

## Kapitel VI.

### Die Ausnutzung der Kalksteine und der Brennschieferasche.

#### Kalk aus Kalksteinen.

Das Brennen des Doppelkalks ist im Laufe mehrerer Jahre durchgeführt worden. Seiner Zusammensetzung nach muss dieser Kalkstein einen Kalk liefern, welcher in seinen Eigenschaften zwischen dem Luft- und hydraulischen Kalk liegt, da der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt in ihm 89% beträgt. Das Brennen geschah in primitiven Feldöfen. Die Öfen wurden von oben mittels Wagonetts beschickt. Die Beheizung und Zufuhr des Brennschiefers geschah von unten. Ein Ofen fasste 30—40 Tonnen Kalkstein. Das Brennen wurde so lange fortgesetzt, bis das Feuer durch die obere Kalkschicht durchzudringen begann, wozu man bis zu einer Woche heizen musste. Es wurde ein ungleichmässiger Kalk gewonnen: neben gut gebrannten fanden sich auch schwach durchglühte Stücke. Der frisch gebrannte Kalk löschte sich befriedigend, während sich beim gestandenen Kalk ein Anwachsen nichtzerfallender Körner und Stücke bemerkbar machte. Mit diesem Kalk ist eine ganze Reihe von Bauten errichtet worden. Für die Stuckarbeiten bildeten die ungelöschten Körner ein Hindernis, da sie sich später löschten und Blasen hervorriefen. Längeres Halten unter Wasser, zwecks besserer Löschung, hatte nicht den gewünschten Erfolg, da ein Teil des Kalkes hydraulische Eigenschaften hatte und unter Wasser erhärtete. Aus der langen Praxis folgte, dass man zur Erreichung eines stets gleichen, guten Kalkes diesen künstlich löschen und sieben, und die nichtgelöschten Körner getrennt verarbeiten müsse. In den Handel sollte nur der gelöschte Kalk gebracht werden. Die Methode blieb jedoch unverwirklicht.

Es wurden auch Versuche gemacht, den bituminösen Kalkstein zu brennen, doch erfolglos. Obwohl der obere bituminöse Kalkstein D/E, seinen organischen Teil ausgenommen, noch reicher an  $\text{CaCO}_3$  ist als der Doppelkalk, so ist es doch unmöglich, ihn in Öfen zu brennen. Der Kalkstein „schoss“: er ergab ein

ununterbrochenes Getöse kleiner Explosionen. Aus Furcht für die Fütterung der Ofen wurde das Brennen unterbrochen. Es kann sein, dass ein stärker zerkleinerter Kalkstein sich ohne Schwierigkeiten brennen lassen würde, aber in den einfachen, niedrigen Ofen war kein genügender Zug vorhanden um den Widerstand, den eine Beschickung mit kleinen Stücken der Luft bietet, zu überwinden. Da in Estland genügende Mengen guten Luftkalkes aus Spezialbetrieben vorhanden sind, so wurde von einem Brennen der Kalksteine des Brennschieferprofles abgesehen. Als Material zum Brennen diente, wie gesagt, der Doppelkalk. Nach den Analysen von Wittlich (Seite 15) enthält er:

	%	
CaO . . . . .	49,6	} 89% CaCO <sub>3</sub>
CO <sub>2</sub> . . . . .	39,4	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,5	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	7,2	
MgO, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,3	
	100,0	

Dieser Analyse entsprechend muss der gebrannte Kalk folgende Zusammensetzung haben:

Ungelöschter Kalk:		Gelöschter Kalk:	
	%		%
CaO . . . . .	81,9	CaO . . . . .	64,8
SiO <sub>2</sub> . . . . .	11,9	H <sub>2</sub> O . . . . .	20,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,1	SiO <sub>2</sub> . . . . .	9,4
MgO, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,3
	16,0	MgO, K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,7
	100,0		100,0

Der durch Brennen erhaltene Kalk entsprach vollkommen diesen Erwartungen. Nach dem Ausschalten von 0,8% Feuchtigkeit aus der Analyse, hatte der Kalk folgende Zusammensetzung:

Ungelöschter Kalk:		Gelöschter Kalk:	
	%		%
CaO . . . . .	80,8	CaO . . . . .	64,1
SiO <sub>2</sub> . . . . .	12,7	H <sub>2</sub> O . . . . .	20,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,2	SiO <sub>2</sub> . . . . .	10,1
Differenz . . . . .	2,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,3
	100,0	Differenz . . . . .	1,9
	100,0		100,0

Aus der Analyse geht hervor, dass dieser Kalk eine Mittelstufe zwischen dem Luft- und hydraulischen Kalk vorstellt. Dadurch werden auch die Eigenschaften des Kalkes erklärt. Frischer Kalk löscht sich schnell, gestandener schwerer — eine Erscheinung, die dem hydraulischen Kalk eigen ist. Somit ist es, als ob der aus Doppelkalk gewonnene Kalk aus zwei Teilen, einem Luft- und einem hydraulischen Kalk, bestehe. Wieviel von dem einen und dem anderen vorhanden ist, wird durch das im gelöschten Kalk anwesende Hydratwasser angezeigt. Eine Kalkprobe, welche einen Winter im Lager gestanden hatte, zeigte nach dem Löschen nur 16,3% Hydratwasser, auf Kalk ohne  $\text{CO}_2$  und Feuchtigkeit berechnet. Es mussten jedoch 21,4% enthalten sein. Hieraus berechnet sich die Menge des Luftkalks zu  $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$  des Gesamtkalkes.

Um den Unterschied in der Zusammensetzung des Luft- und hydraulischen Teiles festzustellen, wurde der frisch-gelöschte Kalk durch ein Sieb 900 gesiebt. Hindurch gingen 98% des Kalkes (A). Der Rückstand wurde zerkleinert, angefeuchtet und nach drei Tagen wieder gesiebt. Es gingen 75% hindurch (B). Der Rückstand ist (C).

	A	B	C			
	%	%	%			
Feuchtigkeit . . .	3,7	4,3	0,9	Trockener Kalk ohne Wasser u. $\text{CO}_2$ .		
$\text{CO}_2$ . . . . .	0,7	3,4	2,3			
Hydratwasser . .	15,8	15,0	5,2	A	B	C
				%	%	%
CaO . . . . .	66,4	63,4	53,4	83,2	82,2	58,3
$\text{SiO}_2$ . . . . .	9,0	8,5	24,2	11,3	11,0	26,4
$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ . . .	4,2	4,1	9,6	5,3	5,3	10,5
$\text{MgO}, \text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$ .	0,2	1,3	4,4	0,2	1,7	4,8

Der letzte Teil — der Rückstand C — nähert sich schon dem Zement: zerrieben und in Wasser gebracht erhärtet er. Sein hydraulischer Modul ist 1,6, gegen 1,9 beim mit Brennschieferstaub gebrannten Portlandzement.

Die Inbetriebnahme der Pintsch-Retorten regte natürlicherweise die Fragen an, ob die Generator-Asche als Bindemittel auszu-

**nutzen sei. Die Aschenanalyse eines Versuchsbetriebes mit einer Pintsch-Retorte ergab folgende Zusammensetzung:**

	%
Feuchtigkeit . . . . .	1,6
Konst. oder Hydratwasser . . . . .	4,6
CO <sub>2</sub> . . . . .	7,6
S . . . . .	0,2
SO <sub>2</sub> . . . . .	1,0
SO <sub>3</sub> . . . . .	4,7
SiO <sub>2</sub> löslich in HCl . . . . .	16,1
SiO <sub>2</sub> unlöslich in HCl . . . . .	13,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6,5
CaO . . . . .	36,9
MgO . . . . .	1,0
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,7
	100,7

Allein die Resultate der langwierigen Untersuchungen zeigten nur einen teilweisen Erfolg. Es zeigte sich, erstens, dass die nicht zerkleinerte Asche fast gar keine bindenden Eigenschaften besitzt; letztere treten erst beim Vermahlen bis zur Feinheit des Zementpulvers zutage. In letzterem Falle zeigen fast alle Proben bei der nach den Zementnormen vorbereiteten Prüfung auf Zugfestigkeit in Mischung mit Sand 1:3 eine Widerstandsfähigkeit von 8—12 kg/cm<sup>2</sup> nach 7 Tagen. Die Prüfung auf Wasserlagerung jedoch hielt die Mehrzahl der Proben nicht aus. Nach ein, zwei oder drei, manchmal sogar nach 6—8 Wochen bildeten sich Risse auf den Versuchskuchen. In besonders scharf ausgeprägten Fällen bröckelten sogar Stücke ab. Mit einem Wort, es erwies sich, dass das Material nicht volumbeständig ist, wobei die Haltbarkeit der Form niemals, sowohl dem Äusseren nach, als auch der mineralischen Zusammensetzung der Probe nach, sich voraussehen liess. Aus Hunderten von diesbezüglichen Aschenproben, die ebenso Generatoren, wie Kesselfeuerungen entnommen worden waren, erwies sich nur das eine, dass eine Asche, die bei höherer Temperatur und grösserem Luftüberschuss ausgebrannt ist, nach der Verarbeitung besser das Liegen unter Wasser verträgt. Behält man aber im Auge, dass die Asche aus den Pintsch-Öfen bei entgegenge-

setzten Bedingungen erhalten wird, d. h. bei möglichst kleinem Luftüberschuss und möglichst niedriger Temperatur, so ist es einleuchtend, dass eine solche Asche ein zur Herstellung von bindenden Stoffen untaugliches Material darstellt. Um die Verteilung der verschiedenen Schwefelverbindungen in der Asche anschaulich zu machen seien hier einige Zahlen aus der grossen Anzahl von Analysen angegeben.

Verteilung des Schwefels in der Asche:

Als Sulfid,	Als Sulfit	Als Sulfat	Gesamtschwefel
% S.	% S.	% S.	% S.
0,3	—	1,2	1,5
0,22	0,13	1,32	1,67
0,3	0,2	1,7	2,2
0,2	0,2	1,3	1,7
0,35	0,51	1,34	2,20
0,5	0,1	1,6	2,2
0,6	0,4	2,7	3,7
1,1	0,5	2,8	4,4
0,7	0,2	3,7	4,6

Dagegen war die praktische Anwendung der Asche vom Kraftwerk, das mit Brennschiefer geheizt wurde, von bedeutenden Erfolgen gekrönt. Diese Asche wurde in Kugelmöhlen bis zur Feinheit des Zementpulvers zerkleinert. Obgleich Proben dieser Asche beim Liegen unter Wasser Unbeständigkeit der Form zeigten, konnte man auf Grund ausgeführter Versuche doch annehmen, dass man sich im Mauerbau, wo kein beständiger Wasserzufluss vorhanden ist, durchaus dieses Bindemittels bedienen könne. Es wurden vier Wohnhäuser, drei zweistöckige und ein dreistöckiges, erbaut mit Anwendung dieser Asche als Bindemittel. Der Bau wurde 1924 ausgeführt und bis jetzt sind noch keine Anzeichen vom Treiben des Bindemittels zu beobachten gewesen. Damit ist die Anwendungsmöglichkeit von feinzermahlener Asche als Bindemittel augenfällig bewiesen. Es wird nur die Einschränkung gemacht, dass diese Asche als Bindemittel nicht bei feuchten Fundamenten, oder bei beständig der Nässe ausgesetzten Wänden (z. B. in Waschküchen) angewandt werden darf.

M. H. Savtschuk<sup>1)</sup> ist bei der Untersuchung der Weimarschen Brennschiefer zu analogen Folgerungen gelangt. Seinen

<sup>1)</sup> M. H. Savtschuk. Zur Frage der Ausnutzung v. Brennschieferasche als selbständiges Bindemittel. „Brennschiefer“ 1931 Nr. 2/3 (russisch).

Anführungen nach wird die Asche durch die Anwesenheit von unangebranntem Kohlenstoff und ungelöschtem Kalk entwertet. Ebenso ist ein Feuchtigkeitsüberschuss in der Asche von Nachteil.

Die Asche des Grubenkraftwerkes war in der Zusammensetzung nicht einheitlich. Hier seien zwei Analysen angeführt, deren eine sich auf ein Material mit besseren hydraulischen Eigenschaften bezieht.

	Probe Nr. 13. mit besseren hydraulischen Eigenschaften	Probe Nr. 16. mit schwächeren hydraulischen Eigenschaften
<b>Siebprobe:</b>	%	%
Auf dem Sieb 900 geblieben	1,5	5,3
„ „ „ 4900 „	8,0	22,8
<b>Kuchenproben:</b>		
Trockenprobe nach 28 Tagen	keine Risse	keine Risse
Wasserlagerung „ „ „ „	„ „	nach 5 Tagen Risse, leichter Zerfall.
<b>Zugprobe:</b>		
Trocken aufbewahrt, nach 28 Tagen	10,4 kg	7 kg
Wasserlagerung nach 28 Tagen	9,25 „	(nach 7 Tagen 2,8) Risse; nach eini- gen Tagen mürbe.
<b>Analyse:</b>		
<b>Glühverlust:</b>	%	%
Feuchtigkeit . . . . .	0,10	0,30
CO <sub>2</sub> . . . . .	7,10	8,20
Organisches . . . . .	2,00	1,40
Unlöslich (SiO <sub>2</sub> etc.) . . . . .	24,22	23,86
Lösliches SiO <sub>2</sub> . . . . .	18,36	13,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,92	5,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6,13	4,82
CaO . . . . .	31,30	35,90
MgO . . . . .	0,84	1,02
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O . . . . .	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Gesamtschwefel . . . . .	1,06 (2,65 SO <sub>2</sub> )	2,53 (6,32 SO <sub>2</sub> )
Sulfat „ . . . . .	0,64 (1,60 SO <sub>2</sub> )	1,94 (4,71 SO <sub>2</sub> )
Sulfit „ . . . . .	0,14	0,18
Sulfid „ . . . . .	0,28	0,85

Den größten Erfolg hatten die Versuche der Anwendung von Asche in der Baltischen Baumwollspinnerei in Reval.

Dank den für Brennschiefergebrauch gut angelegten Feuerungsanlagen steht dort eine bei hoher Temperatur gut ausgebrannte Asche zur Verfügung. Man verfertigt aus der Asche normale Ziegel. Die Anlage ist in unmittelbarer Nähe der Kesselanlagen der Fabrik erbaut, so dass die Asche aus diesen direkt an die Ziegelei abgeht. Die Ziegelfabrik ist recht geräumig dank dem Vorhandensein eines grossen und einer ganzen Reihe kleinerer Bunker und Elevatoren. Das Arbeitsschema lässt sich folgendermassen beschreiben:

Die aus dem Kesselhause kommenden Verbrennungsrückstände werden vor allem in einen Walzenbrecher geleitet, wo die grossen Stücke zerkleinert werden. Ein Elevator hebt die zerkleinerte Asche in einen kleinen Bunker, von wo sie in einen horizontalen, mit Schaufeln versehenen Mischapparat geleitet wird, wie sie die Zementindustrie verwendet. Dann folgt die Zerkleinerung im Kollergang. Nun wird die Asche in einem grösseren Bunker 1—2 Tage stehen gelassen, worauf sie unter Druck in einer besonderen Trommel mit Dampf gelöscht wird. Eine vollständige Ablöschung des Kalkes ist die wichtigste Prozedur zur Erzielung guter, widerstandsfähiger Ziegel. Weiterhin geht die Asche durch einen neuen Bunker, nochmals in den Kollergang, um von da in die Formenpressen geführt zu werden. Die geformten Aschenziegel werden auf Wagonetts in den Druckkessel geleitet, wo sie mit Dampf behandelt werden und 8—10 Stunden verweilen müssen. Ein Druckkessel fasst bis zu 6000 Steinen. Die ganze Verfertigungsoperation des Kunststeines erfordert 2—3 Tage. Das Grundprinzip der Arbeit ist das gleiche wie bei der Herstellung der Silikatsteine. Kalk ist in der Asche genügend enthalten, die Rolle des Sandes aber übernimmt das in der Asche selbst enthaltene Silikat.

Die Kunststeine sind als Material zur Ausführung von inneren Wänden eines Baues durchaus dauerhaft. In Aussenwänden kann die wechselnde Befeuchtung durch Regen und nachfolgende Vereisung die Oberfläche der Kunststeine angreifen. Ein Bewerfen der äusseren Wände oder das Anbringen eines stark überhängenden Daches kann als Hilfsmittel angewendet werden, um diese Empfindlichkeit der Steine zu paralisieren.

#### Literatur.

Bricks from Oil Shale Refuse. *Chem. Trade J.* 20. 10. 1933. (Abstracts *J. Inst. Petr. Techn.*, 1933. 533 A).

## Kapitel VII.

### Brennschiefer und Zementbereitung.

Zement wird in Estland aus blauem kambrischem Ton und silurischem Kalkstein hergestellt, der 86% — 95%  $\text{CaCO}_3$  enthält. Zum Brennen im Drehofen wurde früher englische Steinkohle verwandt, wogegen jetzt feinkörniger Brennschiefer III. Sorte gebraucht wird. Die Betriebsvorrichtungen sind beim neuen Feuerungsmaterial dieselben geblieben, nur die Trockenvorrichtung musste für den Brennschiefer erweitert werden und das Zermahlen des Zement-Klinkers wird bis zu einer feineren Körnung durchgeführt. Ein gründliches Trocknen des Brennschiefers — bis zu 1—2% Feuchtigkeitsgehalt — ist eine der grundlegenden Bedingungen für ein gutes Arbeiten der Ofen. Der aus den Brennschiefergruben abfallende feinkörnige Brennschiefer enthält 15—25% Feuchtigkeit. Der Aschengehalt in ihm schwankt in den engen Grenzen von 59%—61%, auf trockene Substanz berechnet. Über das Verhältnis von Feuchtigkeit, Kohlensäure und Mineralasche im Brennschiefer III. Sorte gibt die Analysentabelle in Kapitel I Auskunft.

Für die Zementfabrikation ist von Wichtigkeit, dass die vom Brennschiefer resultierende, recht bedeutende Aschenmenge hauptsächlich viel  $\text{CaCO}_3$  enthalte. Bedeutendere Mengen von Sand und Ton in der Asche verursachen leicht ein Verschlacken der Drehöfen. Der im Tiefbau gewonnene feinkörnige Brennschiefer entspricht diesen Anforderungen gut. Ausserdem ist er hinsichtlich seines Aschengehaltes und Kalorienwertes von sehr gleichmässiger Beschaffenheit. Der Unterschied zwischen Tagebau- und Tiefbau-Brennschiefer ist bereits in Kapitel I erläutert worden. Wir bringen im Folgenden noch einige mittlere Analysen des einen und anderen nach R. Jannsen:



## Brennschieferanalysen.

III. Sorte im Tiefbau gewonnen	%	III. Sorte durch Tagebau gewonnen	%
Glühverlust . . . . .	0		0
SiO <sub>2</sub> . . . . .	35,9		41,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	8,1		9,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,7		5,8
CaO . . . . .	38,1		32,5
MgO . . . . .	3,7		2,5
SO <sub>2</sub> . . . . .	5,5		5,8
Rückstand . . . . .	3,0		1,7
	100,0		100,0

Da der Brennschiefer einen im Vergleich mit Steinkohle minderwertigen Brennstoff vorstellt, so ist sein Verbrauch beim Heizen von Öfen einigemal grösser, als der entsprechende Verbrauch von Steinkohle. Die nach dem Brennen des Schiefers in den Öfen in den Klinker geratende Asche hat seine Zusammensetzung etwas verändert, womit man bei der Zusammenstellung der rohen Zementmasse zu rechnen hat. Da die Brennschieferasche weniger CaCO<sub>3</sub> enthält als Kalkstein, so muss die Tonzugabe zur rohen Masse etwas verringert werden. Aus der Praxis ist festgestellt worden, dass die Masse der Klinkers im Mittel zu 90% aus Stoffen besteht, die aus dem rohen Mehl herrühren, und zu 10% aus solchen, die der Brennschieferasche entstammen. Man sollte meinen, dass der Aschenanteil im Klinker bedeutend grösser sein müsste — es hat sich jedoch erwiesen, dass ein bedeutender Teil der Brennschieferasche durch den Zug der Abgase in den Schornstein mitgerissen wird und sich in der Umgebung niederschlägt.

Auf eine Tonne Zement (170 kg netto) wird nach J a n n s e n ungefähr verbraucht:

128 kg roher Brennschiefer mit 25% Feuchtigkeit, was 96 kg trockenem Brennschiefer entspricht; in ihm sind 58 kg Asche enthalten. Diese besteht aus:

47 kg durchglüheter Mineralasche und 10,5 kg CO<sub>2</sub>.

Aus diesen 47 kg Asche gehen weiter über:

17 kg (oder 10% des Klinkergewichts) in den Bestand des Klinkers;

30 kg verlieren sich in die Luft.

Der gebrannte Klinker bedarf einer gründlichen Zermahlung, denn die Brennschieferasche sammelt sich an seiner Oberfläche und die Zusammensetzung der Klinkerrinde ist eine andere als die des Klinkerkernes. Der Brennprozess selbst erfordert der Neigung der Brennschieferasche zur Verschlackung wegen besonders eingehende Aufmerksamkeit und gesteigerte chemische Kontrolle. Der hydraulische Modul schwankt zwischen 1,90 bis 2,25. Das Brennen erfordert starken, gleichmäßigen Brand, zu dessen Erreichung mit der Wärme möglichst gut haushalten werden muss: Vorwärmen der Luft, Ausschaltung der möglichen Wärmeverluste, möglichst vollständige Ausnutzung der Klinkerwärme im Ofen usw., sind von grosser Bedeutung. Um einen hochwertigen Zement zu erzielen, muss das Mahlen des Klinkers etwas weiter als gewöhnlich fortgesetzt werden. Der als Brennmaterial dienende getrocknete Brennschiefer wird bis zu einem Rückstand von 5% bei Verwendung von Sieb 4900 zermahlen.

### Zusammenfassung der Zementeigenschaften nach Maddisson.

Eigen- schaften	Deutsche Zemente			Esländische Zemente			
	Jahre	1915 %	1920 %	der Fabrik Port- Kunda		der Fabr. Asserin	
				1921 %	1922 %	1925 %	1925 %
SiO <sub>2</sub>		21,65	21,62	21,54	22,03	21,69	21,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6,82	6,98	6,94	6,00	4,67	-6,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,85	2,83	2,84	3,00	3,46	3,84
CaO		64,11	63,87	63,96	63,08	64,03	62,85
MgO		1,65	1,53	1,54	3,10	2,67	3,25
SO <sub>2</sub>		1,75	1,89	1,89	1,55	1,49	1,40
Alkali und Unlösliches		1,17	1,29	1,30	1,28	2,01	1,00
In Summa		100,00	100,00	100,00	100,04	100,00	99,99
Glühverlust		2,90	3,31	3,17	3,30	1,49	1,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,315	0,323	0,322	0,272	0,211	0,285
SiO <sub>2</sub>							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,447	0,454	0,454	0,409	0,375	0,463
SiO <sub>2</sub> CaO		2,047	2,033	2,042	2,033	2,163	1,996
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							

Ein mit Brennschiefer gebrannter Zement entspricht allen gewöhnlichen Normen. Die Werte für die Druckfestigkeit erreichen gegenwärtig im Laufe von 3, 7, und 28 Tagen in abgerundeten Zahlen 300, 400 und 500 kg/cm<sup>2</sup>.

### Mechanische Eigenschaften der Zemente.

	Deutscher Zement	Port-Kunda Zement	Asserin- Zement
	1921	1925	1925
Siebrückstand auf Sieb 900/cm <sup>2</sup> . . . . .	0,6	0,05	0,70
Siebrückstand auf Sieb 4900 Maschen/cm <sup>2</sup> . . . . .	14,0	4,71	10,45
Spezifisches Gewicht . . . . .	3,034	3,09	3,13
Zugfestigkeit nach 7 Tagen kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	—	56,8	43,9
Dieselbe nach 28 Tagen bei La- gern im Wasser . . . . .	—	52,3	50,5
Mit Sand 1:3 nach 7 Tagen im Wasser . . . . .	21,4	33,5	25,7
Dieselbe nach 28 Tagen, wovon 7 Tage im Wasser . . . . .	41,0	39,6	32,7
Druckfestigkeit mit Sand 1:3 nach 7 Tagen im Wasser . . . . .	234	319	277
Dieselbe nach 28 Tagen, wovon 7 Tage im Wasser . . . . .	339	469	461

Den neuesten Untersuchungen im eigenen Laboratorium der Fabrik Port-Kunda 1932 nach wurden folgende mittlere Werte gefunden:

Beginn des Abbindens nach 2 Stunden 45 Minuten.

Schluss „ „ „ 4 „ 05 „

Le-Chatelier-Probe . . . . . 0,6 mm

Rückstand auf Sieb 900 . . . . . 0,1%

„ „ „ 4900 . . . . . 6—8%.

Festigkeit einer Mischung 1:3 mit Sand nach:

	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen
Druckfestigkeit 333 km/cm <sup>2</sup>	333	386	524
Zugfestigkeit	28,3	29,6	42,4

Zum Schluss wollen wir vermerken, dass die Fabrik Port-Kunda nach dem „nassen Verfahren“ arbeitet. Um die Beständigkeit der Aschenzusammensetzung im staubförmigen Brennschiefer zu regulieren, fügt die Fabrik dem Brennmaterial

**III. Sorte je nach Bedarf kleine Mengen der stückigen I. Sorte von höherem Kalorienwert und reichere  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt hinzu.**

### *Literatur.*

**H. Jansson, „Anwendung bituminösen Schiefers in der Industrie.“ Brennschiefer und ihre technische Verwertung (in russischer Sprache), Leningrad 1932.**

**O. Maddisson: „Einige Bemerkungen über die Güte des einheimischen Zements. II. (in estnischer Sprache), Mitteilungen der staatlichen Prüfungsanstalt. 1925.**

**М. Савчук. Применение золы горючих сланцев как сырья для получения строительных материалов. Сборник „Горючие Сланцы“. 1932.**

**М. Савчук. К вопросу об использовании сланцевой золы в качестве самостоятельного вяжущего. Ж. „Гор. Сланцы“ 1931, № 2/3; 1932, № 4.**

**Г. Высоцкий. Исследование сланцевой золы кашпирского месторождения как строительного материала. Ж. „Гор. Сланцы“ 1933, № 4.**

**М. Савчук и В. Шемяков. Безпортландцементные бетоны из золы кашпирских сланцев. Ж. „Гор. Сланцы“, 1932, № 4.**

**В. Шемяков. Изучение свойств строительных камней из сланцевой золы котельной Гдовского рудоуправления. „Гор. Сланцы“, 1934, № 1.**

**П. Высоцкий. Методы активир. сланц. золы. „Гор. Сланцы“ 1934, № 3.**

## Kapitel VIII.

### Brennschiefer als Feuerungsmaterial.

In heiztechnischer Hinsicht stellt der Brennschiefer einen neuen eigenartigen Typus von Brennstoff dar. Er enthält viel Asche, welche zudem noch leicht schmelzbar ist, und die organische Substanz entwickelt beim Erhitzen bis zu 85% flüchtiger Öle und Gase. Der Feuchtigkeitsgehalt ist nicht besonders gross, kann jedoch unter ungünstigen Förderungs- und Aufbewahrungsbedingungen in der erdigen Sorte bis zu 30% steigen. Die Flamme ist lang und russt stark. Die Konstruktion der Öfen muss, diesen Eigenheiten des Feuerungsmaterials Rechnung tragend, den grossen Massen von Brennschiefer und dessen Asche genügend Raum zur Weiterbewegung und Entfernung bieten und den flüchtigen Verbrennungsprodukten vollkommene Verbrennungsmöglichkeit gewährleisten, bevor sie mit den kalten Kesselteilen in Berührung kommen. Endlich muss durch zweckentsprechende Form der Heizwände und Gewölbe schnelle Trocknung, leichtes Anbrennen und hohe Brenntemperatur des Brennschiefers erzielt werden. Wir können hier nur in allgemeinen Zügen die Vorrichtungen skizzieren, mit deren Hilfe die Konstrukteure die gestellte Aufgabe zu lösen versucht haben und deren Anwendung zu teilweisem oder vollem Erfolge geführt haben.

In den kleinen Feuerungen der stationierten und Lokomotivkessel bestand die Anpassung an den Brennschiefer als Feuerungsmaterial in der Wahl eines abgeseihten Brennschiefers in ziemlich grossen Stücken, etwa  $100 \times 100$  mm bis zu grösseren Blöcken, die an der Bedarfstelle mit dem Hammer zerkleinert wurden. Zur Entfernung der Asche besteht der Rost aus drehbaren Teilen, die von einem Heizer bedient werden. Die Rostfläche wird etwa zweimal grösser gewählt, als bei der Verwendung von Steinkohle. Allerdings russt der Brennschiefer

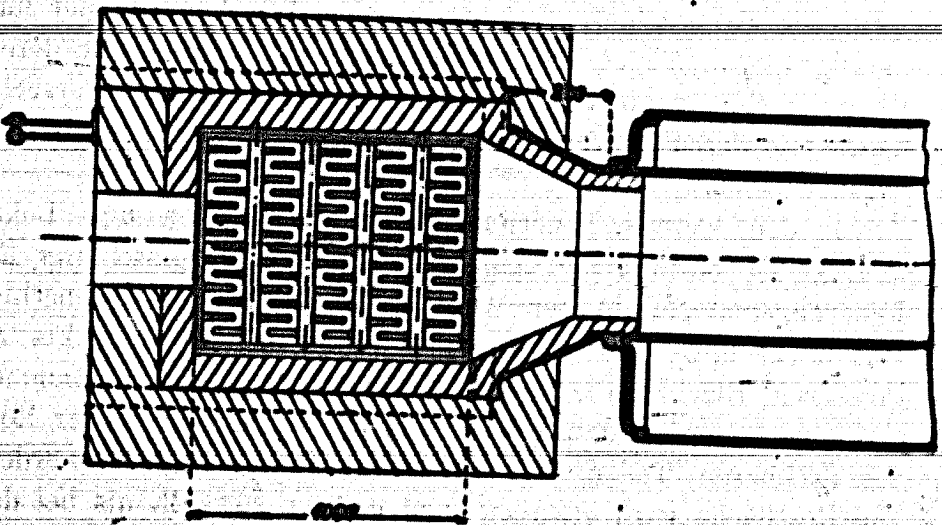
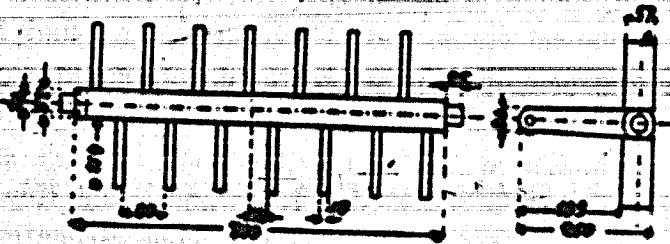
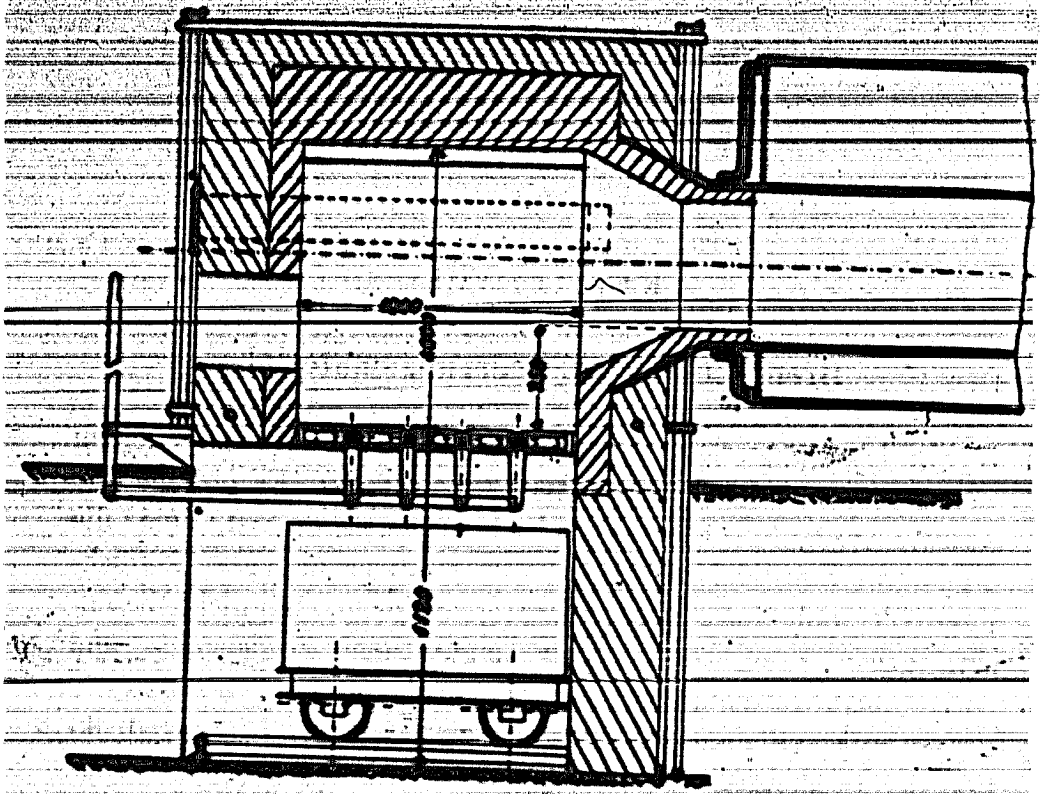


Abb. 42. Holzvorrichtung mit beweglichem Rost für kleinere Kessel.

dabei sehr stark, gibt aber immerhin die für den Quadratmeter der Kesselheizfläche erforderliche Dampfmenge. Beim Übergang auf Brennschieferfeuerung muss unbedingt vorher entschieden werden, wohin und auf welche Weise die Asche abgeführt werden soll. Der wärmetechnische Wirkungsgrad solcher Feuerungen beträgt kaum mehr als 50—55%. Eine ganze Reihe von Molkereien, Pumpstationen und kleinen Fabriken besitzt solche vereinfachte Feuerungen; ebenso sind die mit Brennschiefer geheizten Eisenbahnlokomotiven damit versehen. Der in diesen Fällen verwandte grobstückige Brennschiefer enthält im Mittel 11—15% Feuchtigkeit und gegen 50% Asche im wasserfreien Schiefer.

Eine übliche Feuerung mit beweglichen Roststäben für einen kleineren Kessel stellt die Abb. 42 dar. Diese Feuerung ist in der Art einer Vorfeuerung für einen Flammrohrkessel gestaltet. Der Verbrennungsraum ist 3—4mal geräumiger als der ehemalige Raum im Flammrohrkessel. Während der Bewegung der Stäbe fällt die Asche direkt in den sich unter dem Roste befindlichen Wagen. Der Rost wird mittels eines Hebels bewegt. Grössere Kalkknollen, welche in der Feuerung nicht zerfallen sind, werden durch die Tür entfernt. Das Verhältnis der Heiz- zu der Rostfläche wird zu 20:1 gewählt.

Bei grösseren Fabrikeinrichtungen ist die Entfernung der Asche durch Handbetrieb unrationell und führt zu Entblössung des Rostes, Abkühlung des Kessels usw. In diesem Fall muss die Asche unbedingt mechanisch weiterbewegt und entfernt werden. Das Verladen kann jedoch manchmal noch im Handbetrieb ausgeführt werden. Die Feuerung muss geräumig sein, damit die aus dem Brennschiefer sich entwickelnden Dämpfe und Gase möglichst vollständig verbrennen können. Die Gewölbe über dem Rost müssen von einer solchen Krümmung und Richtung sein, dass ihre Strahlungswärme den Brennschiefer vorwärmt und entzündet und sich unmittelbar über der Brennschieferschicht konzentriert, um hier eine heisse Fokuszone zu bilden, in der die vollständige Verbrennung der Dämpfe und Gase sich rasch und energisch vollziehen kann. Wo es möglich ist, muss durch Vorwärmen der Luft die Steigerung der Verbrennungstemperatur unterstützt werden. Der durch unvollständige Verbrennung sich bildende Russ ist eine Plage für die Bewohner der Umgegend und ein schwerer Verlust für die Kesselanlage.

Es seien hier noch kurz zwei mechanische Feuerungen beschrieben. Treppenroste baut die Fabrik „Ilmarine“ in Reval. Auf der beiliegenden Skizze (Abb. 43) erblickt man die allgemeine Anordnung eines solchen Rostes. Die Treppe besteht aus beweglichen und unbeweglichen Platten, welche einander abwechselnd folgen. Die beweglichen Platten sind in 2—3 Gruppen zusammengefasst, welche von einem Motor abwechselnd bewegt werden. Die heruntergestossene Asche sammelt sich oberhalb der Auslauföffnung und wird in gewissen Zeitabständen in den darunterstehenden Wagen abgefüllt. Zum Nachhelfen beim Rutschen und zum Durchschlagen der sich bildenden Schlacke bedient man sich langer eiserner Stangen. Jedoch ist das Anhaften der Schlacke an die Platten gering, solange die Platten ununterbrochen in Bewegung sind. Die Zuführung von Brennschiefer zu den Beschickungstüren und das Heben des Schiefers geschieht mit Hilfe einer Laufkatze (Demag-Zug). Das Kesselhaus befindet sich 4—5 Meter über dem Erdboden, damit die Aschenwagen leicht unter die Feuerung anfahren können. Ein Versenken des Aschenraumes in die Tiefe war durch die Bodenverhältnisse unmöglich gemacht. Jedes Aggregat besteht aus zwei Kesseln mit einer Gesamtheizfläche von 270 m<sup>2</sup>. Jeder Kessel hat seine eigene Feuerung und seinen eigenen Rost. Des ausserordentlich harten Wassers (bis zu 40° Härte) wegen, welches auch in der Reinigungsanlage bei weitem nicht enthärtet wird, ist die Heizfläche von innen immer mit einer gewissen Kalkkruste bedeckt, was die Wärmeaufnahme sehr stört. In den neuen Anlagen erzeugt „Ilmarine“ jedoch schon bis 80 kg Dampf bei 80% Wirkungsgrad.

Ein anderes System hat die Baltische Baumwollspinnerei angewandt (Abb. 44). Wegen der gut kalkulierten und plazierten Gewölbe wird eine leichte Entzündung, hohe Verbrennungstemperatur und gute Verbrennung erreicht, so dass fast gar kein Russ mehr zu erblicken ist. Auch ist die Verdampfungsziffer gut. Die Asche wird auf einem Band entfernt. Ein Teil davon wird je nach dem Bedarf zu Kunststeinen weiter verarbeitet. Die Dampfabnahme beträgt 20—25 kg/m<sup>2</sup>.

Die Verwendung von Brennschiefer zu Schmiedearbeiten geschieht in einem besonders dazu gebauten Ofen Abb. 45. In dem linken Teil des Ofens wird der Brennschiefer bei ungenügendem



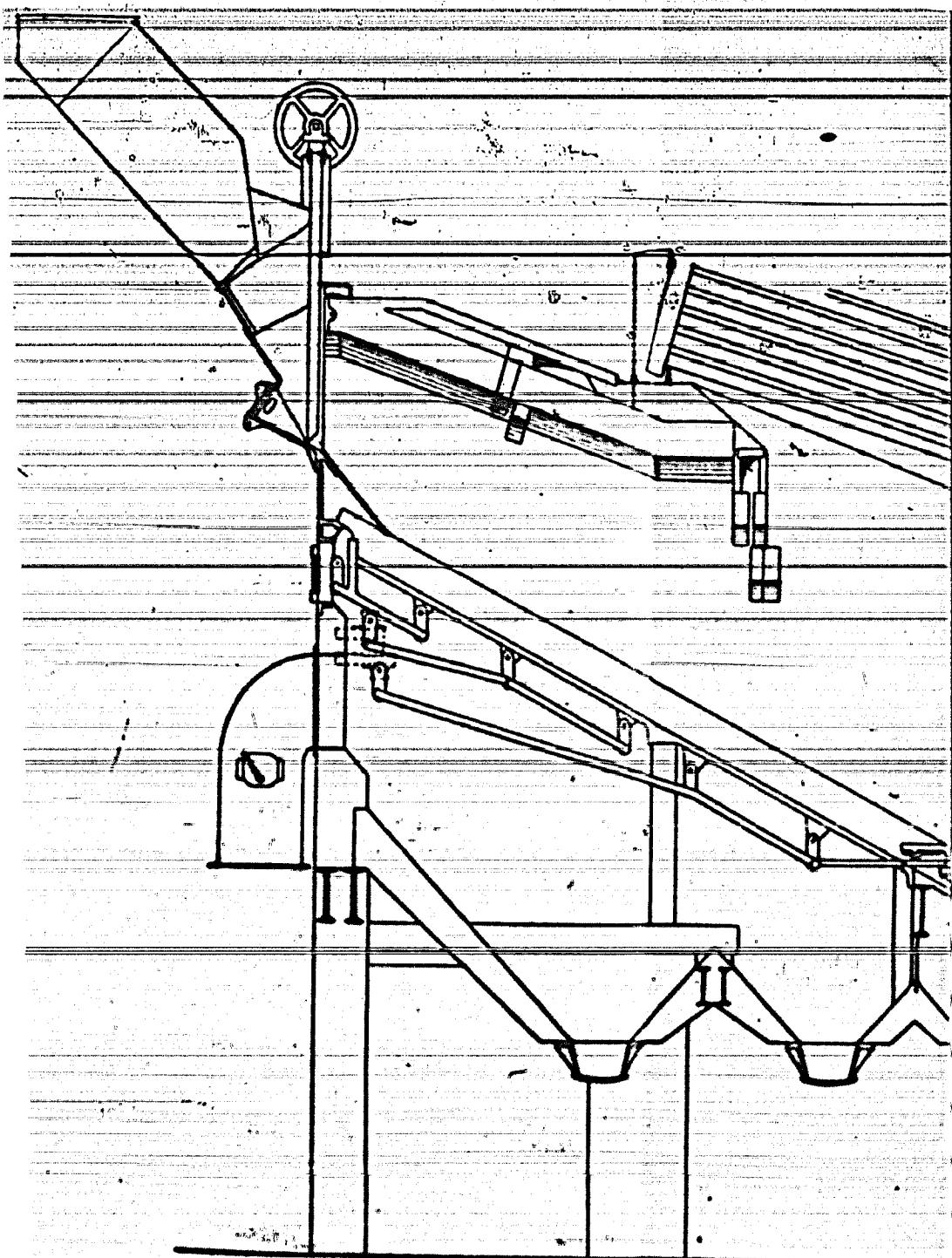


Abb. 43. Mechanische Fenerung der Revaler Städtischen Elektrische  
(erbaut von der A/G. „Ilmarino“).

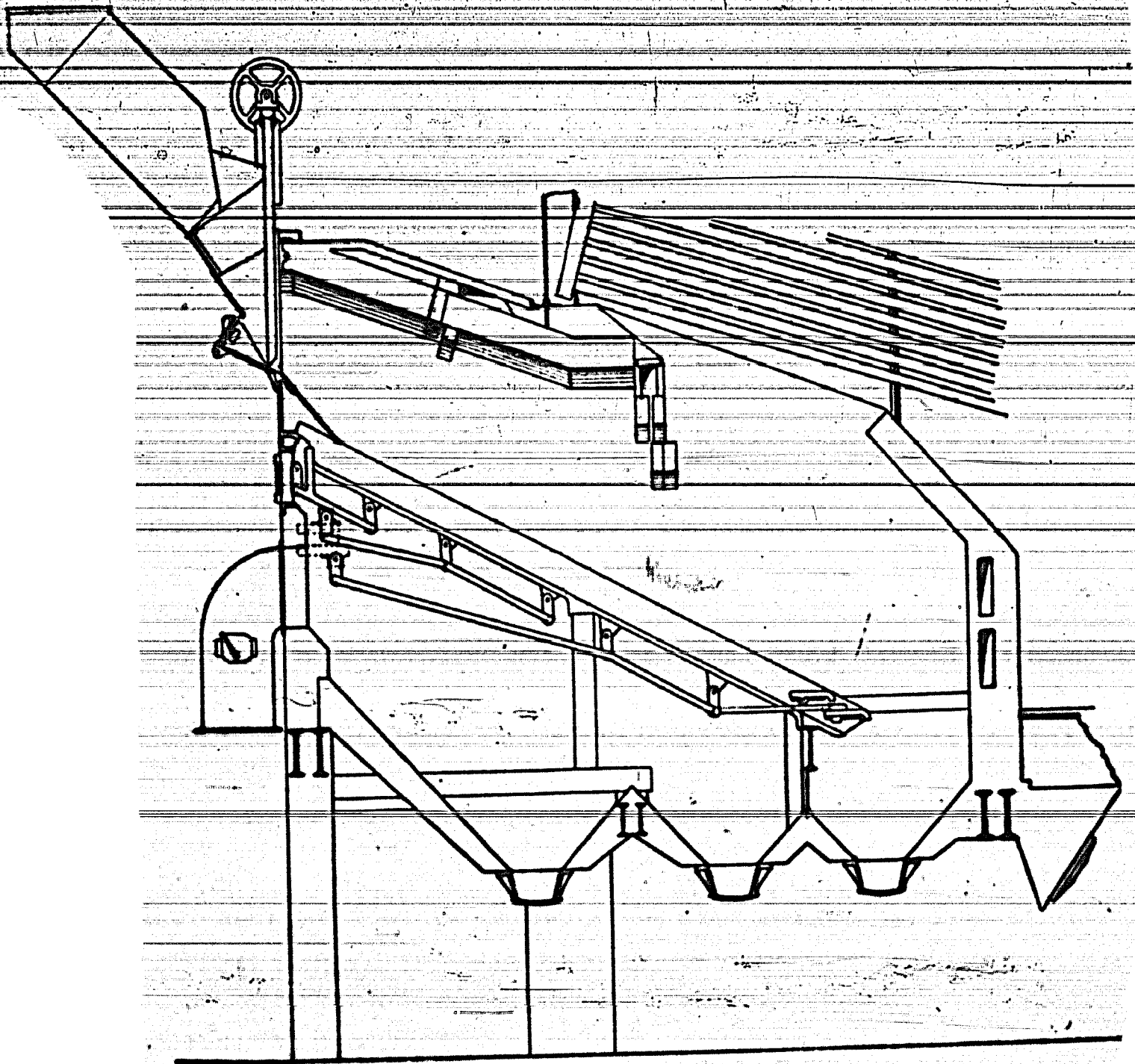


Abb. 43. Mechanische Feuerung der Rovaler Städtischen Elektrischen Station  
(erbaut von der A/G. „Nimarine“).

Luftzutritt verbrannt. Der kräftige Luftstrom eines Gebläses saugt die Dämpfe und Gase der unvollständigen Verbrennung

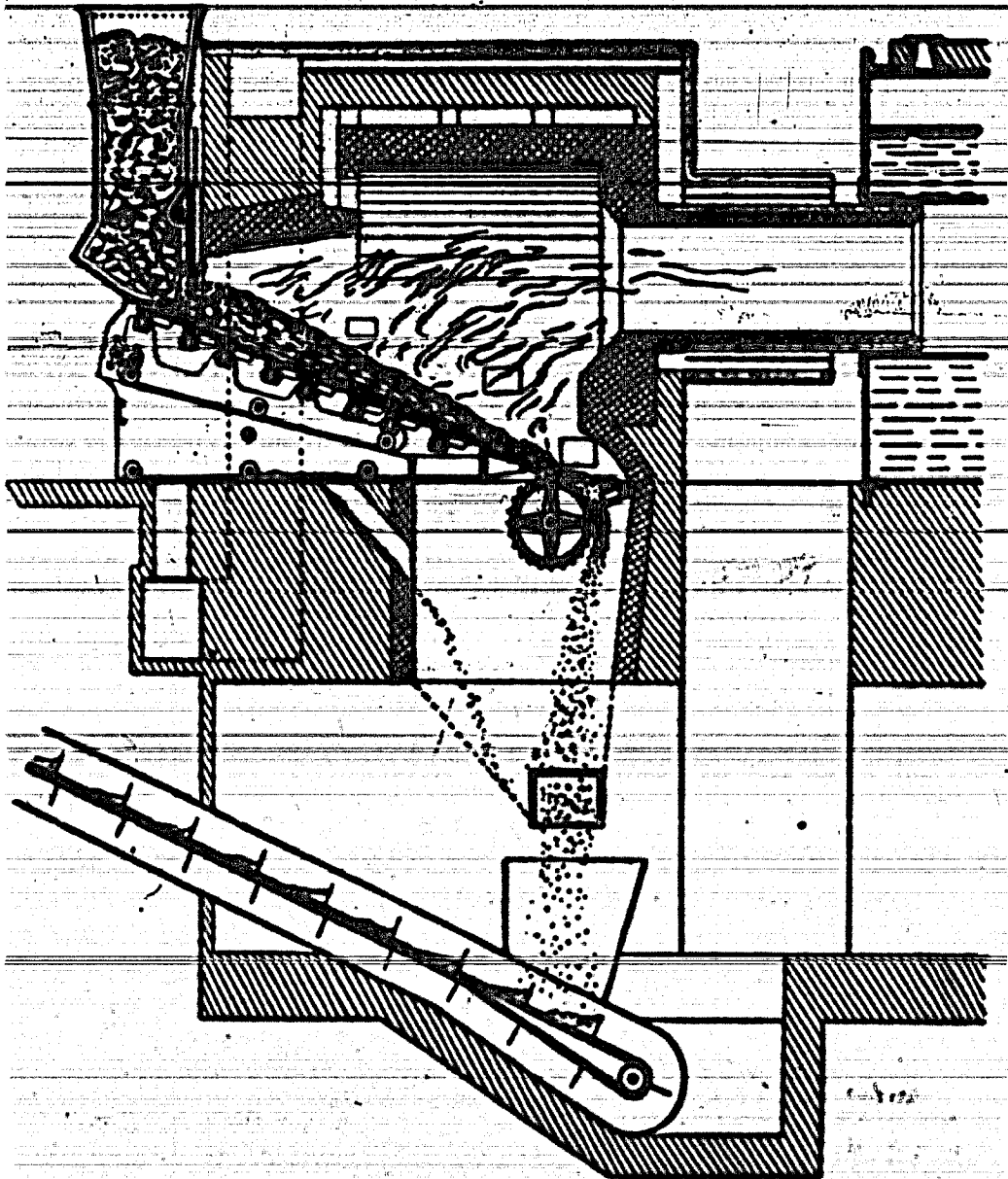


Abb. 44. Die Brennschieferheizung der Baltischen Baumwollspinnerei zu Reval, Bauart 1927.

aus dem linken Teil des Ofens in den eigentlichen Verbrennungsraum rechts, wo die Dämpfe nachbrennen und dabei die gewünschte hohe Temperatur erzeugt wird.

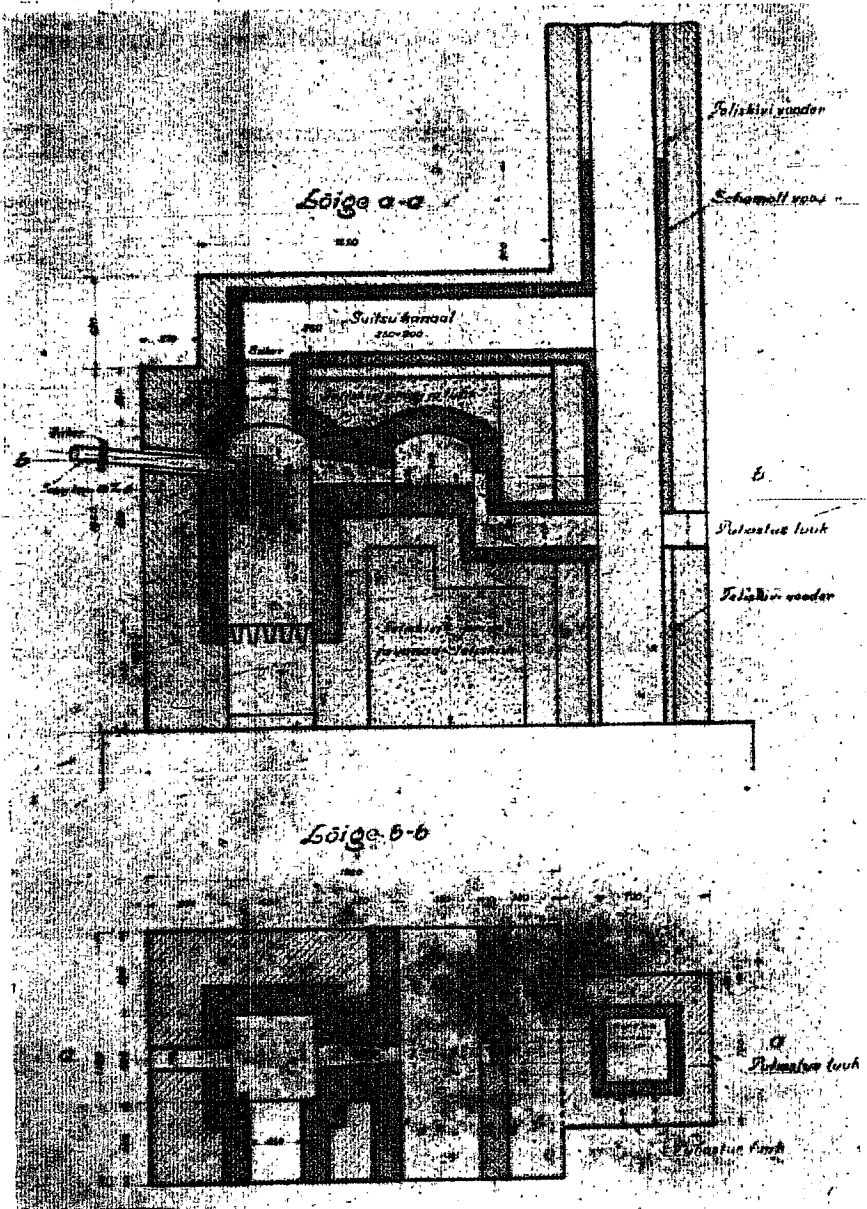


Abb. 45. Ofen mit Brennschieferverwendung für Schmiederwecke.

## Berechnung der zur theoretischen Verbrennung des reinen Kokersits erforderlichen Luftmenge.

Elementare Zusammensetzung:	%	Zahl der Kubikmeter Sauerstoff, die zur Verbrennung von 1 kg reinen Kokersits erforderlich sind:	
C . . . . .	76,7	$12:22,4 = 76,7:x$	$x = 1,427 \text{ m}^3$
H $9,2 - \frac{1}{2} \cdot 0$ . . . . .	7,8	$4:22,4 = 7,8:x$	$x = 0,437 \text{ „}$
S . . . . .	2,0	$32:22,4 = 2,0:x$	$x = 0,014 \text{ „}$
O + Cl + N . . . . .	12,1	—	—
		In Summa: . . . . .	1,878 m <sup>3</sup>

Um diese Sauerstoffmenge zuführen zu können, ist an Luft erforderlich:  $100:21 = x:1,878$ ; daraus ist  $x = 8,94 \text{ m}^3$

Also: 1 kg reiner unverwitterter organischer Substanz erfordert zur vollständigen theoretischen Verbrennung 8,94 Kubikmeter Luft bei 0°,760 mm.

Mittels einer analogen Berechnung findet man für 1 kg einer verwitterten organischen Substanz der Zusammensetzung C . . . 71,5%; H . . . 8,2% die entsprechende Luftmenge gleich 8 Kubikmetern, d. h. um gegen 10% geringer.

Bei der Verbrennung von 1 kg normaler nicht verwitterter organischer Substanz bildet sich an Verbrennungsprodukten (0°,760 mm):

CO <sub>2</sub> . . . . .	1,427 m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> . . . . .	0,014 m <sup>3</sup>
N <sub>2</sub> aus der Luft . . . . .	7,063 m <sup>3</sup>
	8,504 m <sup>3</sup>

und ausserdem 0,828 kg Wasserdampf.

Die prozentuale Zusammensetzung der trockenen Feuerungsgase bei der theoretischen Verbrennung wäre:

	%
CO <sub>2</sub> . . . . .	16,8
SO <sub>2</sub> . . . . .	0,2
N <sub>2</sub> . . . . .	83,0
	100,0

Wir weisen auf den verringerten Prozentsatz der Kohlensäure gegenüber dem üblichen von 21% hin, der daher rührt, dass der Kukerzit reich an Wasserstoff ist, welcher, zu Wasser verbrennend, sich den Daten der Gasanalyse entzieht.

Die Verwendung dieser Zahlen zur Berechnung konkreter Fälle hat folgendermassen zu geschehen. Angenommen, es würde der Verbrennung ein Brennschiefer von folgender Zusammensetzung unterworfen:

	%
Feuchtigkeit . . . . .	14
Allgemeine Asche . . . . .	42
Organische Substanz . . . . .	44
	100

Zur theoretischen Verbrennung fordert dieser Brennschiefer eine Luftmenge von  $0,44 \cdot 8,94 = 3,93 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Heizgase entstehen:  $0,44 \cdot 8,5 = 3,74 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Berechnen wir nun die Zusammensetzung der Feuerungsgase bei verschiedenem Überschuss an Luft:

Menge der Feuerungsgase auf 1 kg reinen unverwitterten Kukerzits	Luftüberschuss			
	0%	50%	100%	200%
CO <sub>2</sub> im m <sup>3</sup> . . . . .	1,43	1,43	1,43	1,43
N <sub>2</sub> im m <sup>3</sup> . . . . .	7,06	7,06	7,06	7,06
Luftüberschuss . . . . .	—	4,97	8,94	17,88
Im Ganzen Kubikmeter . . . . .	8,49	13,46	17,43	26,37
Prozentsatz von Kohlensäure in den Gasen . . . . .	16,8	10,6	8,2	5,4
Prozentsatz von Sauerstoff in den Gasen . . . . .	—	7,8	10,8	14,2
Prozent CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	16,8	18,4	19,0	19,6

Das eben angeführte Berechnungsschema der Menge an Rauchgasen und ihrer prozentualen Zusammensetzung kann in Wirklichkeit durch Ausscheidung von Kohlensäure aus dem mineralischen Teil des Brennschiefers verändert werden. Um jedoch den geringen Einfluss der mineralischen Kohlensäure auf die Zusammensetzung der Rauchgase zu zeigen, wollen wir

noch einen konkreten Fall betrachten. Es werde ein Brennschiefer verbrannt von folgender Zusammensetzung:

	%
Feuchtigkeit . . . . .	13
CO <sub>2</sub> . . . . .	12
Mineralische Substanz .	41
Organische „ . . . . .	34
	100

Das ist eine III. Sorte mit erhöhtem Kohlensäuregehalt. Hier müsste folglich der Einfluss der mineralischen Kohlensäure plastisch hervortreten.

	Luftüberschuss			
	Theoretisch	50%	100%	200%
Menge der Rauchgase auf 1 kg Brennschiefer . . . . .	2,89 m <sup>3</sup>	2,89 m <sup>3</sup>	2,89 m <sup>3</sup>	2,89 m <sup>3</sup>
Luftüberschuss . . . . .	—	1,52 „	3,04 „	6,09 „
0,12 kg mineralische CO <sub>2</sub> = 0,61 m <sup>3</sup>	0,61 „	0,61 „	0,61 „	0,61 „
In Summa	3,50 m <sup>3</sup>	5,02 m <sup>3</sup>	6,54 m <sup>3</sup>	9,59 m <sup>3</sup>
Prozentsatz der mineralischen Kohlensäure in den Rauchgasen .	1,74%	1,21%	0,93%	0,64%

Beim Errechnen der Werte sieht man also, dass an mineralischer Kohlensäure in den Rauchgasen bei der praktischen Verbrennung sogar im Falle eines recht aschenreichen Brennschiefers kaum mehr als gegen 1% auftritt. In Wirklichkeit wird ihre Menge sogar noch geringer sein, da bei der Zusammenstellung der Tabelle angenommen wurde, dass die Kohlensäure vollständig aus der Asche entweicht, was natürlich nicht zutrifft. Wahrscheinlich wird ein Drittel bis zur Hälfte der mineralischen Kohlensäure in der Asche zu finden sein, so dass also in die Rauchgase nur ca. 0,5% übergeht. Diese Korrektur kann man zur Bewertung des Verbrennungsvorganges auch an den Ergebnissen der Gasanalyse vornehmen.

Bei der Berechnung der Rauchgasmenge ist es bequemer, sich eines verkürzten Berechnungsganges zu bedienen. Zuerst werden bekannte Prozente der Kohlensäure und des Kohlen-

dioxyds aufgestellt und für die entsprechenden Verbrennungszustände dann die Mengen der trocknen Verbrennungsprodukte berechnet.

Das gesuchte Volumen bei 0° und 760 mm wird sein:

$$V_c = \frac{C}{0,536 (K + K_1)}$$

wobei C den Prozentgehalt an Kohlenstoff im Brennmaterial vorstellt und K und K<sub>1</sub> den Gehalt an Kohlensäure und Kohlendioxyd in den Rauchgasen anzeigen. Das berechnete Volumen wird sich auf Kosten der bei der Verbrennung gebildeten Wasserdämpfe vergrößern. Letztere entstehen sowohl aus dem Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials, als auch durch die Verbrennung von Wasserstoff. Ihr auf 0° und 760 mm reduziertes Volumen wird sein:

$$V_H = \frac{9H + W}{0,804}$$

Die Summe der Volumina beträgt:

$$V_c + V_H = \frac{C}{0,536 (K + K_1)} + \frac{9H + W}{0,804}$$

Das schon erwähnte Vorhandensein von Kohlensäure mineralischer Herkunft wird das Volumen der abgehenden Gase vergrößern. E. Malteneck hat für die Berechnung des gemeinsamen Volumens der trocknen Gase folgende Formel kombiniert:

$$V = \frac{1}{K + K_1} \left\{ \frac{C}{0,536} + \frac{CO_2}{1,964} \right\} m^3$$

Bei der Zusammenstellung dieser Formel wurde angenommen, dass sämtliche in der Asche befindliche Kohlensäure aus ihr ausbrennt. Diese Annahme wird sich aber durchaus nicht immer verwirklichen lassen und darum muss man durch Analyse der Brennrückstände bestimmen, wieviel in ihnen Kohlensäure zurückgeblieben ist und wieviel entwichen ist, — wenn man nach sehr grosser Genauigkeit strebt.

A. Puksov hat eine mühsame Arbeit ausgeführt, indem er die Zusammensetzung der bei verschiedenen Luftüberschüssen entweichenden Gase und die prozentuale Zusammensetzung der Gase beim Verbrennen zu Kohlenoxyd bestimmte und berechnete. Als Ausgangsstoff benutzte er Brennschiefer von folgender



Zusammensetzung: Feuchtigkeit 14,3%;  $\text{CO}_2$  12,8% und Mineralasche 43,5% (im trocknen Schiefer). Auf Grund seiner Daten konstruierte er nach Ostwald ein Verbrennungsdreieck, welches bei der Schätzung des Regimes der Feuerungen gute

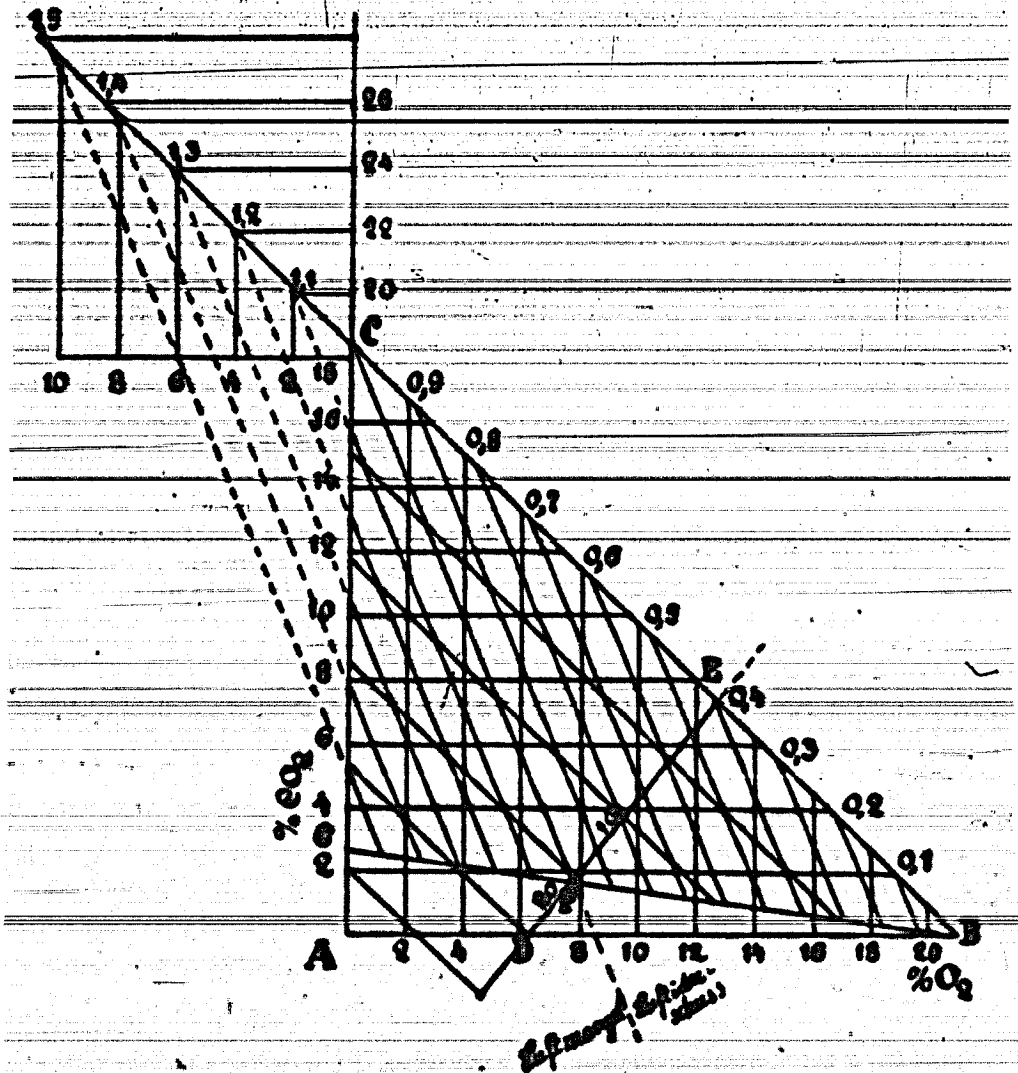


Abb. 46. Das Puksov'sche Verbrennungsdreieck.

Dienste leistet. So genügt es z. B., nach Orsat die Bestimmungen der Kohlensäure und des freien Sauerstoffs vorzunehmen, um schon nach der Tabelle von Puksov die Kohlenoxydmengen zu erhalten und ein Urteil darüber zu haben, ob die Anwesenheit von Kohlenoxyd das Resultat ungenügender Luftzufuhr oder unnormaler Verbrennungsbedingungen, wie:

*Literatur:*

Eine ausführliche Berechnung der Verbrennung des Brennschiefers I. Sorte (Nussgrüase), mit 14,3% Feuchtigkeit und einem Aschengehalt von 56,3% im trocknen Schiefer, ist von Puksov im „Tehnika Ažakiri“, November 1930 angeführt worden. Dort ist auch das genannte Dreieck der Gasanalysen nach Ostwald angegeben. Über die Wirkung der mineralischen Kohlensäuren finden sich Angaben in diesem Artikel Puksov's und auch im Artikel von E. Maltenek: „Pölevkiviküttega katla-  
scadeto arvestase isearaldustest.“ „Tehnika Ažakiri“, 1932.

### Die Berechnung des Heizwertes des Brennschiefers.

Seinen Heizwert verdankt der Brennschiefer fast ausschliesslich seinem organischen Teile. Nur ein geringer Gehalt an brennbarem Pyrit, der dem mineralischen Teil angehört, verleiht letzterem einen kleinen Heizwert, der jedoch so gering ist, dass er beiseite gelassen werden kann. Somit hängt beim Brennschiefer die Grösse des Heizwertes von der Menge der organischen Substanz und von ihrer Güte ab. Die Verbrennungswärme (der obere Heizwert) des üblichen Brennschiefers wird somit durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$Q_1 = aQ_0,$$

wobei  $Q_1$  die gesuchte Verbrennungswärme der Brennschieferprobe bedeutet,  $a$  — die Menge der organischen Substanz im Schiefer und  $Q_0$  — die Verbrennungswärme der organischen Substanz in der gegebenen Brennschieferprobe. Die Grösse  $a$  findet man aus dem Aschengehalt der Analyse; was  $Q_0$  anbelangt, so ist ihr Wert für normalen, unverwitterten Schiefer eine ebenso konstante, unveränderliche Grösse, wie es die elementare Zusammensetzung und die anderen Eigenschaften reiner organischer Substanz sind. Im Einklang mit dem früher Gesagten (Seite 48) beträgt sie 8900 cal. Die Bestimmung der unbekanntenen Verbrennungswärme der Substanz wird somit auf die einfachen Bestimmungen der Feuchtigkeit und des Aschengehaltes zurückgeführt, falls der Schiefer unverwittert ist. Nehmen wir an, die Analyse habe in der Probe 15% Feuchtigkeit und 50% Asche in der Trockensubstanz ergeben.

Dann hat die Probe folgende prozentuale Zusammensetzung:

Feuchtigkeit . . . . .	15%
Asche $50 \cdot 0,85$ . . . . .	42,5%
Org. Substanz aus der Differenz	42,5%
	<hr/> 100,0

Die Verbrennungswärme dieser Probe ist:

~~$8900 \cdot 0,425 = 3782 \text{ cal/g}$~~  Der Heizwert für reine organische Substanz ist gleich 8400 cal. Für den oben genannten Fall des Schiefers beträgt er

$$8400 \cdot 0,425 - 15 \cdot 5,86 = 3482 \text{ cal.}$$

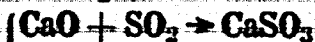
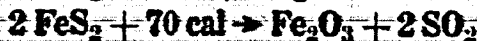
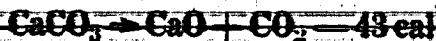
Es ist gar nicht notwendig eine direkte kalorimetrische Bestimmung auszuführen. Die Grösse 8900 ist soweit zuverlässig bestimmt worden, dass sie als Grundlage genauer Berechnungen dienen kann. Dafür muss der Gehalt an Feuchtigkeit und besonders an Asche mit möglichster Sorgfalt und Genauigkeit nach den für die Brennschieferanalyse ausgearbeiteten Methoden bestimmt werden. Im Falle eines verwitterten Brennschiefers ist es unmöglich, den genauen Heizwert voraus zu berechnen, da die Verwitterungsstufe verschieden sein kann. Man muss sich mit einem annähernden Werte der gesuchten Grösse begnügen oder aber die direkte kalorimetrische Bestimmung vornehmen. Die Verwitterung setzt, selbstverständlich, den Heizwert der Substanz herab.

Der grossen Praxis der Järve'schen Gruben nach kann man behaupten, dass im feinen erdigen, durch Tagebau gewonnenen Schiefer die Verbrennungswärme bzw. der Heizwert der reinen Substanz nicht mehr als um 10% herabgesetzt ist. Man kann natürlich in den Gruben einzelne kleine Strähnen mit 7000 Kalorien finden, doch haben diese keinen merklichen Einfluss auf den allgemeinen Charakter der Ausbeute.

Bei der Auswertung der Verbrennungswärme und des Heizwertes des Brennschiefers wurde so vorgegangen, als ob in der Asche keine Spur von Karbonaten vorhanden wäre, was aber den Tatsachen nicht entspricht. Die Asche enthält sogar beträchtliche Mengen von Karbonaten und nun könnte es scheinen, als ob dadurch ein Fehler in der Berechnung entstehen müsste<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> N. Gorassimov. „Pöleväki kättevärta.“ Tehnika Ajakiri. 1933. Nr. 11/12.

Dies ist jedoch nicht der Fall. Obgleich die Karbonate in den praktischen Feuerungen teilweise immer dissoziieren und dazu auch einer gewissen Wärme benötigen, so verlaufen doch parallel zu dieser wärmeabsorbierenden Reaktion andere Reaktionen, die exotherm sind, wie z. B. die Oxydation des Pyrits zu Eisenoxyden, die stark exotherme Reaktion der Gipsbildung, Ca-Silikatbildung usw.



Dieser Umstände wegen, die bei den kalorimetrischen Verbrennungen in der Bombe deutlicher zu ersehen sind, haben wir in der Praxis und im Laboratorium auf die Berücksichtigung der Dissoziationswärme der Karbonate verzichtet <sup>1)</sup>.

Der mittlere Heizwert des unverwitterten Schiefers den Sorten nach ist folgender:

### I. Grobstückige Sorte.

Feuchtigkeit 11—15%. Asche im trocknen Schiefer gegen 50%. Verbrennungswärme gegen 3900 cal/g. Heizwert gegen 3700 cal/kg.

### I<sup>b</sup> Sorte.

„Nusschiefer“ bei Benutzung der Siebe von 16 × 16 und 40 × 40 mm erhalten. Feuchtigkeit 12—16%. Asche im trocknen Schiefer gegen 58%. Verbrennungswärme gegen 3400 cal/g. Heizwert gegen 3200 cal.

<sup>1)</sup> Über die verschiedenen Reaktionen zwischen den Aschenbestandteilen berichtet Iw. Trifonov in der „Brennst. Chemis“, 1932, 328. (Das Problem der Schwefelverteilung bei der Verbrennung der Kohle). Nach ihm verläuft die Reaktion  $2 \text{CaO} + 2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{CaSO}_4$  nicht direkt so, sondern über die Zwischenreaktionen  $\text{CaO} + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3$  und  $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2$ . Oberhalb 650° findet noch folgende Reaktion statt:  $4 \text{CaSO}_3 = 3 \text{CaSO}_4 + \text{CaS}$ ; oberhalb 850°:  $3 \text{CaSO}_4 + \text{CaS} = 4 \text{CaO} + 4 \text{SO}_2$ .

**III. Sorte.**

Schieferklein des Siebes 16 X 16 mm. Feuchtigkeit 15—25%.  
Asche im trocknen Schiefer 60%. Verbrennungswärme gegen  
2900 cal/g. Heizwert gegen 2700 cal.

Was die Verdampfung im Kessel anbelangt, so kann man  
im Allgemeinen annehmen, dass je nach der Güte der Feuerung  
ein Brennschiefer I. Sorte 3—4fache, der II. Sorte 2,5 bis  
3fache und Brennschiefer III. Sorte 2—2,8fache Verdampfung  
erzeugt.

**Literatur:**

J. Lorens. Katsed põlevkiviga raudteel. E. Tehnika Seltsi Ajakiri, 1921,  
15 Apr.

E. Pezold. Kodumaa põletisainete kalorimeetriliste kütteväärtuste mää-  
ramised. E. Tehn. S. Ajakiri, 1922, Juni.

С. Ожашко. Сжигание сланцев в топках паровых котлов. Ж. Гор. Сланцы,  
1932. № 1.

Новое топочное устройство. Ж. Гор. Сланцы 1932. № 4.

Сжигание волжских сланцев в пылевидном состоянии. Ж.  
Гор. Сланцы, 1932. № 3.

Опыт сжигания савельевских выскосортных сланцев в пыле-  
видном состоянии и использование золы для производства  
кирпича на Саратовском силикатном заводе. Ж. Гор. Сланцы,  
1933.

П. Соловьев. Топки для сжигания сланцев. Сборник „Горючие Сланцы“,  
1932.

A. Markson. Mõned arvestused elektrijaama majandulise projekteeri-  
mise kohta. Tallinn, 1931.

I. Veru. Ühendustest soojusmajanduse alal meie tööstusettevõtetele. „Tee  
ja Tehnika“, 1929. Nr. 6.

E. Maitensk. Diagramme põlevkivi suitsu jaoks. Tehn. Ajak. 1924, 9.