

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 82 (1964)  
**Heft:** 51

**Artikel:** Mahlanlagen für die Zementindustrie  
**Autor:** Ruegg, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-67639>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

zielbewusste Bestimmtheit und sein kluges und taktvolles Vorgehen gelungen ist, in verhältnismässig kurzer Zeit die umfassende Internationalität der Vereinigung wiederherzustellen. Für seine grossen Leistungen im Dienste der internationalen Zusammenarbeit der Ingenieure des Brückenbaues und des Hochbaues wurde er bei seinem Rücktritt vom Präsidium 1951 zum Ehrenpräsidenten der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau gewählt. Er hat auch seither an der weiteren Entwicklung der Vereinigung stets lebhaften Anteil genommen, und er stand, so oft man an ihn gelangte, mit seiner Erfahrung und seinen wohlüberlegten Ratschlägen der Vereinigung zur Verfügung. Ich danke unserem verehrten Ehrenpräsidenten für

seinen Einsatz und seine Leistungen im Rahmen der IVBH; seine Tätigkeit wird unvergessen bleiben. Während der gemeinsamen Tätigkeit in unserer Vereinigung hat sich zwischen dem ehemaligen Lehrer und seinem früheren Schüler eine Freundschaft entwickelt; für diese väterliche Freundschaft bin ich ganz besonders dankbar.

Unsere Hochschule und ihre ehemaligen Schüler, die durch die Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau vertretenen Fachkreise und seine Freunde trauern heute um Professor Charles Andrae. Sie danken ihm für sein grosses und wertvolles Lebenswerk und sie werden sein Andenken in hohen Ehren halten.

F. Stüssi

## Mahlanlagen für die Zementindustrie

Von Dr. R. Ruegg, Escher-Wyss AG, Zürich

### 1. Allgemeines

Die rasche Steigerung des Zementbedarfes in den letzten Jahren gab der Firma Escher Wyss Gelegenheit zur Lieferung von Mahlanlagen, die in enger Zusammenarbeit mit der «Technischen Stelle Holderbank» zu wirtschaftlichen und betriebssicheren Einheiten entwickelt worden sind.

In der Zementindustrie wird Feinmahlung zweimal angewendet, ein erstes Mal bei der Aufbereitung des Rohmaterials und ein zweites Mal zur Verarbeitung des im Ofen gebrannten Klinkers auf die gewünschte Endfeinheit des Zementes.

Zur Feinmahlung dienen heute weitgehend Kugelmühlen, wobei verschiedenartige Schaltungen zur Wirkung kommen. Für die Zementmahlung eignen sich Durchlaufmühlen (sogenannte Verbundmühlen) oder Mahlanlagen im geschlossenen Kreislauf mit Sichter und Becherwerk. Für die Aufbereitung des Rohmaterials werden beim Nassverfahren Schlamm-Mühlen eingesetzt, beim Trockenverfahren sind es entweder Durchlaufmühlen oder Mahlanlagen im geschlossenen Kreislauf.

### 2. Mahlanlagen für Zement

Nachstehend sollen hier nur Mahlanlagen im geschlossenen Kreislauf mit Sichter und Becherwerk beschrieben werden. Der grundsätzliche Aufbau geht aus Bild 1 hervor. Die zu mahlenden Materialien (Klinker, Gips, teilweise auch Schlacke) werden den Bunkern durch Dosierbandwaagen entnommen und der gewünschten Zusammensetzung des Fertigzementes entsprechend dosiert. Das Gemisch durchläuft die Grob- und die Feinmahlkammer der Mühle und verlässt diese

DK 621.926:666.944

als Zementgries. Dieser gelangt über ein Becherwerk und eine pneumatische Rinne zum Streusichter, wo er in Grobgut und Feingut (Zement) getrennt wird. Die Feinheit des Zementes kann durch die Sichtereinstellung in gewissen Grenzen verändert werden. Der fertige Zement fällt durch ein Fallrohr zur Abtransport-Rinne, während der Griess zum Mühlen-Endlauf zurückgelangt.

Zur Kühlung des Mahlgutes in der Mühle und zur Entstaubung aller Transporteinrichtungen dient ein Ventilator, der im ganzen Mahl-System einen Unterdruck und somit einen Luftstrom erzeugt. Die

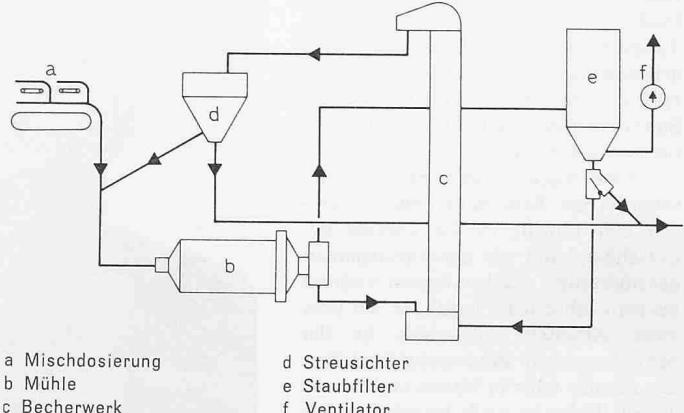
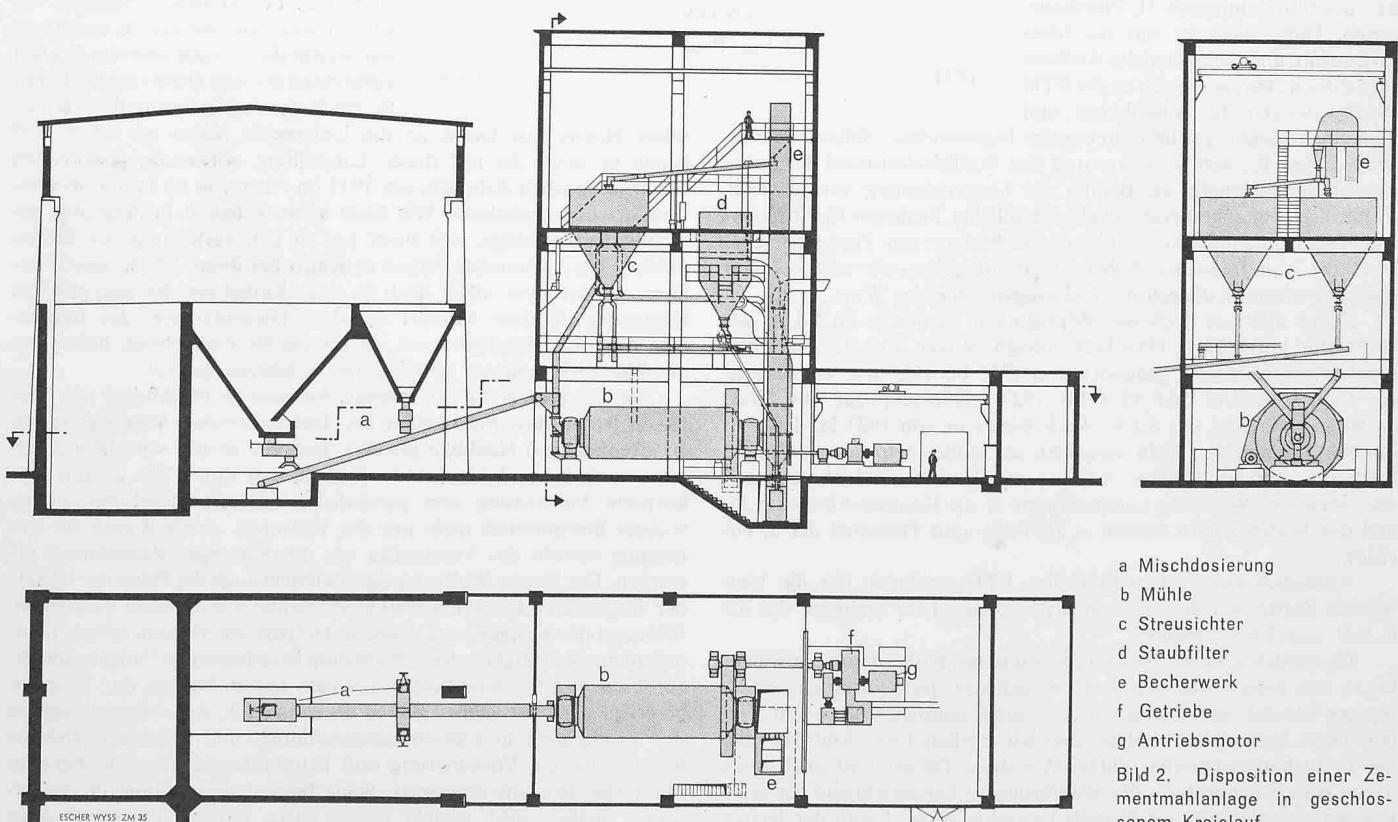


Bild 1. Schema einer Zementmahlanlage in geschlossenem Kreislauf



a Mischdosierung  
b Mühle  
c Streusichter  
d Staubfilter  
e Becherwerk  
f Getriebe  
g Antriebsmotor

Bild 2. Disposition einer Zementmahlanlage in geschlossenem Kreislauf

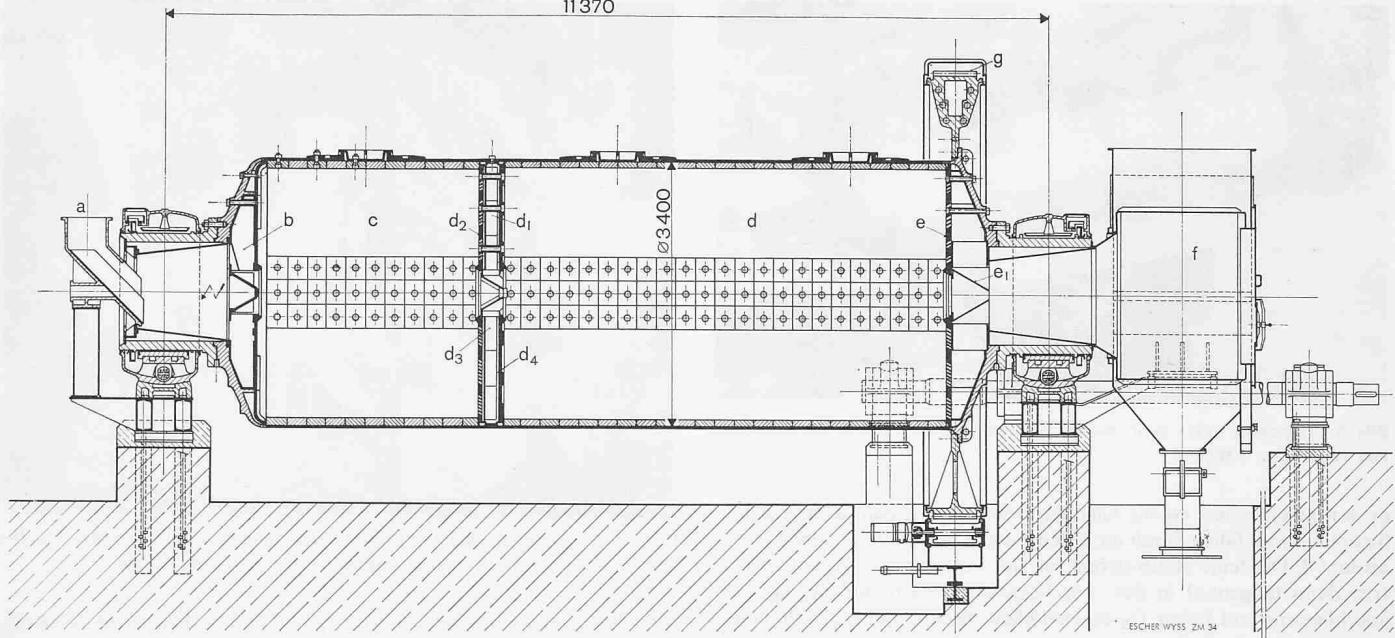


Bild 3. Schnitt durch eine Zementmühle mit Zahnkranz-Antrieb

Frischluft tritt bei der Materialaufgabe in die Mühle ein, durchströmt diese und wird als staubhaltige Luft einem Filter zugeführt. Die gereinigte Luft gelangt über den Ventilator ins Freie. Der ausgeschiedene Staub kann mittels einer Umstellklappe unter dem Filter entweder dem Fertigzement beigemischt oder ins Becherwerk zurückgeführt werden.

Bild 2 zeigt die Anordnung einer solchen Anlage für eine Leistung von 40 t/h Zement. Innerhalb der Klinkerhalle befinden sich die Bunker für Klinker, Gips und Schlagke, aus denen die Dosierwaagen a das Mahlgut im richtigen Verhältnis abziehen. Die eigentliche Mahlanlage ist in einem Hochbau untergebracht. Zu ebener Erde ist die Mühle b aufgestellt, darüber sind die Sichter c und der Staubabscheider d angeordnet. Das Becherwerk e steht unmittelbar neben dem Mühlenauslauf. Die Lage der verschiedenen Maschinen und Apparate ist so getroffen, dass sich möglichst kurze Transportwege ergeben. Der Antrieb der Mühle besteht aus einem Getriebe f mit Motor g, einem Hilfsgetriebe und der Schalttafel. Alle diese Teile befinden sich in einem getrennten Raum, so dass sie gegen Verschmutzung durch staubhaltige Luft geschützt sind.

Bild 3 stellt die zugehörige Mühle im Schnitt dar. Das Mahlgut tritt durch den Einlaufkanal a ein und wird durch ein Hubrad mit Leitkonus b in die Grobmahlkammer c gefördert. Nach erfolgter Grobmahlung gelangt es in die Feinmahlkammer d. Zwischen den beiden Kammern ist eine Trennwand d<sub>1</sub> eingebaut, die aus einer Schlitzwand d<sub>2</sub>, einem Hubrad mit Leitkonus d<sub>3</sub> und einer Panzerwand d<sub>4</sub> besteht, die gegen die Feinmahlkammer abschließt. Diese weist auf der Austrittsseite ebenfalls eine Schlitzwand e mit Hubrad und Leitkonus e<sub>1</sub> auf. Die Schlitzwände lassen das Material durchtreten, halten aber die Mahlkugeln in den Kammern zurück. Das Mahlgut gelangt schließlich durch den austragseitigen, hohlen Wellenzapfen in ein rotierendes Sieb, welches sich im Auslaufgehäuse f befindet. Der nun teilweise gemahlene Griess fällt durch das Sieb in den Auslaufkanal, während die Entstaubungsluft durch den oberen Teil des Siebes zum Filter strömt.

Die Mühlentrommel besteht aus einem Zylinder aus Stahlblech, an welchen die schwach gewölbten Stahlgussdeckel angeschweisst sind. Am auslaufseitigen Deckel ist der Zahnkranz g angeflanscht. Alle Mühlenteile, die mit den Mahlkugeln in Berührung kommen, sind durch Panzerplatten aus verschleissfestem Material geschützt (siehe auch Bild 9).

### 3. Streusichter

An Hand des Prinzipschemas Bild 4 lässt sich die Wirkungsweise des Streusichters verfolgen. Das Material fällt durch den Einlauf 1 auf den rotierenden Streuteller 4, wird von diesem verteilt und in den freien Raum zwischen Streutellerumfang und innerem Gehäuse geschleudert. Durch das derart ausgebreitete Gut strömt Luft, die die feinen Materialpartikel mitnimmt. Dieser Luftstrom wird durch den

Ventilator 2 erzeugt. Bereits hier geht die erste Sichtung vor sich, da die schweren Materialteilchen nach unten fallen. Der Streuteller 4 wird durch den Motor 4a, der Ventilator durch den Motor 2a angetrieben. Die getrennten Antriebe ermöglichen eine erwünschte Anpassung an die Betriebsbedürfnisse. Der vom Luftstrom mitgenommene Staub tritt nun in die Zone der Hauptsichtung ein. Diese erfolgt durch den Selektorenventilator 3, der die rotierende Bewegung des aufsteigenden Material-Luftstromes wesentlich verstärkt. Infolge der dadurch erzeugten Fliehkraftwirkung werden die schweren Teile weiter nach

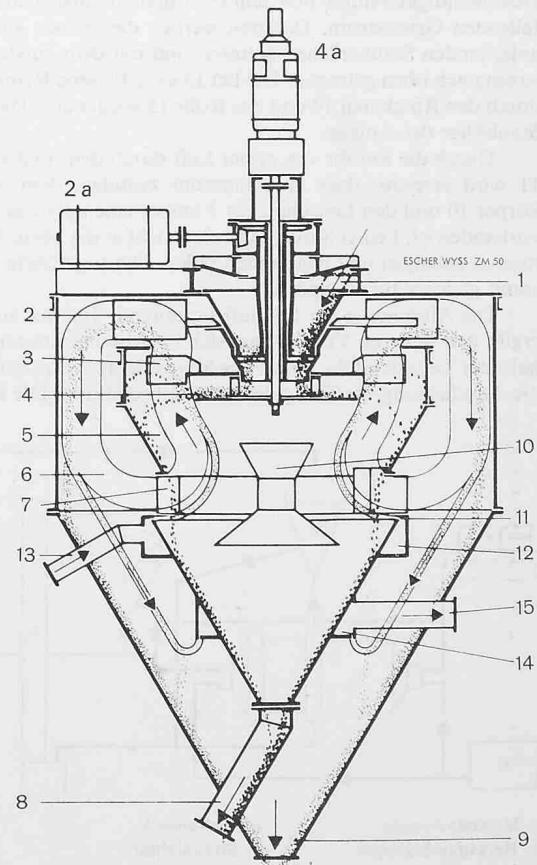


Bild 4. Arbeitsprinzip des neuen Escher Wyss-Streusichters mit Doppelantrieb und SpülLuft-Einrichtung. Legende im Text

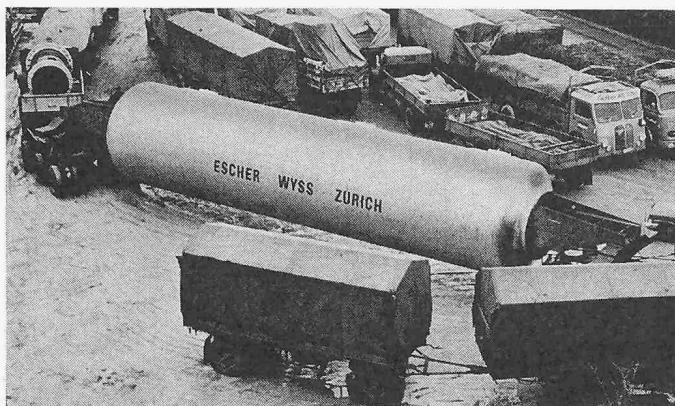


Bild 5. Transport einer Schlamm-Mühlentrommel von 3,27 m Durchmesser und rund 15 m Länge

aussen geschleudert als die leichten, treten so aus dem aufsteigenden Strom aus und fallen durch ihr Eigengewicht nach unten in den Griessauslauf 8. Der feine Staub strömt mit der Luft durch den Ventilator 2, tritt dann tangential in den Abscheideraum 6 ein und bewegt sich anschliessend mit hoher Geschwindigkeit in einer Schraubenlinie abwärts, wobei ein Teil des Staubes an die Außenwand geschleudert wird und nach unten in den Feingutauslauf 9 fällt.

Für die Beurteilung der Wirkungsweise eines normalen Streusichters ist wesentlich, dass die Abscheidung im äusseren Ringraum nach dem Zylindro-Prinzip erfolgt. Das hat zur Folge, dass gerade die feinsten Teile des Feingutes nicht vollständig abgeschieden werden; diese gelangen nämlich mit der Umwälzluft durch die Leitschaufeln 7 in den Sichtraum zurück, wobei sie vorerst den Griessstrom kreuzen und sich dabei an den nach unten fallenden Griesspartikeln anlagern, was unerwünscht ist.

Dieser Nachteil ist bei den von Escher Wyss neu entwickelten Spülflusichtern vermieden. Die Verbesserung besteht darin, dass unterhalb der Leitschaufeln 7 eine Reinigungszone geschaffen wurde, die alle absinkenden Griesspartikel passieren müssen. Durch das Rohr 13 tritt saubere Luft in den Ringkanal 12 und strömt dann mit hoher Geschwindigkeit durch den Schlitz 11 und anschliessend durch den abfallenden Griessstrom. Dadurch werden die groben Körner von den anhaftenden Staubeilchen getrennt und mit dem aufsteigenden Luftstrom nach oben getragen. Die bei 13 eingeblasene Reinigungsluft tritt durch den Ringkanal 14 und das Rohr 15 wieder aus. Dieses führt zum Staubfilter der Anlage.

Durch die Zufuhr von reiner Luft durch den ringförmigen Schlitz 11 wird erreicht, dass im Ringraum zwischen dem Verdrängungskörper 10 und den Leitschaufeln 7 immer eine aufsteigende Strömung vorhanden ist. Feiner Staub kann also nicht in die Mitte des Abscheideraumes gelangen und nach unten fallen. Die zugeführte SpülLuft wirkt somit gleichzeitig als Sperrluft.

Die Absaugung der SpülLuft im unteren Teil des äusseren Konus ergibt den weiteren Vorteil, dass sich im Abscheideraum 6 auch unterhalb der Leitschaufeln 7 eine abwärts gerichtete Strömung bildet, was die Abscheidung des Feingutes günstig beeinflusst. Die ReinigungsLuft

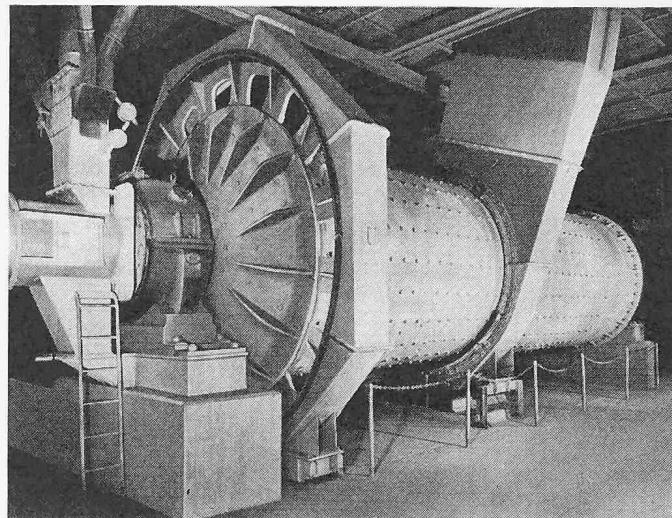


Bild 7. Doppelrotator-Mühle. Der Material-Eintrag erfolgt an den beiden Mühlen-Ende und der Material-Austrag in der Mitte der Mühle

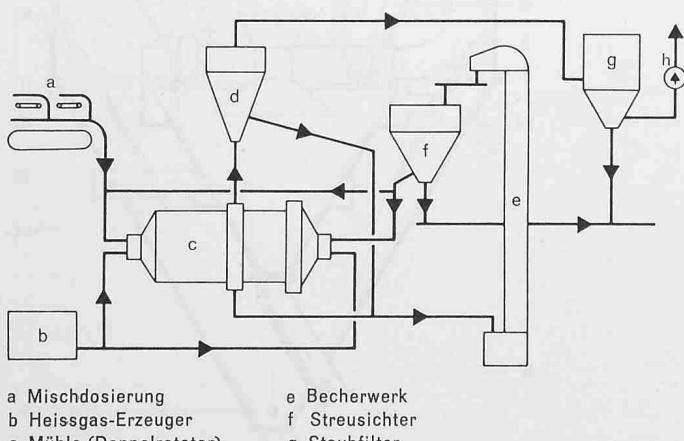
trägt bei Zementmahlungen auch zur Kühlung bei. Wird bei Rohmehl-Mahlungen heisse Luft eingeblasen, so lässt sich damit eine zusätzliche Trocknung erzielen.

Neben dieser neuen Bauart werden auch die bisherigen Typen ohne SpülLuftsystem gebaut. Wahlweise können ferner die Streusichter mit Einzel- oder Doppelantrieb ausgerüstet werden. Der Doppelantrieb erlaubt eine Feinheitsregulierung des Fertigzementes von der Schalttafel aus.

#### 4. Mahlanlagen für Rohmaterial

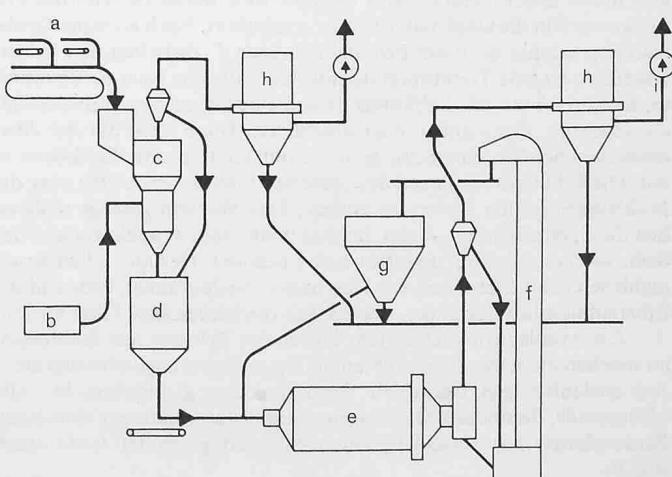
Bei den nach dem Nassverfahren arbeitenden Zementfabriken werden die Rohstoffe in Schlamm-Mühlen zu Rohschlamm gemahlen. Vorgängig müssen Kalksteine und Mergel vorzerkleinert werden. Da das Nassverfahren wegen dem hohen Wärmeverbrauch des Ofens immer seltener vorkommt, geht der Bedarf an solchen Mühlen zurück. Trotzdem wurde von Escher Wyss kürzlich eine bedeutende Lieferung von Schlamm-Mühlen für total 160 t/h Rohmaterial ausgeführt. Auf Bild 5 ist eine der beiden Trommeln beim Transport vom Herstellerwerk zur Zementfabrik zu sehen. Ihr Aussendurchmesser beträgt 3,27 m, die Länge 14,9 m und das Gewicht ohne Panzerung und Kugelfüllung 54 t.

Bei den nach dem Trockenverfahren arbeitenden Zementfabriken werden für die Mahlung des Rohmaterials meist ebenfalls Becherwerk-Umlauf-Mühlen mit Sichtern eingesetzt. Es sind hier verschiedene Schaltarten möglich. Bild 6 zeigt das Schaltschema einer solchen Anlage. Als Mühle dient ein Doppelrotator, bei dem sich der Materialeintrag an den beiden Mühlenenden und der Materialaustrag in der



a Mischesierung  
b Heissgas-Erzeuger  
c Mühle (Doppelrotator)  
d Vorabscheider  
e Becherwerk  
f Prallbecher  
g Staubfilter  
h Ventilator

Bild 6. Schema einer Mahltrocknungsanlage, bestehend aus einer Rohrmühle mit Sichter, Becherwerk und Staubfilter sowie mit vorgeschaltetem Prallrohrzähler mit Heissgaserzeuger



a Mischesierung  
b Heissgas-Erzeuger  
c Mühle (Doppelrotator)  
d Bunker  
e Mühle  
f Becherwerk  
g Staubfilter  
h Ventilator

Bild 8. Schema einer Mahltrocknungsanlage, bestehend aus einer Rohrmühle mit Sichter, Becherwerk und Staubfilter sowie mit vorgeschaltetem Prallrohrzähler mit Heissgaserzeuger

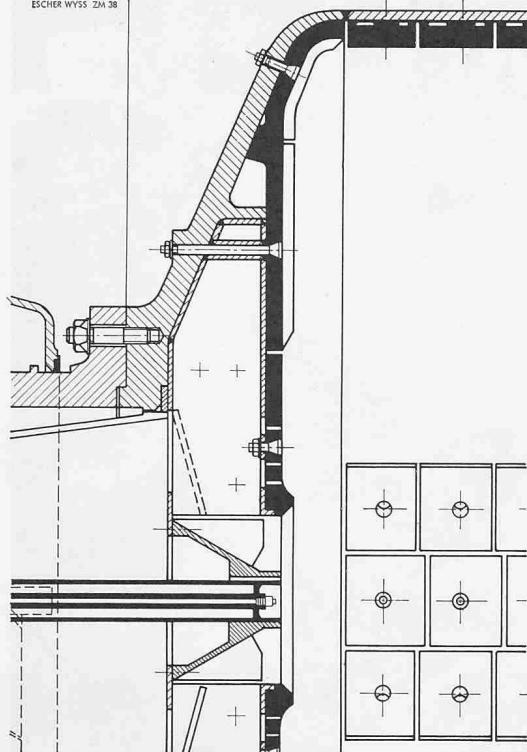


Bild 9. Verbindung des Trommelmantels mit dem Deckel und den Wellenzapfen bei einer grossen Rohrmühle. Die Mühle ist mit Wassereinspritzung für die zusätzliche Kühlung des Mahlgutes ausgerüstet

Mitte befinden. Auf der Seite der Materialaufgabe mittels Dosieranlage ist die Mühle mit einer Trockenkammer (ohne Chargierung) und anschliessend mit einer Grobmahlkammer ausgerüstet, während sich die Feinmahlkammer auf der anderen Seite befindet. Heissgase zur Trocknung werden auf der Seite der Trockenkammer zugegeben, können aber auch nötigenfalls in die Feinmahlkammer geleitet werden. Bild 7 stellt einen Doppelrotator dar, wie er für eine Mahltrocknungsanlage gemäss der beschriebenen Schaltung geliefert wurde.

In letzter Zeit hat sich die Erkenntnis allgemein durchgesetzt, dass es im Interesse einer energiesparenden Aufbereitung von Rohmaterialien zweckmässig ist, der Feinmahlanlage einen Pralltrockner vorzuschalten. Dieser Apparat ist aus den bekannten Prall-Mühlen entwickelt worden. Ein mit hoher Drehzahl betriebener Rotor erteilt dem Rohmaterial eine grosse Geschwindigkeit. Beim Auftreffen auf die Prallplatten wird das Material zerkleinert. Es kann gleichzeitig durch Einblasen von Heissgas unter günstigen Bedingungen getrocknet werden.

Im Pralltrockner ergibt sich bereits ein beachtlicher Anteil an Feinstkorn, das über einen Entstauber getrennt als Fertigprodukt abgezogen werden kann. Dieses entlastet die nachgeschaltete Feinmahlanlage, welche sich deshalb kleiner bemessen lässt.

Wie aus dem Schema Bild 8 einer ausgeführten Mahlanlage ersichtlich, besteht diese aus einer Rohrmühle mit Becherwerk, Sichter und Staubfilter sowie mit vorgeschaltetem Pralltrockner. Für diesen sowie für die Feinmühle ist in vorliegendem Fall je ein Staubfilter vorgesehen, um die Staubanteile beider Anlageteile getrennt messen zu können. Es ist aber ohne weiteres möglich, bei solchen Anlagen nur einen, entsprechend vergrösserten Filter anzuwenden. Bei einer Anlage gemäss Bild 8 konnten anlässlich der Abnahmeverweise folgende Anteile an Rohmaterial ermittelt werden:

Pralltrockner-Staub	7,3 t/h	18%
Mühle: vom Sichter abgeschieden	27,0 t/h	67%
vom Mühlenfilter abgeschieden	6,2 t/h	15%
Gesamtleistung der Anlage	40,5 t/h	100%

##### 5. Konstruktionsmerkmale

Um der Kundschaft betriebssichere Mühlen mit langer Lebensdauer liefern zu können, sind bei der konstruktiven Ausbildung verschiedene Forderungen zu berücksichtigen, die zwar meist zu einer Verteuerung der Anlage führen, sich aber auf längere Sicht immer bezahlt machen und daher gesamtwirtschaftlich von Vorteil sind.

Mit Recht ist bei Mühlentrommeln nichts so gefürchtet wie das Auftreten von Rissen in den Mantelblechen oder in den Deckeln.

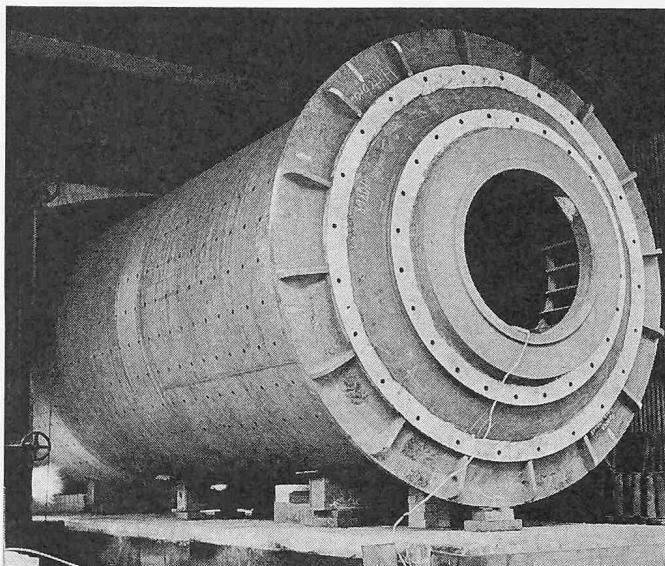


Bild 10. Mühlentrommel von 3,4 m Durchmesser und 9 m Länge nach dem Spannungsfrei-Glühen beim Ausfahren aus dem Glühofen

Solche Risse können oft auch erst nach Jahren auftreten, führen dann aber zu unliebsamen Produktionsausfällen und zu kostspieligen Reparaturen.

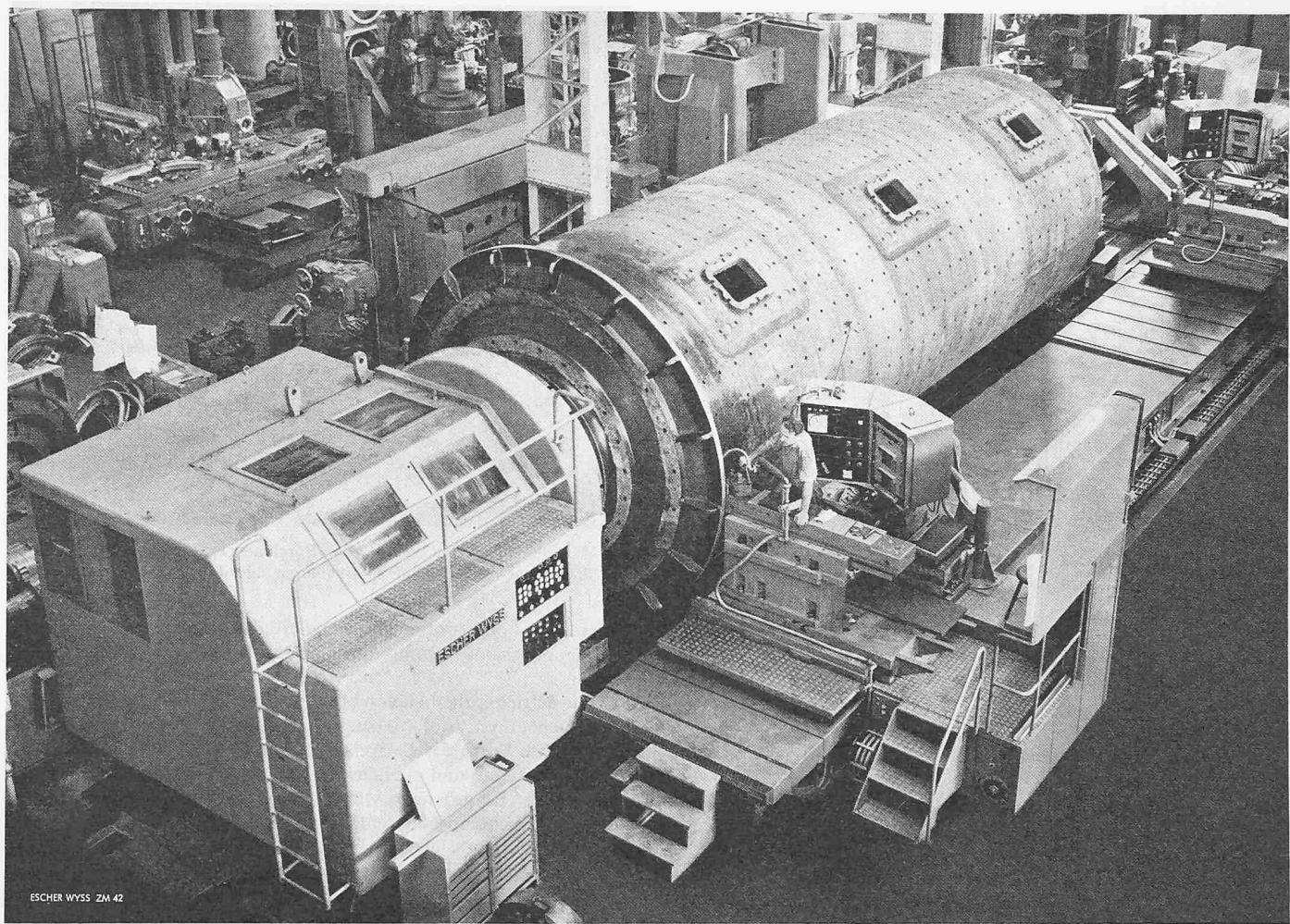
Die Betriebssicherheit von Mühlentrommeln auf Jahre hinaus wird namentlich durch zwei Massnahmen erreicht: erstens durch festigkeitsgerechte Form der Deckel, insbesondere beim Übergang in den zylindrischen Teil, und zweitens durch richtige Wahl und Behandlung des Materials. Bei grösseren Mühlen mit über 3 m Durchmesser werden die Deckel nicht angeflanscht, sondern direkt an die zylindrischen Mantelbleche angeschweisst. Die Deckel bestehen aus erstklassigem Stahlguss. Es ist möglich, deren Form so zu wählen, dass sich festigkeitsmässig im Übergang zwischen Deckel und Mantel keine wesentlichen Spannungserhöhungen ergeben (Bild 9). Im Prinzip gelangt man zu Formen, wie sie aus dem Bau von Druckbehältern bekannt sind. Grundsätzlich wäre es bezüglich Lagerhaltung und Lieferzeit günstiger, ebene Böden zu verwenden, doch ist eine solche Ausführung aus Festigkeitsgründen nicht zu empfehlen.

Risse, die ab und zu nach Jahren an Trommeln auftreten, sind auf Ermüdungserscheinungen von Werkstoffen zurückzuführen, weil durch die örtlichen Spannungen in den geschweißten Partien die Ermüdungsfestigkeit herabgesetzt und dadurch die Gefahr von Ermüdungsbrüchen grösser wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Trommelleite jahrelang einer dauernden Wechselbeanspruchung unterworfen sind. Daher werden Mühlentrommeln als Ganzes nach dem Schweißen spannungsfrei geglüht. Bild 10 zeigt eine Mühlentrommel beim Ausfahren aus dem Glühofen im Werk in Zürich.

Nach dem Glühen erfolgt die Bearbeitung der Flanschen an den beiden Enden der Trommel. Es ist für den exakten Lauf der Mühle wichtig, dass die bearbeiteten Flächen genau parallel sind. Diese Forderung lässt sich nur erreichen, wenn diese Flanschen in der gleichen Aufspannung bei drehender Trommel bearbeitet werden. Es wäre also nicht zulässig, zuerst die eine Flansche zu drehen, dann die Mühlen-trommel zu wenden und anschliessend die zweite Flansche zu bearbeiten. Eine solche Mühle würde später mit grössster Wahrscheinlichkeit «schwanzen». Escher Wyss hat vor einiger Zeit eine Spezialdrehbank mit Stützquellenlagerung entwickelt, die besonders geeignet ist, um grosse Werkstücke bis zu 140 t absolut genau bearbeiten zu können (Bild 11).

Eine weitere interessante Einzelheit betrifft die Mühlenlagerung. Escher Wyss hat, ausgehend vom Prinzip der Tragquellenlagerung, das sogenannte «Minifri»-Lager (Bild 12) entwickelt, welches sich namentlich für sehr grosse Mühlen gut eignet. Das Betriebsgewicht kann bedeutende Werte annehmen. Eine kürzlich abgelieferte Mühle mit 3,8 m Durchmesser und rund 13 m Länge für eine Leistung von 80 t/h Zement von 2700 cm<sup>3</sup>/g (Blaine) Feinheit weist ein Betriebsgewicht von rund 440 t auf. Dieses setzt sich wie folgt zusammen: Trommel und Lagerzapfen 76 t, Panzerung 98 t, Kugelcharge 216 t, Klinker rund 50 t. Jedes Lager hat also 220 t aufzunehmen.

Für derart grosse Belastungen werden neuerdings Lager verwendet, bei denen die Wellenzapfen auf Druckquellen ruhen. Wie aus Bild 13 ersichtlich, sind vier Öltaschen vorgesehen, wobei je zwei in



axialer Richtung versetzt sind. Es wird also nicht nur eine radiale Zentrierung der Wellenzapfen, sondern auch dank der Abstützung des Lagerkörpers auf einer kugeligen Fläche eine axiale Einstellung der Lagerschale mit dem Lagerkörper entsprechend der elastischen Linie des Wellenzapfens erzielt und somit jegliche metallische Berührung zwischen Welle und Lagerschale vermieden. Dadurch ist es möglich, ideale Flüssigkeitsreibung zu erreichen. Voraussetzung ist dafür allerdings, dass jede Öltasche durch eine eigene Ölpumpe versorgt wird. Beim Escher Wyss-Minifri-Lager sind die vier Ölpumpen mit dem

Motor zu einem Aggregat zusammengefasst, welches am Lagerkörper angeflanscht ist (Bild 12). Durch diese Anordnung ergeben sich kurze Verbindungsleitungen vom Pumpen-Aggregat zu den Öltaschen. Die darin herrschenden Drücke werden durch vier Manometer angezeigt, so dass eine dauernde und sehr einfache Überwachung des richtigen Arbeitens möglich ist.

Bei der Inbetriebsetzung der Mühle nach einem längeren Stillstand zeigt sich, dass das Schmieröl zwischen Lagerschale und Welle hinausgepresst wird. Beim Anfahren einer Mühle mit gewöhnlichen Lagern

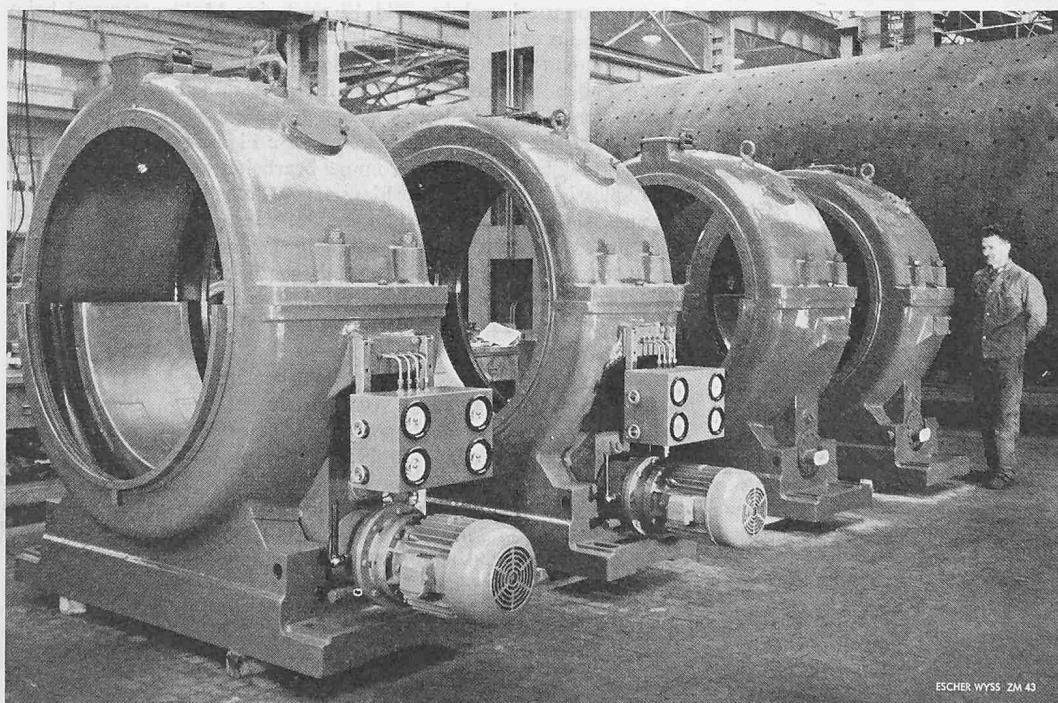


Bild 11 (oben). Drehbank zum Bearbeiten von grossen Mühlentrommeln für folgende maximal erreichbaren Dimensionen:

Länge	19 m
Durchmesser	4,3 m
Trommelgewicht	140 t

Bild 12 (links). Vier Escher Wyss-Minifri-Hauptlager. Das Pumpenaggregat mit dem zugehörigen Manometer-Kasten ist gut zugänglich angeordnet

ergibt sich daher im ersten Augenblick eine sehr grosse Reibung, welche möglicherweise zu Beschädigungen der Lagerschale führen kann. Auch ist das Anfahrdrehmoment des Antriebsmotors verhältnismässig gross. Um diese Nachteile zu beheben, werden die Ölpumpen der Tragquellenlagerung vor dem Anlauf der Mühle in Betrieb genommen. Während des Betriebes ergeben sich minimale Reibungsverluste, da mit Sicherheit ideale Flüssigkeitsreibung erreicht wird.

Der Mühlenmantel, der sich während des Betriebes erwärmt hat, zieht sich nach dem Abstellen langsam zusammen. Bei einem normalen Lager kann die Längsreibung am Lager mit freier Längsbewegung Schäden verursachen. Bei der beschriebenen Tragquellenlagerung lässt man das Öldrucksystem so lange im Betrieb, bis eine Gefährdung des Lagers nicht mehr besteht.

## 6. Antriebe von Rohrmühlen

Als Antrieb wird heute meistens der Zahnkranz-Antrieb nach dem Schema A 1 in Bild 14 angewendet, bei dem ein grosser, um die Mühlentrommel angeordneter Zahnkranz (Bild 15) durch ein Ritzel mit Vorgelegewelle angetrieben wird. Diese Antriebsart wurde in

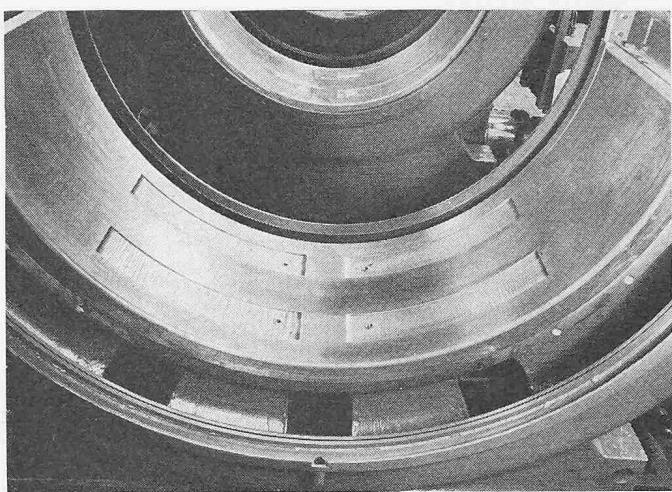
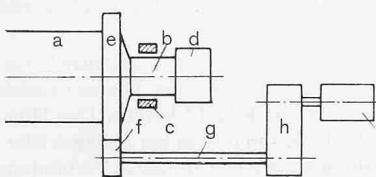


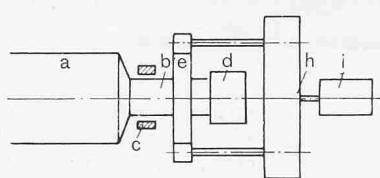
Bild 13 (oben). Lagerschale eines Escher Wyss-Minifri-Lagers. An der Stelle der vier Oeltaschen werden im Betrieb die Oeldruckpolster erzeugt, auf welchen der Wellenzapfen schwimmt (ideale Flüssigkeitsreibung)

A. Zahnkranz-Antrieb (Zahnkranz über der Mühlentrommel)

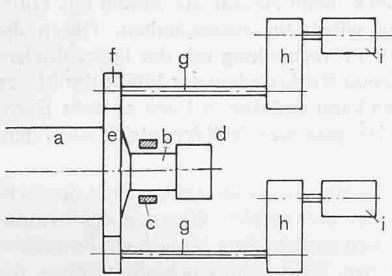


1. Einfachantrieb

B. Zentralantrieb



1. Antrieb mittels Zahnkranz auf dem Zapfen



2. Zwillingsantrieb

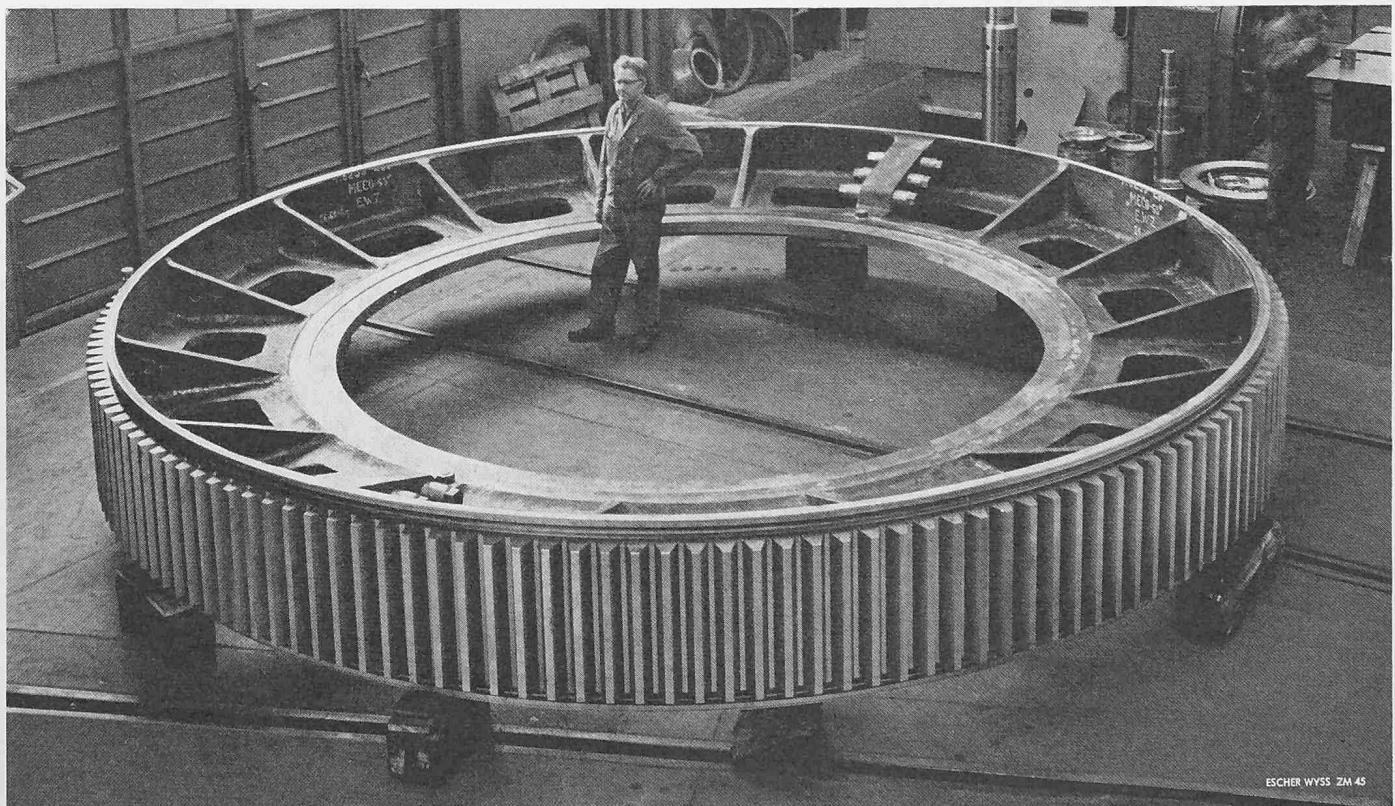
2. Antrieb am Zapfenende

Bild 14 (links). Schematische Darstellung verschiedener Antriebsmöglichkeiten von Rohrmühlen

a Mühle, b Mühlenzapfen, c Lagerung, d Auslaufgehäuse, e Zahnkranz, f Zahnritzel, g Vorgelegewelle, h Getriebe, i Hauptmotor, k Zahnkupplung

ESCHER WYSS ZM 36

Bild 15 (unten). Mühlenzahnkranz für eine Uebertragungsleistung von 1500 kW



ESCHER WYSS ZM 45

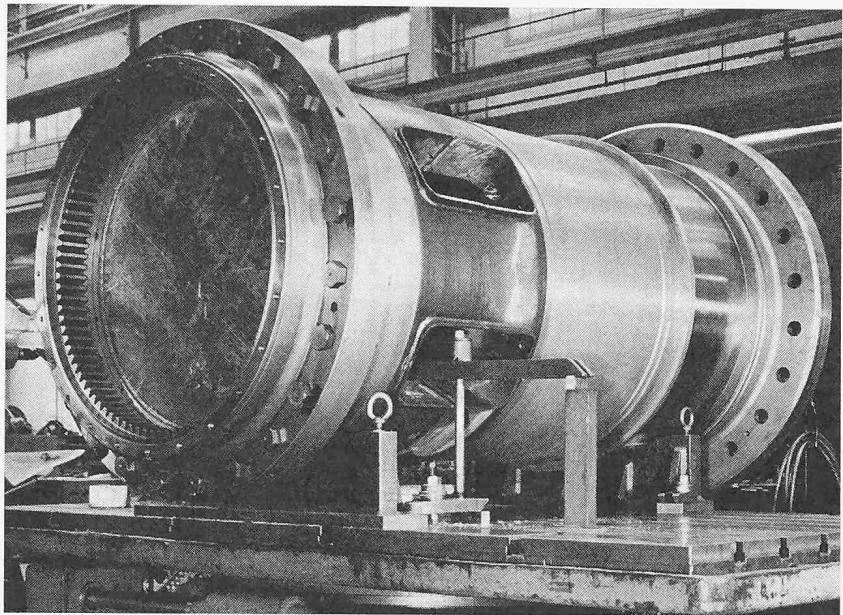


Bild 16. Austragsseitiger Mühlenzapfen bei der Bearbeitung

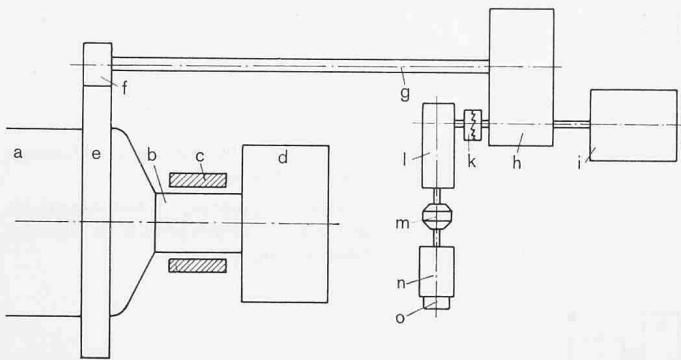


Bild 17. Schema eines Zahnräder-Antriebes mit Hilfsgeschwindigkeit, Überholungskupplung und Rücklaufsperrze

- |                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| a Mühle          | h Getriebe                      |
| b Mühlenzapfen   | i Hauptmotor                    |
| c Lagerung       | k Überholungskupplung           |
| d Auslaufgehäuse | l Hilfsgeschwindigkeit          |
| e Zahnräder      | m hydraulische Kupplung         |
| f Zahnritzel     | n Motor zu Hilfsgeschwindigkeit |
| g Vorgelegewelle | o Rücklaufsperrze               |

Bild 20. Schaltanlage von Sprecher & Schuh, Aarau. Außen links Stromeingangsfeld, daran anschliessend Felder für Entstaubung, Sichter, Transport, Mühle und Antriebsmotor

Europa für Mühlen mit Antriebsleistungen bis zu etwa 1500 kW angewendet. Das ist auch die Leistung der grössten von Escher Wyss bisher gebauten Mühlen mit Zahnkranzantrieb (Durchmesser 3,4 m, Länge 9 m). Wenn es die für die Zahnkranzbearbeitung verfügbaren Werkzeugmaschinen erlauben, lassen sich auch noch Mühlen von etwas grösseren Leistungen mit Zahnkranzantrieb versehen.

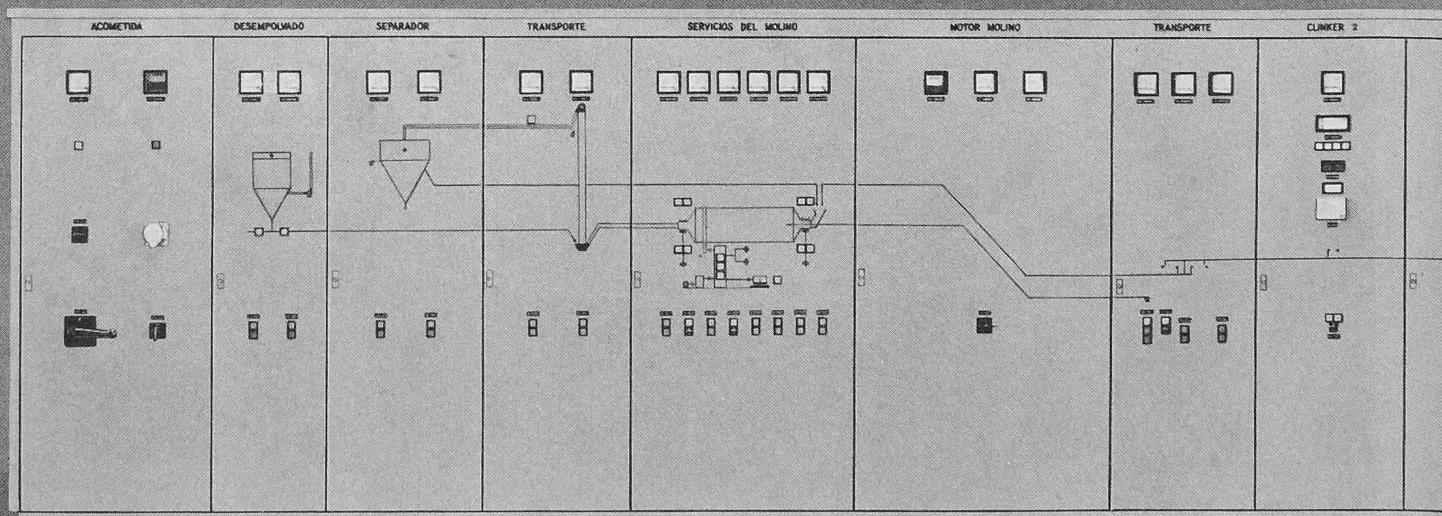
Werden jedoch wesentlich grössere Leistungen verlangt, so geht man auf den Zwillings-Zahnkranzantrieb nach dem Schema A 2 oder auf den Zentralantrieb nach dem Schema B über. Eine sehr gute Lösung stellt dabei der Antrieb am Zapfen-Ende nach dem Schema B 2 dar. Diese Ausführungsart ist neulich für eine Zementmühle von 3,8 m Durchmesser und 12 m Länge verwendet worden, deren Antriebsleistung rund 2200 kW beträgt.

Auf Bild 16 ist der austragsseitige Mühlenzapfen während der Bearbeitung zu sehen. In die links sichtbare Innenvorzung greift die Zahnkupplung ein, welche in Verbindung mit dem Maag-Zentralgetriebe (Bild 19) steht; dieses setzt die Motordrehzahl von 990 U/min auf die Mühlendrehzahl von 15 U/min herab.

Grössere Mühlen werden fast immer mit einem Hilfsantrieb ausgerüstet. Hierfür bestehen verschiedene Möglichkeiten. Die von Escher Wyss meist angewandte Bauart geht aus Bild 17 hervor. Der Hilfsmotor n treibt über eine hydraulische Kupplung m ein Hilfsgeschwindigkeitsgetriebe l und über eine Überholungskupplung k die Welle an, die in Verbindung mit dem Hauptmotor i steht. Damit ist bei Revisionen und beim Wechsel der Kugelcharge die Möglichkeit gegeben, die Mühle in die jeweils gewünschte Stellung (Mannlochfahren) zu bringen. Die Überholungskupplung hat den Zweck, beim Anlauf der Mühle das Hilfsgeschwindigkeitsgetriebe mit dem Hilfsmotor selbsttätig auszuschalten. Durch die Rücklaufsperrze am Hilfsmotor in Verbindung mit der hydraulischen Kupplung wird erreicht, dass beim Rückpendeln der Mühle der Motor nicht rückwärts gedreht werden kann und dass er keine zu hohe Drehzahl annimmt. Bild 18 zeigt den gesamten Mühlenantrieb nach dem Schema B 2 des Bildes 14.

Diese Antriebsart hat den Vorteil, dass die Mühle nach dem Abstellen des Hilfsmotors dank der bremsenden Wirkung der hydraulischen Kupplung langsam so weit zurückdreht, bis sich ein horizontal liegendes Kugelbett gebildet hat. Beim Mannlochfahren muss die Mühle um den Winkel des Zurückpendelns zusätzlich gedreht werden. Ein horizontal liegendes Kugelbett verhindert eine Gefährdung bei der Bedienung und ergibt bei der Inbetriebsetzung ein geringeres Anlaufmoment für den Hauptmotor.

Als Hauptantriebsmotoren werden heute meist sechs-polige asynchrone Schleifringmotoren verwendet; ihre Anlaufcharakteristik lässt sich mit Hilfe einer zweckmässigen Bemessung der Widerstands-



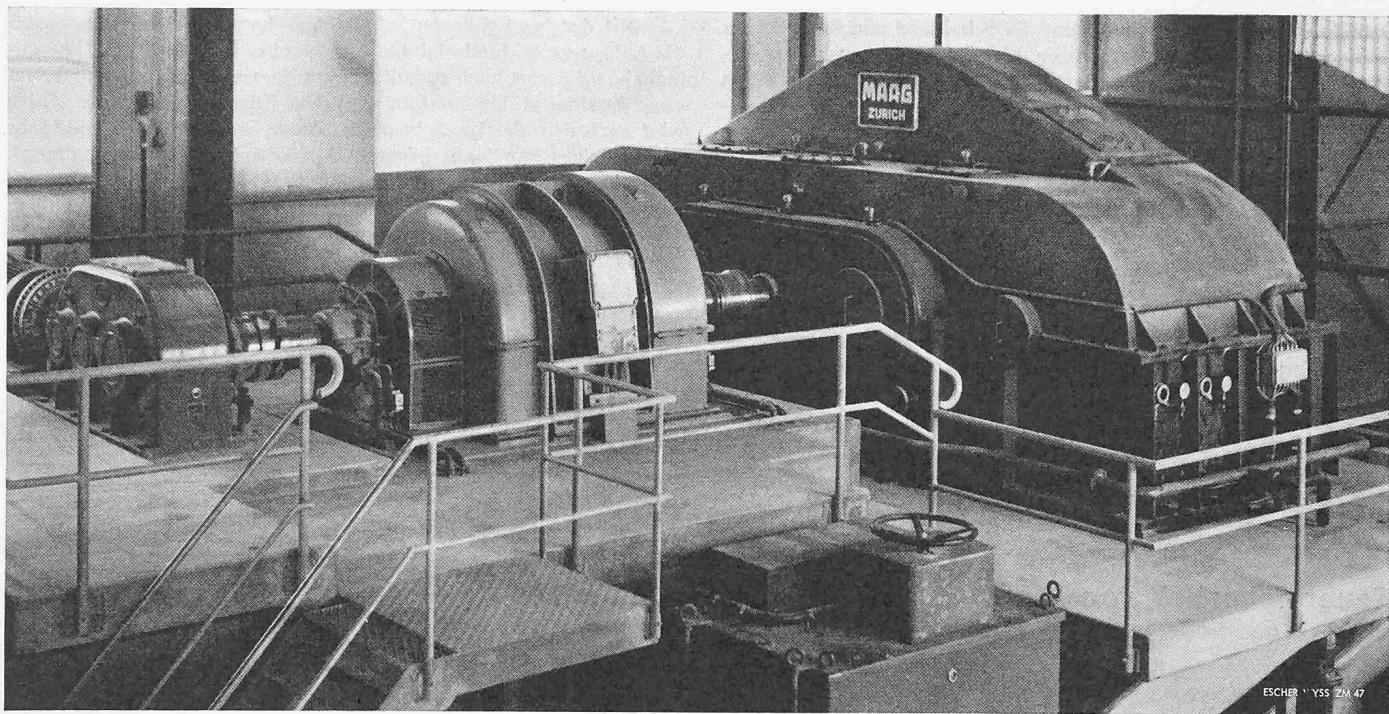


Bild 18. Mühlen-Antrieb für eine Leistung von 2200 kW. Von links nach rechts erkennt man den Hilfsmotor, die hydraulische Kupplung, das Hilfsgetriebe, die Ueberholungskupplung, den Hauptantriebsmotor von Brown, Boveri und das Zentralgetriebe

stufen des Anlassers dem jeweiligen Gegenmoment der Mühle während der Anlaufperiode gut anpassen. Immerhin kann das im ersten Augenblick des Anlassens auftretende Drehmoment (Losbrechmoment), namentlich nach längerem Stillstand der Mühle wegen des Verdrängens des Ölfilms aus den Lagerschalen, beträchtliche Werte annehmen. Die oben beschriebene Tragquellenlagerung für die Hauptlager trägt wesentlich zur Niedrighaltung des Losbrechmomentes bei, weil die Mühle bereits vor dem Anlauf auf den «Druck-Öl-Quellen» schwimmt, und somit ideale Flüssigkeitsreibung vorhanden ist. Ein kleines Losbrechmoment schont auch beträchtlich die Übertragungs-teile (Getriebe, Vorgelegewelle, Ritzel und Zahnkranz).

Wenn das Überschreiten einer bestimmten Blindlastgrenze vermieden werden soll, so lässt sich der Leistungsfaktor durch Anbau eines statorlosen Phasenkompensators verbessern. Dieser besteht aus

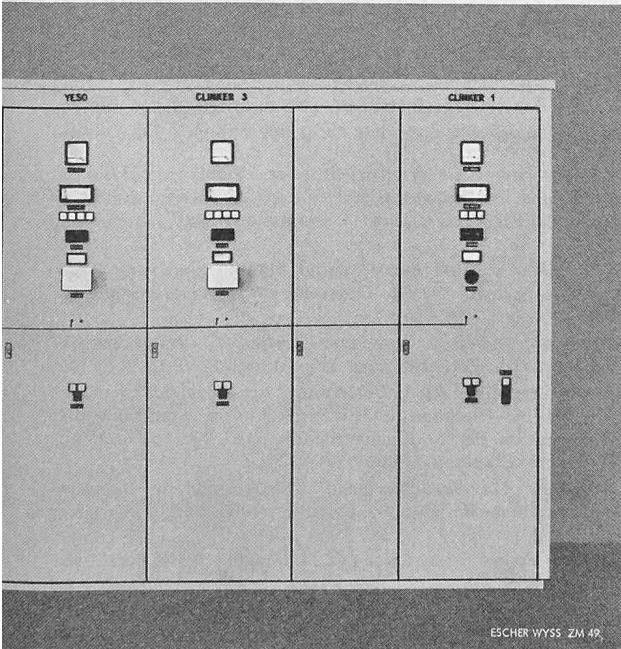
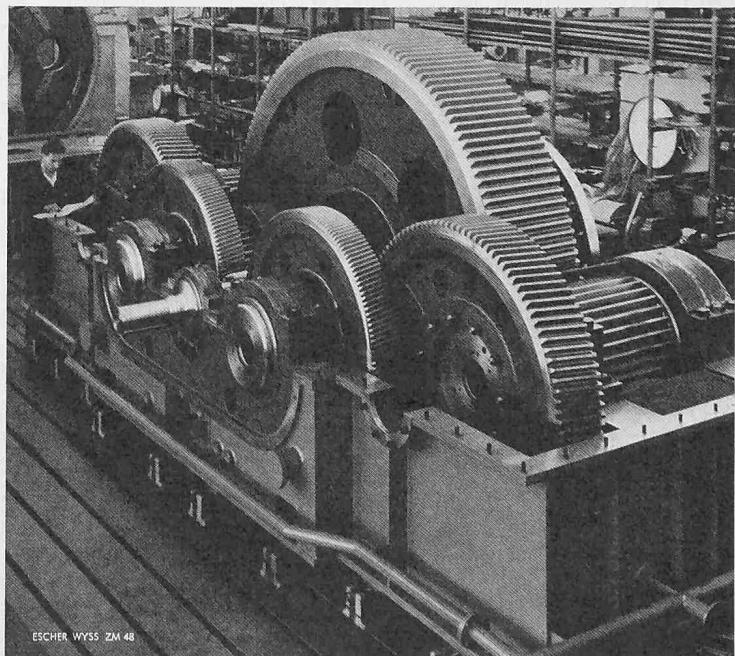
Bild 21. Fortsetzung der Schaltanlage gemäss Bild 20, Felder für Transport und Mischdosierung

einer kleinen, von einem Käfigankermotor von geringer Leistung angetriebenen Kollektormaschine ohne Stator, die im Rotor eine an einen Kollektor angeschlossene Wicklung trägt. Der dreiphasige Bürstensatz auf dem Kollektor wird an die Schleifringe des Mühlenmotors angeschlossen. Der Phasenkompensator wird also vom Rotorstrom erregt. Er deckt fast den ganzen Blindleistungsbedarf, so dass der Schleifringmotor mit  $\cos \varphi = 1$  arbeitet. Da der Leistungsbedarf der Mühlen einen wesentlichen Anteil des Bedarfs der ganzen Zementfabrik darstellt, kann somit der totale Leistungsfaktor bedeutend verbessert werden.

#### 7. Überwachung, Steuerung und Regelung einer Mahlanlage

Auf den Bildern 20 und 21 ist die Schalttafel für eine Zementmahlalge dargestellt. Sie besteht in der Regel aus dem Leistungs-, dem Überwachungs- und dem Steuerungsteil. Der Leistungsteil umfasst den Stromeingang, wofür das äusserste Feld links in Bild 20 dient, und die Abgänge zu den einzelnen Maschinen über die notwendigen Schützen, Sicherungen und Ampèremeter. Die Steuerung der einzelnen Antriebe erfolgt normalerweise mittels Druckknöpfen «Ein/Aus». Sie sind zusammen mit den notwendigen Signallampen für die

Bild 19. Maag-Zentralgetriebe für 2000 kW für eine Escher Wyss-Zementmühle



Betriebsanzeige auf der Vorderfront der Schalttafel angebracht. Hier befinden sich auch die notwendigen Messinstrumente wie Ampèremeter, kWh-Zähler sowie die Anzeige von zu hohen oder zu tiefen Drücken und Temperaturen des Schmieröls für die Mühlenhauptlager und das Getriebe. Ein Blindschema ermöglicht in Verbindung mit den genannten Steuer-, Signal- und Messapparaten einen guten und raschen Überblick über den jeweiligen Betriebszustand der Mahlanlage.

Bild 21 zeigt die Fortsetzung der Schalttafel. Dieser Teil enthält die Steuerung und Messinstrumente für die Dosierung des Aufgabegutes. Wie ersichtlich sind im vorliegenden Fall drei Klinkersorten und Gips als Zuschlagstoff dauernd im gewünschten Verhältnis aufzugeben, dessen Änderung, je nach Prüf-Resultaten des chemischen Laboratoriums, von Zeit zu Zeit möglich sein sollte. Außerdem ist es erforderlich, die zur Mühle fliessende Aufgabemenge bei konstantem Mischungsverhältnis vergrössern oder verkleinern zu können. Diese Steuerung erfolgt mittels Druckknöpfen «Mehr-Weniger» durch Beeinflussung der Waagenmotoren. Die Schalttaelfelder der Mischdosierung enthalten ferner die notwendigen Anzeigegeräte (t/h) und Zähler (t), so dass über die laufende Zementproduktion gute Übersicht besteht.

## Feuersicherheit von Stahlkonstruktionen

Von Dr. Curt F. Kollbrunner, dipl. Bau-Ing., Zollikon

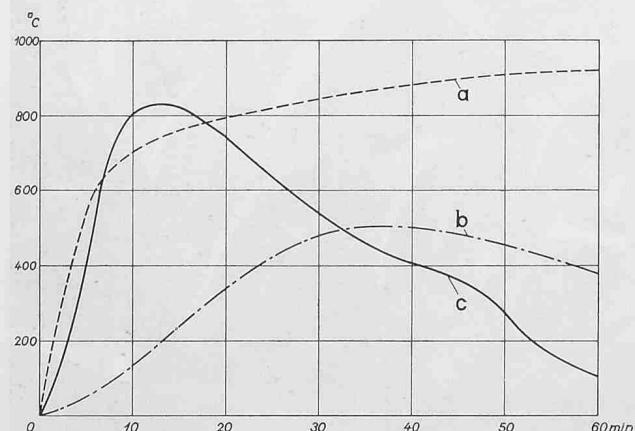
Vortrag gehalten am 16. Oktober 1964 anlässlich der Studententagung über aktuelle Ingenieurprobleme, veranstaltet vom S. I. A., Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau (FGBH) im Physikgebäude der ETH

DK 624.94:699.81

Seit über fünf Jahren wissen wir, dass der neuzeitliche Stahl skelettbau das Feuer nicht mehr fürchten muss. Wir haben damals schon durch Grossbrandversuche bewiesen, dass eine Stahlkonstruktion einer Brandbelastung von  $25 \text{ kg/m}^2$  standhält<sup>1)</sup>. Seit längerer Zeit verlangen wir, dass für Brandbelastungen bis zu  $20 \text{ kg/m}^2$  der Stahl nicht mehr verkleidet werden muss<sup>2)</sup>.

Die Brandbelastung eines Gebäudes oder eines Gebäudeteiles bedeutet dabei den Heizwert der im untersuchten Teil des Baues vorhandenen brennbaren Materialien, bezogen auf die Einheit der vorhandenen Bodenfläche. Umgerechnet auf eine entsprechende Holzmenge, bezogen auf die Einheit der Bodenfläche, wird die Brandbelastung ausgedrückt in  $\text{kg Holz/m}^2$  Bodenfläche. Da die Brandbelastung moderner Hochbauten meist nur noch 8 bis  $15 \text{ kg/m}^2$  beträgt, müssen die Stahlkonstruktionen nicht verkleidet werden.

Leider wird dem Prinzip der Brandbelastung als Hauptkriterium der Feuergefährlichkeit teilweise auch heute noch entgegengehalten, dass bei späterem, verändertem Verwendungszweck eines Gebäudes die Brandbelastung grösser als anfänglich sein könnte. Diesem Einwand kann man aber immer mit Recht die durch Jahrzehnte bewährte Praxis der Baustatik, die allgemeine Gültigkeit hat, entgegenhalten: Nie muss eine statische oder dynamische Überdimensionierung vorgenommen werden, die Dimensionierung findet vielmehr ein für allemal nur für die vorgesehenen Lasten statt. Somit müssen auch übertriebene Feuerschutzmassnahmen und Verkleidungen von Stahlkonstruktionen, sofern die Brandbelastung nicht grösser als  $20 \text{ kg/m}^2$  ist, abgelehnt werden.



- a EMPA-Standardkurve für Ofenversuche
- b Temperatur-Zeit-Kurve bei «natürlichen» Brand und Feuerbelastung von  $25 \text{ kg/m}^2$
- c Temperatur-Zeit-Kurve bei langsamem Brand und Feuerbelastung von  $25 \text{ kg/m}^2$

Bild 1. Temperatur — Zeit — Kurven

Mit der beschriebenen Schaltanlage kann der Bedienungsmann die Anlage «von Hand» fahren, d.h. er muss versuchen, die Materialaufgabe möglichst hoch zu halten, ohne dass der Umlauf zu hoch und ohne dass die Mühle überfüllt wird. Der Füllungszustand der Mühle wird nach dem Geräusch beurteilt. Dieses ist bei leerer Mühle sehr stark, da der Lärm der Stahlkugeln durch das Mahlgut nicht gedämpft wird. Mit zunehmender Füllung wird das Geräusch geringer und dumpfer. Es zeigt sich nun, dass im Geräuschpegel eine brauchbare Messgröße für eine selbsttätige Regelung vorhanden ist, welche meist darin besteht, dass der Umlauf in Abhängigkeit von der Becherwerkleistung konstant gehalten wird und dass «das elektrische Ohr» die Aufgabe nur im Falle der Überfüllung der Mühle begrenzt, beziehungsweise verringert.

Wird beispielsweise bei gleichbleibender Mahlgutaufgabe die Mahlbarkeit des Klinkers schlechter, so bleibt das Mahlgut länger in der Mühle, welche sich allmählich anfüllt. Das Becherwerk erhält weniger Material und verlangt über den Regler mehr. Ein weiteres Anfüllen der Mühle ist die Folge. Dieses allmähliche Überfüllen wird durch den elektro-akustischen Wandler (elektrisches Ohr), indem dieser die Mahlgutaufgabe verhindert, begrenzt oder verringert.

Die neuzeitlichste Norm betreffend Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen ist die auf den Publikationen der Kommission 3 «Feuerschutz» der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände aufbauende italienische Vorschrift aus dem Jahre 1961 («Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile.» Ministero dell’Interno, Roma; Direzione Generale dei Servizi Antincendi). Voraussichtlich werden im Jahre 1965 auch weitere der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände angeschlossene Länder ihre Vorschriften den heutigen Gegebenheiten anpassen<sup>3)</sup>, wobei sicherlich auch die Schweiz, dank dem Weitblick ihrer Feuerpolizeibehörden, ebenfalls einen grossen Schritt vorwärts machen wird.

Die Brandversuche werden in den meisten Ländern unter ähnlichen Bedingungen ausgeführt. Grundsätzlich muss jedoch zwischen den Standardkurven und den bei wirklich auftretenden Bränden entsprechenden Kurven ein klarer Trennungsstrich gezogen werden. Ein Naturbrand entwickelt sich nie nach einer Standardkurve, sondern je nach den vorhandenen Verhältnissen, bei viel Luftzutritt rasch, bei wenig Luft langsam, unter Umständen auch nur schwelend. Beim Naturbrand liegen die auftretenden Temperaturen im allgemeinen viel tiefer als die Norm- oder Standardkurve angibt. Die Temperatur-Zeit-Kurve verläuft in Wirklichkeit meist so, dass nach dem Feuersprung ein rascher Anstieg der Temperatur mit einer über der Standardkurve liegenden Spitze eintritt, worauf ein flacher, langgezogener Temperaturabfall stattfindet (Bild 1).

Wird eine Standard-Temperatur-Zeit-Kurve auf eine ungeschützte Stahlkonstruktion angewendet, so müsste diese Konstruktion theoretisch nach 12 bis 20 Minuten einstürzen. Die durchgeföhrten Grossbrandversuche zeigen jedoch, dass dies nicht der Fall ist<sup>4)</sup>. Da sich die

<sup>1)</sup> C. F. Kollbrunner: Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen, III. Teil. (Feuerversuche mit belasteten Stahlrahmen). Schweizer Stahlbauverband, Mitteilungen der Technischen Kommission, Heft 18, Februar 1959.

<sup>2)</sup> C. F. Kollbrunner: Muss der moderne Stahlhochbau das Feuer fürchten? «Stahlbau-Bericht» Nr. 24, Dezember 1959. Verlag Schweizer Stahlbauverband.

C. F. Kollbrunner: Bewertung des Feuerschutzes von Stahlkonstruktionen nach dem Punktsystem, «Schweiz. Bauzeitung» 1960, H. 9, S. 142.

C. F. Kollbrunner und P. Boué: Berechnung der Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen im Hochbau und ihre praktische Durchführung. Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Heft Nr. 1, Dezember 1960. Verlag Schweizer Stahlbauverband, Zürich.

C. F. Kollbrunner: Unverkleidete Stahlkonstruktionen bis  $20 \text{ kg/m}^2$  Brandbelastung, «Stahlbau-Bericht» Nr. 8, August 1964. Verlag Schweizer Stahlbauvereinigung.

<sup>3)</sup> D. Sfintesco: Feu et acier. Edité par Publimétal, Paris, Paris 1963 (Mit 32 Literaturangaben).

<sup>4)</sup> W. Geilinger: Feuer und Stahl. Dritte Schweizerische Stahlbauausstellung, Lausanne 1960. Schweizer Stahlbauverband, Mitteilungen der Technischen Kommission, Heft 21, Seite 74.