

# **Die Entwicklung der technischen Verwertung von Kupferhüttenschlacken**

Von Dipl.-Ing. J. Spitzner

Die früheste und sicherlich bemerkenswerteste Art der Verwendung der glühenden Schlacke war das Schlackenbad als Heilbad. Später begann neben der Verwendung von Stückschlacke die Herstellung von Formsteinen durch Wickeln oder Gießen, wobei die Mansfelder Schlackenpflastersteine und das Mansfelder Verschleißmaterial große Bedeutung erlangten.

Bedingt durch den hohen Arbeitsaufwand zur Formgebung und Eignung der Schlacke als Zementzuschlagstoff, letztlich der Bedarf der Bauindustrie, führten dazu, die gesamte Schlackenverarbeitung auf die Herstellung von Zuschlagstoffen umzustellen.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur Herstellung der verschiedensten Produkte aus Mansfelder Schlacke werden nun kurz dargelegt.

## **Einleitung**

### **1. Geschichtliche Entwicklung**

Die früheste bekannte Art der Verwendung der Kupferschlacke waren die Schlackenbäder. Den über glühende Schlacken gegossenen Wässern sprach man durch ihren Gehalt an Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Kieselsäure eine heilende Wirkung zu. Die erste Nachricht hierüber finden wir aus dem Jahre 1484. Noch heute gibt es Gebäudereste einer 1855 errichteten Badeanstalt in Hettstedt die nach diesem Prinzip geheizt wurde. Weiterhin ist bekannt, daß bis zum Jahre 1872 Mansfelder Hüttenleute glühende Schlacke nach Hause schafften, um darauf zu kochen und die Wärme zu Heizzwecken zu verwenden. Die Schlackenklumpen, die im Innern noch teigig waren, wurden an Ketten hängend mit Schlitten transportiert.

Die Verwendung von zerschlagenen Schlackenbrocken findet man in alten Bauwerken. Dies stellte die erste Umwandlung des Abfallproduktes Schlacke in ein Nebenprodukt dar.

Die ständige Steigerung der Kupferproduktion erhöhte den Schlackenanteil, und das Abfallprodukt wurde zu einem Problem, da zusätzliches Gelände für das Verkippen der Schlacke gekauft werden mußte. Im 18. Jahrhundert wurde mit der Verarbeitung der unförmigen Schlackenstücke durch Zerschlagen industriell begonnen und Schotter hergestellt.

Mitte des 18. Jahrhunderts wurde bereits mit der Herstellung von Formsteinen aus der glutflüssigen Schlacke begonnen. Die glutflüssige Schlacke wurde in Kübeln gesammelt und in flachen mit Koksgrus gefüllten Gruben mit einer Harke bis zum Zähwerden gewickelt und durch Drücken in geeignete Formen gebracht. Später wurden dazu gußeiserne Formen verwendet. Diese Wickelschlackensteine wurden in einer mechanisierten Anlage auf der August-Bebel-Hütte in Helbra hergestellt und in mannigfaltigen kleineren Bauvorhaben, besonders im individuellen Wohnungs- und Garagenbau, verwendet.

Damit diese Steine aber diese Bedeutung erlangen konnten, mußte noch etwas mehr als das Wickeln in Koksgrus hinzukommen, der Temperprozeß.

Die Mansfelder Schlacke entspricht mit fast 50 %  $\text{SiO}_2$  einer extrem sauren Schlacke, die in ihren Eigenschaften denen von Glas nahe kommt. Durch den Schmelzprozeß stark überhitzt, erstarrt sie bei schneller Abkühlung an der Luft glasig. Zur Erzielung einer ausreichenden Festigkeit muß die Kristallisation durch eine Wärmebehandlung, den Temperprozeß, erfolgen.

Bedingt durch die Erhöhung der Produktion und damit dem größeren Anfall von Schlacken wurde diese Wärmebehandlung beim Stapeln der gewickelten, noch heißen Steine entdeckt und dann in speziellen Tempergruben weiter entwickelt.

Bereits 1785 wurde vorgeschlagen, aus der Rohhüttenschlacke ohne den Wickelprozeß Steine zu gießen, nachdem man bereits in flachen Gruben eine kristallisierte Schlacke zur Herstellung von Schotter verarbeitete. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde bereits eine Jahresproduktion von 5000 t Schotter erreicht.

Ende 1875 wurden zum ersten Mal in einer Grube 35 Schlackenpflastersteine mit einem Guß hergestellt und damit der Grundstein für die Mansfelder Schlackenpflastersteinproduktion gelegt.

1894 wurden bereits 19 verschiedene Formate der Mansfelder Schlackenpflastersteine hergestellt und in vielen Großstädten des damaligen deutschen Reiches beim Straßenbau verwendet.

In den 100 Jahren Produktion der Mansfelder Schlackenpflastersteine wurden rd. 1,4 Milliarden Steine der unterschiedlichsten Formate für den Straßenbau, für Deichbefestigungen und für Bauwerke und Wandverkleidungen hergestellt. Damit könnte man eine Straße von 80 cm Breite rund um den Äquator bauen, auch wenn damit nur 0,1 % des Straßenbelages aller Straßen der Erde mit Mansfelder Steinen befestigt wurden.

Bereits vor dem ersten Weltkrieg wurden Versuche unternommen, das Mansfelder Schlackenmaterial für die Zementherstellung zu nutzen. Die zu große Härte und hohe Verarbeitungskosten der Schlacke ließen damals eine Verwendung nicht zu, da andere Rohstoffbasen in Form der basischen Eisenhoch- ofenschlacken in ausreichender Menge zur Verfügung standen.

Im Jahre 1953 wurden wieder Versuche aufgenommen Schlackemehl als Bindemittel in der Bauindustrie direkt zu nutzen. Die geringe Bindefähigkeit ergab aber nur bei extremer Aufmahlung günstige Ergebnisse bei Mörtel. 1959 wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Zement in Dessau nachgewiesen, daß die Mansfelder Schlacke in kristalliner oder glasiger Form als Zementzuschlagstoff geeignet ist, keine zementschädigenden Bestandteile besitzt, die Langzeitfestigkeit verbessert und die Farbe der einheimischen Zementrohstoffe günstig beeinflusst, wenn man dem Klinker bis 10% Schlacke zusetzt.

Die Mansfelder Schlacke wurde zu einem bedeutenden Zuschlagstoff für die Zementindustrie . Neben der Entwicklung der Schlackenpflastersteine muß aber die Entwicklung von Verschleißmaterial aus Mansfelder Schlacke noch besonders herausgestellt werden. Das bekannteste Verschleißmaterial, der Schmelzbasalt, half bereits über 100 Jahren Verschleißprobleme in der Industrie zu lösen. Bereits 1930 wurden die ersten Spülversatzrohre aus Mansfelder Schlacke versuchsweise hergestellt und spezielle Verschleißplatten produziert.

Im Jahre 1955 begann der Begriff Verschleißmaterial aus Mansfelder Schlacke in der Industrie die Aufmerksamkeit auf sich zu richten, so daß 1962 die Verschleißmaterialproduktion wertmäßig die Schlackensteinproduktion überholte. 1967 stellten die „IMORTAL- Erzeugnisse“ Stahlrohre mit Schlackenausfütterung, Verschleißplatten für Rinnen, Behälter und Schurren auf der Messe in Leipzig Spitzenprodukte der Verschleißmaterialien dar.

Die Schlackenplätze begannen zu verwaisen. Die hohe Arbeitsintensität, bei der Schlackensteinherstellung und bei der Straßenpflasterung lies eine Wirtschaftlichkeit nicht mehr zu. Das Fehlschlagen geeigneter Mechanisierungsvorhaben führte Ende 1976 zur Einstellung der Produktion der Mansfelder Schlackensteine und des Verschleißmaterials, da in der Zwischenzeit durch den zunehmenden Bedarf der Zementindustrie ein neuer Abnehmer für die Schlacke aufgetreten war.

Im Zusammenhang mit der Einstellung der Arbeiten auf den Schlackenplätzen muß aber noch bemerkt werden, daß bei der Schlackenstein- und Verschleißmaterialherstellung, bedingt durch die Technologie, immer noch 50 % der anfallenden Schlacke auf Halde gelagert werden mußte und somit das Problem der gesamten Schlackenverarbeitung nicht gelöst werden konnte. Die Verwertung der auf Halde lagernden Schlacken ist ebenso alt wie ihre Entstehung. In immer größerem Maße wurde Material der Schlackenhalde für Bodenfüllungen, Meliorationsmaßnahmen und für Gleisbauarbeiten im Tagebau eingesetzt.

### **Kristallisation**

Die kristallographischen Untersuchungen zeigten, daß die Mansfelder Schlacke je nach Abkühlgeschwindigkeit und Temperaturverlauf unterschiedliche Kristallisationsformen und Kristallgrößen, vom glasig bis zum grobkristallinen Gefüge, aufweist. Die Kristallisation erfolgt bei Temperaturen zwischen 1080-700 °C.

## **2. Produkte und Versuchsprodukte aus Mansfelder Schlacke**

### **2.1. Granulat**

Bei in Wasser einlaufender oder im Wasserstrahl abgekühlter Kupferrohschlacke entsteht ein Granulat mit überwiegend scharfkantigem Korn von glasiger, dichter Struktur ohne Bläherscheinungen.

Das Granulat eignete sich für die Verwendung als Zementzuschlagstoff und nach Versuchen des Institutes für Stahlbeton für die Feuerbetonherstellung von Schornsteinelementen, als Gemengezusatz. In der Behälterglasindustrie wurden Qualitätsverbesserungen mit Schlackengranulat dergestalt erreicht, daß die Druck-, Berstdruck- und Temperaturwechselfestigkeit beachtlich erhöht wurden, wobei teilweise äußerlich erwünschte Schwarzglanzeffekte auf Braungläsern entstanden.

## **2.2. Schwarzschlacke**

Beim Gießen der feuerflüssigen Schlacke in dünnen Schichten und rascher Abkühlung an der Luft entsteht ein scharfkantiger überwiegend glasiger Schotter mit 10-20 mm Kantenlänge. Diese Schwarzdecke fand Anwendung in der Zementindustrie. Bei der Herstellung von Schornstein - elementen fand eine industrielle Fertigung statt.

## **2.3. Temperschlacke**

Durch Gießen von Schlacke in mehreren Schichten in Tempergruben und als Abfallprodukt der Schlackensteinherstellung entsteht eine getemperte, überwiegend kristalline Schlacke. Bedingt durch Wärmespannungen und durch die Kristallisation ist der Grubeninhalt teilweise gerissen und vorzerkleinert. Das Ausräumen der Tempergruben ist schwierig und mußte durch Sprengungen unterstützt werden, wodurch eine industrielle Fertigung in Frage gestellt wurde.

## **2.4. Schotter**

Der Schotter, besonders von der Schlackensteinherstellung, wurde als schwerer Zuschlagstoff für Betone, als Füllkörper für die biologische Abwasserreinigung und z. T. als Gleisschotter für untergeordnete Zwecke (Reichsbahnschotter mit weniger als 5 % glasigen Bestandteilen wurde nicht erreicht) eingesetzt.

## **2.5. Wickelschlacke und Blähschlacke**

Beim Wickeln der zähflüssigen glühenden Schlacke über Feinkoks entsteht durch das Gasen des Kokes im Moment des Einbindens ein poriges, aufgelockertes Gefüge mit einer Wichte von rd. 1,5. Durch den Temperprozeß wird ein porzellanähnliches bis kristallines Gefüge erreicht.

Ohne den anschließenden Temperprozeß in den Warmhaltegruben entsteht aus der Wickelschlacke durch Abkühlung an der Luft und nachfolgendem Brechen ein Blähschlackengranulat (Körnung 0 • • • 50 mm mit einer Schüttdichte von 0,9). Durch Zugabe von 200 kp Portlandzement 325/m<sup>3</sup> entsteht ein Leichtbeton mit einer Frischraumdichte von 1,43 t/m<sup>3</sup>, einer Rohdichte von 1,38 und 63 kp/cm<sup>2</sup> Druckfestigkeit nach 28 Tagen. Die großtechnischen Versuche wurden abgebrochen, da ein Leichtbeton von 1,2 t/m<sup>3</sup> nicht erreicht wurde. Versuche zur Herstellung von Schlackenbims durch Blähen in Wasser mit Preßluft, analog der Bimsherstellung in der Eisenhüttenindustrie, ergaben keine befriedigenden Ergebnisse.

## **2.6. Strahlmittel**

Durch Brechen der kristallinen Mansfelder Schlacke auf Körnungen um 5 mm und darunter entsteht ein scharfkantiger Strahlsand, der für einmalige Verwendung bestens geeignet ist, wobei keine Silikosegefahr besteht, da ein Anteil an freier Kieselsäure nicht nachgewiesen werden konnte. Bei mehrmaliger Anwendung grober Körnungen nimmt die Körnung stark ab und die Griffigkeit sinkt rapide, so daß auch eine Anwendung als Schleif- und Poliermittel nicht gegeben ist.

## **2.7. Spurenelementdünger**

Feinstgemahlene Schlacke wurde mit Zusätzen von kupferhaltigem Material aber auch ohne Zusätze als Spurenelementdünger und Kupferdüngemittel versuchsweise auf vorwiegend moorigen Böden mit Molybdän- und Kupfermangel eingesetzt. Die Herstellungskosten konnten durch die guten Ergebnisse aber nicht gedeckt werden.

## **2.8. Schlackenwolle und Schlackenseide**

Die Herstellung von Schlackenwolle direkt aus der flüssigen Schlacke scheiterte an der hohen Zähigkeit und den technologisch bedingten Schwankungen der Qualität der anfallenden Schlacke (Temperatur und Zusammensetzung).

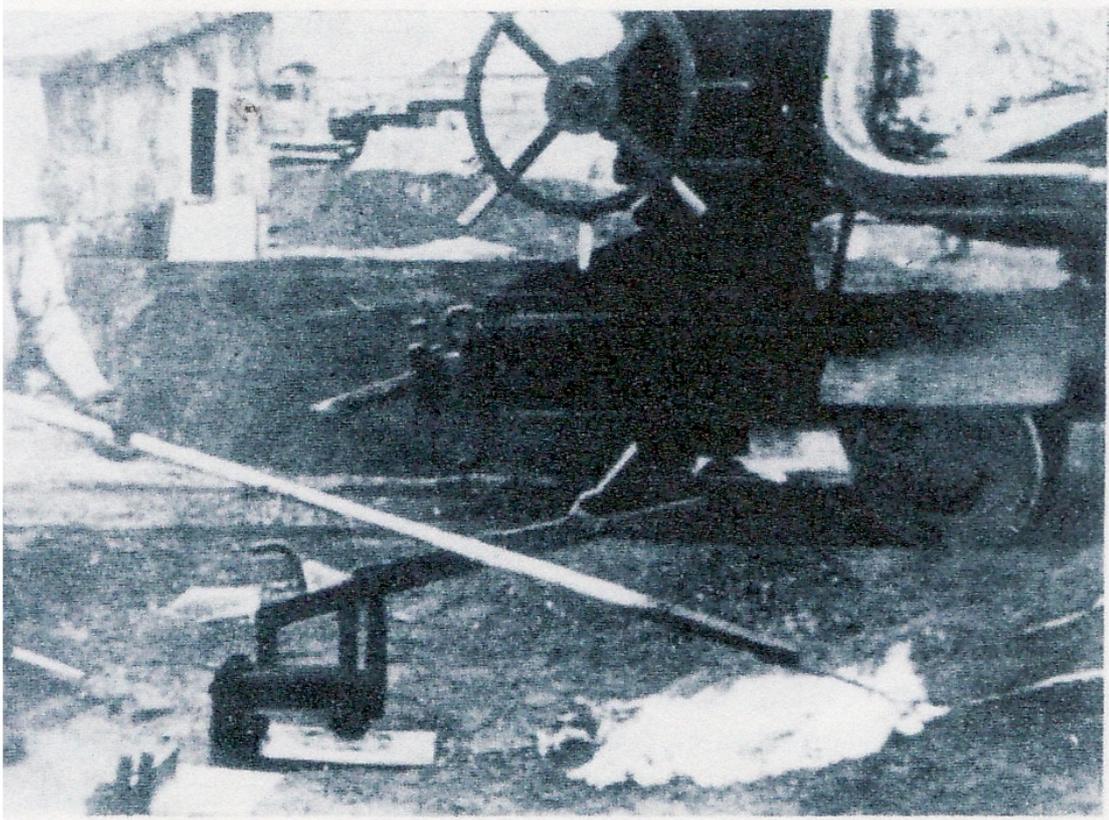
Beim Neueinschmelzen der Schlacke und geeigneten Zuschlägen wurden einwandfreie Ergebnisse erzielt. Mansfelder Schlacke wurde bei der Herstellung von Mineralwolle als Zuschlagstoff verwendet. Die Herstellung von Schlackenseide wurde versuchsweise durchgeführt, ohne daß eine Einführung erfolgte, da der Bedarf gering war.

## **3. Schlußbemerkungen**

Die herausragenden chemisch-physikalischen Eigenschaften der Mansfelder Schlacke ermöglichten den Einsatz in zahlreichen Anwendungsgebieten. Der hohe Arbeitsaufwand zur Formgebung, die technisch bedingte Ausnutzung der Schlacke mit nur maximal 50 % und die damit verbundene weitere Aufhaltung der Restschlacken, sowie Qualitätsprobleme der anfallenden Schlacken durch Änderung der Lagerstätten und Zuschläge führten dazu, daß die Eignung der Schlacke als Zementzuschlagstoff, der enorme Bedarf der Bauindustrie und die Möglichkeit der vollständigen Verwendung der anfallenden Schlacke letztlich dazu führte, die gesamte Schlackenverarbeitung auf die Herstellung dieser Zuschlagstoffe für die Zementindustrie umzustellen. **Umfangreiches Anschauungsmaterial der einstigen Erzeugnisse aus Kupferschlacke, befinden sich im Freigelände der ständigen Ausstellung im Helbraer Heimatverein.**



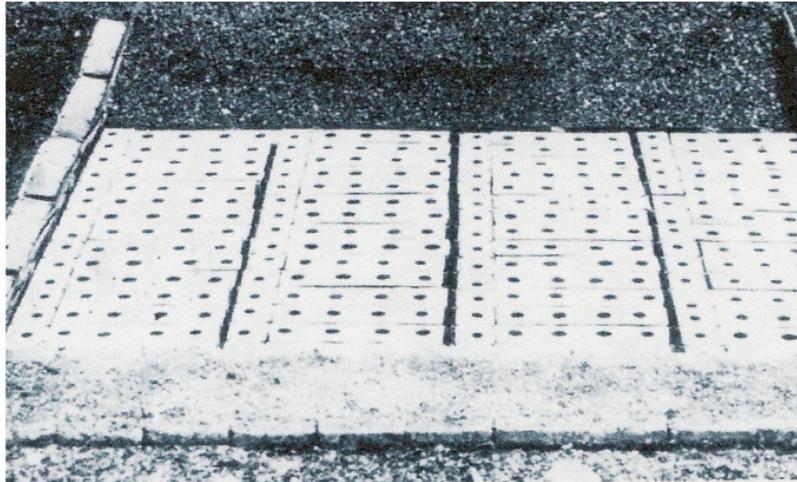
*Schlackenplatz der Karl-Liebknecht-Hütte 1956*



*Die älteste Technologie zur Herstellung von Schlackenbausteinen, das Wickeln der zähflüssigen Schlacke mittels Rechen bzw. Harke über feinem Koks (Wickelschlackenverfahren)*



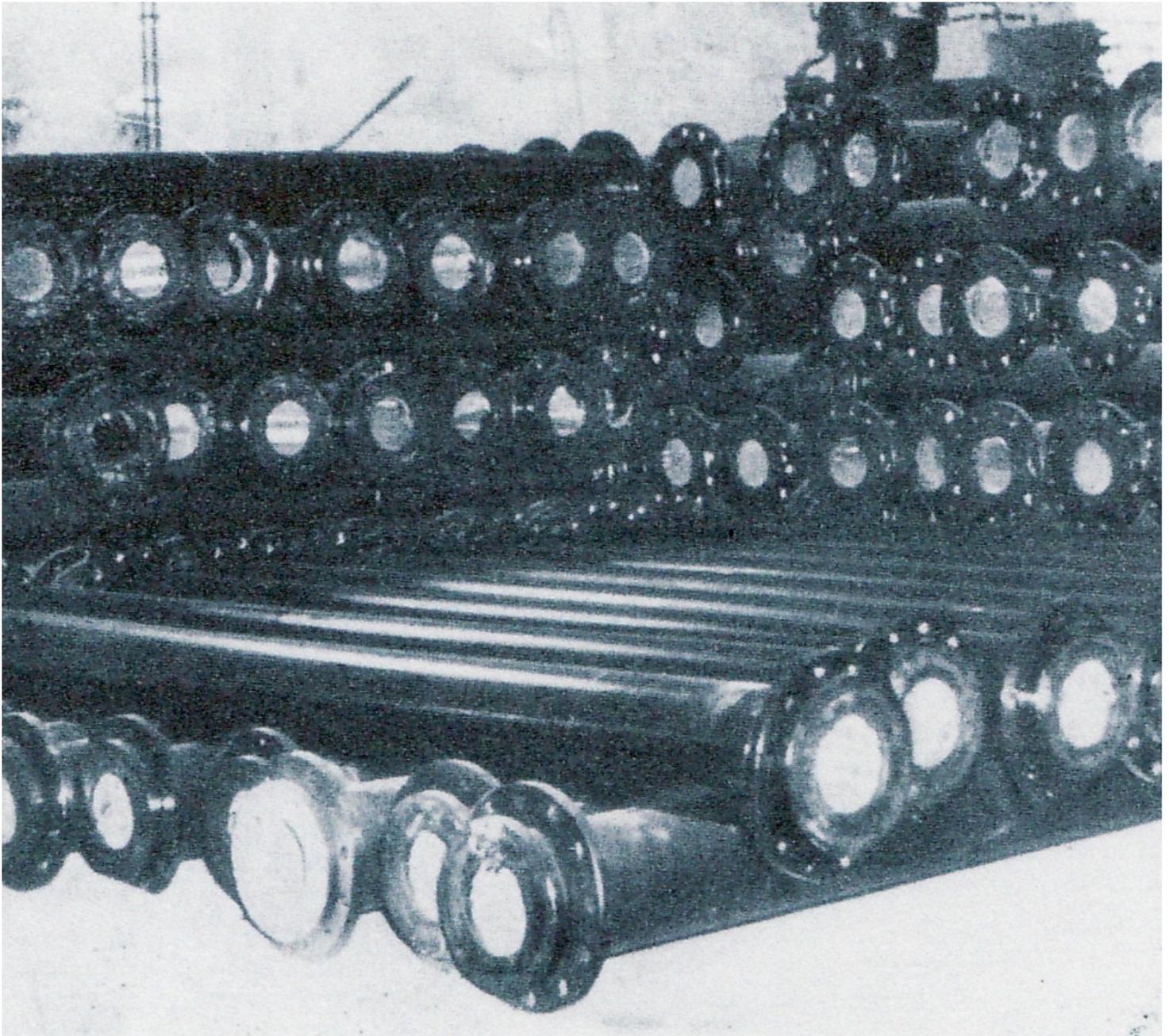
*Facher beim Setzen der Bleche für Pflastersteine*



*Die fertige Grube zum Gießen der Schlackensteine*



*Füllen der Grube mit glühflüssiger Rohüttenschlacke*



*Immortal-Rohre, Stahlrohre mit Innenauskleidung aus Schlackenrohren*