

# Untersuchungen über Formsteine und zusammendrückbare Zwischenlagen für den Ausbau von Gesteinsstrecken

Von P. Stassen, Forschungsdirektor, und H. van Duyse, Ingenieur, am Institut National de l'Industrie Charbonnière (Inichar), Lüttich. (Deutsch bearbeitet von Kurt Walz, Düsseldorf)

## 1. Einleitung

Die Gesteinsstrecken mit kreisförmiger Auskleidung durch Beton-Formsteine und zusammendrückbare Zwischenlagen bilden das Hauptnetz der Förder- und Vortriebsstrecken bei allen Kohlenbergwerken der Campine. Es ist dies der einzige Ausbau, der es bisher erlaubte, die Bewegungen des dortigen Schiefers zu meistern. Die Eigenschaften dieses Schiefers verändern sich leicht durch Wasser und feuchtwarme Luft. Die Bauweise ist auch in den tiefen Bergwerken von Südbelgien erfolgreich eingesetzt worden, wo das Gestein ähnliche Eigenschaften wie der Schiefer im Kohlenrevier der Campine aufweist. In diesem Revier gab es 1959 mehr als 360 km mit Formsteinen ausgebaute Gesteinsstrecken; dies entspricht mehr als 75 % der Länge des Hauptstreckennetzes. Man treibt jährlich 14 bis 15 km neue Strecken dieser Art vor und reißt entsprechend 4 bis 6 km nach.

Diese Zahlen zeigen, daß es von Interesse ist, möglichst genauen Aufschluß zu erhalten:

über die Eigenschaften der Beton-Formsteine und der zusammendrückbaren Zwischenlagen,

über das Verhalten von Körpern aus Steinen und Zwischenlagen und

über das Verhalten von Ringen aus Formsteinen.

Im Bergbau sind die Kräfte, die auf den Formstein-Ausbau wirken, sehr unterschiedlich und wenig bekannt. Sie hängen von der Teufe, der Art und der Neigung des Deckgebirges, von der Entfernung des Abbauortes usw. ab. Es ist also sehr schwierig, die Belastung, der der Ausbau widerstehen soll, abzuschätzen und ihn zutreffend zu berechnen. In allen Bergwerken sind bestimmte Strecken sehr starken Belastungen aus-

---

\* ) Vorgetragen von H. van Duyse auf der Vortragsveranstaltung „Beton im Bergbau“ im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf am 21. 1. 1960; siehe auch P. Stassen und H. van Duyse: Etude sur les claveaux de béton et sur les intercalaires compressibles utilisés pour le revêtement des boueux. Institut National de l'Industrie Charbonnière (Belgique). Bulletin Technique „Mines“, No. 74 (Juli 1960) S. 1527/1554.

gesetzt, die zum Bruch der Formsteine mit Absprengen von Betonschalen und zu bedeutenden örtlichen Verformungen der Ringe führen.

Laboratoriumsuntersuchungen an einzelnen Proben, an ganzen Formsteinen und an vollständigen Ausbauringen erlauben die Bestimmung der Größenordnung der Belastung, der dieser Ausbautyp widerstehen kann.

Die Untersuchungen im Laboratorium sollten durch solche unter Tage vervollständigt werden. Damit wurde in einem Kohlenbergwerk der Campine begonnen; diese Untersuchungen werden Gegenstand einer späteren Veröffentlichung sein.

In dieser Abhandlung wird über zahlreiche von Inchar auf diesem Gebiet durchgeführte Laboratoriumsversuche berichtet; gleichzeitig werden daraus einige praktische Folgerungen gezogen.

## 2. Herstellen der Formsteine

In Belgien gibt es 6 große Betonwerke, die regelmäßig Ausbausteine für die Bergwerke fertigen und die alle zu Zechen gehören; 5 liegen in der Campine und 1 in Charleroi. Die Zechen von Beeringen, Helchterem-Zolder, Limbourg-Meuse, Winterslag (Campine) und Monceau-Fontaine (Charleroi) haben ihre eigenen Betonwerke, während die 3 Zechen André Dumont, Zwartberg und Houthalen (Campine) ein zentrales Werk „Kempisch Beton“, das in Langerloo am Albert-Kanal liegt, errichtet haben.

### 2.1 Abmessungen und Gewichte der Formsteine

Tafel 1 gibt eine Übersicht über Abmessungen und Gewichte der in den verschiedenen Bergwerken verwendeten Formsteine. Der Preis liegt zwischen 280 bfr. und 500 bfr.<sup>1)</sup> je Tonne Formsteine frei Zeche.

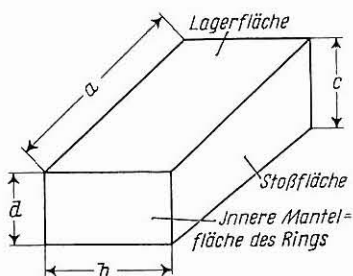
Man erkennt aus Tafel 1, daß keine Zeche Strecken unter einem nutzbaren Durchmesser von 4 m ausbaut.

Tafel 1 Abmessungen der Formsteine in verschiedenen belgischen Zechen

Zeche	Nutzbarer Durchmesser m	Abmessungen nach Bild 1				Gewicht kg
		a	b	c	d	
		cm				
Beeringen	4,10	55	30	33,5	25,5	118
	4,50	58	30	35	27	133
Zolder	4,20	50	30	30	23,5	92
Limbourg-Meuse	4,00	50	40	27	21,5	120
Winterslag	4,00	50	45	23	18,5	110
Houthalen	} 4,80	50	33	23,3	18,96	85
André Dumont		50	33	24,2	18,96	87
Zwartberg		50	33	24	19	80
Monceau-Fontaine	4,10	50	33	24	19	80

<sup>1)</sup> 100 bfr etwa 8,40 DM

Bild 1 Abmessungen der Formsteine in den verschiedenen Kohlenbergwerken



## 2.2 Zusammensetzung des Betons

Güte und Menge der Bestandteile sind von Werk zu Werk verschieden. Um den Bericht nicht zu erweitern, wurden in diese Veröffentlichung nur die Versuchsergebnisse aufgenommen, die mit den Formsteinen des Werkes „Kempisch Beton“ in Genck erhalten worden sind.

Der Beton, der zur Herstellung der Formsteine diente und von dem in den drei ersten Abschnitten dieser Untersuchung die Rede ist, hatte also immer die gleiche Zusammensetzung und wurde immer gleich behandelt. Eine Mischung setzte sich zusammen aus:

- 220 kg Hochofenzement hoher Festigkeit,
- 325 kg Rheinsand 0/5 mm,
- 380 kg gebrochenem Maaskies 22/40 mm,
- 380 kg gebrochenem Maaskies 40/63 mm.

Der Beton enthielt 400 kg Zement je  $m^3$ ; sein mittleres Raumgewicht betrug  $2450 \text{ kg}/m^3$ .

Zur Verdichtung der Formsteine lag die Form mit der späteren Innenfläche nach unten auf dem Rütteltisch; zuerst wurde während 1 min und 55 sec von unten und dann während 45 sec von oben gerüttelt.

## 2.3 Nachbehandlung

Nach der Rüttelverdichtung kamen die Formen in Tunnels, in die  $2\frac{1}{2}$  Stunden lang Dampf von  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  einströmte. Die Formsteine nahmen dabei eine Temperatur von  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  an. Beim Verlassen des Tunnels entformte man die Formsteine mit Hilfe eines Druckluftstempels, wobei sie in Anbetracht der kurzzeitigen Erhärtung schon einem erheblichen Druck ausgesetzt waren. Die Formsteine erhärteten dann während 4 bis 6 Tagen in einer Kammer, in der sie mit Wasser von  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  besprüht wurden.

## 3. Druckversuche an Proben aus den Formsteinen und an ganzen Formsteinen

Die Druckversuche sind an Zylindern und Würfeln sowie an ganzen Formsteinen durchgeführt worden.

### 3.1 Druckversuche an gleich großen Zylindern

Die Zylinder hatten einen Querschnitt von  $100 \text{ cm}^2$  und eine Höhe von 10 cm.

Dazu entnahm man aus den Formsteinen mit Hilfe einer Diamant-Bohrmaschine 50 cm hohe Bohrkern mit 11,3 cm Durchmesser und zersägte sie in 4 Zylinder von je 10 cm Höhe mittels einer Diamant-Schneidscheibe. Die beiden genau parallelen Flächen der Zylinder wurden sorgfältig geschliffen und poliert. Die Formsteinwerke führten mehrere hundert Druckversuche an solchen Proben im Alter von 8 Tagen, 1 Monat und 3 Monaten durch.

Die Ergebnisse dieser Versuche werden in Tafel 2 für 4 aufeinanderfolgende Jahre wiedergegeben. Die Druckfestigkeiten sind in den beiden letzten Jahren besonders gleichmäßig ausgefallen. Die besondere Güte des Betons spiegelt sich in den sehr hohen Druckfestigkeiten wider.

Tafel 2 Druckfestigkeit von 10 cm hohen Zylindern mit 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt

Herstellungsjahr	Alter 8 Tage		Alter 1 Monat		Alter 3 Monate	
	Anzahl der Proben	Mittlere Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Anzahl der Proben	Mittlere Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Anzahl der Proben	Mittlere Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>
1955	728	768	660	891	552	952
1956	312	807	221	885	147	958
1957	286	900	138	966	48	986
1958 (teilweise)	840	885	348	973	148	1007
Mittel	2166	836	1367	915	895	968

Demnach ergibt sich aus mehreren hundert Versuchen eine mittlere Druckfestigkeit von:

836 kg/cm<sup>2</sup> für die Zylinder aus den 8 Tage alten Formsteinen, 915 kg/cm<sup>2</sup> für die Zylinder aus den 1 Monat alten Formsteinen, 968 kg/cm<sup>2</sup> für die Zylinder aus den 3 Monaten alten Formsteinen. Je nach Lage der Proben im Formstein waren Unterschiede in der Druckfestigkeit festzustellen, denen durch eine statistische Untersuchung an mehreren hundert Proben aus 3 Monate alten Formsteinen weiter nachgegangen wurde.

Bezeichnet man mit A den Zylinder an der äußeren Mantelfläche und mit D jenen an der inneren Mantelfläche, so erhält man die 4 in Bild 2 aufgetragenen Kurven A, B, C, D. Für diese Summenkurven ist auf der Ordinate die Anzahl der Zylinder in % wiedergegeben, die eine kleinere oder gleiche Druckfestigkeit aufweisen wie die auf der Abszisse angegebene Druckfestigkeit. Man erkennt, daß die Kurven in der Reihenfolge A, B, C, D zunehmend nach rechts verschoben sind. Als Erklärung dient die Tatsache, daß an der später innen liegenden Mantelfläche, die auf dem Rütteltisch auflag, 1 min und 55 sec, oben aber nur 45 sec lang gerüttelt wurde. (Anmerkung des Bearbeiters: Beim Rütteln höherer Körper auf Rütteltischen wird die untere Zone in der Regel fester, weil sie während des Rüttelns und auch nachher unter Auflast steht.)

Wenn an beiden Enden der Kurven je 5 % der Proben nicht berücksichtigt werden, so liegt die größte Streuung unter 8,7 %



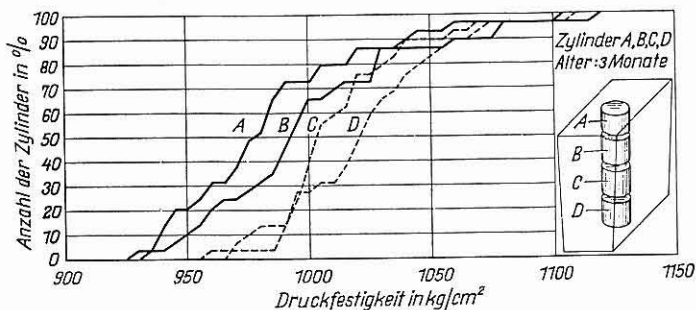


Bild 2 Summenkurve der Druckfestigkeiten von Betonzylindern in Abhängigkeit von der Lage im Formstein

des Mittelwertes. Selten wird eine so geringe Streuung für Fertigbetonteile über mehrere Jahre erhalten.

### 3.2 Druckversuche mit Zylindern verschiedener Höhe

Die mittlere Druckfestigkeit vermindert sich mit der Höhe der Zylinder, wie dies Tafel 3 und Bild 3 für Zylinder mit einem Querschnitt von  $100 \text{ cm}^2$  erkennen lassen.

Tafel 3 Druckfestigkeit von verschieden hohen Zylindern mit gleichem Querschnitt

Gesamthöhe cm	Anzahl der Prüfungen	Mittlere Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Druckfestigkeit bezogen auf den 10 cm hohen Zylinder %
1,98	1	2940	288
2,26	1	2332	229
5	2	1370	134
10	100	1020	<b>100</b>
20	10	692	68
30	5	670	65,5
40	5	638	62,5

Bei Proben sehr geringer Höhe macht sich die Reibung zwischen den Zylinderflächen und den Druckplatten der Presse stark bemerkbar, so daß wegen der behinderten Querdehnung eine größere Druckfestigkeit erhalten wird.

Mit zunehmender Höhe brechen die Proben mehr und mehr durch Abscheren (Bild 4a). Bei Höhen über 20 cm vermindert sich die Druckfestigkeit bis zum Bruch durch Knicken nur noch wenig.

### 3.3 Druckversuche mit Würfeln

Mit dem Würfel wird eine geringere Druckfestigkeit als mit dem Zylinder gleichen Querschnitts und gleicher Höhe erhalten. Die mittlere Druckfestigkeit mehrerer aus 3 Monate alten Formsteinen herausgesägter Würfel mit 10 cm und 20 cm Kantenlänge findet sich in Tafel 4.

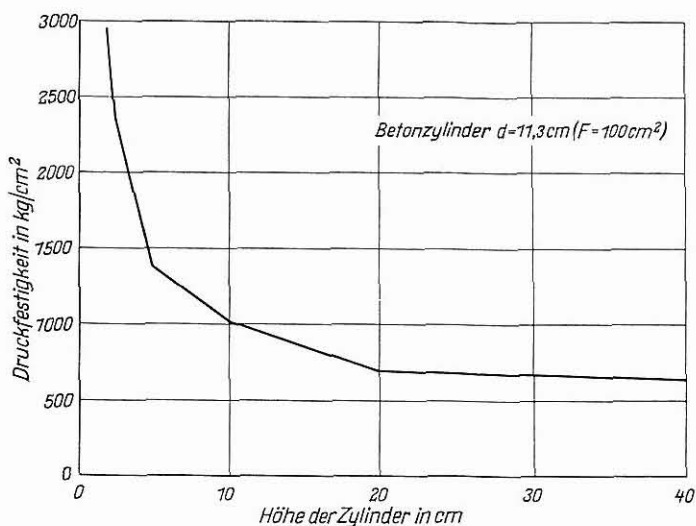


Bild 3 Abhängigkeit der Druckfestigkeit der Betonzyllinder mit 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt von der Höhe

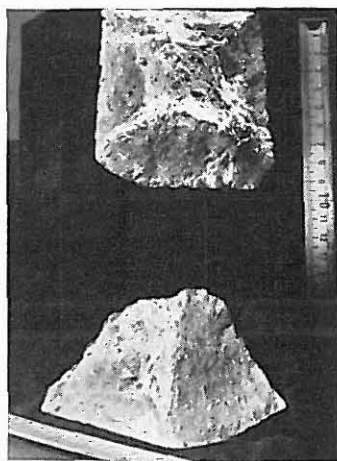
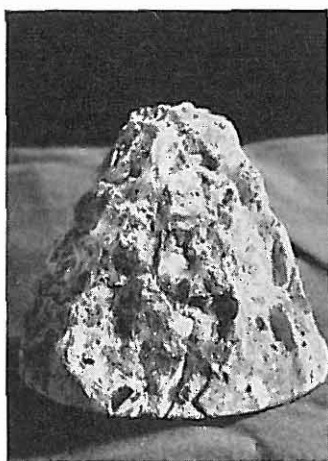


Bild 4a (links) Bruch eines Betonzyllinders von 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt und 10 cm Höhe durch Abscheren

Bild 4b (rechts) Bruch eines Betonwürfels von 10 cm Kantenlänge durch Abscheren

Tafel 4 Einfluß der Würfelgröße auf die Druckfestigkeit

Querschnitt		Höhe cm	Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>
cm	cm <sup>2</sup>		
10 × 10	100	10	810
20 × 20	400	20	763

Demgegenüber betrug die mittlere Druckfestigkeit der Zylinder mit  $100 \text{ cm}^2$  Querschnitt ( $d = 11,3 \text{ cm}$ ) und  $10 \text{ cm}$  Höhe  $968 \text{ kg/cm}^2$ , also  $19,5\%$  mehr als die der Würfel. Bild 4b zeigt den Scherbruch eines Betonwürfels.

### 3.4 Druckversuche mit zwei aufeinandergesetzten Formsteinen

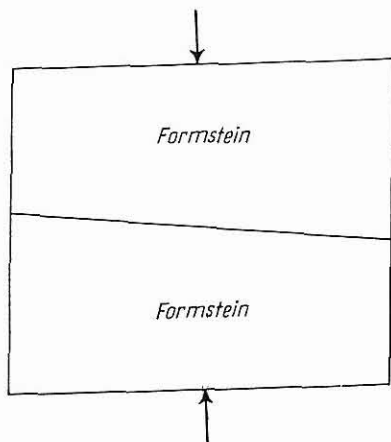
Die Formsteine, die die Form eines Pyramidenstumpfes hatten, wurden gegenseitig um  $180^\circ$  verdreht so aufeinandergesetzt, daß gemäß Bild 5 die obere und die untere Druckfläche parallel waren. Die unbearbeiteten (rohen) Druckflächen sind nicht genau eben, weil

die Fläche eines entformten Formsteines im allgemeinen rauh ist,

die Wände der Formen sich verbiegen und an sich nicht immer vollkommen eben sind (in gewissen Werken nimmt man eine Form erst aus dem Betrieb, wenn der größte Stich der Wände  $1 \text{ cm}$  erreicht),

nach dem Entschalen ein Zusammensacken des Formsteines und Ausbauchen der Flächen möglich sind.

Bild 5 Aufeinandergesetzte Formsteine für den Druckversuch



Bei den Formsteinen mit rohen Flächen trat der erste Riß unter einer Druckbeanspruchung von  $36 \text{ kg/cm}^2$  und der Bruch unter  $206 \text{ kg/cm}^2$  auf.

Zum Ausgleichen der Unebenheiten der Flächen und zur besseren Verteilung der Beanspruchung wurde auf die beiden Druckflächen und zwischen die beiden Steine in der Presse Zementmörtel aufgetragen (Mörtel aus  $50\%$  Rheinsand und  $50\%$  frühhochfestem Portlandzement). Um die Reinigung der Druckplatten der Presse zu erleichtern, sind diese vor dem Auftragen des Mörtels eingölt worden. Nach zweitägigem Erhärten des Mörtels zwischen den Druckplatten wurde der Probekörper geprüft. Der erste Riß stellte sich unter einer Druckspannung von  $379 \text{ kg/cm}^2$  und der Bruch unter  $516 \text{ kg/cm}^2$  ein. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tafel 5 zusammengefaßt.

Die bessere Verteilung der Druckspannungen in den mit Mörtel abgeglichenen und verbundenen Formsteinen erhöhte die Span-

Tafel 5 Druckversuch mit 2 aufeinandergelegten Formsteinen

Druckflächen	Druckspannung beim	
	1. Riß kg/cm <sup>2</sup>	Bruch kg/cm <sup>2</sup>
roh	36	516
mit Zementmörtel abgeglichen	379	206

nung, die zum 1. Riß führte, um mehr als das 10fache und die Bruchspannung auf das 2,5fache. Gleiche Unterschiede fanden sich mit den Formsteinen aller Werke.

Die Druckfestigkeit zweier aufeinandergesetzter Formsteine mit geebneten und polierten Flächen würde noch über jener der beiden mit Mörtel abgeglichenen Formsteine liegen. Nach den Versuchen mit Zylindern, deren Flächen poliert waren, kann man diesen Unterschied mit 22,5% veranschlagen.

### 3.5 Langdauernde Druckversuche

Die Belastung einer Betonkonstruktion im Bergwerk ist allgemein von der im Laboratorium sehr verschieden. In der Grube tritt die Belastung langsam und zunehmend auf und kann über mehrere Jahre dauern. Darüber hinaus kommt es auch vor, daß wegen eines naheliegenden Abbaus sehr hohe Überbeanspruchungen im Ausbau einer Strecke auftreten.

Es ist also wichtig, das Verhalten des Betons unter einer dauernden Belastung, unter verschiedener Belastungsgeschwindigkeit sowie unter zu- und abnehmender Belastung zu untersuchen.

#### *Druckversuche unter gleichbleibender Belastung*

Diese Versuche sind an zylindrischen Proben von 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt und 20 cm Höhe in einer 50-t-Presse der Universität Lüttich ausgeführt worden.

Die Belastung wird in der Presse über ein Hebelsystem durch ein Gegengewicht aufgebracht und durch eine elektrische Relaissteuerung mit etwa 1% Genauigkeit gehalten. Die Verminderung des Abstandes zwischen den Druckplatten wird mit zwei Komparatoren festgestellt.

#### *Belastung während 30 min*

Diesbezügliche Versuche sind unter Druckbelastungen von 50, 300, 500 und 600 kg/cm<sup>2</sup> durchgeführt worden. Dabei wurde die Zusammendrückung bei Erreichen der festgelegten Belastung und unter dieser nach 10 und 30 min gemessen.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Tafel 6 zusammengefaßt. Man stellte fest, daß das Kriechen bis zu einer Belastung zwischen 300 und 500 kg/cm<sup>2</sup> geringfügig, dann aber rascher zunahm.

#### *Belastung durch 500 kg/cm<sup>2</sup> während 8 Monaten*

Über die anfängliche Zusammendrückung beim Aufbringen der Last hinaus stellte sich ein starkes Kriechen während der ersten Stunden und selbst noch während der ersten Tage ein. Das

Tafel 6 Belastung von Zylindern ( $h = 20 \text{ cm}$ ,  $d = 11,3 \text{ cm}$ ) während 30 min

Belastung kg/cm <sup>2</sup>	Zusammendrückung in % der Ausgangshöhe		
	bei Erreichen der festgelegten Belastung	durch Kriechen während der gleichbleibenden Belastung	
		nach 10 min	nach 30 min
300	0,042	0,0037	0,0050
500	0,155	0,0048	0,0090
600	0,254	0,026	0,034
50	0,301	0,040	0,050

Kriechen nahm im Laufe der Zeit dann ab, läßt aber nach Bild 6 auch nach 8 Monaten noch eine stark ansteigende Tendenz erkennen. Nach 8 Monaten hatte das Kriechen mit 0,233 % nahezu die anfängliche Zusammendrückung von 0,254 % beim Aufbringen der Last erreicht.

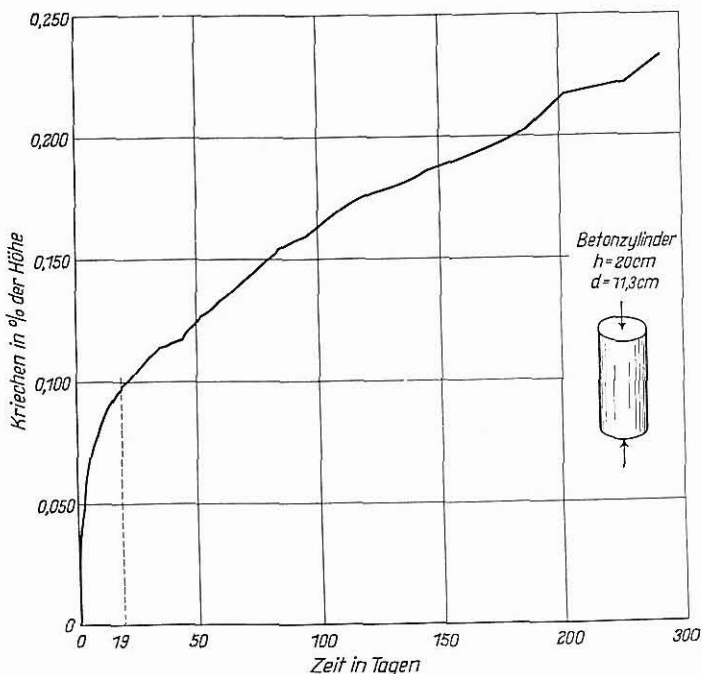


Bild 6 Kriechen eines Betonzylinders von 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt und 20 cm Höhe unter einer Beanspruchung von 500 kg/cm<sup>2</sup> während mehrerer Monate

Ein Zylinder von 1 m Höhe würde demnach nach 8 Monaten um 2,33 mm kriechen. Die Verformung wird also durch die 8 Monate lang wirkende Beanspruchung verdoppelt, was zur Folge haben kann, daß die Bruchlast zurückgeht.

#### Druckversuche mit verschiedener Belastungsgeschwindigkeit

Die Druckversuche sind mit gleichen Proben wie oben (100 cm<sup>2</sup> Querschnitt und 20 cm Höhe) ausgeführt worden, wobei Bela-

stungsgeschwindigkeiten von  $0,18 \text{ kg/cm}^2$  je min bis  $800 \text{ kg/cm}^2$  je min eingestellt wurden. Bei kleiner Belastungsgeschwindigkeit erhielt man eine um 10 bis 20 % geringere Druckfestigkeit als bei großer Belastungsgeschwindigkeit. Mit kleinerer Belastungsgeschwindigkeit fand sich andererseits für die gleiche Endbeanspruchung eine viel größere Zusammendrückung.

#### *Druckversuche mit wiederholter Entlastung*

Bei mehreren Versuchen wurden die Zylinder mit  $100 \text{ cm}^2$  Querschnitt und 10 cm Höhe wiederholten Belastungen im Bereich von 50 und  $700 \text{ kg/cm}^2$  unterworfen und nach zehn solcher Lastwechsel bis zum Bruch belastet. Dabei ergab sich eine Verminderung der Bruchlast durch die vorausgegangenen Lastwechsel um 10 bis 20 %. Bei jedem Lastwechsel wurde auch eine Verminderung des Elastizitätsmoduls beobachtet.

Man kann also feststellen, daß das Kriechen die Bruchlast des Betons nicht sehr, dagegen den Elastizitätsmodul stärker herabsetzt. Die Kenntnis des Elastizitätsmoduls ist für die Auswertung der Druckmessungen unter Tage sehr wichtig. Die Frage der Änderung des Elastizitätsmoduls wird Gegenstand einer späteren Veröffentlichung sein.

#### **4. Druckversuche mit zusammengesetzten Betonproben oder mit Formsteinen und Zwischenlagen**

Bei Laboratoriumsversuchen mit Formsteinen, die durch Brettchen aus Weißtanne getrennt waren, hat man festgestellt, daß die Druckfestigkeit der Formsteine erheblich herabgesetzt wurde. Die ersten Risse in den Formsteinen erschienen bei  $36 \text{ kg/cm}^2$ , und der Bruch trat schon bei  $152 \text{ kg/cm}^2$  auf.

Unter der Beanspruchung drückt sich das Holz zusammen und verformt sich quer zu den Fasern. Dieses Verformen ruft in den Flächen der Formsteine Zugkräfte hervor, so daß die ersten Risse und der Bruch schon unter sehr kleinen Druckspannungen eintreten, die nur 12 bis 18 % derjenigen des Betons erreichen. Die Bruchflächen des Betons lagen gleichlaufend zu den Holzfasern. Die beiden oberen Aufnahmen in Bild 7 zeigen den Zugbruch, der durch das Verformen des Holzes quer zu den Fasern entstand. Das untere Bild löst auch sehr gut die von einem ursprünglich runden Tannenholz-Brettchen eingennommene ovale Form erkennen, die sich beim Zusammendrücken zwischen zwei Betonzylindern bildete. Die große Achse der Ellipse liegt quer zu den Fasern und damit in der Richtung, in der sich das Holz am meisten verformte.

Schuld an dem vorzeitigen Bruch waren also Zugkräfte. Diese können auch durch konzentrierte Drücke, z. B. von Ästen, hervorgerufen werden. Für diese Störungen ist also die Ungleichmäßigkeit des elastischen Stoffes die Ursache.

Aus solchen Versuchen kann man ableiten, daß der Einfluß der Brettchen ausgeschaltet werden muß, um die spezifische Festigkeit der mit so viel Sorgfalt hergestellten Formsteine besser zu nutzen. Indessen zeigten die Druckversuche mit unbearbeiteten Formsteinen, daß die Ribbildung und der Bruch der Formsteine schon unter mäßigen Lasten stattfinden und daß es unerlässlich ist, zwischen den Formsteinen einen verformbaren Stoff einzu-

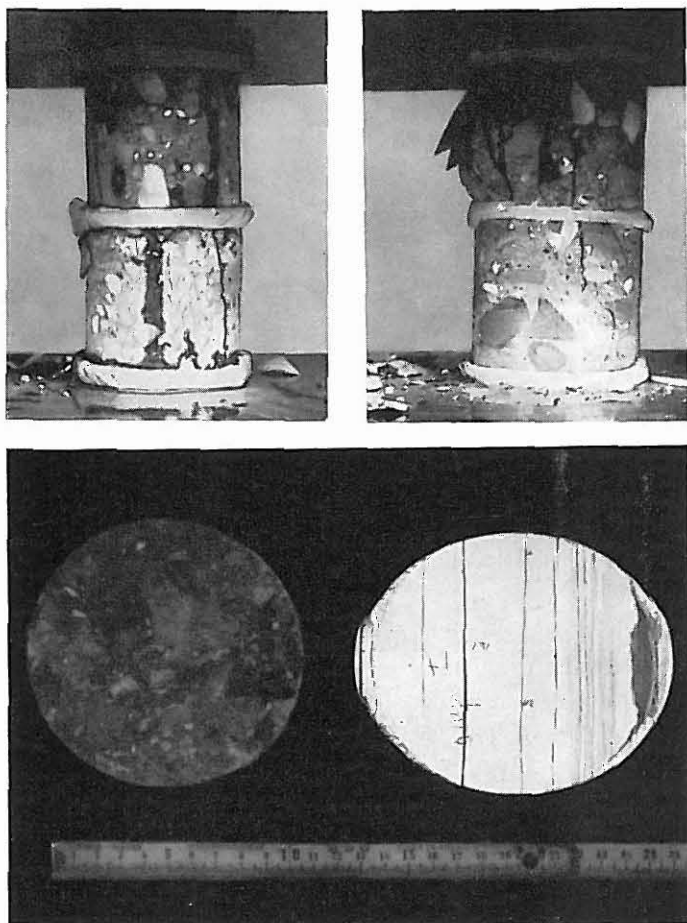


Bild 7 Oben: Zugbruch des Betons infolge Spreizung der Holzfasern beim Zerdrücken zwischen Betonzylindern  
 Unten: Ovale Form des ursprünglich runden Tannenholz-Brettchens

fügen, um die Ungleichmäßigkeiten des Betons auszugleichen und die Last zu verteilen.

Die in einem Bergwerk der Campine ausgeführten Versuche bekräftigen diesen Sachverhalt. Bild 8 von einer Strecke der Zeche in Beeringen veranschaulicht ihn überzeugend. Das Bild zeigt zwei aneinandergrenzende Abschnitte der gleichen Strecke. In dem einen Abschnitt, der mit Brettchen zwischen den Formsteinen ausgebaut ist, blieben die Formsteine ohne Veränderung; in dem anderen ohne Brettchen war die Mehrzahl der Formsteine gebrochen oder gerissen.

Als Aufgabe ergibt sich also, die Brettchen durch ein geschmeidiges und gleichmäßiges Material zu ersetzen, das die Unebenheiten des Betons aufnimmt und das ohne Verformung nach Länge und Breite sich zusammendrückt, so daß keine Zugkräfte auf die Flächen der Formsteine übertragen werden.

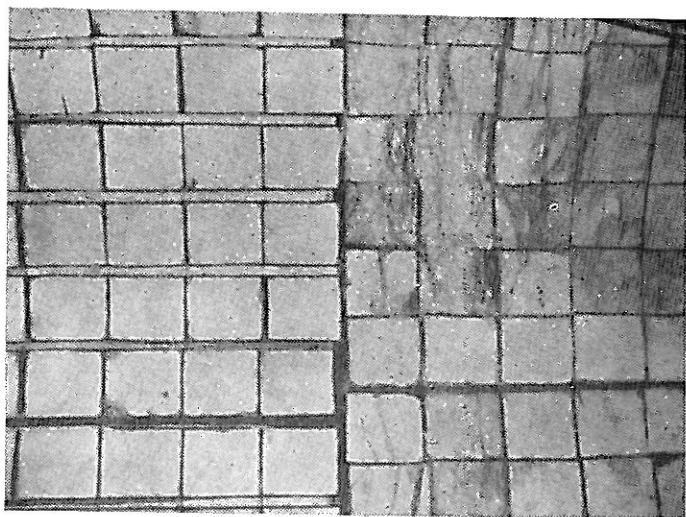


Bild 8 Formsteinausbau mit Zwischenlagen aus Holz (linker Teil) und ohne Zwischenlage (rechter Teil). Zeche Beeringen

#### 4.1 Druckversuche mit Zylindern und Zwischenlagen verschiedener Art

Die Versuche wurden mit zahlreichen Erzeugnissen aus Holz, Holzabfällen, gepreßtem Flachs, gehacktem Stroh usw. durchgeführt.

Bei jedem Versuch verwendete man zwei aufeinandergesetzte 10 cm hohe Zylinder mit 100 cm<sup>2</sup> Querschnitt und 3 Zwischenlagen, zwei an den Druckflächen der Presse und eine zwischen den Zylindern (siehe auch Bild 9 rechts unten).

Die Mittelwerte der Versuche mit 4 gleichen Proben sind in Tafel 7 in der Reihenfolge zunehmenden Raumgewichts zusammengefaßt. Die Druckspannung für den ersten Riß und den Bruch ist in % der Druckspannung ausgedrückt, die entsprechend für zwei aufeinandergesetzte polierte Zylinder ohne Zwischenlagen erhalten wurde.

Die Tafel zeigt klar die ungünstige Wirkung der natürlichen Hölzer. Mit den Zwischenlagen aus Weißtanne, dem üblicherweise in den Bergwerken bis vor kurzem benutzten Holz, erreichte die Rißlast nur 17% jener, die für die polierten Zylinder erhalten wurde.

Was die zu wählende Dicke der Zwischenlagen anbetrifft, kann man die in der Tafel angegebenen Werte nicht als Vergleichsgrundlage benutzen, denn die Versuche wurden mit polierten Zylindern durchgeführt und nicht mit rohen Flächen wie bei den Versuchen unter 4.3.

##### 4.1.1 Zusammendrücken der Zwischenlagen

Die Zwischenlage muß ausreichend druckfest sein, damit sie unter geringer Last noch nicht zerdrückt wird und unter erhöhter Last noch ausreichend formbeständig ist.



Tafel 7 Druckspannung von 2 durch Zwischenlagen getrennten Betonzylindern

Art und Marke der Zwischenlage	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	Druckspannung in %, bezogen auf Zylinder mit polierten Flächen, beim	
			ersten Riß	Bruch
<b>1. Ohne Zwischenlage (polierte Flächen)</b>				
			100	100
<b>2. Mit Mörtelschichten verbunden und abgeglichen</b>				
				86
<b>3. Holz</b>				
Weißtanne	23,3	0,412	17	46
Eiche	21	0,708	56	70
<b>4. Holzerzeugnisse*)</b>				
Sperrholz	18,8	0,500		88,5
Lignostone	10	1,145		99,5
<b>5. Erzeugnisse aus Holzabfällen oder zerkleinertem Holz</b>				
Valwood	20,8	0,450		91
Minorex	9,4	0,793		82
	15	0,470		66,5
	15,8	0,620		80
	39,2	0,492		81,5
	40,8	0,348		80,5
Heraklith	34	0,382	45	76
Novopan	19,9	0,373		85
Foresco	18,4	0,509		66
Faburtex	19,4	0,444		60
<b>6. Erzeugnisse aus Flachsabfällen</b>				
Linex	17,2	0,496		80
	20,6	0,375		68
	39,9	0,364		87
Durlin	9,4	0,649		87
	17,2	0,467		64
	18,3	0,527		71
	22,3	0,343		64,5
	31,5	0,380		68
	38,5	0,299		95
Menotex	20,5	0,440		78,5
Sonaflex	19,6	0,500		73
Inlerlin	19,6	0,296		91
<b>7. Erzeugnisse aus Stroh</b>				
Nové	10,7	0,538		94
	14,5	0,580		89
	28,4	0,279		87
<b>8. Treibriemen</b>				
	8,6	1,2	50,2	59,5

\*) Das untersuchte Sperrholz war geschichtet und bestand aus 2 äußeren Lagen Pappelholz von 2,5 mm Dicke und Schichten aus Tannenholz. — Lignostone ist ein neunschichtiges Sperrholz von 10 mm Dicke aus Eiche und Rottanne; die Fasern liegen in verschiedener Richtung.

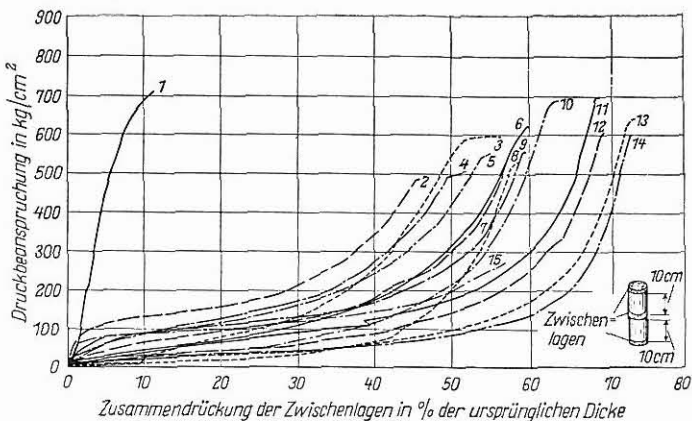


Bild 9 Kurven der Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen. (Die Erzeugnisse, die zu den verschiedenen, mit 1 bis 15 bezeichneten Kurven gehören, sind in Tafel 8 aufgeführt)

Bild 9 gibt die Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen, abhängig von der Druckbeanspruchung, wieder. Man bemerkt, daß diese Kurven je nach Erzeugnis sehr verschieden verlaufen. Mit Lignostone, einem sehr harten Sperrholz, wurde eine ähnliche Bruchspannung erreicht wie beim Versuch ohne Zwischenlage ( $700 \text{ kg/cm}^2$ ); die Kurve (1) der Zusammendrückung verläuft sehr steil. Indessen kann seine Verwendung wegen des sehr hohen Preises in Bergwerken nicht empfohlen werden.

Die anderen Kurven lassen schon unter geringer Beanspruchung im allgemeinen bedeutende Zusammendrückungen erkennen

Tafel 8 Eigenschaften und Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen bei der Prüfung mit 2 Zylindern

Kurve in Bild 9	Zwischenlage			Zusammendrückung in % unter	
	Art und Marke	Dicke mm	Raumgewicht $\text{kg/dm}^3$	in % unter	
				50 $\text{kg/cm}^2$	200 $\text{kg/cm}^2$
1	Lignostone	10	1,145	1	2,5
2	Eiche	21	0,708	0,9	29
3	Nové	11	0,519	15	36,6
4	Minorex	16,8	0,607	3,4	34,5
5	Durlin	17,1	0,524	3,2	35,6
6	Valwood	20,7	0,494	12,5	42,7
7	Sonalex	19,8	0,489	6,8	41,7
8	Heraklith	34	0,382	35,1	50,2
9	Sperrholz	18,8	0,500	1,8	44
10	Valwood + 2 Messingplatten	21,7	0,412	25,1	49
11	Sonalex + 2 Messingplatten	19,6	0,454	15,1	52,8
12	Linex	39,3	0,359	25,5	56,5
13	Interlin	19,5	0,296	34,5	62,4
14	Minorex	40,5	0,326	37	65
15	Tannenholz	39	0,519	0,9	50,2

(40 %, 50 %, 60 % und mehr unter einer Beanspruchung von 300 kg/cm<sup>2</sup>). Tafel 8 faßt die Eigenschaften der verschiedenen Erzeugnisse zusammen und gibt die Zusammendrückung in % für 50 kg/cm<sup>2</sup> und für 200 kg/cm<sup>2</sup> Belastung wieder.

Man benutzt gegenwärtig in den belgischen Bergwerken außer Platten aus natürlichem Holz Valwood (Raumgewicht 0,45), Minorex (Raumgewicht 0,40 bis 0,50), Novopan (Raumgewicht 0,37), Lindex (Raumgewicht 0,30 bis 0,40), Durlin (Raumgewicht ungefähr 0,40) und Nové (Raumgewicht ungefähr 0,55).

Die Kurven und Tafel 8 geben nur Richtwerte wieder. Man kann sie nicht benutzen, um eine Zwischenlage auszuwählen, denn für jedes dieser Erzeugnisse aus Holz, aus Flachs oder aus gepreßtem Stroh gibt es im allgemeinen eine ganze Stufenleiter von Raumgewichten.

#### 4.1.2 Einfluß des Raumgewichts und der Dicke

Um den Einfluß des Raumgewichts hervorzuheben, sind in Bild 10 charakteristische Kurven für Platten gleicher Marke (Minorex), aber verschiedenen Raumgewichts und verschiedener Dicke aufgezeichnet. Daraus ergibt sich, daß unter gleicher Belastung die Zusammendrückungen um so größer werden, je kleiner das Raumgewicht ist. Die Kurven 2, 4, 5 und 6 gelten für Platten gleicher Dicke (40 mm), jedoch abnehmenden Raumgewichts. So ist z. B. mit einem Raumgewicht von 0,607 kg/dm<sup>3</sup> die Zusammendrückung unter 100 kg/cm<sup>2</sup> nur 13 bis 14 %, während sie für ein Raumgewicht von 0,326 kg/dm<sup>3</sup> bei 55 % liegt.

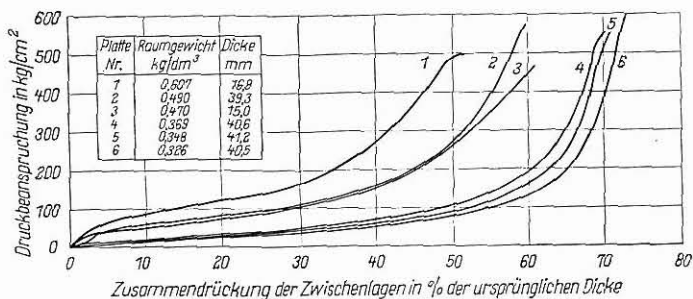


Bild 10 Zusammendrückung von Minorex-Zwischenlagen verschiedener Dicke und unterschiedlichen Raumgewichts. Zusammendrückung unter 50 kg/cm<sup>2</sup>:

Platte	1	2	3	4	5	6
	3,4 %	6,3 %	9 %	28 %	37 %	38 %

In einer weiteren Versuchsserie mit Zylindern waren die Lindex-Zwischenlagen mit Raumgewichten zwischen 0,294 und 0,656 kg/dm<sup>3</sup> 10 mm, 20 mm und 40 mm dick. In Tafel 9 finden sich die Ergebnisse des Druckversuchs und in Bild 11 die zugehörigen Kurven der Zusammendrückung.

Aus den Ergebnissen in Tafel 9 sind folgende Schlüsse zu ziehen:

Bei den Laboratoriumsversuchen tritt kein wesentlicher Einfluß des Raumgewichts auf die Bruchlast in Erscheinung. Die mittlere Bruchlast für die Lindex-Zwischenlagen gleicher Dicke (10 oder 20 oder 40 mm) ist mit 630, 615 und 653 kg/cm<sup>2</sup> für das

Tafel 9 Bruchfestigkeit von Zylindern mit Zwischenlagen aus Linex

Kurve	Zwischenlage aus Linex		Bruchfestigkeit	
	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	in % der Proben aus 2 Zylindern mit polierten Druckflächen
1	10	0,390	750	106
2	10	0,532	555	80
3	10	0,620	760	110
4	20	0,398	540	78
5	20	0,515	660	95
6	20	0,656	655	94,5
7	40	0,294	600	86,5
8	40	0,570	630	91
9	40	0,612	545	79

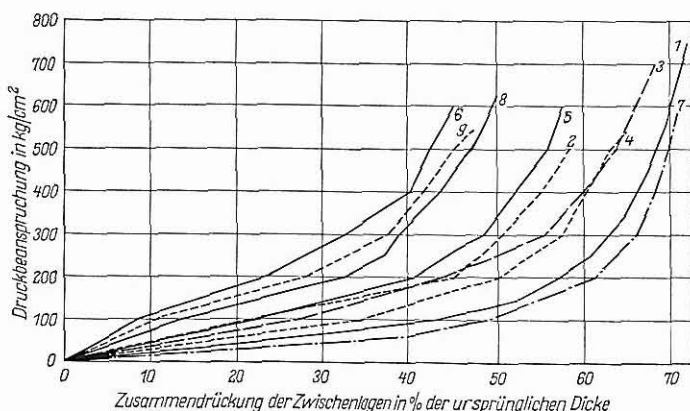


Bild 11 Kurven der Zusammendrückung von Linex-Zwischenlagen verschiedener Dicke und unterschiedlichen Raumgewichts (Dicke und Raumgewicht siehe Tafel 9)

Linex mit geringem, mittlerem und hohem Raumgewicht etwa gleich.

Die Dicke spielt eine bedeutsame Rolle. Um ihren Einfluß zu bestimmen, sind die Versuche an Zwischenlagen gleichen Raumgewichts von 10 und 40 mm Dicke mit Zylindern durchgeführt worden, die aus dem gleichen Bohrkern eines Formsteins stammen.

Beim gleichen Bohrkern ist die Bruchlast der aufeinandergesetzten Zylinder C und D ungefähr 5% höher als die Bruchlast der aufeinandergesetzten Zylinder A und B. Da mit Zwischenlagen von 10 mm Dicke eine mittlere Bruchlast von 689 kg/cm<sup>2</sup> und mit Zwischenlagen von 40 mm Dicke eine solche von 592 kg/cm<sup>2</sup> erreicht wurde, sind dies 14% weniger anstatt eines Mehrs von 5%. Die Verminderung der Bruchlast ergibt sich zu 20%, wenn eine Zwischenlage von 40 mm Dicke anstelle von 10 mm Dicke verwendet wird. (Diese Werte gelten nur für Zylinder mit polierten Flächen; sie könnten für Formsteine mit rohen Flächen umgekehrt liegen. Es erscheint indessen angängig, hier nach eine zweckmäßige Dicke von etwa 20 mm vorzusehen.)

## 4.2 Druckversuche mit Würfeln und verschiedenen Zwischenlagen

Die 10 cm-Würfel wurden mit einer Zwischenlage aufeinander-gesetzt; je eine Zwischenlage fand sich auch zwischen den Druckplatten der Presse und den Würfelflächen. Die in Tafel 10 zusammengefaßten Reiß- und Bruchspannungen werden wieder

Tafel 10 Druckspannung von 2 durch Zwischenlagen getrennten Betonwürfeln

Art und Marke	Zwischenlage		Druckspannung in %, bezogen auf Würfel mit geschliffenen Flächen beim	
	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	1. Reiß	Bruch
<b>1. Ohne Zwischenlage (polierte Flächen)</b>	—	—	100	100
<b>2. Holz</b>				
Weißtanne	22,3	0,464	9,7	42
Yang du Siam	23,3	0,760	33	59
<b>3. Erzeugnisse aus Flachsabfällen</b>				
Linex	21,7 41,3	0,322 0,374	43 81	82 85
<b>4. Erzeugnisse aus Holzabfällen oder zerkleinertem Holz</b>				
Valwood	20,4	0,436	74	83
Novopan	19,7	0,652	91	98
<b>5. Erzeugnisse aus Stroh</b>				
Pleco	25,5	0,243	58	84
Nové	21 11	0,370 0,546	88 79	97 93
<b>6. Verschiedenes</b>				
Insulite	26,3	0,289	98	99
Pical	20	0,610	56	74
Riemen	9,8	1,095	20	55
Kautschuk	11,2	1,310	9,7	34

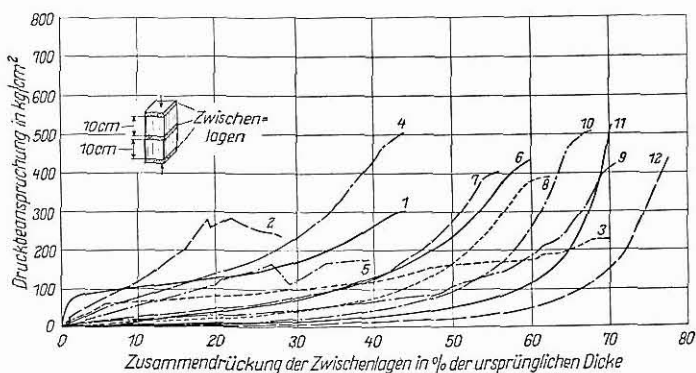


Bild 12 Kurven der Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen beim Druckversuch mit Betonwürfeln. (Die zu den Kurven 1 bis 12 gehörenden Zwischenlagen sind in Tafel 11 aufgeführt)

Tafel 11 Eigenschaften und Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen bei der Prüfung mit 2 Zylindern

Kurve in Bild 12	Zwischenlage			Zusammendrückung in % unter	
	Marke	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	50 kg/cm <sup>2</sup>	200 kg/cm <sup>2</sup>
1	Yang	23,3	0,760	0,5	34
2	Riemen	9,8	1,095	3,2	16
3	Tanne	22,3	0,464	5	65
4	Novopan	19,7	0,652	5,5	27
5	Kautschuk	11,2	1,310	9	—
6	Walwood	20,4	0,436	21	47,5
7	Nové	11	0,522	22,5	46
8	Pical	20	0,610	32	52
9	Linex	21,7	0,322	32,3	61
10	Nové	21	0,370	41	57,7
11	Insulite	26,3	0,289	49,3	64,8
12	Pléco	25,5	0,243	59,5	72,2

in % jener wiedergegeben, die für Würfel mit polierten Druckflächen ohne Zwischenlagen erhalten wurden.

Bild 12 gibt einige Kurven für die Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen wieder.

Tafel 11 enthält die Merkmale der verschiedenen Erzeugnisse und die Zusammendrückung in % für die Druckspannungen von 50 kg/cm<sup>2</sup> und 200 kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.3 Druckversuche mit Formsteinen und verschiedenen Zwischenlagen

Je eine Zwischenlage befand sich zwischen den beiden Steinen sowie zwischen den beiden Druckplatten der Presse und den Stirnflächen. Die Flächen der Formsteine waren nicht poliert und geebnet worden. Die Druckspannung beim ersten Riß und beim Bruch ist auf jene der Probekörper mit Mörtelschichten bezogen worden.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tafel 12 zusammengefaßt. Bei Betrachtung dieser Ergebnisse läßt sich noch einmal deutlich der sehr geringe Widerstand der rohen, ohne Zwischenlage aufeinandergesetzten Formsteine erkennen. Die Flächen einiger Formsteine wiesen Buckel oder Vertiefungen mit mehr als 1 cm Stich auf. Dies führt zu örtlich hohen Beanspruchungen, die den Widerstand der Formsteine nachteilig beeinflussen. Der zerstörende Einfluß von Holz tritt wieder hervor. Alle Austauscherzeugnisse aus Holz, Flachs und gepreßtem Stroh ergaben höhere Druckspannungen als das Holz. Der Einfluß der Dicke der Zwischenlagen wird ebenfalls augenscheinlich.

Wenn die Flächen der Formsteine mehr oder weniger gewölbt sind, ist es unerlässlich, dickere Zwischenlagen zu verwenden, um die Unebenheiten aufzunehmen und eine gute Verteilung der Last auf die ganze Fläche der Formsteine zu erzielen.

Der Versuch mit Zwischenlagen aus Nové ist in dieser Hinsicht kennzeichnend. Mit einer Zwischenlage von 11 mm Dicke trat

Tafel 12 Druckspannung von 2 Formsteinen mit verschiedenen Zwischenlagen

Art und Marke	Zwischenlage		Druckspannung in %, bezogen auf Probekörper mit Mörtelschichten, beim	
	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	1. Riß	Bruch
Mörtel	—	—	73,5	100
ohne Zwischenlage	—	—	7	40
Weißtanne	36,2	0,500	7	30
Valwood	20,5	0,451	26	66
Novopan	20	0,388	54	84
Linex	20,8	0,363	59	75
Sonalex	19,5	0,511	34,5	88
Menolex	19,5	0,420	53	75,5
Nové	11,2	0,570	12	67
	22,4	0,570	42	76
	28	0,273	61	97
	30	0,518	66,5	83

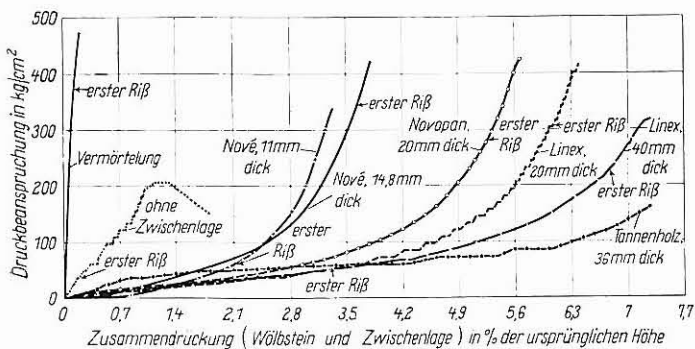


Bild 13 Kurven der Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen beim Druckversuch mit ganzen Formsteinen

der Bruch bei einem Verhältniswert von 67 % ein; mit 22 mm Dicke wuchs der Verhältniswert auf 76 % und mit 28 mm auf 97 % an. Die Verbesserung ist für die Rißlast noch besser erkennbar.

In Bild 13 sind einige Kurven für die Zusammendrückung verschiedener Zwischenlagen aufgenommen. Auf der Abszisse wurde diesmal die Zusammendrückung in % der Ausgangshöhe von einem Formstein einschließlich einer Zwischenlage aufgetragen. Die Kurven erlauben dadurch eine leichte Berechnung der Verminderung des Umfangs einer Strecke und daraus des nutzbaren Durchmessers, wenn die Zahl der Formsteine sowie Art und Dicke der Zwischenlagen bekannt sind. Eine Zusammendrückung von 50 % der Zwischenlagen von 40 mm Dicke in einer Strecke von 4,50 m innerem Durchmesser vermindert den nutzbaren Durchmesser auf ungefähr 4,15 m.

## 5. Besondere Versuche mit Zwischenlagen

Bei diesen Untersuchungen werden die eigentliche Belastbarkeit der Zwischenlagen, ihr Verhalten gegenüber Feuchtigkeit, ihre Brennbarkeit usw. bestimmt.

### 5.1 Belastbarkeit

Einige Versuche über die Belastbarkeit unter Druck sind mit sehr dicken Proben (14 bis 25 cm Dicke) und einem Querschnitt von  $11,3 \text{ cm} \times 11,3 \text{ cm} = 127 \text{ cm}^2$  unmittelbar zwischen den Druckplatten der Presse ausgeführt worden.

Die Proben wurden durch einen Stapel aus mehreren Platten von 10 bis 40 mm Dicke gebildet.

Tafel 13 gibt die Ergebnisse dieser Versuche wieder.

Tafel 13 Zwischenlagen mit einer Dicke von 14 bis 25 cm

Art	Zwischenlage			Bruchspannung kg/cm <sup>2</sup>
	Marke	Gesamt- dicke mm	Raum- gewicht kg/dm <sup>3</sup>	
Holz	Weißtanne	235	0,450	4,7
Flachsabfälle	Linex	240	0,365	850
	Linex	182	0,398	924
	Linex	182	0,510	981
	Linex	181	0,656	932
	Novopan	140	0,373	1445
Holzabfälle	Nové	250	0,484	1315

Die Bruchfestigkeit dieser Zwischenlagen war gleich oder größer als die eines gleich hohen Betonzylinders. Bei Linex hatte das unterschiedliche Raumgewicht der Proben gleicher Abmessungen keinen Einfluß auf die Bruchfestigkeit.

Die Festigkeit des Plattenstapels aus Weißtanne war unbedeutend, während ein Brettchen aus Weißtanne mit 40 mm Dicke selbst unter einer Druckspannung von  $3870 \text{ kg/cm}^2$  noch nicht brach.

Bei allen diesen Versuchen stellte man fest, daß die Tannenholz-Brettchen sich quer zu den Fasern stark verformten, während die anderen Stoffe sich kaum veränderten.

In Tafel 14 sind die Änderungen der Abmessungen (Länge, Breite und Dicke) eines mit  $740 \text{ kg/cm}^2$  nur zwischen den Druckplatten der Presse zusammengedrückten Tannen-Brettchens aufgeführt. Bei einem zweiten unter den gleichen Bedingungen durchgeführten Versuch, bei dem die beiden Flächen des Brettchens und die Druckplatten der Presse geölt wurden, war die Verformung quer zu den Fasern noch wesentlich größer. Dabei beobachtete man keine Änderung der Abmessung in Richtung der Fasern.

Tafel 14 enthält auch die Änderung des Querschnitts für Platten aus Linex, Nové und Minorex. Für diese Stoffe waren die Änderungen des Querschnitts sehr klein.

Zum Vergleich werden in Tafel 15 noch die Längs- und Querdehnung einiger zwischen Betonwürfeln zusammengedrückter



Tafel 14 Änderung des Querschnitts und der Dicke von verschiedenen Zwischenlagen  
(Druckversuch zwischen den Platten der Prüfpresse)

Art der Zwischenlage	Vor dem Versuch			Unter einer Druckspannung von 740 kg/cm <sup>2</sup>				Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>
	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	Querschnitt mm	Dicke mm	Querschnitt		Dicke		
				mm	Verlängerung %	mm	Verminderung %	
Tannenholz	0,470	500 × 113	37,1	500 × 170	0 × 50	9,6	74	1,200
Tannenholz mit geölten Flächen	0,472	500 × 113	37,1	500 × 190	0 × 68	11,1	69	0,940
Linex	0,297	300 × 120	40	302 × 121	0,7 × 1	10	75	1,175
	0,545	300 × 120	40	301 × 121	0,3 × 1	18	55	1,200
	0,610	300 × 120	40	301 × 122	0,3 × 2	20	50	1,200
Minorex	0,676	306 × 122	40	310 × 125	1,3 × 2,5	21	47,5	1,240
Nové	0,580	300 × 116	42,4	301 × 117	0,3 × 1	15	65	1,600

Tafel 16 Quellen von verschiedenen Zwischenlagen beim Durchfeuchten

Art der Platten	Holz	Holzabfälle			Flachsabfälle					Siroh
		Weißblanne	Minorex	Minorex	Valwood	Linex	Linex	Durlin	Durlin	Durlin
Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	0,450	0,640	0,620	0,450	0,309	0,363	0,640	0,283	0,220	0,556
Dicke, mm	21,2	10	13	20	20,4	40	13	30,5	38	10,9
Quellen in % nach										
30 min	1,4	50	—	2	0	0	0	3,3	2,6	28,5
3 h	4,3	56	35	7	—	—	9,4	6,5	6,2	—
7 h	4,6	58	38,5	9	6,8	8,7	11,6	7,6	7,3	84
20 h	4,7	60	42	10	7,4	10	13,1	8,2	7,9	103
48 h	4,7	60	46,5	11	7,8	10,5	15,4	9,8	9,3	111
1 Woche	4,8	60	47	15	7,8	10,5	15,4	9,8	9,3	111

Tafel 15 Änderung des Querschnitts unter einer Belastung von 340 kg/cm<sup>2</sup>

Stoff	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	Dicke mm	Querschnitt		Verlängerung %
			vor dem Versuch mm	nach dem Bruch mm	
Weißtanne	0,463	22,3	100 × 100	100,8 × 111,1	0,8 × 11,1
Yang	0,760	23,3	100 × 100	100 × 115,8	0 × 15,8
Linex	0,322	21,7	100 × 100	103 × 101,9	3 × 1,9
Linex	0,374	41,3	100 × 100	100 × 102	0 × 2
Pleco	0,243	25,5	100 × 100	105,5 × 103,5	5,5 × 3,5
Novopan	0,652	19,7	100 × 100	100 × 101	0 × 1
Nové	0,370	21	100 × 100	100,5 × 101	0,5 × 1

Platten wiedergegeben. Verglichen mit Holz ist die Ausdehnung der anderen Erzeugnisse im allgemeinen sehr gering, so daß Zugkräfte im Beton nicht entstehen.

Nach Tafel 14 stellte man unter einer Belastung von 740 kg/cm<sup>2</sup> eine Querverformung des Tannenholzes von 50 % fest, während die Querverformung des Tannenholzes nach Tafel 15 unter einer Belastung von 340 kg/cm<sup>2</sup> nur 11,1 % ist. Doch waren beim Versuch nach Tafel 15 die Tannenholz-Brettchen zwischen zwei Betonwürfeln gelegt. Die Druckkraft wirkte nur auf einen Ausschnitt des Tannenholzes von 100 cm<sup>2</sup>, während beim Versuch nach Tafel 14 die Kraft auf den ganzen Querschnitt des Tannenholzes übertragen wurde.

## 5.2 Einfluß von Wasser und Feuchtigkeit

Es ist wichtig zu wissen, wie sich die Erzeugnisse in Wasser oder in feuchter Luft verhalten. Oft werden die Zwischenlagen bei der Beförderung im Grubenwagen bis zu ihrem Einbau unter Tage feucht. Gelegentlich können bei der Lagerung unter Tage die unteren Logen eines Stapels mit Wasser in Berührung kommen. Die Ergebnisse zugehöriger Versuche werden in Tafel 16 wiedergegeben.

Im allgemeinen fand sich keine Quer- oder Längsausdehnung, sondern nur ein Quellen in Richtung der Plattendicke innerhalb eines großen Bereichs. Man stellt z. B. fest, daß das Nové stark und sehr rasch unter Einwirkung von Wasser quillt und innerhalb von 20 Stunden seine Dicke verdoppelt. Das Quellmaß von Minorex mit 50 % ist ebenfalls sehr hoch.

Das Wasser kann auch gewisse Erzeugnisse verändern. Nach einer Lagerung während 1 Woche in Wasser ließ sich z. B. das Nové sehr leicht von Hand zerteilen. Die Platten aus Valwood konnten mit kräftigem Zug von Hand zerrissen werden. Die anderen in Tafel 16 aufgeführten Erzeugnisse veränderten sich nicht.

Um den schädlichen Einfluß des Wassers auf die Güte des Nové herauszustellen, wurden Vergleichsversuche mit Betonzylindern und trockenen sowie 6 Stunden in Wasser gelegten Platten durchgeführt. Nach Bild 14 trat der Bruch mit trockener Platte

unter einer Druckspannung von 650 kg/cm<sup>2</sup> und mit der 6 Stunden in Wasser gelagerten Platte unter 433 kg/cm<sup>2</sup> ein; dies entspricht einer Verminderung von 31 %.

### 5.3 Brennbarkeit

Die Brennbarkeit der Platten wurde nach der abgeänderten britischen Norm beurteilt, wonach eine Probeplatte 20 cm x 30 cm der Einwirkung einer Alkoholflamme ausgesetzt wird. Das dazu verwendete Gerät besteht aus einem Gestell, das die Platte und eine nach der Höhe verschiebbare Schale mit 4 cm<sup>3</sup> Alkohol trägt. Die unter 45° gegen die Horizontale geneigte Platte liegt mittig 5 cm über der Schale. Das ganze Gerät steht auf einer automatischen Waage, so daß das Gewicht der Probeplatte nach jeweils 30 sec abgelesen werden kann.

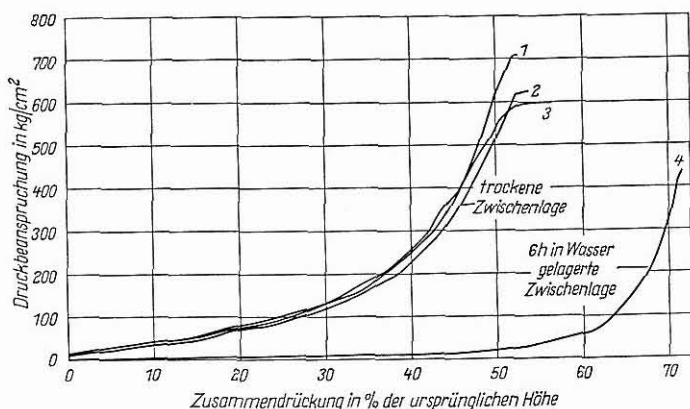


Bild 14 Kurven der Zusammendrückung von Nové-Zwischenlagen. Die zur Kurve 4 gehörende Zwischenlage lagerte 6 Stunden in Wasser

Kurve	Dicke vor dem Versuch mm	Zustand
1	44,6	trocken
2	22,6	
3	11,0	
4	22,6 *)	feucht

\*) 11,2 mm vor der Wasserlagerung

Tafel 17 enthält die Ergebnisse der mit Platten aus Tannenholz, Holzabfällen, Flachsabfällen oder Stroh ausgeführten Versuche.

Linex, Valwood und Minorex (Raumgewicht 0,624) glühten nach dem Auslöschen der Alkoholflamme nicht nach. Mit Minorex (Raumgewicht 0,382 kg/dm<sup>3</sup>) waren 1 Minute lang noch zwei glühende Punkte von ungefähr 3 mm<sup>2</sup> zu beobachten. Beim Weißtannenholz stellte man nach dem Löschen der Flamme zwei glühende Punkte während 20 bis 30 sec fest. Die Platte aus Nové glühte an zahlreichen Stellen nach, und 1/2 Stunde nach

Tafel 17 Brennbarkeit von verschiedenen Zwischenlagen

Art	Zwischenlage			Angekohlte Fläche cm <sup>2</sup>	Gewichtsverlust %
	Marke	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	Dicke mm		
Holz	Weißtanne	0,445	39	97	0,7
Holzabfälle	Valwood	0,499	22	217	3,2
	Minorex	0,382	40	264	2
Flachsabfälle	Minorex	0,624	13,8	200	3,1
	Linex	0,368	19	162	3,1
Stroh	Nové	0,540	11,9	217	3,2

dem Löschen der Alkoholflamme konnte die Platte durch rasches Bewegen wieder entflammt werden.

Die Platten aus Tannenholz verhielten sich am günstigsten. Doch waren die Platten aus Flachsabfällen (Linex) weniger brennbar als jene aus Stroh und Holzabfällen. Der Unterschied rührt von dem wesentlich höheren Anteil an Leim im Linex her. Indessen darf man die Gefahr, die die Verwendung dieser Platten für die Ausdehnung eines Brandes in einer Strecke aus Formsteinen darstellen könnte, nicht übertreiben. In der Tat brennen die Platten nicht weiter, selbst wenn sie ohne Pressung zwischen die Formsteine eingesetzt sind. Die Stirnfläche verkohlt wohl unter der Einwirkung eines Bunsenbrenners, doch setzt sich das Verkohlen zwischen den Formsteinen, selbst bei 40 mm dicker Zwischenlage, nicht fort. Lediglich das Nové brennt zwischen den Formsteinen langsam ab.

Dagegen dürfen die häufig zwischen zwei Formsteinreihen 5 bis 10 cm weiten vertikalen Fugen nicht mit Holzbrettchen oder Austauschstoffen verstopft werden. Solche Fugen müssen daher ausbetoniert oder mit anderem unbrennbarem Stoff gefüllt werden.

## 6. Versuche mit Formsteinringen im Laboratorium

Um eine genauere Vorstellung über die Beanspruchungen zu erhalten, denen ein Ausbau mit Formsteinen widerstehen kann, und über die etwaige Größe der auf die Strecken wirkenden Kräfte, erschien es inchar wichtig, Versuche mit ganzen Ausbauringen durchzuführen, die gleiche Durchmesser wie die Strecken der Campine aufweisen.

Die Versuche konnten in den Laboratorien der Association des Industriels de Belgique (AIB), die allein ausreichende Einrichtungen für diese Art von Versuchen besitzt, ausgeführt werden. Die dazu benutzte Versuchsanlage wurde entworfen, um Konstruktionen mit großen Abmessungen auf Dauerfestigkeit oder statische Festigkeit zu prüfen. Die zu prüfende Konstruktion wird von einer aus normalisierten Teilen bestehenden Belastungsvorrichtung umgeben und auf einer stark bewehrten Betonplatte nach Bild 15 aufgestellt. Die Betonplatte weist ein System von Ankerlöchern auf, in denen das Versuchsstück, die Meßgerüste und die anderen Einrichtungen befestigt werden können. Die Einrichtung erlaubt es, Kräfte an einem beliebigen Punkt

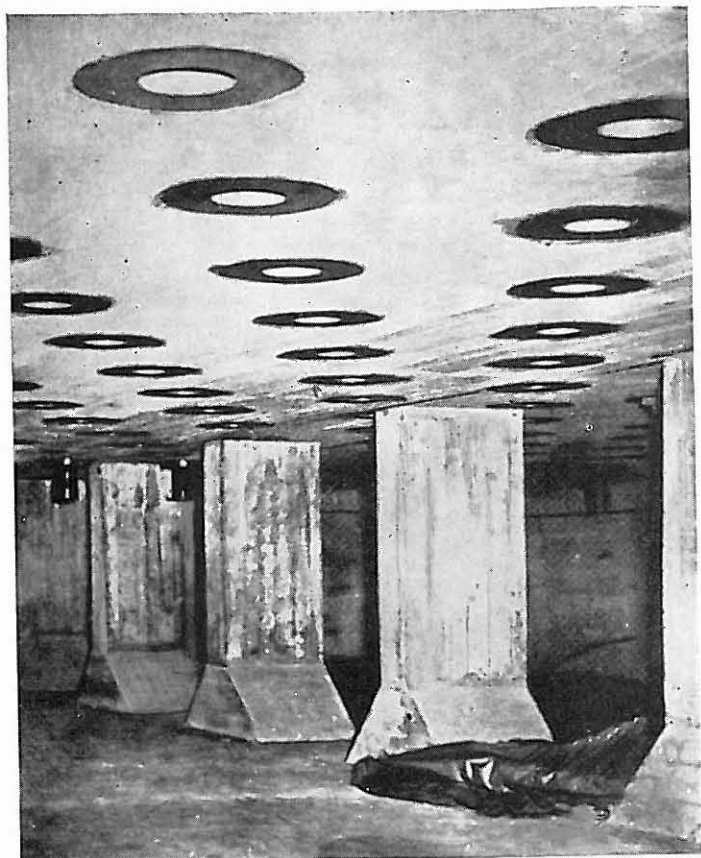


Bild 15 Untere Fläche der zur Versuchsanlage gehörenden Stahlbetonplatte

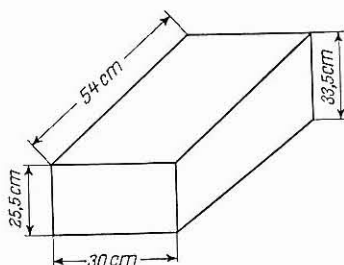


Bild 16 Abmessung eines Formsteins für die Versuche mit ganzen Ringen

des Versuchsstückes und in irgendeiner Richtung anzusetzen. Man kann den Aufbau so herrichten, daß Zugkräfte, einfache Druckkräfte, Biegemomente oder Torsion ausgeübt werden können.

Bei diesen Untersuchungen sind Formsteine aus der Fertigung der Zeche von Beeringen benutzt worden. Die im allgemeinen in Gesteinsstrecken mit 4,1 m lichtigem Durchmesser verwendeten Formsteine haben die folgenden Abmessungen (siehe Bild 16):

Länge:	30 cm
Dicke:	54 cm
Höhe an der Innenfläche:	25,5 cm
Höhe an der Außenfläche:	33,5 cm
Gewicht:	118 kg.

Ein vollständiger Ring besteht aus 43 Steinen. Tafel 18 enthält die Druckfestigkeit der benutzten Formsteine.

Tafel 18 Druckfestigkeit von zwei aufeinandergesetzten Formsteinen

Art	Zwischenlage		Druckspannung	
	Dicke mm	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>	beim 1. Riß kg/cm <sup>2</sup>	beim Bruch kg/cm <sup>2</sup>
Mörtel ohne Zwischenlage	—	—	258	278
Linex	39,3	0,390	227	317
Weißtanne	39	0,448	45	191

Um sich möglichst den Bedingungen unter Tage anzugleichen, hat man drei Belastungsfälle mit verschiedener Verteilung der Belastung gemäß Bild 17 sowie mit verschiedenen Zwischenlagen untersucht.

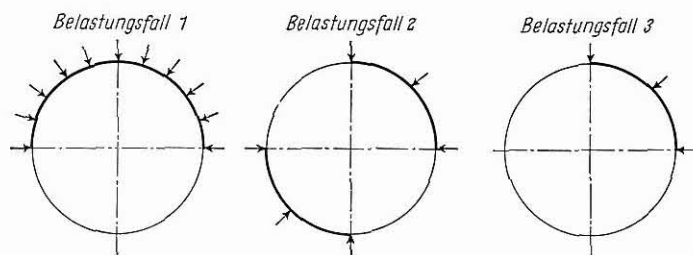


Bild 17 Schematische Darstellung der drei Belastungsfälle

### Belastungsfall 1

Gleichmäßige Verteilung der Belastung über die Hälfte des Ringumfangs.

- Die zusammendrückbaren Zwischenlagen werden durch 43 Platten aus 40 mm dickem Linex gebildet.
- Ersatz von 3 Platten aus Linex durch Brettchen aus Weißtanne von 40 mm Dicke im mittleren Belastungsbereich.
- Ohne Holzplatten, so daß die rohen Flächen der Formsteine in diesen 3 Fugen aneinanderliegen.

### Belastungsfall 2

Gleichmäßige Verteilung der Belastung über zwei gegenüberliegende Quadranten des Umfangs. Die Zwischenlagen werden aus 40 mm dicken Linex-Platten gebildet.

### Belastungsfall 3

Gleichmäßige Verteilung der Belastung über einen Quadranten des Umfanges. Alle Zwischenlagen bestehen aus

- Linex-Platten von 40 mm Dicke,
- Weißtanne-Brettchen von 40 mm Dicke,
- Nové-Platten von 11 mm Dicke.

### 6.1 Belastung der Hälfte des Ringumfanges (Belastungsfall 1)

Vier Pressen, die sich gegen Balken in der Grundplatte stützen, verteilten ihre Kräfte über zwischenliegende Balken, Stahlwinkel und Holzzwischenlagen gleichmäßig auf die Mitte des Rings. Die andere Hälfte des Rings stützte sich gegen feste Balken (Bild 18). Diese Anordnung erlaubte nur eine Belastung bis 400 t.

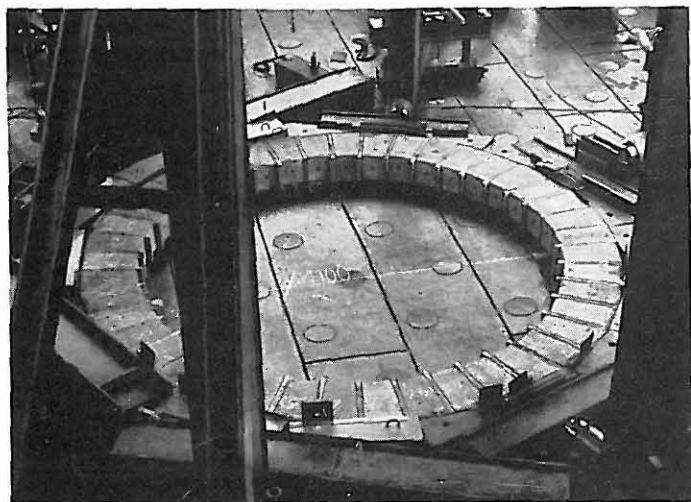


Bild 18 Versuchsanordnung zum Aufbringen der Belastung auf die Hälfte des Ringumfanges. Die 43 Einlagen zwischen den Formsteinen bestanden aus 40 mm dicken Linex-Platten mit einem Raumgewicht von  $0,39 \text{ kg/dm}^3$

#### 6.1.1 43 Fugen mit Zwischenlagen aus Linex (Raumgewicht $0,39 \text{ kg/dm}^3$ )

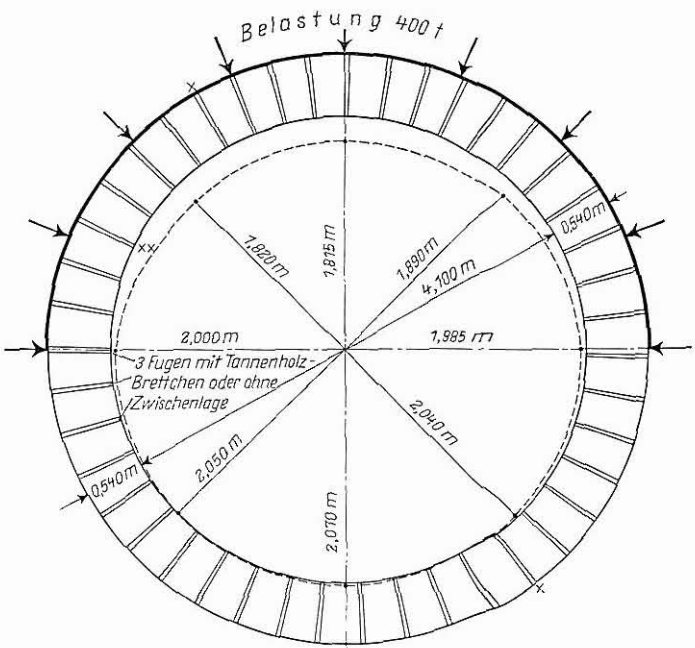
Die Belastung wurde in Stufen von 40 t zunehmend aufgebracht; nach 8 Stunden wurden 400 t erreicht, ohne daß sich ein Riß in einem Formstein fand. Durch Vergleich der Zusammendrückung der Linex-Zwischenlagen mit der, die bei den Laboratoriumsversuchen erhalten wurde, gewinnt man eine Vorstellung über die Verteilung der Spannungen für jede Fuge.

In Bild 19 ist mit dem unterbrochenen Linienzug die von der inneren Umfangslinie unter einer Belastung von 400 t eingenommene Lage wiedergegeben. Demnach hat sich der Ring verhältnismäßig wenig verformt. Der Durchmesser, der zu Anfang 4,10 m betrug, war am Schluß des Versuchs auf 3,86 m vermindert worden. Die größte Zusammendrückung ist an der Außenfläche in den beiden in Bild 19 mit einem Kreuz bezeich-

neten Fugen und an der Innenfläche in der mit zwei Kreuzen bezeichneten Fuge beobachtet worden. Die mittlere Zusammendrückung der Zwischenlagen war 18%. Durch Vergleich der Stauchung der Linex-Platten mit der Zusammendrückung nach der Eichkurve erhält man die zugehörigen, in Tafel 19 wiedergegebenen Spannungen.

Tafel 19 Zusammendrückung der Zwischenlagen im Ring und Druckspannungen bei Belastungsfall 1

bei der	Zusammendrückung %	Druckspannung kg/cm <sup>2</sup>
mittleren Zusammendrückung	18	31
größten Zusammendrückung		
außen	42	81,5
innen	29	48



----- Verformung der inneren Umfangslinie des Ringes

Bild 19 Verformung des Ringes aus Formsteinen mit Linex-Zwischenlagen unter einer auf den halben Umfang aufgebrachten Belastung von 400 t

Beim Laboratoriumsversuch mit 2 aufeinander-gesetzten Formsteinen und Linex-Zwischenlagen trat der erste Riß unter 227 kg/cm<sup>2</sup> und der Bruch unter 317 kg/cm<sup>2</sup> auf. Hiervon und von der Zusammendrückung bei 400 t ausgehend, könnte man für einen ganzen Ring mit Linex-Einlagen auf eine Rißlast von 1112 t und auf eine Bruchlast von 1575 t schließen. Damit würden sich bei einem Ring von 30 cm Breite je m Gesteinsstrecke Belastungen von 3700 bzw. 5250 t ergeben.



### 6.1.2 Ersatz von drei Linex-Platten durch Brettchen aus Tannenholz

Die Brettchen wurden in dem ziemlich stark beanspruchten Bereich am Übergang vom belasteten zum abgestützten Teil eingesetzt (siehe Lage der Fugen in Bild 19). Auch hier stellten sich unter der Belastung von 400 t wie beim vorausgegangenen Versuch keine Risse in den Formsteinen ein. Die mittlere Zusammendrückung der Fugen mit Holzeinlagen hat sich auf 23% erhöht; hieraus läßt sich eine Spannung von 46 kg/cm<sup>2</sup> ableiten. Die größte Zusammendrückung von 32% entsprach einer Spannung von 55 kg/cm<sup>2</sup>.

Beim Versuch mit zwei aufeinandergesetzten Formsteinen und Zwischenlagen aus Weißtanne wurde der erste Riß unter einer Spannung von 143 kg/cm<sup>2</sup> und der Bruch unter 190 kg/cm<sup>2</sup> festgestellt.

Beim Vergleich der Zusammendrückung der Linex- und der Holzplatten ergab sich, daß die Spannung in dem Abschnitt, in dem Linex durch Holz ersetzt wurde, gleich verteilt war. Man kann also annehmen, daß die größte Spannung im Ring mit Holzeinlagen ebenfalls etwa bei 81,5 kg/cm<sup>2</sup> liegen würde.

Geht man von dieser größten Spannung und von der bei den Laboratoriumsversuchen gemessenen aus, so könnte man für einen Ring mit Tannenholz-Fugen eine Rißlast von 700 t und eine Bruchlast von 930 t in Ansatz bringen.



Bild 20 Riß in einem Formstein unter einer auf den halben Ringumfang aufgebrauchten Last von 230 t. (Die 3 in Bild 19 angegebenen Linex-Zwischenlagen waren bei diesem Versuch herausgenommen)

### 6.1.3 Drei Fugen ohne Füllung

An den 4 ohne Fugeneinlagen gestoßenen Formsteinen fanden sich unter einer Last von 60 t keine Absprengungen. Die ersten Risse traten in diesen Formsteinen bei 230 t auf, und bei 400 t zerriß ein Formstein, siehe Bild 20.

Bei den Laboratoriumsversuchen mit 2 vermörtelten Formsteinen war die Spannung beim Bruch  $142 \text{ kg/cm}^2$ .

Die Verteilung der Spannungen in einem Ring mit rohen Formsteinflächen ohne Einlagen entspricht nicht der in einem Ring mit Lindex-Zwischenlagen. Wenn aber die Verteilung der Spannung in einem Ring ohne Einlagen die gleiche wäre wie im Ring mit Lindex-Fugen, würde die Bruchlast 700 t betragen.

#### Folgerung

Tafel 20 faßt das Ergebnis der Versuche über den Einfluß von Zwischenlagen bei Belastungsfall 1 für eine angenommene gleichmäßige Verteilung der Spannungen zusammen.

Tafel 20 Rißlast und Bruchlast nach Belastungsfall 1

Zwischenlagen	Rißlast t	Bruchlast t
Lindex	1112	1575
Weißblanne	700	930
ohne Zwischenlagen	230	700

### 6.2 Belastung auf 2 gegenüberliegenden Quadranten (Belastungsfall 2)

Als Zwischenlagen dienten Lindex-Platten von 40 mm Dicke. Die Last wurde zunächst so lange gesteigert, bis  $2 \times 320 \text{ t} = 640 \text{ t}$  erreicht waren; dabei erschien ein Riß bei  $2 \times 240 \text{ t}$ . Die Zusammendrückung der Lindex-Platten wurde regelmäßig gemessen; in der Nähe des Risses erreichte die Stauchung 75%. Die Fugen mit der größten Stauchung an der Außenfläche sind in Bild 21 mit einem Kreuz und die an der Innenfläche mit zwei Kreuzen bezeichnet worden. In diesem Bild gibt die gestrichelte Linie die Lage der inneren Umfangslinie des Rings beim Abschluß des Versuchs an.

Der Ring hatte sich in den beiden belasteten Quadranten stark abgeplattet, wobei der Durchmesser von 4,10 m auf 3,30 m zurückging. Die sowohl an der Innen- als auch an der Außenfläche am meisten gestauchten Platten liegen nahe dem Übergang zwischen dem belasteten und dem abgestützten Ringteil. Ein beginnendes gegenseitiges Verschieben wurde bei den Formsteinen beobachtet, die in Richtung des um  $45^\circ$  zur vertikalen Achse geneigten Durchmessers liegen. Bild 22 zeigt den Ring am Ende des Versuchs nach Entlastung. Der kleinste Durchmesser nahm dabei von 3,30 m auf 3,42 m zu.

Durch Vergleich der Zusammendrückungen der Lindex-Platten mit der Zusammendrückung nach der Eichkurve erhält man die zugehörigen, in Tafel 21 wiedergegebenen Spannungen.

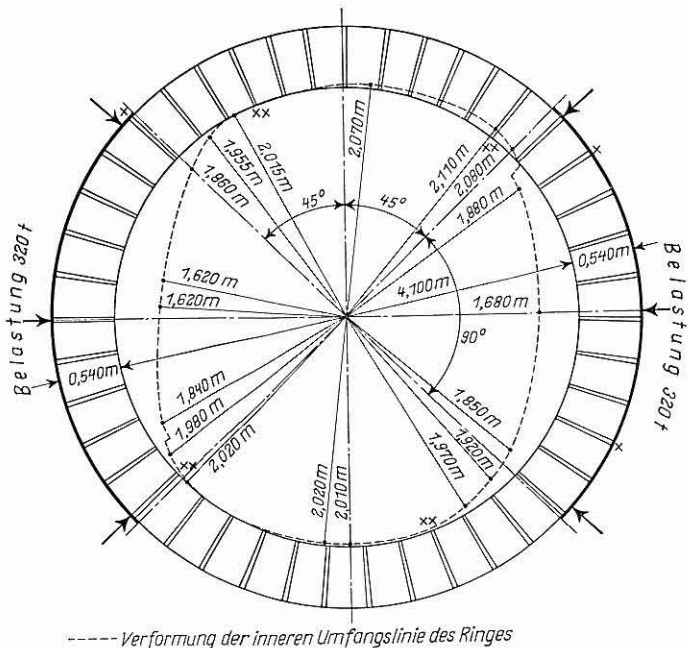


Bild 21 Verformung des Ringes aus Formsteinen unter einer auf 2 gegenüberliegenden Quadranten aufgetragenen Belastung von  $2 \times 320$  t. Die 43 Einlagen zwischen den Formsteinen bestanden aus Linex-Zwischenlagen von 40 mm Dicke und einem Raumgewicht von  $0,39 \text{ kg/dm}^3$

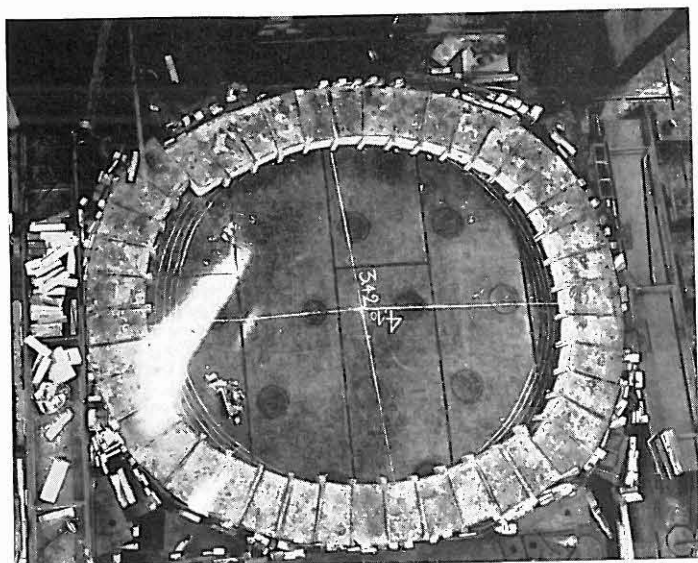


Bild 22 Zustand des mit  $2 \times 320$  t belasteten Rings nach Entlastung. (Man erkennt die beiden in Bild 21 gezeichneten Eindrückungen)

Tafel 21 Zusammendrückung der Zwischenlagen im Ring und Druckspannungen bei Belastungsfall 2

bei	Zusammendrückung	Spannung
	%	kg/cm <sup>2</sup>
2 × 240 t (Mittel)	31	53
2 × 320 t (Mittel)	42	82
der unter 2 × 320 t am meisten zusammengedrückten Fuge *)	58	198

\*) Ohne Berücksichtigung der beiden an den gerissenen Formsteinen angrenzenden Fugen.

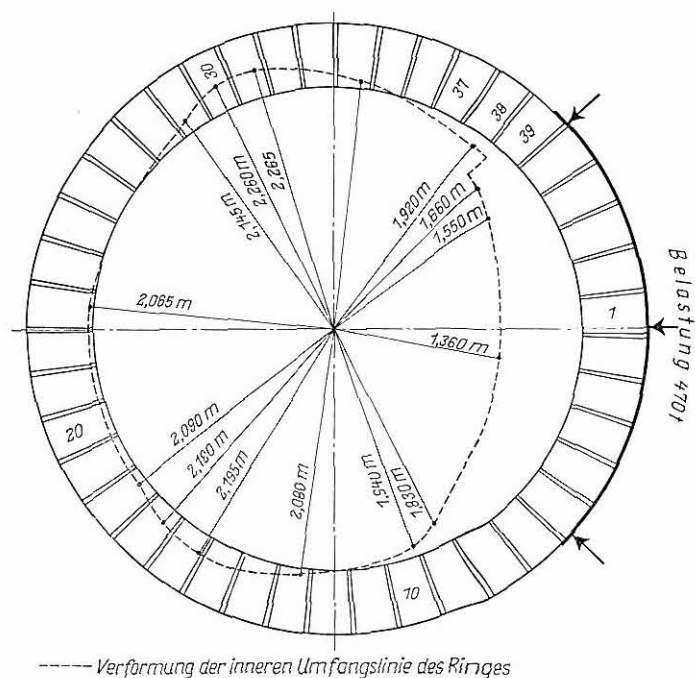


Bild 23 Verformung des Ringes aus Formsteinen bei Belastung eines Quadranten mit 470 t. Die 43 Linex-Zwischenlagen waren 40 mm dick und hatten ein Raumgewicht von 0,39 kg/dm<sup>3</sup>

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Laboratoriumsversuche würde sich der Bruch des Rings bei einer Belastung von 2 x 510 t eingestellt haben.

### 6.3 Belastung eines Quadranten des Ringumfanges (Belastungsfall 3)

Bei diesen Versuchen war die Abstützung des gegenüberliegenden Quadranten mit Kraftmessern versehen worden, um den Gegendruck zu messen. Für die beiden anderen Quadranten blieb die Abstützung fest oder wurde in einem Fall durch Balken gebildet, die auf Walzen gleiten konnten.

### 6.3.1 Zwischenlagen aus 40 mm dicken Linex-Platten

Der Ring plattete sich in der belasteten Firste rasch und stark ab (Bild 23). Er dehnte sich auch seitlich aus, während im unteren Quadranten eine gute kreisförmige Form erhalten blieb. Der Durchmesser ging am Schluß auf 3,425 m zurück. Ein beginnendes gegenseitiges Verschieben der Formsteine wurde am Übergang vom belasteten zum abgestützten Teil ebenfalls festgestellt.

Diese Belastungsanordnung ist viel ungünstiger als jene, bei der die Last gleichmäßig über die Hälfte des Umfanges verteilt ist. Der Bruch trat unter einer Last von 470 t ein, siehe Bild 24. Der erste Riß bildete sich im Formstein Nr. 38 unter einer Belastung von 340 t; dabei war an dieser Stelle die Zusammendrückung der Linex-Fuge 66%. Aber dieser Riß entstand erst nach der Verschiebung zwischen belastetem und abgestütztem Teil; Formstein Nr. 38 schob sich um 16 cm gegenüber Formstein Nr. 37 vor.

Die Berührungsfläche zwischen diesen beiden Formsteinen wurde so um 29% vermindert. Der Riß hatte sich dicht neben dem tragenden Teil des Formsteins Nr. 38 gebildet.

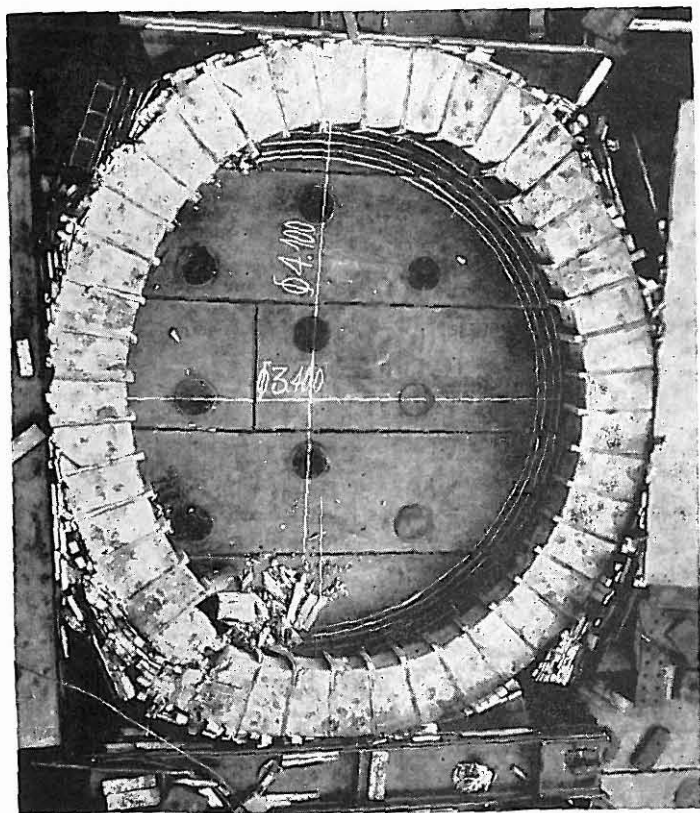


Bild 24 Zustand des mit 470 t belasteten Ringes nach Entlastung



Unter der Belastung von 440 t traten neue Risse in den Formsteinen Nr. 38 und Nr. 10 auf (Formstein Nr. 10 wurde nicht hinausgeschoben). Die mittlere Spannung der Fugen errechnete sich aus der mittleren Zusammendrückung des Linex zu  $68 \text{ kg/cm}^2$ . Die größte Zusammendrückung auf der Innenseite stellte sich beim Formstein Nr. 38 ein und auf der Außenseite beim Formstein Nr. 1 mit einer Spannung von  $196 \text{ kg/cm}^2$ . Bild 25 zeigt Einzelheiten des Bruchs der Formsteine Nr. 37 und 38.

### 6.3.2 Zwischenlagen aus 40 mm dicken Brettchen aus Weißtannenholz

Bei diesem Versuch wurden die Brettchen auf zwei Arten angeordnet. In einer Hälfte des Rings waren die Fasern waagrecht, also radial gerichtet, in der anderen Hälfte senkrecht.

Der erste Riß fand sich in einem der Formsteine bei einer Belastung von 276 t; der Bruch trat unter 340 t ein. Bis zum Bruch war der Durchmesser auf 3,45 m vermindert worden und eine starke Abplattung des Rings auf der belasteten Seite entstanden (Bilder 26 und 27).

Die Brüche traten an den beiden Enden des belasteten Abschnitts ein (siehe Bild 26: Formsteine Nr. 36, 37, 38, 39 und

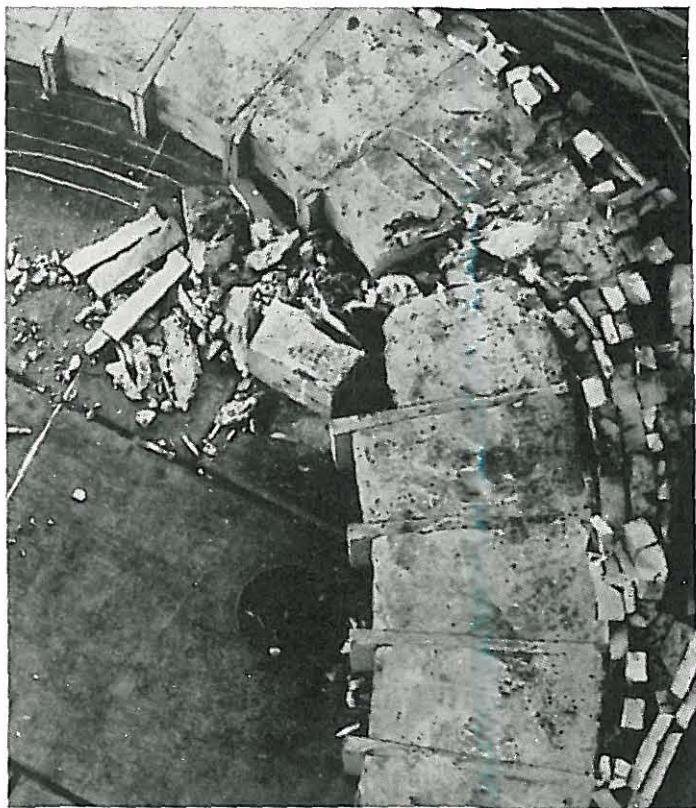
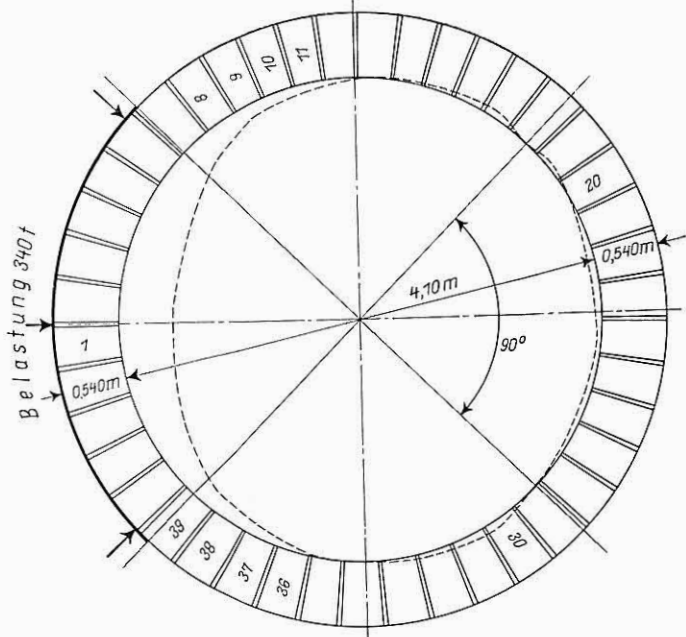


Bild 25 Einzelheiten des Bruches der Formsteine Nr. 37 und 38



----- Verformung der inneren Umfangslinie des Ringes

Bild 26 Verformung des Ringes aus Formsteinen unter Belastung eines Quadranten mit 340 t. Die 43 Zwischenlagen waren 40 mm dicke Brettchen aus Weißtanne (Raumgewicht 0,45 kg/dm<sup>3</sup>)

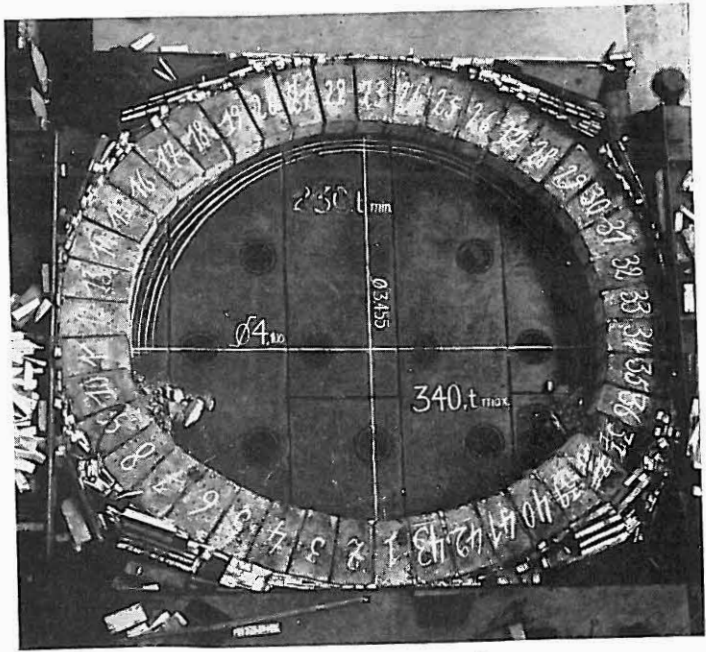


Bild 27 Zustand des Ringes nach dem Bruch unter 340 t



Bild 28 Einzelheiten des Bruchas der Formsteine.

Oben: Die Holzfasern verliefen waagrecht, ebenso die Rißflächen  
 Unten: Die Holzfasern verliefen senkrecht, ebenso die Rißflächen

Formsteine Nr. 8, 9, 10 und 11). Es ist nun interessant, hier den Unterschied im Bruchbild der Formsteine herauszustellen, das in enger Beziehung zur Richtung der Fasern steht.

In den Fugen zwischen den Formsteinen Nr. 8, 9, 10 und 11 (Bild 28) waren die Fasern der Brettchen waagrecht (radial) gerichtet; die Formsteine wiesen daher auch waagrecht verlaufende Rißflächen auf. Ein Teil des Formsteins Nr. 9 hatte sich hochgeschoben.

Zwischen den Formsteinen Nr. 36, 37, 38 und 39 verliefen die Fasern der Brettchen senkrecht. Die Formsteine rissen daher in senkrechten Ebenen auf. Auch diese Versuche bestätigten den schädlichen Einfluß der Holzfasern.

Nach den Eichkurven für die Zusammendrückung des Holzes war bei der Rißlast von 276 t die mittlere Zusammendrückung 33,2%; diese entspricht einer Druckspannung von 57 kg/cm<sup>2</sup>. Für die Bruchlast von 340 t erreichte die größte Zusammendrückung 60% und die Druckspannung 176 kg/cm<sup>2</sup>.

### 6.3.3 Zwischenlagen aus 11 mm dicken Nové-Platten (Raumgewicht 0,55 kg/dm<sup>3</sup>)

Da die Formsteine von Beeringen Abmessungen für 40 mm dicke Zwischenlagen aufweisen, war es notwendig, 4 weitere Formsteine einzufügen und davon 3 zu drehen, um einen Ring von 4,10 m innerem Durchmesser zu bilden.

Die Belastung wurde wieder auf einen Quadranten des Umfanges aufgebracht:



bei 120 t rissen 2 Formsteine,  
bei 160 t 5 weitere,  
bei 320 t waren 18 Formsteine gerissen,  
bei 442 t trat der Bruch des Rings durch Aufspalten der Formsteine und Absprengen ein, siehe Bild 29.

Der Durchmesser verkleinerte sich bis zum Bruch auf 3,78 m. Mit Fugen von 10 mm Dicke war die Verminderung des Durchmessers wesentlich kleiner, jedoch brachen die Formsteine schon unter wesentlich geringerer Belastung. Dies läßt erkennen, daß Zwischenlagen von 11 mm Dicke nicht ausreichen, um die Unebenheiten der Steinflächen auszugleichen; die Tragfläche der Formsteine wird dabei schlecht ausgenutzt.

## 7. Folgerungen

Aus den Versuchen geht hervor, daß rohe Formsteine keinesfalls ohne zusammendrückbare Zwischenlagen zusammengesetzt werden dürfen. Die rohen Flächen der Formsteine weisen Unebenheiten mit einem Stich bis zu 1 cm auf, die zu örtlich höheren Belastungen, zu Biegespannungen und zu vorzeitigem Bruch der Formsteine Anlaß geben. Die Rißbildung stellte sich in solchen Formsteinen unter den äußerst geringen Druckspannungen von 3 bis 35 kg/cm<sup>2</sup> ein.



Bild 29 Bruch des Formsteinringes durch Spalten der Steine. Die Zwischenlagen waren Nové-Platten von 10 mm Dicke mit einem Raumgewicht von 0,55 kg/dm<sup>3</sup>

## Bedingungen für zusammendrückbare Zwischenlagen:

### 7.1 Dicke der Einlagen

Damit alle Unregelmäßigkeiten der Flächen ausgeglichen werden, müssen die zusammendrückbaren Zwischenlagen mindestens 20 mm dick sein. Diese Feststellung leitet sich aus einer großen Anzahl von Versuchen mit Formsteinen aller Herstellerwerke ab. Die Zusammendrückung der Einlagen sichert eine gleichmäßige Verteilung der Belastung und bringt die Stoßflächen eines Formsteins voll zum Tragen. Einlagen von 10 mm Dicke sind für die Formsteine vieler Bergwerke unzureichend. Größere Dicken (20 bis 40 mm) vermindern den Druckwiderstand der Formsteine nicht, doch können damit folgende Nachteile verbunden sein:

Erhöhte Kosten für gleiches Ausbauvolumen, denn die Einlagen sind teurer als der Beton.

Eine stärkere Verengung des nutzbaren Querschnitts der Gesteinsstrecke unter der gleichen Belastung.

Die Formsteine werden leichter aus dem Ring herausgeschoben. Mit dickeren Zwischenlagen vermindert sich die durch die konische Form der Formsteine bedingte Verspannung. Entsprechend war bei der Belastung eines Ringes mitunter ein sehr unterschiedliches Zusammendrücken der gleichen Einlage an der Innen- und Außenfläche feststellbar. Dieses unterschiedliche Zusammendrücken erleichtert das Gleiten und das Herausdrücken der Formsteine eines Rings, wie dies in manchen Strecken und bei den Versuchen beobachtet wurde (Bild 30).



Bild 30 Sohlenbogen einer Strecke aus Betonformsteinen (Campine). Oben erkennt man die Füße S der Schienen. Die Formsteine 7, 8, 9 und 10 sind durch einen von unten nach oben gerichteten Druck hineingepreßt worden. Diese Verformung des Ausbaus wurde durch das Zerquetschen der zusammendrückbaren Fugeneinlagen möglich

## 7.2 Art der Einlagen

Alle Versuche haben gezeigt, daß Holzbrettchen die Bruchlast der Formsteine erheblich vermindern. Das Holz zerdrückt sich und verformt sich quer zu den Fasern. Dieses Verformen führt in den Formsteinen zu Zugspannungen, so daß sich Risse und der Bruch unter sehr geringen Drücken einstellen.

Es ist daher vorteilhaft, künstlich hergestellte Einlagen aus Holzabfällen oder gepreßten Flachsabfällen zu verwenden. Man muß Stoffe wählen, die beim Zusammendrücken keiner Querverformung unterliegen. In der Reihe der untersuchten Erzeugnisse sind zahlreiche Stoffe vorhanden, die voll befriedigen.

## 7.3 Raumgewicht der Einlagen

Das Raumgewicht hat keinen bedeutenden Einfluß auf den Bruchwiderstand der Formsteine. Jedoch erleiden Stoffe mit sehr niedrigem Raumgewicht schon unter geringer Belastung eine beträchtliche Zusammendrückung, die den Querschnitt unnütz vermindert. Raumgewichte von 0,4 bis 0,5 kg/dm<sup>3</sup> sind ausreichend; der Preis solcher Einlagen entspricht etwa jenem der Holzbrettchen.

In Füllrörtern, an Streckenabzweigungen und an anderen wichtigen Stellen kann man Einlagen mit wesentlich größerem Raumgewicht benutzen, weil der höhere Preis nur eine kleine Zahl von Einlagen betrifft.

## 7.4 Abmessungen der Einlagen

Die künstlichen Erzeugnisse bieten den Vorteil, in Platten mit verlangten Abmessungen geliefert zu werden. Ein einziges, längeres Plattenstück kann in mehrere aufeinanderfolgende Ringe eingelegt werden, so daß die Verlegearbeit vermindert und der Arbeitsfortschritt beschleunigt wird. Die Zwischenlagen müssen den ganzen Formstein bedecken, weil sonst die tragende Fläche und damit die Bruchlast herabgesetzt werden.

Man muß vermeiden, daß in den Stoßfugen Hohlräume zurückbleiben, wie dies häufig in den Strecken beobachtet wird. Diese Hohlräume rühren von der vorübergehenden Aufstellung von Bogenstützen oder von Arbeitsbühnen her. Werden diese Löcher nach dem Ausbauen nicht geschlossen, so können sie in den benachbarten Formsteinen hohe Beanspruchungen und vorzeitigen Bruch auslösen.

## 7.5 Brennbarkeit der Einlagen

Alle Austauschstoffe sind im allgemeinen ebenso entflammbar wie Holz. Jedoch pflanzt sich das Feuer in den zwischen den Formsteinen eingeschobenen Platten nicht fort, selbst wenn die Platten nicht eingepreßt sind. (Eine Ausnahme bildet Nové, das langsam zerglüht.) Die Erzeugnisse aus Flachsabfällen verbrennen indessen weniger rasch als jene aus Holzabfällen oder Stroh.

Die senkrechten Fugen, die oft zwischen zwei Ringen aufeinanderfolgender Vortriebe entstehen, darf man mit diesen Stoffen nicht verstopfen.

## **7.6 Veränderung der Einlagen durch Wasser**

Bestimmte Stoffe quellen stark in Wasser und sind für feuchte Bergwerke zu verwerfen. Viele Erzeugnisse bleiben selbst nach längerer Wassereinwirkung unverändert.

## **7.7 Verhalten der Formsteinringe bei der Prüfung**

Die Versuche mit ganzen Ringen haben erwiesen, daß die Verformungen je nach Belastungsanordnung sehr verschieden waren. Diese Verformungen glichen häufig den in den Strecken aus Formsteinen beobachteten Störungen. Es ist zu hoffen, daß ein vertieftes Studium der Versuche, der Bruchlasten und der Verformungen die Tragfähigkeit des Ausbaus mit Formsteinen verbessert, der, wie in der Einleitung zum Ausdruck gebracht, das Hauptnetz der Strecken in den Lagerstätten der Campine bildet.