung publiziert wurden. Danach handelt es sich bei diesem Generativschachtofen um einen Abstichgenerator, ganz ähnlich den Müllverbrennungsofen, wie sie verschiedentlich z. B. in Wiesbaden,

Frankfurt a. M., Davos aufgestellt wurden (s. Abb. 30). Die Rückstände werden in einen stehenden zylindrischen Schacht von ca 0,5 m<sup>2</sup> Querschnitt, der mit einem eisernen Kühlmantel gleichzeitig als Wassererhitzungskessel ausgebildet ist, von oben eingeführt und mit Luft von 700÷1000 mm Pressung verblasen. Die Luft wird durch ein ringförmiges Düsensystem, wie beim Hochofen, eingepreßt. Der Ofen arbeitet also auf flüssige Schlacke, die durch eine hydraulische Abstichvorrichtung, wie sie von den Müllverbrennungsöfen her bekannt ist, ausgetragen wird. Diese besteht in einem Abstichwagen, der eine Trennzunge durch hydraulische Kraft in die Brennstoffsäule einpreßt, woraufhin der Boden des Generators geöffnet wird und der unterhalb der Trennzunge befindliche Schlackenkuchen ausfällt. Danach wird der Boden des Generators geschlossen und die Trennzunge gezogen, so daß die Brennstoffsäule wieder auf den Boden des Generators absinkt (Abb. 30). Das Arbeiten auf flüssige Schlacke bedingt den eisernen Kühlmantel, einerseits um das Ansetzen der Schlacken am Umfang des Schachtes zu verhindern und einen ungestörten Durchsatz zu erzielen, andererseits um die hohen Temperaturen, denen das Chamottemauerwerk gar nicht gewachsen wäre, von den Schachtwänden fernzuhalten.

Der Ofen kann je nach Art der Feuerführung als Vorfeuerung oder als Generator betrieben werden. Im ersten Falle wird er unmittelbar vor den Kessel gesetzt, wie bei Müllverbrennungsanlagen, z. B. in Davos. Beim Arbeiten des Ofens auf vollständige Verbrennung wurde nach obengenannten Versuchen ein Kohlensäuregehalt in den Verbrennungsgasen von 15÷18% und eine Temperatur der Heizgase von 1000÷1200° C und darüber erzielt. Der Durchsatz soll nach den letzten Versuchen 700÷900 kg Reinbrennstoff/m<sup>2</sup> Schachtfläche und Stunde betragen, fast unabhängig vom Aschengehalt des verfeuerten Brennstoffes. Er müßte also bezogen auf die eingeführte Brennstoffmenge je nach Höhe des Aschengehaltes das 4÷5fache, d. h. 3÷4 t/m<sup>2</sup> st erreichen. Das sind recht erstaunliche Zahlen. Die Garantiewerte lauten auf 2 t/m<sup>2</sup> st bei einem Brennstoff von etwa 80% Schlacken-gehalt entsprechend 1300÷1500 WE/kg. Als Beispiel sei nachstehender Verbrennungsversuch<sup>1)</sup> wiedergegeben (Zahlentafel 9).

Bei Generatorbetrieb wurde ein Generatorgas von 7÷10% CO<sub>2</sub> erhalten bei einem Durchsatz von 800÷1000 kg Reinkoks pro Quadratmeter Schachtfläche und Stunde. Das wären bei einem Gehalt der Rückstände von 20% Brennbarem also etwa 4÷5 t/m<sup>2</sup> st. Die Rückstände mit besonders großem Aschengehalt, vielleicht über 60%, sollen

<sup>1)</sup> Prof. Dipl. Ing. Dr. K. Bunte: Gewinnung und Verwertung der Verbrennungsrückstände von Gaswerken, Bericht der Hauptstelle für Wirtschaft Jahressammlung 1921, Verlag des Ver. deutsch. Ing., Berlin, 1922, S. 46.





Die ersten grundlegenden Versuche für diesen neuen Regenerativschachtofen, über dessen feuerungstechnische Grundlagen bisher ein undurchdringliches Dunkel gehüllt wurde, reichen in das Jahr 1920 zurück und wurden in der Müllverwertungsanlage Wiesbaden durchgeführt. Bei den Einschränkungen, die durch die Unmöglichkeit gegeben waren, dort vorhandene Öfen für diese besonderen Versuche umzubauen, wurde trotzdem ein Ausbrand bis zu 75% erzielt. Die Hauptverluste entstanden durch das Auftreten von beträchtlichen Flugstaubmengen, die einen hohen Brennstoffgehalt aufwiesen. Die Entstehung des Flugstaubes in so großen Mengen wurde auf die Mängel der Versuchseinrichtung zurückgeführt.

Wieweit der Regenerativschachtofen im praktischen Betrieb in der Lage sein wird, die obengenannten Versuchswerte einzuhalten, kann sich erst nach eingehender Erprobung im Dauerbetrieb erweisen. Vorläufig ist es ratsam, bei der Beurteilung des Verfahrens Vorsicht zu üben. Das andauernde Stillschweigen aller beteiligten Kreise, trotz der bereits Jahre zurückliegenden Inbetriebnahme des ersten Ofens, läßt eher darauf schließen, daß auch hier noch keine vollkommene Lösung gefunden wurde. Die Schwierigkeiten, mit denen der Ofen wie alle Generatoren für die Vergasung feinkörniger, aschenreicher Brennstoffe zu tun haben wird, sind die Beherrschung einerseits der Feuerzone und andererseits der Staubentwicklung. Die Gefahr der Staubentwicklung besteht für alle mit hohen Winddrücken arbeitenden Gaserzeuger. Die Luft kann zu leicht, da die Aschenschicht nicht dauernd in gleicher Höhe gehalten werden kann, in die sich bildenden Gaskamine gelangen und durchschlagen, ohne sich mit dem Kohlenstoff verbunden zu haben. Die Folge ist, abgesehen von der Gasverschlechterung, daß der Staub von dem starken Gasstrom aufgewirbelt und mitgeführt wird. Auch bei Betreiben des Ofens als Vorfeuerung ist die Staubentwicklung äußerst unangenehm. Man steht heute auf dem Standpunkt, daß auch für den Dampfkessel das reinste Gas das beste ist. Die Vermeidung der Staubbildung ist sehr schwierig, und weder den bisher verwandten noch den neuentwickelten Einrichtungen ist es gelungen, diese Aufgabe vollständig zu lösen.

Ohne Frage ist die weitere Entwicklung und Bewährung des Verfahrens sowie der Brennstoffvergasung allgemein für die Schlacken-separation von Bedeutung. Der Generator wäre mit einem bestimmten Ausbrand einer mechanischen Schlackenseparation, die den gleichen Wert für den Separationsgrad aufweist, wärmetechnisch um den Wirkungsgrad der Feuerung überlegen, mit dem der gewonnene Separationskoks wieder verbrannt wird. Falls der Ausbrand des Ofens tatsächlich um 90%, ja nur um 80% herum, liegen sollte, wäre dieser Vorsprung nach dem Vorgegangenen durch eine mechanische

Separation auch bei Verfeuerung des Separationskoks mit dem best-erreichbaren Wirkungsgrad nicht wieder einzuholen. Der Vorteil für die Ausnutzung der Rückstände durch Vergasung gegenüber der Separation ginge aber noch weiter, weil in dem Generator auch der Grus nutzbar gemacht würde. Darin würde die ganz erhebliche Überlegenheit der Schlackenausbrennung oder -vergasung liegen. In dem Kapitel über die Wirtschaftlichkeit werden die zahlenmäßigen Belege hierfür gegeben (s. S. 131 ff.). Bei einem Grusgehalt der Rückstände von 30÷40%, wie er häufig vorkommt, können sich besonders bei starkem Rostdurchfall 40÷50% der gewinnbaren Wärmemengen in dem Grus befinden. Wird diese Grusmenge auf die Halde geworfen, so kann wärmetechnisch eine Separation einer Ausbrennung oder Vergasung überhaupt nicht nahekommen. Andererseits ist zu sagen, daß bei dem heutigen Stand unserer Feuerungsanlagen die Gewinnung von festen Brennstoffen für die Verfeuerung auf dem Rost durchaus erwünscht, praktisch sogar ein Erfordernis, bleiben wird. Das gilt so lange, wie die Kohlenstaubfeuerung und Brennstoffvergasung nicht allgemeiner zur Krafterzeugung in Anwendung kommen.

Es ist daher anzunehmen, daß bei Bewährung des Regenerativschachtofens dieser in erster Linie für die Verarbeitung des Gruses, überhaupt der für eine Separation nicht mehr in Frage kommenden Feuerungsrückstände herangezogen werden wird. Solange aus diesen wirtschaftlich ein Brennstoff gewonnen werden kann, der sich für die Verfeuerung auf dem Rost eignet, wird sich keine Industrie diesen billigen, für die vorhandenen Feuerungsanlagen geeigneten Brennstoff entgehen lassen, mit dem sie in der Lage ist, bis zu gewissen Grenzen teure Steinkohlen zu ersetzen. Der Didiersche Schachtofen käme demnach vorläufig nur für große Separationsanlagen in Frage, die einen ausreichenden Anfall von Grus haben, um einen Ofen voll zu beschäftigen. Diese Einschränkung ist insofern selbstverständlich, als die Aufstellung eines Regenerativschachtofens mit Rücksicht auf die hohen Anschaffungskosten, denen sich meist noch Kesselumbauten und andere Änderungen anfügen, nur großen Unternehmungen möglich sein wird. Insbesondere werden Gaswerke die Verwendung des Didierschen Ofens erwägen. Praktisch wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage viel mehr interessieren als der wärmetechnische Wirkungsgrad.

Das Arbeiten auf flüssige Schlacke eröffnet die neue Möglichkeit, aus Kohlen Schlacken gegossene Schlackensteine als Pflastersteine herzustellen. Entsprechende Versuche wurden bereits durchgeführt. Das teure Verfahren zeigte, daß eine derartige Herstellung nur im Nebenbetrieb möglich ist. Gegossene Pflastersteine aus Kupferhütten haben sich bekanntlich infolge ihrer geringen Abnutzung sehr bewährt und finden überall guten Absatz.

Aus den genannten Gründen wurde das Didiersche Verfahren der Schlackenausbreunung an dieser Stelle als ein Versuch zur Nutzbarmachung eines Abfallstoffes der Schlackenseparation behandelt, ein Verfahren, das sich sinnvoll in den Arbeitsgang der Separation einfügt und planmäßig die Ausbeutung der Rückstände steigert; nicht jedoch als Neuerung, die eine gleichwertige oder überlegene Verwertungsmöglichkeit der Feuerungsrückstände schafft und im Falle der Bewährung die Frage der Schlackenseparation als gegenstandslos hinstellt. Erst bei bedeutenden Änderungen der Wärmewirtschaft wird sich dieses Bild verschieben.

Neuerdings ist übrigens versucht worden, den Ausbrennungsprozeß, wie er in dem Regenerativschachtofen erfolgt, in den Verbrennungsprozeß unter dem Kessel miteinzubeziehen. In der Zeitschrift des Ver. deutsch. Ing. beschreibt E. Pfeleiderer<sup>1)</sup>, eine Kesselausführung, bei der die Brennstoffschicht am Rostende nicht in den Aschenfall gerät, sondern von einem sogenannten Schlackengenerator mit 1,5 m Stauhöhe aufgenommen wird. Der Generator besitzt Mantelkühlung und hat eine halbautomatische Austragevorrichtung. Die Luftzufuhr erfolgt von unten. Der Generator übernimmt 10% der Rostleistung und bewirkt einen weitgehenden Ausbrand der Herdrückstände. Die Einrichtung ist besonders für aschenreiche Brennstoffe gedacht und soll nach anfänglichen Schwierigkeiten einwandfrei arbeiten.

### III. Die Wirtschaftlichkeit einzelner Separationsanlagen und der Aufbereitung von Feuerungsrückständen allgemein.

Nachdem die verschiedenen Separationsverfahren, die Ausgangs- und Endprodukte der Schlackenseparation auf ihren Wert hin untersucht wurden, bleibt die Betrachtung, welcher wirtschaftliche Nutzen aus der Betreibung einer Schlackenseparationsanlage zu ziehen ist. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen dem geschäftlichen Nutzen für den Unternehmer, der sich in einem Reingewinn am Jahresabschluß ausdrückt, und dem Fortschritt der Wärmewirtschaft als allgemeinem Nutzen, der durch eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Gesamtwärmewirtschaft in Erscheinung tritt.

Es sei zuerst auf die Wirtschaftlichkeit des Einzelbetriebes in finanzieller Hinsicht eingegangen. Solange in der Zeit der Kohlenzwangswirtschaft für die Errichtung einer Separationsanlage der Grund maßgebend war, das Werk ganz oder zum Teil von den Zuweisungen des

<sup>1)</sup> Dr. Ing. E. Pfeleiderer: Kesselfeuerung mit selbsttätiger Feuer-schürung und Schlackengenerator, Zeitschrift des Ver. deutsch. Ing. Bd. 68, 1924, Nr. 13, S. 305.

Reichskohlenkommissars unabhängig zu machen, spielte dieser Faktor nicht die hervorragende Rolle. Je weiter jedoch unsere Wirtschaft zu normalen Verhältnissen übergeht, tritt mehr und mehr die Kostenfrage in den Vordergrund.

Die Bilanz einer Schlackenseparationsanlage ist nicht immer leicht herauszuschälen. In vielen Fällen handelt es sich um Nebenbetriebe, die in den Konten des allgemeinen Betriebes erscheinen oder einem anderen Hauptkonto angegliedert werden. Die Anlage wird gemeinsam mit anderen Betrieben im gleichen Gebäude untergebracht, sie ist vielleicht nur aussetzend in Tätigkeit, nimmt zusammen mit anderen Betrieben die gleichen Arbeiter in Anspruch, auch die gleiche Kraftmaschine, die gleichen Transportmittel usw. Unter solchen Verhältnissen ist es nicht leicht, den auf die Separationsanlage entfallenden Kapitalaufwand einwandfrei festzustellen, da die Anlage an dem Gesamtaufwand für das Gebäude, die Kraftmaschine usw. nur zu einem Teilbetrag belastet werden kann. Ebenso schwierig stellt sich die Errechnung der Betriebsunkosten und der Gestehungskosten für die der Separationsanlage zugeführten Feuerungsrückstände. Die Gestehungskosten werden meist nur durch Transportkosten dargestellt. Leichter ist schon der Verkaufspreis für den gewonnenen Brennstoff zu ermitteln, vorausgesetzt, daß die Verdampfungsziffer ermittelt werden kann, und ein Vergleichswert zur Verfügung steht.

Eine exakte Errechnung der Wirtschaftlichkeit kann nur erfolgen, wenn die einzelnen Posten für den Kapitalaufwand, die Betriebsunkosten und den Verkauf herausgezogen, und die Anteile der Separationsanlage an dem Gesamtbetrieb festgelegt werden. Leichter wird daher die Feststellung der verschiedenen Konten in größeren Anlagen sein, die durch ihre örtliche Abgeschlossenheit auch buchmäßig eine größere Selbständigkeit führen.

Nachstehend wird die Bilanz einer derartigen größeren Separationsanlage von 20 t Stundenleistung wiedergegeben, um eine Wertung der einzelnen Unkostenposten herbeizuführen (Zahlentafel 11 u. 12). Die besprochene vom Verfasser projektierte Anlage separiert Rückstände von Lokomotivkesseln der Reichsbahn. Die Anlage verarbeitet eine Tagesleistung von 160 t in einer Schicht. Die Separation wird nach dem gemischten System durchgeführt, unter Benutzung von Magnetscheidung für die Körnungen bis 20 mm, von Kolumbuswäschern nach Schilde für die Körnungen bis 40 mm und Handauslese für die darüberliegenden Korngrößen. Das Werk besitzt Eisenbahn- und Wasseranschluß. Die Beschickung der Anlage erfolgt unmittelbar aus dem Waggon durch eine halbautomatische Entladevorrichtung nach dem System Heinzelmann. Schlacke und Kohle werden zum Abtransport durch Gurtförderer in zentrale Füllrumpfe geleitet. Die Schlacke wird

von dort mit Schmalspur in Muldenkippern von Hand abgefahren und zu Schüttungen verwandt. Der gewonnene Brennstoff wird aus zwei zentralen Füllrumpfen für verschiedene Kornklassen zum einen Teil per Achse in das naheliegende Werk für den eigenen Verbrauch geschafft, der andere Teil wird auf einen Sammelplatz gefördert, soweit er nicht sofort zum Verkauf und unmittelbar per Eisenbahn zum Versand gelangt. Hierdurch dürften die Betriebsverhältnisse hinreichend gekennzeichnet sein.

Der Bilanz sind Preise zugrunde gelegt, die aus der Inflations-epoche stammen. Sie beziehen sich auf den Status vom September des Jahres 1921. Die Zahlen sind ausgehend von einem Monatsdurchschnitt auf ein volles Betriebsjahr mit 300 Arbeitstagen gerechnet. Die Papiermarkbeträge wurden absichtlich nicht in Goldmark umgerechnet, weil hierbei Entstellungen nicht zu vermeiden sind. Die Preise der Inflationszeit hatten bekanntlich keine gemeinsame Basis, sondern paßten sich mit wechselnder Beschleunigung der Entwertung an. Außerdem wurde gerade während der Inflation der weitaus größte Teil von Separationsanlagen gegründet, so daß der Fall des Beispiels als typisch angesprochen werden darf. Um jedoch Vergleiche mit heutigen Verhältnissen ziehen zu können, wurde daneben eine theoretische Erfolgsbilanz unter Zugrundelegung des gleichen Verbrauches und der heutigen Preise für 1924 aufgestellt. Für die Arbeitsstunde des ungelerten Arbeiters sind 0,35 M, für die kWst 0,16 M und für 1 t Gas-koks 38.— M zugrunde gelegt. Die restlichen Posten der Bilanz wurden mit einer aus den genannten Werten errechneten mittleren Verhältnis-zahl umgerechnet.

Zahlentafel 11. Bestandskonten der Vermögensbilanz einer Schlackenseparationsanlage von 160 t Tagesleistung.

	Reichsmark (IX. 1921)	%
1. Geländekonto . . . . .	150 000.—	4,9
2. Gebäudekonto . . . . .	350 000.—	11,3
3. Gleisanlagekonto . . . . .	100 000.—	3,2
4. Maschinenkonto:		
a) 6 Magnetscheider, 2 Kolumbus- wäscher, 2 Siebtrommeln, 2 Schüt- telrinnen, 3 Rüttelsiebe, 1 Ent- lader, 4 Gurtförderer, 3 Elevatoren, Füllrumpfe, Schurren u. a. . . . .	1 760 000.—	
b) 2 Elektromotoren, 1 Gleichrichter mit Schaltanlage . . . . .	150 000.—	
	1 910 000.—	
5. Kraftanschlußkonto: 1 Umformerstation mit Trans- formator, Schaltanlage und Anschlußanteil . . . .	280 000.—	9,1
6. Fuhrparkkonto . . . . .	240 000.—	7,8
7. Mobilienkonto . . . . .	60 000.—	1,9
Zusammen	3 090 000.—	100,0

Zahlentafel 12. Erfolgsbilanz einer Schlackenseparationsanlage von 160 t Tagesleistung.

	Reichsmark (IX. 1921)	o/o	Goldmark (1924)	o/o
A. Betrieb.				
1. Löhne- und Gehälterkonto:				
1 Betriebsleiter (12 Monate) . . . . .	340 000.—	9,0	16 200.—	8,4
1 gelernter Arbeiter } 300 Ar-				
1 „ Vorarbeiter } beits-				
9 ungelernete Arbeiter } tage zu				
4 „ Arbeiterinnen } 8 st				
2. Stromverbrauchskonto (60 kWst, 300 Arbeitstage) . . . . .	260 000.—	6,9	23 000.—	12,1
3. Reparaturenkonto . . . . .	650 000.—	17,2	31 000.—	16,2
4. Rohmaterialkonto . . . . .	1 060 000.—	28,0	50 200.—	26,3
5. Konto für öffentl. Abgaben (Steuern, Krankenkasse, Invalidität usw.) . . . . .	215 000.—	5,7	10 700.—	5,6
6. Abschreibungskonto (Bestandskonto 3 zu 15%, 4-7 zu 25%)				
450 000 · 15% = 67 500.—				
2 490 000 · 25% = 615 000.—				
682 500.—	682 500.—	18,0	32 500.—	17,0
7. Konto Verschiedenes (Schmieröl, Kalk, Wasser usw.) . . . . .	150 000.—	4,0	7 150.—	3,8
8. Konto Verwaltungskostenanteil für das Hauptbureau . . . . .	180 000.—	4,8	8 590.—	4,5
	3 537 500.—	93,6	179 340.—	93,9
B. Vertrieb.				
9. Verkaufsbureauanteilkonto . . . . .	160 000.—	4,2	7 600.—	4,0
10. Konto Verschiedenes (Reisen, Verkaufsspesen usw.) . . . . .	85 000.—	2,2	4 050.—	2,1
11. Verkaufskonto (1 t Gaskoks = 875 M)				
13% Körnung 4-20 mm				
Verhältniszahl = 0,7				
8% Körnung über 20 mm				
Verhältniszahl = 0,65				
d. h.				
0,13 · 160 · 300 · 875 · 0,7 = 3 820 000.—				
0,08 · 160 · 300 · 875 · 0,65 = 2 180 000.—				
Reingewinn . . . . .	2 217 500.—	—	—	—
	6 000 000.—	100,0	190 990.—	100,0

Die vorstehende Bilanz läßt deutlich das Kriterium der Wirtschaftlichkeit einer Schlackenseparationsanlage erkennen. Die Anlage arbeitet mit einem Kapitalgewinn von 72% bei einem mittleren Brennstoffausbringen von 21%. Bei 14% Brennstoffausbringen erniedrigt sich diese Verzinsung auf 10% und bei 13,2% Brennstoffausbringen arbeitet die Anlage ohne Gewinn und Verlust. Für heutige Verhältnisse errechnet sich dieses Minimalausbringen unter Zugrundelegung eines Gaskokspreises von 38.— M/t und einer Verhältniszahl von 0,7 wie folgt:

$$190990 : (160 \cdot 300 \cdot 38 \cdot 0,7) = 0,15$$

d. h. also auf 15%. Da das Anlagekapital und die Betriebsunkosten bei einer Schlackenseparationsanlage nicht unter ein bestimmtes Maß, unabhängig vom Brennstoffausbringen, zu bringen sind, ergibt sich ein Mindestbrennstoffausbringen, das den Betrieb der Anlage gerade noch wirtschaftlich verlaufen läßt. Die Höhe dieses Mindestausbringens ist abhängig von der Konjunktur, der örtlichen Lage, soweit sie die Transportkosten und den Absatz beeinflusst, den örtlichen Brennstoffverhältnissen usw. Sie bewegt sich im allgemeinen zwischen den Grenzen von 10 und 20%. Es wird hierbei von der Anschauung ausgegangen, daß die Zinsen nicht als Passivposten der Bilanz zu verbuchen sind. Die Verzinsung des Anlagekapitals drückt sich vielmehr in dem Reingewinn aus. Nach dem gleichen Gesichtspunkt ist die oben gezeigte Bilanz aufgebaut.

Die wichtigste Prüfung bei Errichtung einer Separationsanlage für eine Vorkalkulation muß sich daher auf die Ermittlung des Brennstoffgehaltes und des sicher erreichbaren Separationsgrades beziehen. Damit wird das tatsächlich erzielbare Brennstoffausbringen bekannt. Hierbei ist die Veränderung des Brennstoffgehaltes der Rückstände bei Wechsel der ursprünglich verfeuerten Brennstoffe, der Feuerungen usw. zu beachten. Es besteht dann eine Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit unmittelbar von dem Brennstoffausbringen der Rückstände, unabhängig von den Betriebs- und Anlagekosten.

An diese Feststellung sei eine Betrachtung der einzelnen Konten angeschlossen. Zu der Entstehung der Bestandskonten ist eine nähere Erläuterung kaum erforderlich. Die Gestehungskosten für das Gelände und die Gleisanlage werden bei gleichen Verhältnissen keinen wesentlichen Schwankungen unterworfen sein. Die Gebäudekosten sind schon in höherem Maße von den näheren Umständen abhängig. Gewöhnlich wird es sich um einen leichten Holz- oder Fachwerkbau handeln, da die Schlackenseparation bisher als Konjunkturgeschäft aufgefaßt wurde. Mit Rücksicht auf die bei größeren Aufbereitungsanlagen allgemein erforderliche hohe Bauart kommen auch Eisenbeton-, Ziegelsteinbauten und Eisenkonstruktionen vor (Abb. 1, 2 und 3). Das Gebäudekonto in vorstehend gezeigter Bilanz ist niedrig belastet.

Die Anlagekosten für die Maschinen sind in gewissen Grenzen von dem verwandten System beeinflusst. Unter Berücksichtigung der Nebengeräte wie Umformer und Schaltanlage bei dem Trockenverfahren, Rührwerke, Klärsümpfe, Pumpen, Wasserleitungen bei den Naßverfahren halten sich die Kosten bei den verschiedenen Separationsverfahren letzten Endes die Wage. Die Handauslese ist bei dieser Beurteilung ausgeschlossen. Gegenüber kleineren Anlagen, die nach dem Naßverfahren arbeiten, ist in einigen Fällen das Trockenverfahren teurer; das dürfte auch bei größeren Anlagen gelten, die ausschließlich,

auch die größten Körnungen, trocken separieren. Unabhängig von den Verfahren sind die Kosten der Transportmaschinen für den Ab- und Antransport, sowie die Beförderung in der Anlage selbst, die einen erheblichen Anteil ausmachen. Die Bedeutung der Mehrkosten bei den Trommelscheidern gegenüber einer anderen Maschine darf daher nicht überschätzt werden. Die Anlagekosten für den Kraftanschluß, den Fuhrpark und andere Mobilien entsprechen normalen Verhältnissen bei Betrieben ähnlicher Ausdehnung. Sie sind durch die örtliche Lage, insbesondere die zur Verfügung stehenden elektrischen Netze und die Lage in bezug auf Wasser und Eisenbahnanschluß gegeben.

In der Erfolgsbilanz spielen die Aufwendungen für Löhne und Gehälter eine erhebliche Rolle. Für die Bedienung der Separationsmaschinen selbst werden nur wenig Leute benötigt. In größeren Anlagen ist ein wechselnder Umfang des Bedienungspersonals bei verschiedenen Verfahren nicht festzustellen. Der größte Teil der Arbeiter wird für die Transportarbeiten in Anspruch genommen. Zur Handauslese an den Lese- oder Transportbändern werden weibliche oder jugendliche Arbeiter verwandt. Neben dem Vorarbeiter, der als Mechaniker zweckmäßig in der Lage sein soll, die gesamten Arbeits- und Transportmaschinen instandzuhalten, ist ein Betriebsleiter erforderlich.

Der gesamte Stromverbrauch schwankt bei verschiedenen Anlagen nicht wesentlich um einen Mittelwert, der mit 2,5–3,5 kW/t Rückstände anzusetzen ist. Unter Berücksichtigung des Kraftbedarfs der Nebengeräte weisen die einzelnen Verfahren in bezug auf den Gesamtstromverbrauch keine wesentlichen Abweichungen untereinander auf. Zahlen über den Leistungsbedarf der einzelnen Separationsmaschinen wurden bei Besprechung der Separationsverfahren gegeben. Mindestens die Hälfte bis zwei Drittel des gesamten Kraftverbrauches der Anlage entfallen jedoch auf die Beförderung des Materials innerhalb und außerhalb der Anlage. Diese Tatsache läßt erkennen, daß der Minderverbrauch an Kraft der einen Separationsmaschine gegenüber einer anderen für die Wirtschaftlichkeit der ganzen Anlage von geringer Bedeutung ist, trotzdem derartige Vorteile von der Reklame weitgehend ausgebeutet werden.

Die Feuerungsrückstände, insbesondere die Schlacken, sind ein äußerst sprödes, angreifendes und verschleißendes Material. Die Blechstärken aller Rutschen, Füllrumpfe, Transportmaschinen, Siebtrommeln und Schüttelsiebe müssen reichlich gewählt werden, um eine erträgliche Lebensdauer zu gewährleisten. Ebenso werden die Transportbänder der Gurtförderer und die Rohrleitungen bei den Naßverfahren mit Klärbehältern durch die Härte der Schlacken stark angegriffen. Die Kosten für die Instandhaltung und für Reparaturen sind daher in einer Schlackenseparationsanlage sehr hoch.



Das Rohmaterialkonto wird durch die Transportkosten für die Heranschaffung der Rückstände in die Anlage belastet. Seine Höhe ist daher durch die örtlichen Verhältnisse gegeben. Im wesentlichen sind die beiden Fälle auseinanderzuhalten, daß die Rückstände aus eigenen Betrieben zusammengetragen oder von der Separationsanlage durch Ankauf erworben werden. Buchmäßig unterscheiden sich die beiden Möglichkeiten dadurch, daß einmal die Belastung des Kontos durch die Selbstkosten für den Antransport, das andere Mal durch den Ankaufpreis erfolgt.

Wie mehrfach hervorgehoben wurde, nehmen bei der Anschaffung und bei der Beurteilung der Betriebsunkosten die Transportmittel der Separationsanlage das größte Interesse in Anspruch. Werden die zutreffenden Posten aus der Bilanz herausgezogen, so ergibt sich in dem beschriebenen Fall, bei dem die Transporte verhältnismäßig einfach und billig einzurichten waren, daß 49% der gesamten Betriebsunkosten allein auf den Ab- und Antransport entfallen. Dieser Anteil wird in ungünstigen Fällen noch höher werden. Auf die Wichtigkeit aller Transportfragen kann daher gar nicht oft genug hingewiesen werden.

Die öffentlichen Abgaben sind, soweit sie sich auf den Arbeiterschutz beziehen, von der Größe der Belegschaft abhängig; dazu kommen die kommunalen und gewerblichen Steuern. Die Schlackenseparationsanlagen werden von der Steuerbehörde vorläufig nicht als Brennstoff-erzeuger angesehen. Eine Kohlensteuer ist daher mit Recht für die durch Separation gewonnenen Brennstoffe nicht zu entrichten.

Für die Höhe der Abschreibungen ist die Einstellung der Industrie maßgebend, die in der Schlackenseparation vorläufig ein Konjunkturgeschäft erblickt. Die Bilanzierung erfolgt in diesem Punkt daher sehr vorsichtig. Soweit die Anlagekosten nicht direkt als Ausgaben verbucht werden, sind die Abschreibungsquoten so reichlich gewählt, daß die Anlage in höchstens 4-5 Jahren unbelastet ist. Abschreibungsquoten von 25% für die Maschinen und von 15% für die Gebäudeanlage sind nicht selten.

Hierzu kommen verschiedene laufende Aufwendungen für Schmieröl, Wasser, Kalk, der im vorliegenden Fall als Schlemmmaterial für die Schildeapparate verwandt wurde, u. a., sowie die indirekten Aufwendungen für die Verwaltung und Akquisition.

Die Preise für in Separationsanlagen gewonnene Brennstoffe waren bisher sehr gedrückt. Für den Verkauf spielten Nebenerscheinungen, wie das äußere Aussehen infolge von Verunreinigungen durch Schlackenstücke, bei den Naßverfahren hydrostatischer Methode der unansehnliche Überzug der Schlemmflüssigkeit, eine große Rolle. Die Bewertung der Brennstoffe müßte nach dem Heizwert, besser nach der Verdampfungsziffer erfolgen. Während bei einer derartigen Bewertung in normalen

Fällen als Verhältniszahl gegenüber normalen Gaskoks 0,75--0,8 zu trifft, wurden die Verkäufe von Separationskoks bisher zu Preisen getätigt, denen eine Verhältniszahl von 0,6--0,7 gegenüber Gaskoks zugrunde lag. Es ist zu wünschen, daß durch die öffentliche Besprechung der Schlackenseparation eine Aufklärung des kaufenden Publikums stattfindet. So haben sich bereits die Preise für aus Separationsanlagen stammenden Koks im Verlauf des letzten Jahres merklich gebessert. Als Hauptabnehmer kommen in Großstädten Zentralheizungsbesitzer, insbesondere Großabnehmer wie Hotels, Bäder, Theater und Geschäftshäuser in Frage.

Mit einigen Worten sei die Wirtschaftlichkeit der Betriebe gestreift, in denen die durch Separation gewonnenen Brennstoffe und Schlacken zur Verwendung gelangen. Bei Verfeuerung des Separationskoks unter dem Dampfkessel oder bei Vergasung im Generator werden die Verhältnisse die gleichen sein wie bei Verwendung von andern minderwertigen Brennstoffen. Für die Verfeuerung auf dem Rost spielt die Frage eine bedeutende Rolle, ob die bestehende Feuerungsanlage ohne Änderung benutzt werden kann oder, falls die Schaffung neuer Einrichtungen erforderlich ist, mit welchen Kosten die Änderung verknüpft ist. Die Feuerungsanlagen älterer Konstruktion sind für gute langflammige Steinkohle geringen Aschengehaltes und mittlerer Korngröße konstruiert. Ein Übergang auf entgaste Brennstoffe, womöglich noch dazu mit höherem Aschengehalt oder in feinkörnigem Zustand, ist daher nicht ohne weiteres möglich. Geringe Änderungen lassen oft den Effekt der Feuerung auch nur auf ein beschränktes Maß ansteigen. Neben diesen Anlagekosten steigern sich die laufenden Unkosten durch Mehrarbeit, die für die Beobachtung und Leitung des Verbrennungsvorganges erforderlich wird, d. h. eine Vermehrung des Bedienungspersonals. Dazu kommt auch eine Erhöhung der Transportkosten für den Abtransport der Rückstände, soweit die gewonnenen Brennstoffe einen höheren Aschengehalt aufweisen. Die gleichen Ausführungen gelten sinngemäß für den Generatorbetrieb.

Die Wirtschaftlichkeit der Brikettierung ist, wie bereits angedeutet wurde, eine Funktion des Pechverbrauches und der örtlichen Lage. Die Pechpreise waren im Lauf der letzten Jahre teilweise so enorm, daß an eine wirtschaftliche Brikettierung von Grus oder kleinen Körnungen des Separationskoks nicht zu denken war. Zu diesem ausschlaggebenden Faktor tritt der Einfluß der örtlichen Lage, besonders die Entfernung von den Braunkohlendistrikten. So ist eine Brikettierung in Norddeutschland wesentlich leichter zu betreiben als in der Nähe von Berlin oder in Mitteldeutschland. Die Absatzgebiete in der Nähe von Hamburg zeigten sich, solange während der Inflation die Konkurrenz der englischen Kohle fehlte, sehr günstig.

In bezug auf die Bedeutung der örtlichen Lage liegen bei der Herstellung von Schlackensteinen die Verhältnisse ähnlich, wie eben für die Brikettierung beschrieben. Hier sind es die Ziegeleien, die der Herstellung von künstlichen Steinen in manchen Gegenden eine kaum zu unterbietende Konkurrenz schaffen. Eine kurze Stockung der Bautätigkeit bringt in Bezirken mit so unerhörtem Bedarf, wie z. B. Berlin und Umgebung, einen derartigen Konkurrenzkampf mit sich, daß neue Brennstoffe wie die Schlackensteine nur zu äußerst gedrückten Preisen auf dem Markt erscheinen können. Jedoch auch zu andern Zeiten sind in Mittel- und Norddeutschland bessere Preise zu erzielen als im Umkreis der Metropole. Aus diesen Gründen arbeiten Schlackensteinfabriken in den weniger von der Ziegeleiindustrie durchsetzten Gebieten, wie Mittel- und Norddeutschland, mit besserem Erfolg. Bei einer Anlage in Oberschlesien, in der das Trommelverfahren, also mit Dampfhydratisierung und Dampfhärtung, angewendet wird, soll sich der Selbstkostenpreis der Schlackensteine auf ca.  $\frac{1}{3}$  des Preises für Ziegelsteine stellen. Der für die Härtekessel erforderliche Dampf wurde in Dampfkesseln mit Unterwindrosten unter Verfeuerung des aus den Rückständen separierten Separationskoks erzeugt. Einige Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Anlagen, die Schlackensteine aus Separationsschlacken herstellen, finden sich in sehr unvollständigem Zustande in der Zeitschriftenliteratur. Bei einer Kalkulation spielen die Anlagekosten die vorherrschende Rolle. Abgesehen von den weniger ins Gewicht fallenden Maschinen, verursachen die große Anzahl von Stapelbrettern, die Trockenhallen und Transportmittel erhebliche Aufwendungen. Für die laufenden Unkosten ist der Zementverbrauch ausschlaggebend. Bei den Verfahren, die ohne einen besonderen Bindemittelzusatz arbeiten, machen die bedeutend erhöhten Anlagekosten und damit verbundenen Abschreibungen einen noch mehr hervortretenden Passivposten in der Erfolgsbilanz aus.

Über die Wirtschaftlichkeit des Schlackenausbrennungsverfahrens mit dem Regenerativschachtofen von Didier sind an einer Stelle<sup>1)</sup> Anhaltspunkte gegeben. Da jedoch für die Beurteilung der laufenden Betriebsunkosten vor einer eingehenden Erprobung im Dauerbetrieb keine Unterlagen vorliegen, so sind diese auf dem Papier stehenden Berechnungen sehr vorsichtig zu beurteilen. In jedem Fall werden die Anlagekosten beträchtlich sein und für die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Anlage ins Gewicht fallen.

Danach sei die Wirtschaftlichkeit der Schlackenseparation in wärmetechnischer Hinsicht betrachtet. Diese Untersuchung soll nach zwei Richtungen hin erfolgen. Die Separation von Feuerungsrück-

---

<sup>1)</sup> AEG-Berlin, Elektrizität im Gaswerk, 1922, Selbstverlag, S. 28.

ständen kann einmal als eine Art Urproduktion aufgefaßt werden, denn durch sie werden letzten Endes Brennstoffe aus dem der Erde wieder einverleibtem Schutt erzeugt. Der Erfolg der Schlackenseparation äußert sich von dieser Seite betrachtet in einer Steigerung der Kohlenproduktion. Andererseits hat die Auffassung Geltung, nach der die Gewinnung von Brennstoffen aus Feuerungsrückständen als ein Glied der vorher erfolgten Verbrennung betrachtet wird. Die aus den Feuerungsrückständen zurückgewonnenen Wärmemengen stellen danach in der Wärmebilanz ebenso Plusposten dar, wie die Überhitzungsenergie und der Gewinn im Economiser, bei denen es sich ganz ähnlich um Wärmemengen handelt, die aus den Abgasen zurückgewonnen werden. In diesem Sinne drückt sich der Effekt der Schlackenseparation als eine Verbesserung des Wirkungsgrades der betreffenden Feuerung aus und im allgemeinen betrachtet als eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Gesamtwärmewirtschaft.

Um diese Werte zahlenmäßig zu erfassen, sind verschiedene statistische Unterlagen erforderlich. Die Untersuchung soll im Hinblick auf den Einzelfall und die Gesamtwärmewirtschaft erfolgen. Sie sei jedoch auf den Komplex des Deutschen Reiches beschränkt. Es soll zuerst festgestellt werden, welche Größenordnung der Effekt einer Separation der Feuerungsrückstände für die Gesamtwärmewirtschaft der deutschen Industrie besitzt. Der Ausgangspunkt für die Betrachtung ist die Gesamtmenge an Feuerungsrückständen, die für eine Separation in Frage kommen. Da diese Zahl unmittelbar schwer festzustellen ist, empfiehlt es sich, von der Kohlenproduktion oder besser dem Kohlenverbrauch auszugehen. In den letzten Vor- und Nachkriegsjahren sind nachstehende Mengen an Stein- und Braunkohlen in Deutschland gefördert und verbraucht worden (Zahlentafel 13).

Zahlentafel 13.  
Kohlenförderung und -verbrauch Deutschlands<sup>1)</sup>.

Jahr	Förderung (in 10 <sup>6</sup> t)			Verbrauch (in 10 <sup>6</sup> t)	
	Steinkohle	Braunkohle	Steinkohle und Braunkohle	Steinkohle	Steinkohle und Braunkohle
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1911	160,8	73,8	234,6	144,3	225,1
1912	177,1	80,1	257,2	149,1	235,9
1913	191,5	87,1	278,6	159,1	252,6
1922	119,0	137,0	256,0	126,5	263,5
1923	62,0	118,0	180,0	88,0	204,0
1924	105,0	114,5	219,5	116,8	—

<sup>1)</sup> Die Werte für die Jahre 1911/13 sind entnommen E. Biedermann: Deutschlands Kohlenschätze, Berlin, 1916, für die Jahre 1922/24 „Wirtschaft und Statistik“ 1924, Heft 5.

Die für das Jahr 1924 angenommenen Werte wurden auf Grund des Januardurchschnittes errechnet. Die in Spalte (5) angegebenen Verbrauchsziffern ergaben sich auf Grund einer Nettoausfuhr in den Jahren 1911 bis 1913 und einer Nettoeinfuhr für die Jahre 1922 bis 1924. Da aus den erwähnten Gründen für die Schlackenseparation in erster Linie die Rückstände aus Steinkohlenfeuerungen in Frage kommen, so sei einschränkend im nachfolgenden nur die Verwertung der Feuerungsrückstände von Steinkohlen in Rechnung gezogen.

Um der Eigenart der Rückstände je nach ihrer Provenienz Rechnung zu tragen, ist es erforderlich, diese nach den beteiligten Industriezweigen zu unterscheiden. Der Gesamtsteinkohlenverbrauch Deutschlands verteilt sich auf die Hauptindustriezweige nach folgendem Schlüssel (Zahlentafel 14).

Zahlentafel 14.

Verteilungsplan der deutschen Steinkohlenerzeugung 1913<sup>1)</sup>.

Nr.	Verbraucher	Verbrauchs-	Verbrauchs-
		anteil	anteil aus-
		%	schließlich
(1)	(2)	(3)	Ausfuhr
			%
(1)	(2)	(3)	(4)
1	Kokereien . . . . .	23,4	26,9
2	Gaswerke . . . . .	5,3	6,1
3	Elektrizitätswerke . . . . .	2,9	3,3
4	Industrie . . . . .	24,1	27,8
5	Eisenbahnen . . . . .	9,3	10,7
6	Schifffahrt . . . . .	5,3	6,1
7	Hausbrand . . . . .	9,1	10,5
8	Brikettierung . . . . .	3,5	4,0
9	Landwirtschaft . . . . .	4,0	4,6
10	Ausfuhr . . . . .	13,1	—
		100,0	100,0

Dieser Verteilungsplan bezieht sich auf das Jahr 1913. Da sich die Verbrauchsanteile vermutlich nicht wesentlich geändert haben, werden die gleichen Verhältniswerte für eine Beurteilung in der Jetztzeit angenommen. Weiter wird angenommen, daß für den Kohlenverbrauch der gleiche Schlüssel in Frage kommt wie für die Verteilung der Kohlenförderung. Da Deutschland zur Zeit ein Kohlenimportland ist, so wurden die in Spalte (3) angegebenen Anteile auf die im Inland verbrauchte Gesamtmenge umgerechnet. So entstanden die Werte der Spalte (4). In der Aufstellung dieses Verteilungsschlüssels weichen die Angaben verschiedener Literaturquellen zum Teil nicht unerheblich voneinander ab. Die obengenannten Werte sind jedoch Mittelwerte und kommen daher den tatsächlichen Verhältnissen am nächsten.

<sup>1)</sup> G. Klingenberg: Die Wirtschaftlichkeit von Nebenproduktenanlagen für Kraftwerke, Zeitschr. des Ver. deutsch. Ing., Bd. 62, 1918, Nr. 4, S. 43.

Um nun auf die Mengen der in den einzelnen Industrien anfallenden Feuerungsrückstände schließen zu können, sind folgende Fragen zu beantworten: In welchen Mengen fallen die Rückstände an, und mit welchem Brennstoffgehalt oder welchem Gehalt an Verbrennlichem ist bei den einzelnen Feuerungen zu rechnen. Früher angestellte Betrachtungen haben gezeigt, daß allgemeine Angaben über diese Werte schwer festzulegen sind (s. S. 62). Um für die angestellte Untersuchung den tatsächlichen Verhältnissen möglichst nahezukommen, wurden den Annahmen Betriebserfahrungen normaler Verhältnisse zugrunde gelegt. Da diese nicht für alle Fälle in gewünschtem Umfange zu beschaffen waren, wurde teilweise eine Korrektur auf Grund neuer und maßgebender Quellenangaben herbeigeführt.

Der Schlackenanteil wird bei allgemeinen Betrachtungen von de Grahl<sup>1)</sup> auf 20% geschätzt, von Aschof<sup>2)</sup> auf 15÷20%. Der Gehalt der Feuerungsrückstände an Verbrennlichem wird im allgemeinen nach Ebel bei 15÷25% einer guten Feuerung, bei 25÷50% einer mittelmäßigen bis schlechten Feuerung zugeordnet. De Grahl<sup>1)</sup> schätzt den Gehalt an Verbrennlichem im Durchschnitt auf 20÷40%. Derartige allgemeine Angaben würden bei der angestellten Untersuchung zu unrichtigen Ergebnissen führen. Um die Wirklichkeit zu erfassen, ist unbedingt eine Unterscheidung der verschiedenen Qualitäten von Feuerungsrückständen nach ihrem Ursprung erforderlich.

Betrachten wir nun die einzelnen Industriezweige in der Reihenfolge des oben aufgeführten Schlüssels (Zahlentafel 14), so scheiden die Kokereien zunächst für die Schlackenseparation aus. Die Unterfeuerung der Kammeröfen erfolgt mit eigenem Gas und die Erzeugnisse der Kokereien werden zu drei Vierteln in den Hochöfen, der Rest in Gießereien verbraucht. In beiden Fällen entstehen keine Feuerungsrückstände, die im vorliegenden Sinne separationslohnend sind.

Anders liegt es bei den Gaswerken. Die Rückstände des Unterfeuerungskoks aus den Heizgasgeneratoren, und die Rückstände aus den Wassergasgeneratoren sind für eine Separation sehr geeignet. Aus diesem Grunde sind die Gaswerke den Neuerungen der Schlackenseparation sehr schnell gefolgt. Die Menge des Unterfeuerungskoks beträgt bei den Brennstoffverhältnissen der letzten Jahre 12÷15%, auf den Einsatz bezogen, das sind 0,73÷0,91% des Gesamtsteinkohlenverbrauches. Für die Bestimmung des Schlackenanteiles und des Gehaltes der Rückstände an Verbrennlichem werden nachstehende von Prof. Dr. K. Bunte freundlichst überlassenen Betriebsergebnisse verschiedener Anlagen benutzt (Zahlentafel 15).

<sup>1)</sup> Dipl. Ing. G. de Grahl: Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe, 2. Auflage, Verlag Oldenburg, München u. Berlin, 1921, S. 365/67.

<sup>2)</sup> Prof. Dr. K. Aschof: Die Wiedergewinnung von Kohle und Koks aus Brennstoffrückständen, Stahl und Eisen, 42. Jahrgang, 1922, Nr. 7, S. 258.

Zahlentafel 15. Untersuchungen von Generatorrückständen aus Gaswerken.

Jahr	Ort oder Bezirk	Feuerungssystem	Ursprünglich verfeuerter Brennstoff			Angefallene Rückstände					
			Ursprung und Art	Heizwert $H_u$ WE/kg	Aschen- gehalt %	Menge bezogen auf die ver- feuerte Brenn- stoffmenge (Rückstände unausgelesen) %	Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem, bezogen auf die Menge der Rückstände (Rückstände ausgelesen) %	Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem, bezogen auf $H_u$ den Heizwert den Rückstände unausgelesen) %	(7)	(8)	(9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)		
1922	Heidelberg	Voll-Generator mit Stellrost	Koks (Ursprung unbekannt)	—	14,7	31,3	36,9	42,9	—		
1923	Ulm	Voll-Generator mit Treppenrost	Verkokte Nuß- kohle „Fürstenstein“	—	ca 13,0	18,5	21,0	49,0	—		
1922	Eppendorf	Halb- Generator	Verkokte „Zwickau- Bückenberg“	—	16,6	24,2	17,2	21,4	—		
1923	Frankfurt a. M.	Zentral- Generator mit Drehrost	Koks (Ursprung unbekannt)	—	19,0	24,8	9,7	33,0	—		
			Im Mittel	—	—	24,7	21,2	36,6	—		

Einige Werte der untersuchten Proben wurden an den Rückständen nur in ausgelesenem Zustand ermittelt. Hierdurch waren gewisse Abweichungen schlecht zu vermeiden.

Die Werte für den Schlackenfall und der Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem liegen häufig noch wesentlich höher. So wurde in einem Fall bei nachlässigem Betrieb bis zu 75% Verbrenlichem in den Rückständen, in einem anderen Fall ein Schlackenfall über 40% festgestellt, während für Vorkriegszeiten ein Brennstoffgehalt von 6÷7% bei Einzelgeneratoren mit Handentschlackung als normal galt<sup>1)</sup>. Unter Berücksichtigung dieser nicht selten auftretenden Höchstwerte sei in der angestellten Berechnung ein mittlerer Schlackenfall von 20% und ein mittlerer Gehalt an Verbrenlichem von 40% angenommen. Um keinesfalls eine Überschätzung herbeizuführen, sind die Werte vorsichtig gewählt.

Auf Grund dieser Zahlen ergibt sich folgender Betrag für die Menge an Verbrenlichem in den gesamten Feuerungsrückständen der Gaswerke, bezogen auf den Steinkohlenverbrauch Deutschlands.

$$0,061 \cdot 0,12 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 0,058\% \quad (1)$$

Der restliche Teil der in den Gaswerken verwandten Steinkohlen wird in verkoktem Zustand ca 3,5% des Steinkohlengesamtverbrauches betragen. Er findet hauptsächlich in Zentral- und Sammelheizungen größerer Städte Verwendung. Es ist versucht worden, auch deren Rückstände für die Separation zu erfassen. Für die Aufbereitung der in Berlin und Umgebung anfallenden Schlackenmengen von Zentralheizungen sollte bereits eine Gesellschaft ins Leben gerufen werden. Der Ausbeutung stehen jedoch Schwierigkeiten durch die Transportkosten entgegen. Ihre Ausnutzung wird aus diesen Gründen selten in Betracht kommen. Die Berücksichtigung dieser Rückstände erfolgt weiter unten zusammenfassend mit einigen andern Verwendungsgebieten, deren Rückstände ebenfalls nur für eine teilweise Separation in Betracht kommen.

Die Elektrizitätswerke haben einen relativ geringen Anteil an dem Steinkohlenverbrauch. Die Ursache ist darin zu suchen, daß zumindest die neueren großen elektrischen Zentralen in der Nähe von Braunkohlengruben oder Wasserkraften errichtet wurden, um billige Kraftquellen auszunutzen. Einen wesentlich größeren Steinkohlenverbrauch haben die Industriefeuerungen. Diese sind die Hauptabnehmer der Steinkohlenerzeugung. In den Elektrizitätswerken wie in den Industriefeuerungen finden sich Feuerungssysteme aller Bauarten und Brennstoffe aller Qualitäten. Die beiden Verbraucher werden

<sup>1)</sup> Prof. Dipl. Ing. Dr. K. Bunte: Gewinnung und Verwertung der Verbrennungsrückstände von Gaswerken, Bericht der Hauptstelle für Wirtschaft, Jahresversammlung 1921, Verlag des Ver. deutsch. Ing., 1922, S. 46.



daher in der Betrachtung zusammengefaßt. In nachstehender Aufstellung wurde versucht, die hauptsächlichsten Feuerungsbauarten und Brennstoffe zu erfassen (Zahlentafel 16).

Die erhaltenen Mittelwerte sind, da die Untersuchungen sämtlich aus der Vorkriegszeit stammen, für die heutigen Brennstoffverhältnisse viel zu niedrig. Nach Ermittlungen von H. Meyer in verschiedenen oberschlesischen Hütten, die in den letzten Jahren unternommen wurden, zeigte sich bei Verwendung von oberschlesischer Steinkohle in Dampfkesselfeuerungen ein Schlackenanstieg von 25–45% der ursprünglich verfeuerten Brennstoffmenge<sup>1)</sup>. Von der Wärmestelle der deutschen Glasindustrie, Frankfurt a. M., wurde ein Schlackenanstieg von 18% festgestellt<sup>2)</sup>. Dieser Wert trifft für die vorliegenden Verhältnisse allerdings nicht vollkommen zu, da bei der Untersuchung Generatorrückstände einbegriffen sind, und außerdem teilweise Braunkohlen verfeuert wurden. Der wirkliche Schlackenanstieg, auf Steinkohlenfeuerungen bezogen, wird daher auch in diesem Industriezweig höher liegen.

Unter Berücksichtigung dieser Erfahrungswerte neueren Datums sei mit einem Schlackenanstieg von 20% und einem Gehalt an Verbrenlichem von 35% gerechnet. Der Schlackenanstieg scheint vielleicht mit 20% etwas hoch angenommen und wird tatsächlich von modern eingerichteten Elektrizitätswerken oft unterschritten. Andererseits weisen viele Industriefeuerungen, wie bereits die oben angezogene Quelle für die oberschlesischen Hüttenwerke besagt, einen höheren Schlackenanstieg auf. Auch sind die Elektrizitätswerke an dem nachstehend errechneten Anteil nur zu 10% beteiligt. Der angenommene Mittelwert ist daher sicherlich nicht zu hoch angesetzt.

$$(0,033 + 0,278) \cdot 0,2 \cdot 0,35 = 2,18\% \quad (2)$$

Eine besondere Stellung für die Frage der Schlackenseparation nehmen die Rückstände der Eisenbahnen ein, wie von der Privatindustrie und auch den Reichsbahnbehörden bald erkannt wurde. Der Schlackenanstieg sowie der Brennstoffgehalt der Rückstände aus Lokomotivkesseln haben in den letzten Jahren gewisse Schwankungen gezeigt, da sich der Brennstoffmangel auch hier bemerkbar machte. So gelangte auf den deutschen Eisenbahnen seinerzeit ein Brennstoffgemisch zur Verwendung, das sich aus 60% Steinkohlen, 30% Koks und 10% Steinkohlenbriketts zusammensetzte. Als die Reichsbahn zur Verwendung von englischen Steinkohlen überging, rief dieser Brennstoffwechsel verschiedentlich eine Verringerung des Brennstoffgehaltes der Rück-

<sup>1)</sup> Dipl. Ing. H. Meyer: Wärmewirtschaft der oberschlesischen Eisenwerke, Dissertation (T. H., Breslau), 1921.

<sup>2)</sup> Wärmetechnische Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie, Feuerungsrückstände in Glashütten, Selbstverlag, Frankfurt a. M., 1921.

Zahlentafel 16. Untersuchungen von Feuerungsrückständen aus Industriefeuerungen<sup>1)</sup>.

Jahr	Ort oder Bezirk	Feuerungssystem	Ursprünglich verfeuert Brennstoff		Angefallene Rückstände			bezogen auf den Heizwert	
			Ursprung und Art	Heizwert <i>Hu</i> WE/kg	Aschen- gehalt %	Menge bezogen auf die ver- feuerte Brenn- stoffmenge (Rückstände unausgelesen) %	Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem, bezogen auf die Menge der Rückstände (Rückstände ausgelesen) %		(Rückstände unausgelesen) %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1904	—	Zwei-Flamm- rohrkessel	Engl. Stück- kohle „West- heartly/M.“	6870	—	8,25	—	38,0	3,70
1904	—	Zwei-Flamm- rohrkessel	Westf. Fettfußkohle „Holland“	7624	—	7,80	—	30,80	2,55
1905	—	Wasserrohr- kessel mit Schrägrost	Engl. Förder- kohle „New Felton“	7673	—	7,88	—	29,30	2,40
—	—	Schiffskessel	Gaskoks	6794	—	11,10	—	20,00	2,20
1906	—	Wasserrohr- kessel mit Kettenrost	Ruhrkohle Nuß III	7790	—	2,30	—	54,25	1,30
—	—	Wasserrohr- kessel mit Kettenrost	Oberschles. Staubkohle	6805	—	11,55	—	13,40	1,80
1909	—	Wasserrohr- kessel mit Kettenrost	Engl. Nußkohle „Scotch washed nuts and beams“	6042	—	9,70	—	22,20	2,90
Im Mittel				—	—	8,40	—	29,70	2,40

<sup>1)</sup> Die Werte sind Kesselversuchen aus dem Buch: F. Haier: Dampfkesselfeuerungen zur Erzielung einer möglichst rauchfreien Verbrennung, 2. Auflage, Julius Springer, Berlin, 1910, entnommen.

stände hervor. Doch auch in den einzelnen Bezirken untereinander wurden Verschiedenheiten festgestellt. So ergaben z. B. sächsische Bezirke, in denen Brennstoffe böhmischen Ursprunges verfeuert wurden, durchgehend eine besonders gute Brennstoffausbeute.

In der nachstehenden Tabelle werden einige Betriebsergebnisse zusammengefaßt, die Mittelwerte aus mehrfachen Untersuchungen darstellen (Zahlentafel 17).

Nach Mitteilungen über neuere Untersuchungen, die von der Reichsbahn durchgeführt wurden, ist im Durchschnitt mit einem Verlust in den Rückständen von 12%, bezogen auf die zugeführte Wärmemenge, zu rechnen<sup>1)</sup>. Einem Gehalt an Verbrenlichem von 50% würde demnach ein Schlackenanstfall von 24% entsprechen. Bei der Annahme eines mittleren Schlackenanstalles von 20% und eines Gehalts an Verbrenlichem von 47,5% dürften also die Verhältnisse keinesfalls überschätzt sein. Es ergibt sich folgender Anteil:

$$0,107 \cdot 0,2 \cdot 0,475 = 1,02\% \quad (3)$$

Die in der Schifffahrt verbrauchten Brennstoffe scheiden für eine Separation aus. Eher kommt eine Separation von Feuerungsrückständen der letzten drei Verbraucher des Hausbrandes, der Brikettierung und der Landwirtschaft in Betracht. Wie bereits erwähnt, wurde eine Separation der Rückstände von Zentralheizungen ernsthaft erwogen (s. S. 124). Die Erzeugnisse der Brikettfabriken finden bei der Eisenbahn und einigen Industriefeuerungen Verwendung. Ihre Separation ist daher nicht ausgeschlossen. Die Aufbereitung von in der Landwirtschaft verbrauchten Brennstoffen ist zumindest bei den Großunternehmen denkbar. Diese werden außerdem die Hauptverbraucher darstellen. Da die angestellte Untersuchung alle realisierbaren Möglichkeiten erfassen soll, unbeschadet der Tatsache, ob diese heute bereits ausgenutzt werden, so sollen die letztgenannten Verbraucher zusammen mit dem oben vernachlässigten Gaskoksausbringen für die Separation pauschal mit einem Teilbetrag von 20% in Rechnung gezogen werden. Der Schlackenanstfall dieser Anlagen sei vorsichtig mit 15%, der Gehalt an Verbrenlichem mit 25% eingesetzt. Es ergibt sich dann:

$$(0,035 + 0,105 + 0,04 + 0,046) \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 0,25 = 0,17\% \quad (4)$$

Bei Addition der Gleichungen (1) bis (4) ergibt sich in den separationslohnenden Rückständen sämtlicher Verbraucher zusammen eine Menge an Verbrenlichem, die rund 3,43% des gesamten Steinkohlenverbrauches ausmacht. Diese Zahl berücksichtigt den Gehalt an Ver-

<sup>1)</sup> Wagner: Die Verwertung der Abwärme bei Dampflokomotiven, Bericht der Hauptstelle für Wärmewirtschaft, Jahresversammlung 1923, Verlag des Ver. deutsch. Ing., Berlin, 1923.

Zahlentafel 17. Untersuchungen von Feuerungsrückständen der Reichsbahn.

Jahr	Ort oder Bezirk	Feuerungssystem	Ursprünglich verfeuerter Brennstoff			Angefallene Rückstände				
			Ursprung und Art	Heizwert <i>H<sub>u</sub></i> WE/kg	Aschen- gehalt %	Menge bezogen auf die ver- feuerte Brenn- stoffmenge %	Gehalt der Rückstände an Verbrenlichem, bezogen auf die Menge der Rückstände (Rückstände ausgelesen) %	(Rückstände (Rückstände unausgelesen) %	bezogen auf den Heizwert <i>H<sub>u</sub></i> %	(10)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
1921	Halle	Lokomotiv- kessel	30% Koks, 50-60% Flammkohle, 10-20% Steinkohlen- briketts	6200 bis 6500	--	15-20	30-45	40-60	ca 12	
1923	Berlin	Lokomotiv- kessel	80-90% Flammkohle (engl.), 10-20% Steinkohlen- briketts	6500 bis 6800	--	15-20	25-35	40-50	ca 12	
			Im Mittel	--	--	17,5	33,0	47,5	12,0	

brennlichem, d. h. das Verbrennliche in dem Grus ist miteinbegriffen. Da dieser in den meisten Fällen für eine praktische Verwendung fortfällt, so soll ein entsprechender Betrag von dem obengenannten Wert in Abzug gebracht werden, um die Rechnung keinesfalls zu günstig darzustellen. Wie Zahlentafel 3 wiedergibt, zeigt der Grusgehalt der Rückstände je nach dem Ursprung abweichende Anteile. Er kann jedoch im Mittel mit etwa 20÷25% angenommen werden. Bei dieser Rechnungsart wird die Annahme gemacht, daß die Körnungen über 5 mm und der Grus gleichmäßig mit verbrennlichen Teilen durchsetzt sind. Das trifft in vielen Fällen nicht zu. Im Mittel wird die Annahme jedoch Geltung haben. Außerdem geht ein Teil der verbrennlichen Bestandteile in den nicht separationslohnenden Halbschlacken verloren, deren Gehalt im Mittel etwa mit 5÷10% angesetzt werden darf. Im ganzen, für Grus und Halbschlacken, sei daher ein Abzug von 30% in Anrechnung gebracht. Die restliche Menge an Verbrennlichem befindet sich in dem Separationskoks. Sie wird jedoch nicht vollkommen zurückgewonnen, sondern zu einem Teilbetrag, der durch den Separationsgrad gekennzeichnet ist. Unter Zugrundelegung eines mittleren Separationsgrades von 80% für die Aufbereitung der gesamten Rückstände, ergibt sich nachstehende durch Separation aus den Brennstoffrückständen gewinnbare Menge an Verbrennlichem, bezogen auf den Gesamtsteinkohlenverbrauch:

$$0,0343 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,0192 = 1,92\%$$

Der errechnete Wert von 1,92% stellt wohlgerneht nicht die Menge an gewinnbarem Separationskoks dar, sondern nur den fixen Kohlenstoff in der Summe aller Brennstoffausbringen.

Da der Gewinn als Erhöhung der Steinkohlenproduktion ausgedrückt werden soll, so muß diese rückgewonnene Menge an Verbrennlichem, entsprechend einem Heizwert von 8100 WE/kg, auf Steinkohle umgerechnet werden. Diese sei im Mittel zu einem Heizwert von 6500 WE/kg angenommen. Der Rechnungsweise liegt die nicht ohne weiteres, doch überschlägig zutreffende Annahme zugrunde, daß die Heizkraft des Brennstoffes sich proportional mit dem Heizwert ändert. Nach Dr. Aufhäuser ist der Heizwert des Verbrennlichen in den Rückständen wegen seiner schwer brennbaren Form mit 8100 WE/kg zu hoch bewertet. Da der Separationskoks in Wirklichkeit noch geringe flüchtige Bestandteile enthält (s. S. 48), die bei dieser Rechnung völlig vernachlässigt werden, so dürften sich diese beiden Fehler etwa aufheben.

Die Umrechnung ergibt:

$$0,0192 \cdot \frac{8100}{6500} = 0,0192 \cdot 1,25 = 0,024 = 2,40\%$$

Bei einem gesamten Steinkohlenverbrauch Deutschlands von 116800000 t für das Jahr 1924 (s. S. 120) ist also durch die Schlacken-separation jährlich eine Brennstoffmenge — bei einem Aschengehalt von 18% beläuft sich die Menge an rückgewonnenem Separationskoks auf

$$\frac{0,024 \cdot 116,8 \cdot 10^6}{0,82} = 3420000 \text{ t}$$

— zu erzeugen, mit der 2740000 t Steinkohle ersetzt werden können. Der Hauptanteil dieser gewinnbaren Brennstoffmenge zu 68% entfällt auf die Industriefeuerungen, danach kommt die Eisenbahn mit 31%. Mit anderen Worten gesagt, ist durch die Schlackenseparation eine Steigerung der deutschen Steinkohlenerzeugung um ca 2,4% möglich; hierbei wird vorausgesetzt, daß sich Ein- und Ausfuhr etwa die Wage halten.

Wird die Schlackenseparation als eine Energierückgewinnung im Anschluß an den vorher erfolgten Verbrennungsvorgang betrachtet, so muß der Wirkungsgrad der Wiederverfeuerung in Rechnung gezogen werden. Dieser Wirkungsgrad ist nach Vorangegangenen mit 65% im Mittel für eine Verfeuerung auf dem Rost oder für eine Vergasung im Generator nicht zu hoch eingesetzt. Bei den genannten Verwendungsarten (a u. b, s. Zahlentafel 18) wird der Grus mit 30% in Abzug gebracht, und ein Separationsgrad von 80% zugrunde gelegt. Bei anschließender Brikettierung (c) wird ein Separationsgrad von 70%, und ein Wirkungsgrad der Wiederverfeuerung von ebenfalls 65% angenommen unter der Annahme, daß die gesamten Rückstände einschließlich des Gruses verwandt werden. Zum Vergleich werden noch die Zahlen angefügt, die sich bei Verwendung der gesamten Feuerungsrückstände in dem Didierschen Regenerativschachtofen (d) ergeben würden. Der Gesamtwirkungsgrad der Verfeuerung ist hierbei überschlägig mit 50% angenommen; da die Separation fortfällt, ist der Separationsgrad mit 100% eingesetzt. Die Bezugsgröße in der Wärmebilanz der ursprünglich erfolgten Verbrennung ist die in 1 kg der verfeuerten Steinkohle enthaltene Wärmemenge. Der Heizwert dieser Steinkohle wird im Mittel wieder mit 6500 WE/kg angenommen. Es ist also als Umrechnungsfaktor das Verhältnis der Heizwerte von fixem Kohlenstoff und mittlerer Steinkohle  $\frac{8100}{6500} = 1,25$  zu

berücksichtigen. Für die vier Verwendungsarten: Verbrennung, Vergasung, Brikettierung und Ausbrennung ergeben sich dann folgende Werte, um die sich der Wirkungsgrad der Gesamtwärmewirtschaft verbessert (Zahlentafel 18).

Den einzelnen Verbraucher, der seine Feuerungsrückstände separieren und wieder verfeuern will, wird jedoch vielmehr der Wert interessieren, um den er den Wirkungsgrad seiner Anlage verbessern, d. h. welche Kohlenersparnis er erzielen kann (Zahlentafel 19). Für die

Zahlentafel 18.

Verbesserung des Wirkungsgrades der Gesamtwärmewirtschaft bei verschiedenen Verwendungszwecken des Separationskoks.

Verwendungsart	$b_0$ %	$S$ %	$\eta$ %	$c$	$v_0$ %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
a) Verbrennung . . . . .	0,7	0,0343	0,8	0,65	1,25 = 1,56
b) Vergasung . . . . .	0,7	0,0343	0,8	0,65	1,25 = 1,56
c) Brikettierung . . . . .		0,0343	0,7	0,65	1,25 = 1,95
d) Ausbrennung im Didierschen Rege- nerativschachtofen . . . . .		0,0343	1,0	0,50	1,25 = 2,14

wobei

$b_0$  die rückgewinnbare Gesamtmenge an Verbrenlichem, bezogen auf den Gesamtsteinkohlenverbrauch in %,

$S$  den Separationsgrad in %,

$\eta$  den Wirkungsgrad der Wiederverfeuerung in %,

$c$  den Umrechnungsfaktor,

$v_0$  die Verbesserung des Wirkungsgrades der Gesamtwärmewirtschaft in % bezeichnet, und

$$100 \cdot b_0 \cdot S \cdot \eta \cdot c = v_0$$

ist.

Errechnung dieser Werte sind die in den einzelnen Industrien rückgewinnbaren Mengen an Verbrenlichem, Gleichung (1) bis (4), auf den Verbrauchsanteil zu beziehen, dessen Rückstände zur Separation herangezogen werden, an Stelle auf den Gesamtsteinkohlenverbrauch. Die übrigen Annahmen für die Errechnung der Gleichungen (1) bis (4) und der Zahlentafel 18, bezüglich der in Abzug zu bringenden Grusanteile bei Verwendungsart a und b, der Separationsgrade ( $S$ ) und der Wirkungsgrade der Wiederverfeuerung ( $\eta$ ), behalten ihre Geltung.

Zur Ermittlung der Kohlenersparnis ist noch die Kenntnis des Wirkungsgrades der ursprünglich erfolgten Verfeuerung ( $\eta_0$ ) erforderlich. Dieser sei im Mittel mit 70% angenommen. Die Kohlenersparnis ist dann durch folgende Abhängigkeit gegeben:

$$e = \left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_0 + v}\right) \cdot 100$$

In Zahlentafel 19 bezeichnen:

$b$  die rückgewinnbare Menge an Verbrenlichem, bezogen auf die ursprünglich verfeuerte Brennstoffmenge in %,

$S$  den Separationsgrad in %,

$\eta$  den Wirkungsgrad der Wiederverfeuerung in %,

$c$  den Umrechnungsfaktor,

$v$  die Verbesserung des Wirkungsgrades der ursprünglichen Verfeuerung in %,

$e$  die Kohlenersparnis, bezogen auf die ursprünglich verfeuerte Brennstoffmenge (Steinkohle von 6500 WE/kg) in %, wobei

$$100 \cdot b \cdot S \cdot \eta \cdot c = v$$

ist.

Zahlentafel 19.

Verbesserung des Wirkungsgrades von Feuerungen verschiedener Verbraucher bei anschließender Separation der Rückstände und Wiederverwendung.

Verbraucher und Verwendungsart	$b$ %	$S$ %	$\eta$ %	$c$	$v$ %	$e$ %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<b>1. Gaswerke</b>						
a) u. b) Verbrennung und Vergasung	0,7 · 0,2 · 0,4	· 0,8	· 0,65	· 1,25 = 3,65		4,6
c) Brikettierung	0,2 · 0,4	· 0,7	· 0,65	· 1,25 = 4,56		6,1
d) Ausbrennung (Didier) . . .	0,2 · 0,4	· 1,0	· 0,50	· 1,25 = 5,00		6,7
<b>2. Elektrizitätswerke und Industrie</b>						
a) u. b) Verbrennung und Vergasung	0,7 · 0,2 · 0,35	· 0,8	· 0,65	· 1,25 = 3,18		4,4
c) Brikettierung	0,2 · 0,35	· 0,7	· 0,65	· 1,25 = 3,98		5,4
d) Ausbrennung (Didier) . . .	0,2 · 0,35	· 1,0	· 0,50	· 1,25 = 4,38		5,9
<b>3. Eisenbahn</b>						
a) u. b) Verbrennung und Vergasung	0,7 · 0,2 · 0,475	· 0,8	· 0,65	· 1,25 = 4,33		5,5
c) Brikettierung	0,2 · 0,475	· 0,7	· 0,65	· 1,25 = 5,40		7,2
d) Ausbrennung (Didier) . . .	0,2 · 0,475	· 1,0	· 0,50	· 1,25 = 5,94		7,9
<b>4. Hausbrand, Brikettierung, Landwirtschaft</b>						
a) u. b) Verbrennung und Vergasung	0,7 · 0,15 · 0,25	· 0,8	· 0,65	· 1,25 = 1,71		2,4
c) Brikettierung	0,15 · 0,25	· 0,7	· 0,65	· 1,25 = 2,13		2,6
d) Ausbrennung (Didier) . . .	0,15 · 0,25	· 1,0	· 0,50	· 1,25 = 2,35		3,4

Hiermit ist die angestellte Untersuchung abgeschlossen. Die erhaltenen Werte liegen natürlich unter den Zahlen, die als Ergebnisse einfacher Rechenexempel aus verkaufspolitischen Absichten in den Tageszeitungen und Fachzeitschriften publiziert wurden. Im Gegensatz dazu wurden für die vorliegende Betrachtung positive Erfahrungswerte zugrunde gelegt. Die Werte gestatten daher begründete Folgerungen. Die Steigerung der Kohlenförderung um nahezu 2,5% stellt eine Erwerbsquelle dar, deren Ausbeutung irgendwann heute oder morgen in



Angriff genommen werden muß. Auf der anderen Seite wird bei zunehmender Sparsamkeit in der Wärmewirtschaft die Verbesserung einer Wärmebilanz um 3–4% von jedem verantwortungsbewußten Wärmewirt einmal in Erwägung gezogen werden müssen. Wieweit die heutigen Wirtschaftsverhältnisse diese Ausbeutung zulassen, ist eine andere Frage. Sie kann nur für den einzelnen Fall entschieden werden. Von einer ganzen Reihe von Unternehmern wird die Separation jedenfalls wirtschaftlich betrieben. Bei einer Kohlenersparnis von ungefähr 5% ist diese Tatsache durchaus verständlich.

Die vorliegenden Betrachtungen gewinnen an gesteigerter Bedeutung angesichts in der Zukunft liegender Verhältnisse, die einem mehr und mehr schwindenden Reichtum an Kohlenvorkommen gegenüberstehen.

## Schlußbetrachtung.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß die Aufbereitung der Feuerungsrückstände in bestimmten Fällen wirtschaftlich betrieben werden kann. Eine Reihe von Verbrauchern ist in der Lage, durch Schlacken-separation ihren Kohlenverbrauch um ca 5% einzuschränken und ihren wärmetechnischen Wirkungsgrad um ca 3,5% zu verbessern. Die Verwertung der Abfallstoffe (Grus, Schlacken) ist in der Entwicklung begriffen, doch wird sie in einzelnen Fällen auch heute schon wirtschaftlich durchgeführt unter entsprechender Steigerung der obengenannten Gewinne für Kohlenersparnis und Wirkungsgrad auf ca 7% und 5%.

Die Gesamtwärmewirtschaft des Landes kann die Ausnutzung der Kohle durch Schlackenseparation um ca 1,6% steigern. Eine scheinbar verschwindende Größe, doch angesichts der am Anfang dieser Arbeit gestellten Forderungen ein Beitrag, der in planmäßigem Fortschritt einer ökonomischen Verwertung dieses kostbarsten Urproduktes den Weg bahnen hilft.

Sicherlich ist heute ein großer Teil der Separationsanlagen, die innerhalb der letzten Jahre entstanden, stillgesetzt worden. Die Folgerung, daß die Schlackenseparation deshalb nur eine Konjunkturer-scheinung sei, ist dadurch noch nicht gerechtfertigt. Der Nachweis, daß bestimmte Verbrauchergruppen Rückstände auswerfen, deren Brenn-stoffgehalt oberhalb der Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt, widerlegt diese Behauptung. Richtig ist vielmehr, daß während der Brennstoffknapp-heit viele Verbraucher aus einer Zwangslage heraus sich entschlossen, ihre Feuerungsrückstände aufzubereiten, ohne daß die normalen Ver-hältnisse eine derartige Einrichtung gerechtfertigt hätten. Die Ab-hängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer Schlackenseparation von der Festigkeit des Kohlenmarktes bleibt dabei vollkommen anerkannt.

An dieser Stelle ist noch etwas über die in der Schlackenseparations-industrie gebräuchliche Unternehmungsform zu sagen. Wenn ein größeres Unternehmen, ein Hüttenwerk, ein industrielles Werk, ein Gas-werk dazu übergeht, seine Feuerungsrückstände zu separieren, so wird diese Separationsanlage gewöhnlich in eigene Regie genommen und dem allgemeinen Betrieb zugeteilt. Anders bei den Eisenbahnen. Die Behörden haben gezögert, in ein Risiko einzutreten, wie es mit der Durchführung einer derartigen neuen Idee verbunden ist, andererseits wollten sie sich einen Gewinn nicht aus den Händen gehen lassen. Da die Eisenbahnrückstände infolge der Koksverfeuerung in den Jahren 1920/21, der Gründerperiode der Schlackenseparation, einen beson-

ders hohen Brennstoffgehalt aufwiesen, so bildeten sie für interessierte Unternehmer den größten Anziehungspunkt. Die Eisenbahnen hatten ein vitales Interesse daran, die Fortschaffungskosten für ihre Rückstände zu verringern, der Unternehmer, sich eine unabhängige Brennstoffquelle zu schaffen. So wurde die Gründung der Separationsanlagen zur Aufbereitung von Eisenbahnrückständen auf gemischtwirtschaftlicher Basis, meist in Form der G. m. b. H., üblich. Schnell entschlossenen Bewerbern gelang es auch, Privatverträge mit der Reichsbahn abzuschließen.

Bei den gemischtwirtschaftlichen Gründungen stellt die Reichsbahn gewöhnlich das Baugelände zur Verfügung und ist zu einem kleinen Teil auch an den Bareinlagen beteiligt. Der Geldgeber ist meist der Unternehmer. Nach Ablauf einer bestimmten Frist steht der Reichsbahn ein Rückkaufsrecht in Form einer Priorität zu. Der Preis für die Feuerungsrückstände wurde in den einzelnen Bezirken verschieden festgelegt. Eine Fixierung nach dem Brennstoffgehalt oder dem Gehalt an Verbrenlichem, wie sie einzig vernünftig wäre, wurde jedoch, soweit bekannt, nicht vorgenommen. Teilweise ist die Eisenbahn verpflichtet, frei Anlage zu liefern, teils darf sie Frachten in Rechnung stellen. Überhaupt wurden diese Verträge je nach dem Zeitpunkt der Tötigung und nach dem Eisenbahnbezirk zu sehr verschiedenen Bedingungen für beide Kontrahenten eingegangen.

Die Unternehmer haben sich ganze Kontingente gesichert und umspannen nahezu sämtliche Bezirke mit einem Netz von Anlagen. In gleichem Tempo hat die Schlackenseparation in den Gaswerken Eingang gefunden, und auch die industriellen Werke bekunden ein dauernd wachsendes Interesse. Allein das Grusonwerk hat 160 Anlagen in Betrieb gesetzt, die allerdings nicht mehr sämtlich laufen. Auch über die Grenzen Deutschlands hinweg greift die Bewegung um sich. Deutsche Unternehmer sind an der Erfassung der holländischen und österreichischen Eisenbahnrückstände beteiligt, die teilweise in Angriff genommen wurde. Projekte schweben nach Japan, China, Italien, Frankreich, Belgien, Australien. Teilweise sind in diesen Ländern bereits Anlagen in Betrieb genommen. Selbst England, das Land der Kohle, erwägt die Aufbereitung von Feuerungsrückständen. Ein großes englisches Gaswerk hat in einer Schlackenhalde von 700000 t über 50 % Verbrenliches festgestellt und beabsichtigt, diese trockenmagnetisch zurückzugewinnen.

So ist bei der Schlackenseparation von einer allgemeinen Bestrebung zu sprechen, die von der Technik des ganzen Erdballes einer näheren Betrachtung unterzogen werden muß. Den Ergebnissen analoger Untersuchungen für die Wärmewirtschaft anderer Länder ist mit Interesse entgegenzusehen.

---