

HEFT 41

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

BRANDPROBEN  
AN EISENBETONBAUTEN

AUSGEFÜHRT IM  
KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT  
ZU  
BERLIN-LICHTERFELDE-WEST  
IM JAHRE 1916/1917

III. BERICHT, ERSTATTET VON  
GEH. REGIERUNGSRAT, PROFESSOR DR. ING. E. H. M. GARY  
ABTEILUNGSVORSTEHER IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

BERLIN 1918.  
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.



22 19

22 1950

WYDZIAŁ INŻYNIERII I ARCHITECTURY

AMBIENTALNE WYKONANIE  
KONSTRUKCJI

Alle Rechte vorbehalten.

WYDZIAŁ INŻYNIERII I ARCHITECTURY

AMBIENTALNE WYKONANIE

KONSTRUKCJI

WYDZIAŁ INŻYNIERII I ARCHITECTURY

AMBIENTALNE WYKONANIE  
KONSTRUKCJI

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300748

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

BRANDPROBEN  
AN EISENBETONBAUTEN

AUSGEFÜHRT IM  
KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT  
ZU  
BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

IM JAHRE 1916/1917

III. BERICHT, ERSTATTET VON

GEH. REGIERUNGSRAT, PROFESSOR DR. ING. E. H. M. GARY  
ABTEILUNGSVORSTEHER IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 21 TEXTABBILDUNGEN UND 14 TABELLEN.

BERLIN 1918.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.





~~III 17 942~~



III-307172

---

Alle Rechte vorbehalten.

---

Druck von Oskar Bonde in Altenburg, S.-A.

Akc. Nr.

~~BP 3-224/2008~~  
~~408/52~~

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>I. Veranlassung zu den Versuchen und Arbeitsplan . . . . .</b>	<b>1</b>
Arbeitsplan . . . . .	3
<b>II. Vorversuche . . . . .</b>	<b>4</b>
A. Einfluß der Nässe des Bauwerkes zur Zeit des Versuches . . . . .	4
Porigkeit und Dichte der Oberfläche . . . . .	5
Porenverteilung . . . . .	8
Wasserdampfentwicklung unter dichter Beton-Oberfläche . . . . .	10
Versuche mit Mörtelplatten auf Eisen . . . . .	12
Wärmeleitfähigkeit von Platten aus Basaltbeton und Granitbeton . . . . .	12
<b>III. Hauptversuche . . . . .</b>	<b>19</b>
$\alpha$ ) Verwendete Materialien . . . . .	19
$\beta$ ) Eigenschaften der Zuschlagstoffe für die Hauptversuche . . . . .	19
Wasseraufnahme- und Wasserabgabevermögen der sechs Gesteinsarten . . . . .	22
Petrographische und mineralogische Eigenheiten des roten Meißener Granits . . . . .	23
$\gamma$ ) Brandproben mit Platten . . . . .	28
Herrichtung der Probeplatten für die Hauptversuche . . . . .	28
Vorbereitung der Versuche . . . . .	29
Erste Versuchsreihe . . . . .	31
Zweite Versuchsreihe . . . . .	32
Dritte Versuchsreihe . . . . .	34
Schlußversuche . . . . .	34
<b>IV. Schlußbetrachtung . . . . .</b>	<b>36</b>



## I. Veranlassung zu den Versuchen und Arbeitsplan.

Bei den im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton im Herbst 1914 mit zwei größeren Eisenbetonbauten angestellten Brandproben hat sich eine auffallende Erscheinung gezeigt, für die ausreichende Erklärungen nicht gefunden werden konnten.<sup>1)</sup> Die beiden dem Versuch unterworfenen Gebäude waren von denselben Leuten der Aktien-Gesellschaft für Beton- und Monierbau unmittelbar hintereinander unter Verwendung desselben Zementes errichtet worden. Auch das Mischungsverhältnis des Betons war in allen wesentlichen Teilen dasselbe, nur wurde als Zuschlagmaterial zu Haus III hauptsächlich Basaltgrus und Basaltsplitt, zu Haus IV Granitgrus und Granitsplitt verwendet. Während nun das Haus III im Brande — auch bei Wiederholung des Versuches — außer Rissen und einzelnen Kantenabsprengungen in den Wänden keine Schäden erlitt, traten in den 8 cm dicken Eisenbetonwänden des Obergeschosses vom Haus IV während des Brandes im Obergeschoß unter lautem Krachen explosionsartige Absprengungen der äußeren (und auch der inneren) Oberflächenschichten auf, bei denen die abgesprengten Stücke bis auf 40 m weit fortgeschleudert wurden. Abb. 1, 2 u. 3 zeigen den Umfang dieser Schäden.

Die Ursachen der Zerstörungs-Erscheinungen waren nicht auffindbar. Unter den Mitgliedern des Ausschusses traten drei Vermutungen auf:

- A) Haus IV war am Tage des Brandes wesentlich stärker durchnäßt als Haus III;
- B) der zu Haus IV verwendete rote Meißner Granit enthält mineralische Bestandteile oder Mineral-Einschlüsse (Kristallwasser, Kohlensäure), die bei starker Erhitzung das Gestein und den Beton zertrümmern;
- C) der rote Granit enthält verwitterte Feldspäte, die den Beton schleimig und dicht machen, namentlich bei nasser Arbeit eine dichte Oberfläche an der Schalung bewirken, so daß bei schneller Erhitzung der sich bildende Wasserdampf im Inneren des Betons nicht entweichen kann und sich durch Absprengung schalenförmiger Stücke gewaltsam Bahn bricht.

Diese drei Möglichkeiten waren zu untersuchen.

Der Deutsche Ausschuß hat demgemäß im Oktober 1914 folgende Ergänzungsversuche in Aussicht genommen:

- A) Zweite Feuer-Beanspruchung des Hauses III nach Benetzung der Außenwände mit Wasser, um festzustellen, ob auch innerhalb des Basaltbetons Absprengungen eintreten, die dann auf große Nässe des Bauwerkes und das verdampfende (hygroskopisch aufgenommene) Wasser zurückzuführen wären;
- B) petrographische Untersuchung des zu Haus IV verwendeten roten Granites zur Ermittlung etwa vorhandener Kristallwasser-Einschlüsse;
- C) einseitige Erhitzung von Eisenbetonplatten in der Mischung des Eisenbetons des Hauses IV im Vergleich mit anderen Mischungen.

<sup>1)</sup> Vergl. Gary: Brandproben an Eisenbetonbauten. II. Bericht. Heft 33 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

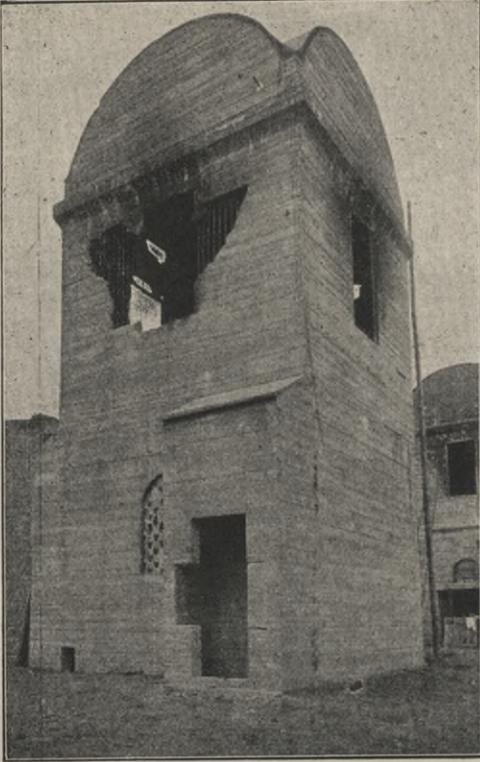


Abb. 1. Südwestecke des Hauses IV  
nach dem Brande im Obergeschoß.



Abb. 2. Nordostecke des Hauses IV  
nach dem Brande im Obergeschoß.

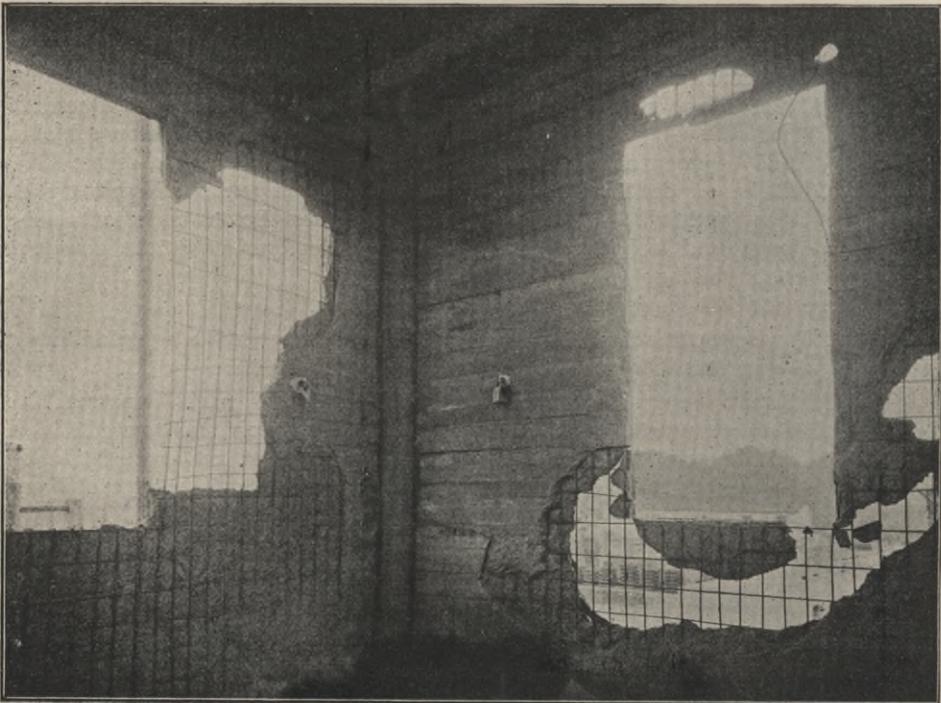


Abb. 3. Nordwestecke des Hauses IV nach dem Brande im Obergeschoß (Innenansicht).

Den letzteren Versuchen wurde folgender

### Arbeitsplan

zugrunde gelegt:

Aus Eisenbeton sind in der üblichen Weise unter Verwendung von rechtwinklig gekreuzten Eiseneinlagen aus Rundeisen 8 und 12 cm dicke Platten von je 1 qm Größe herzustellen.

Zu verwenden sind die Mischung 1 Rtl. Zement + 4 Rtl. Zuschlag und folgende Materialien:

- a) Cossebauder Kies;
- b) Basaltgrus und Basaltsplitt;  
Granitgrus und Granitsplitt, und zwar
- c) roter Granit von Meißen (Sachsen);
- d) grauer Granit von Striegau (Schlesien).

Eine Platte jeder Mischung ist nach Anfeuchtung und eine andere trocken der Feuerbeanspruchung auszusetzen.

Zum Vergleich dienen je 2 Platten mit rotem und grauem Granit ohne Eiseneinlagen ( $c_1$  und  $d_1$ ).

Zur Ausführung der Versuche sind vier Versuchshäuschen nach Abb. 4 einzurichten.

Die Decken bestehen aus fettem Eisenbeton, zu dem Kalksteingrus und -schotter Verwendung findet. Ueber die Oeffnungen der Decke werden je 4 Platten mit einer Ueberdeckung von 10 cm am Rande aufgelegt.

Laut Beschluß des Ausschusses vom 23. Januar 1915 wurden dann außer den genannten Materialien noch folgende Gesteine in den vorgeschriebenen Körnungen zu den Versuchen herangezogen:

- e) Syenit aus dem Plauenschen Grunde;
- f) Flußkies aus der Isar.

Ferner sollten in die Plattenversuche noch folgende Ergänzungsreihen eingeschoben werden und folgende abgeänderte Materialien verwendet:

- $c_2$  Der rote Granit unter 2 nach Entfernung des feinsten Mehles aus dem Splitt auf dem 900-Maschensieb;
- $c_3$  derselbe nach Ersatz des Feinen (0 bis 3 mm) durch Cossebauder Grubensand;
- $e_1$  Grober Schotter des Plauenschen Syenits (10 bis 30 mm) mit Cossebauder Kiessand (0—10 mm);
- $f_1$  Isar-Kies nach dem Trocknen und Entfernung des Mehles auf dem 900-Maschensieb.

Schließlich sollten, um das Zutreffen der Vermutung B zu prüfen, größere Stücke der Materialien auf rund 1100 C<sup>0</sup> erhitzt, und ein Teil der Körper sollte langsam an der Luft, die anderen durch Anspritzen mit Wasser schnell abgekühlt werden. Die hierdurch auftretenden Veränderungen der Stücke und die etwaige Zerkleinerung war festzustellen. Um die Wirkung des die Zuschlagstoffe einschließenden Zementes mit zu berücksichtigen, waren aus sämtlichen Materialien

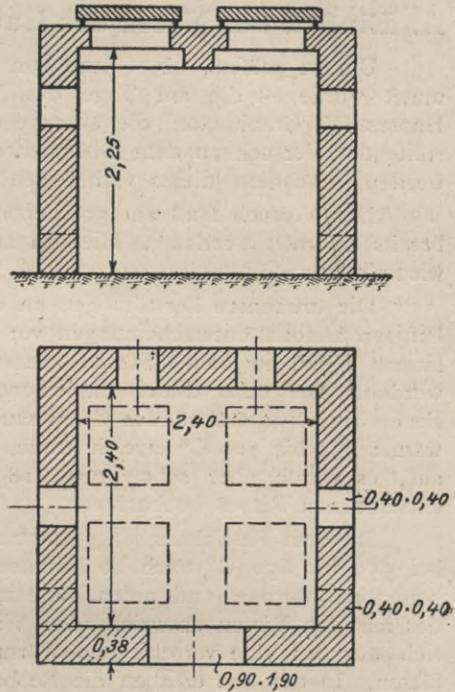


Abb. 4. Anordnung der Versuchshäuser.

in den zu den Brandproben benutzten Mischungen zylinderische Körper von 5 cm Durchmesser und 4 cm Höhe herzustellen und nach 3 Monaten Erhärtung (zunächst während der kalten Witterung im geschlossenen Raume, dann im Freien) auf etwa  $1100\text{ C}^0$  zu erhitzen.

An größeren Stücken war auch die Wasseraufnahme und die Wasserabgabe festzustellen.

## II. Vorversuche.

### A. Einfluß der Nässe des Bauwerkes zur Zeit des Versuches.

Um zu prüfen, ob — wie von einzelnen Mitgliedern des Ausschusses vermutet wurde — die am Tage des Versuches größere Nässe des Betons des Hauses IV (Granitbeton) die Ursache der dort aufgetretenen Absprengungen war, sollte der Versuch an dem Obergeschoß des Hauses III (Basaltbeton) wiederholt werden, nachdem dieses vorher gehörig mit Wasser durchfeuchtet worden war.

Der Versuch fand am 30. September 1915 statt. Ueber sein Ergebnis ist bereits berichtet worden<sup>1)</sup>. Hier sei aus den Vorgängen bei den Versuchen kurz wiederholt:

Die erwähnten Zerstörungen an den Wänden des Granithauses gingen unter heftigen Detonationserscheinungen vor sich, derart, daß der Beton plötzlich unter lautem Knall in kleine Stücke zersprang, die bis 40 m weit fortgeschleudert wurden. Die erste dieser Explosionen fand nach 33 Minuten Brennzeit des Feuers im Obergeschoß des Granithauses statt, während welcher Zeit die Innenwärme  $630$  bis  $700\text{ C}^0$  erreicht hatte. Im Untergeschoß traten keine Explosionen auf, es wurde aber schon nach 18 Minuten Brennzeit Wasseraustritt aus den entstandenen Rissen beobachtet.

In dem Basalthaus dagegen trat oben (in den dünneren Wänden) schon bei  $550$  bis  $650\text{ C}^0$  nach 16 Minuten Wasserdampf aus, ohne daß Explosionen beobachtet wurden, und unten hörte man erst nach 26 Minuten deutliches Zischen des aus den Rissen entweichenden Wasserdampfes. Diese Erscheinungen ließen sich nur auf eine verschiedene Wärmeübertragung in beiden Betonarten zurückführen. In der Tat ergaben die Beobachtungen, daß in dem Granitbeton bis zu 3 cm Tiefe die Wärmeaufnahme schneller vor sich ging, als im Basaltbeton; erst bei 5 cm Tiefe schien dieser Unterschied zu verschwinden. Die Eisen, in deren Fläche die Betonschalen absprangen, lagen aber in den 8 cm dicken Wänden des Obergeschosses nur 3—4 cm von der Innenfläche der Wand entfernt. Andere Beobachtungen ergaben, daß die Körper aus Basaltbeton beträchtlich schneller austrockneten, als die aus Granitbeton, verdampfendem Wasser also besser Gelegenheit zum Entweichen boten. Es wogen nämlich:

die Stampfbetonkörper mit Basalt:		die Stampfbetonkörper mit Granit:	
2 Tage nach Herstellung	19,5 kg,		18,2 kg,
nach 70 Tagen Lufterhärtung	19,0 "		18,2 "
" 16 Monaten	17,6 "		17,9 "

Hieraus erklärt sich auch wohl, daß die Absprengungen zumeist die Betonschichten umfaßten, die über dem Eisennetz nach außen lagen und daß in dem Basaltbeton keine Absprengungen eintraten. Auch bei Wiederholung des Versuches in dem Obergeschoß des Basalthauses wurden solche nicht beobachtet.

Die äußeren Versuchsbedingungen, die Beschickung mit Brennholz, die Zugabe von Petroleum, die Messung der Temperaturen und die Zeitdauer des zweiten Versuches am Hause III waren genau die gleichen, wie bei dem Brande im Ober-

<sup>1)</sup> Gary, Brandproben an Eisenbetonbauten. Deutscher Ausschluß für Eisenbeton. Heft 33. Berlin, Wilh. Ernst & Sohn 1916.

geschoß des Hauses IV (Granitbeton). Der Verlauf der durch 2 Thermolemente festgestellten Wärmekuren war fast der gleiche. Die Wärme nahm also im Innern des Brandraumes sehr schnell zu, stieg aber höchstens bis zu 800 C°. Während des Brandes wurde eine geringe Erweiterung der vom ersten Versuch noch vorhandenen Risse beobachtet, die sich indessen nach Abkühlung der Wände wieder zusammen zogen. Irgend welche Absprengungen, ähnlich dem im Obergeschoß des Hauses IV beobachteten, traten aber nicht ein. Das gesamte Haus zeigte vielmehr nach Löschung des zweiten Brandes im Obergeschoß äußerlich dasselbe Aussehen, wie nach dem ersten Versuch. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß das Haus inzwischen ein Jahr älter geworden war und daß es vom ersten Versuch her Risse aufwies, durch die etwa im Innern des Betons sich bildende Wasserdämpfe entweichen konnten. Dennoch kann nach dem Verlaufe der Versuche geschlossen werden, daß die im Obergeschoß des Hauses IV beobachteten erheblichen Absprengungen nicht auf die größere Feuchtigkeit der Wände zurückzuführen waren. Hingewiesen darf noch darauf werden, daß die Festigkeit des Granitbetons durch die Feuerbeanspruchung beträchtlich abgenommen hat, während die des Basaltbetons im Feuer gestiegen ist. Obgleich hiernach in dem mechanisch und hygroskopisch festgehaltenen Wasser des Betons — der Nässe — allein die Ursache der Absprengungen nicht gesucht werden konnte, vielmehr eine andere Ursache mitgewirkt haben mußte, sollten doch nach dem neuen Arbeitsplan trockene und angefeuchtete Platten verschiedener Mischungen noch einmal nebeneinander geprüft werden, um etwaige Zufälligkeiten, die bei den ersten Versuchen mitgespielt haben konnten, zu erkennen und danach sichere Schlüsse zu ziehen. Das ist am Ende dieses Berichtes geschehen. Die zweite mitwirkende Ursache wurde in der Oberflächendichte gesucht. Um über diese Oberflächendichte und den Dichtigkeitsgrad (das Wasseraufnahmevermögen) des Basaltbetons und des Granitbetons, wie er zu den Obergeschossen der Häuser III und IV verwendet worden war, Aufschluß zu erhalten, sind besondere Vor-Versuche angeordnet worden.

### Porigkeit und Dichte der Oberfläche.

Je 5 etwa faustgroße Stücke des Basaltbetons und des Granitbetons, aus den Resten der Brandhäuser entnommen, wurden auf Wasseraufnahmefähigkeit durch Eintauchen in Wasser und Austrocknungsvermögen beim Liegen an der Luft untersucht (Tab. 1, Abb. 5). Aus den Linienzügen ist ersichtlich, daß der Basaltbeton etwas schneller und vollständiger austrocknete als der Granitbeton, daß aber der Unterschied nicht sehr groß erschien. (Vergl. die Wägungen der Betonkörper auf S. 4.)

Wesentliche Unterschiede ergaben sich aber bei der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit beider Betonarten von der Oberfläche aus.

Auf die Oberfläche — die im Gebäude außen liegende Seite — der völlig ausgetrockneten Stücke wurden in Grade eingeteilte Glasröhren von 3,5 cm Durchmesser wasserdicht aufge kittet und mit Wasser gefüllt. Tab. 2 enthält die gemachten Beobachtungen. Drei Stücke des Basaltbetons ließen das Wasser sofort durch, während in den Granitbeton das Wasser nur langsam einzog. Abb. 6 (S. 8) zeigt den Unterschied zwischen beiden Betonarten recht deutlich, auch wenn man die drei sofort für das Wasser durchlässigen Stücke aus Basaltbeton (für welche der Linienzug eine Senkrechte darstellen würde) unberücksichtigt läßt.

Aus diesen Versuchen mußte geschlossen werden, daß bei annähernd gleicher Wasseraufnahmefähigkeit beider Betonarten die Verteilung ihrer Poren eine wesentlich verschiedene ist, und daß darauf das verschiedenartige Verhalten im Feuer wenigstens teilweise zurückzuführen ist. Die Poren des Basaltbetons sind nach der Oberfläche zu in der Mehrzahl offen und für Wasser zugänglich, lassen also auch Wasser und Wasserdampf aus dem Innern leicht austreten, die Poren des Granitbetons sind gegen die Oberfläche in der Mehrzahl geschlossen.

Tab. I. Wasseraufnahme und -abgabe von Beton.

		Wasseraufnahme										Wasserabgabe									
		Gewicht der Betonstücke					Berechnung der Wasseraufnahme					Gewicht der Betonstücke									
Versuch Nr.	vor dem Trocknen kg	nach dem Trocknen G <sub>tr</sub> kg	nachdem die Proben 24 Stunden in Wasser gelegen		nachdem die Proben 144 Stunden wassersatt geworden G <sub>w</sub> kg	in kg $\frac{G_w - G_{tr}}{G_{tr}} \cdot 100$	in % $\frac{Ag}{G_{tr}} \cdot 100$	Tage an der Luft getrocknet													
			kg	kg				1	2	3	4	5	6	9	12	15	18				
<b>Basalt-Beton</b>																					
1	2,090	2,000	2,167	2,173	2,173	0,173	8,7	2,136	2,103	2,084	2,070	2,064	2,060	2,056	2,048	2,045	2,043				
2	1,810	1,750	1,840	1,914	1,914	0,164	9,4	1,857	1,825	1,808	1,798	1,795	1,791	1,787	1,784	1,779	1,778				
3	1,328	1,283	1,344	1,392	1,392	0,109	8,5	1,358	1,339	1,319	1,319	1,315	1,312	1,310	1,306	1,303	1,302				
4	0,698	0,660	0,708	0,712	0,712	0,052	7,9	0,701	0,694	0,691	0,688	0,685	0,684	0,682	0,679	0,677	0,677				
5	1,648	1,580	1,668	1,732	1,732	0,152	9,6	1,683	1,646	1,626	1,617	1,609	1,606	1,603	1,598	1,594	1,593				
Mittel	1,515	1,455	1,545	1,585	1,585	0,130	8,8	1,547	1,522	1,506	1,498	1,494	1,491	1,488	1,483	1,480	1,479				
<b>Granit-Beton</b>																					
1	2,055	2,000	2,068	2,147	2,147	0,147	7,4	2,114	2,093	2,084	2,075	2,068	2,065	2,059	2,050	2,045	2,043				
2	1,445	1,393	1,493	1,499	1,500	0,107	7,7	1,479	1,464	1,454	1,445	1,442	1,437	1,431	1,426	1,422	1,420				
3	1,640	1,576	1,653	1,697	1,698	0,122	7,7	1,676	1,667	1,662	1,652	1,647	1,643	1,635	1,629	1,623	1,621				
4	1,228	1,168	1,276	1,282	1,282	0,114	9,8	1,257	1,238	1,225	1,216	1,210	1,206	1,204	1,199	1,196	1,195				
5	1,313	1,275	1,372	1,381	1,382	0,107	8,4	1,359	1,344	1,326	1,324	1,322	1,318	1,314	1,310	1,305	1,304				
Mittel	1,536	1,482	1,572	1,601	1,602	0,119	8,2	1,577	1,561	1,550	1,542	1,538	1,534	1,529	1,523	1,518	1,517				

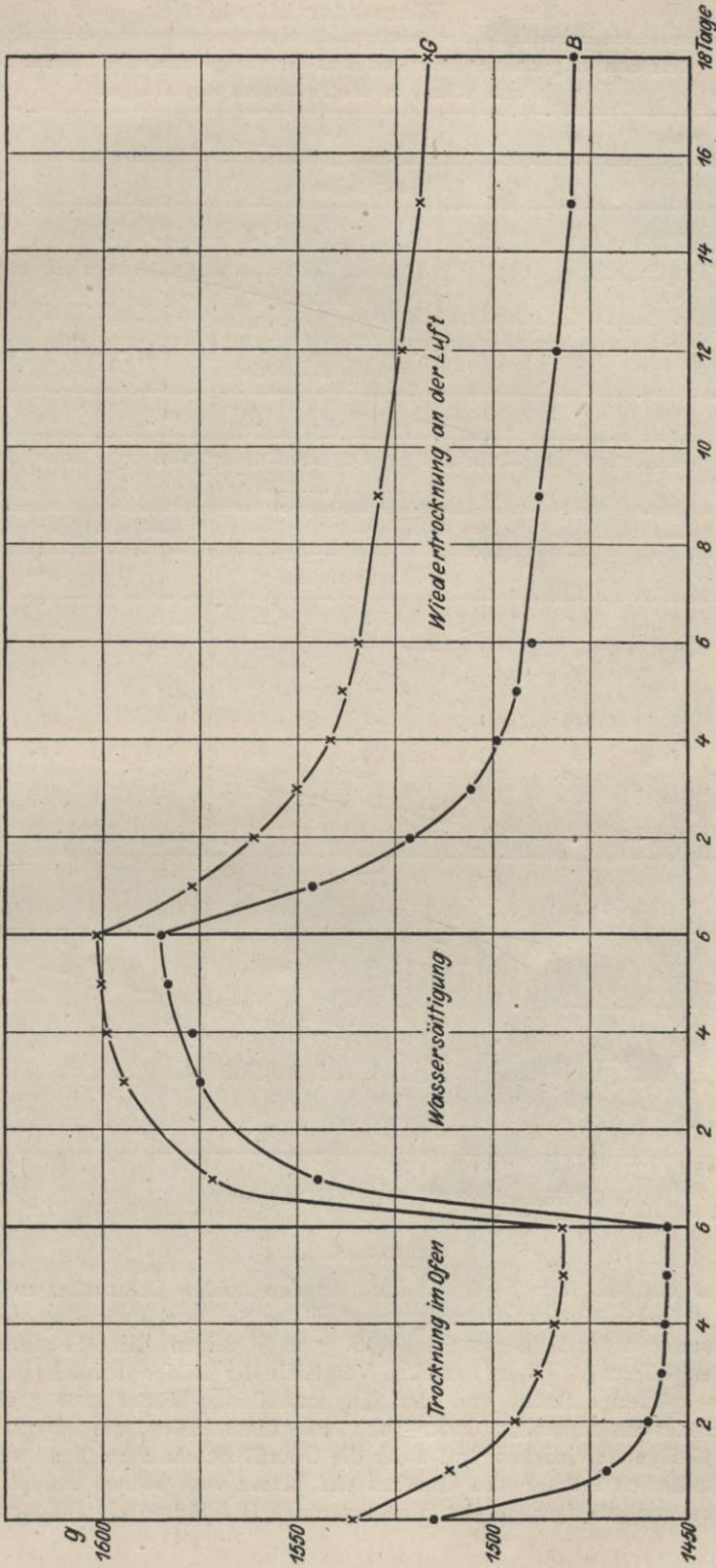


Abb. 5. Wasseraufnahme und Wasserabgabe von Granitbeton (G) und Basaltbeton (B) beim Eintauchen in Wasser und Trocknen an Luft.

Tab. 2. Wasserdurchlässigkeit.

Versuch Nr.	Aus dem aufgekitteten Rohr sind nach der übergeschriebenen Anzahl Stunden ccm Wasser in das Probestück eingedrungen							
	1	2	3	4	5	24	48	72
<b>Basalt-Beton</b>								
1	2	3	3,5	4	5,5	15	33	44
2	Tropfenbildung nach $1\frac{1}{2}$ Minute. Durchsickerung von 250 ccm in etwa 8 Minuten							
3	Sofortige Tropfenbildung. Durchsickerung von 250 ccm in etwa $1\frac{1}{2}$ Minuten							
4	5	7	9	12	15	65	179	209
5	Sofortige Tropfenbildung. Durchsickerung von 250 ccm in etwa 1 Minute							
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Granit-Beton</b>								
1	1	1,5	1,5	2	2	2	3	—
2	1	2	2,5	3	3	14	25	40
3	1	1	1	1	1	2	3	3,5
4	1	1,5	1,5	2	2	10	17	26
5	2	3	3,5	4	5	5,5	17	—
Mittel	1,2	1,8	2,0	2,4	2,6	6,7	13	23,2

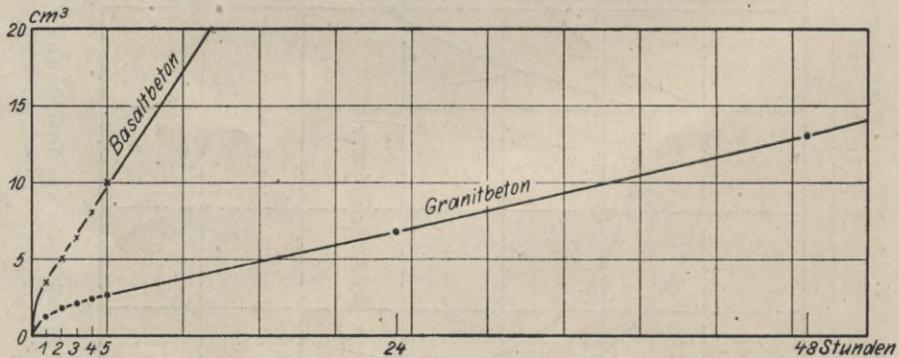


Abb. 6. Wasserdurchlässigkeit von Granitbeton und Basaltbeton.

### Porenverteilung.

Um ein Bild der Porenverteilung in den beiden Betonarten zu gewinnen, wurden auf der Karborundumsäge zwei glatte Schnitte quer durch die 8 cm dicke Eisenbetonwand hergestellt. Abb. 7 u. 8 zeigen diese Schnitte in dreifacher Vergrößerung. Es ist aus dem Vergleich der Bilder deutlich zu erkennen, daß der splitterige Basalt und der ihn umhüllende Mörtel eine große Anzahl untereinander zusammenhängender Hohlräume umschließen, die labyrinthartig das gesamte Gefüge durchziehen und auch die Oberfläche durchbrechen, während die mehr rundlichen Körner des Granites viel besser vom Mörtel umhüllt sind und mit diesem viel weniger, in der Masse verteilte Hohlräume einschließen, die von

dichter Masse umgeben und nicht miteinander in Verbindung zu stehen scheinen, auch nicht in zusammenhängender Kette bis zur Oberfläche durchbrechen. Daraus folgt, daß Wasser, welches in diesen Hohlräumen zur Verdampfung kommt, sich



Abb. 8. Querschnitt durch die Oberschichten des Granitbetons.  
Dreifache Vergrößerung.

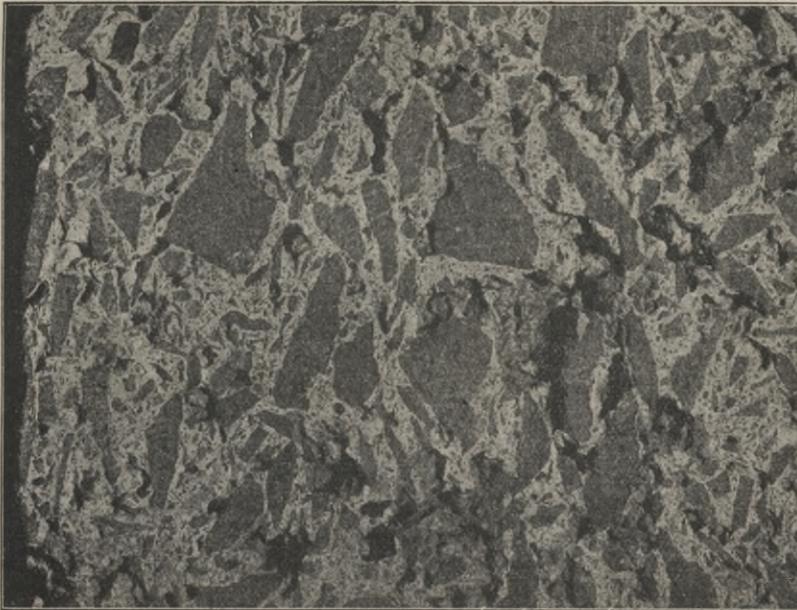


Abb. 7. Querschnitt durch die Oberschichten des Basaltbetons.  
Dreifache Vergrößerung.

im Basaltbeton leicht einen Ausweg bahnen kann, während es im Granitbeton auf die feinsten Poren angewiesen ist, die eine schnelle Abführung des Wasserdampfes erschweren, so daß bei plötzlicher Verdampfung der Dampf durch Absprengung der Oberflächenschichten die vorhandene Spannung auslöst.

Die Richtigkeit dieser Betrachtung ist zu erweisen. —

Aehnliche Verhältnisse liegen vor, wenn eine Platte aus magerem Mörtel mit einer Platte aus reinem Zement verglichen wird. Bei Erhärtung unter Wasser, wenn keine Dichtung der Mörteloberfläche durch Kohlensäureaufnahme eintreten kann, sind die Poren der Mörtelplatte offen und gestatten dem Wasserdampf freien Abzug, während in der Zementplatte mit an sich dichter Oberfläche sich der Wasserdampf gewaltsam Bahn brechen muß.

Folgende Ausführungen beweisen das.

#### Wasserdampfentwicklung unter dichter Beton-Oberfläche.



Abb. 9. Kuchen aus reinem Zement mit abgesprengter Oberfläche.



Abb. 10. Kuchen aus Zementmörtel 1:1 und 1:2 mit dichter, zu Absprengungen neigender Oberfläche.

Es ist bekannt, daß Kuchen aus reinem Zement, wie sie für die Raumbeständigkeitsprobe benutzt werden, und aus fetten Mörteln, wenn sie noch nicht völlig ausgetrocknet sind, über dem Bunsenbrenner unter scharfem Knacken plötzlich schalenförmige Absprengungen erleiden, ohne sonst in ihrem Gefüge wesentlich beeinflusst zu werden. (Abb. 9 u. 10 zeigen einige solcher Kuchen.) Frühling<sup>1)</sup> konnte durch 6—7 Stunden andauernde Rotglühhitze nur eine Herabsetzung der Zugfestigkeit auf etwa 30% der ursprünglichen, doch kein Zerfallen der Probestücke erzielen. Dobbie<sup>2)</sup> erhitzte einige Probekörper lang-

<sup>1)</sup> Protokoll der 4. Generalversammlung des Vereins deutscher Zementfabrikanten 1881.

<sup>2)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1897 S. 162.

sam, einige schnell unter hohen Hitzegraden und fand stets eine Gewichtsabnahme der Probestücke als Folge der Austreibung des vorhandenen Wassers. Bei den langsam erhitzten Stücken war aber die Gewichtsabnahme größer als bei den rasch erhitzten, „da die Austreibung des Wassers Zeit erfordert“.

Mit anderen Worten: Bei rascher Erhitzung von Zementproben muß sich oder kann sich das eingeschlossene Wasser gewaltsam befreien. Unter dichter Oberfläche des Wasser umschließenden Betons müssen bei plötzlicher Verdampfung dieses Wassers starke Spannungen entstehen, während bei poröser Oberfläche der Wasserdampf austreten kann.

Im Jahre 1887 gingen durch die Schweizer Blätter beunruhigende Nachrichten über explodierende Dachziegel. Die Kanzlei des Kantons Appenzell bestätigt durch das Kaiserlich deutsche Konsulat in Zürich, daß sich bei einem Brande folgende bis dahin unbekannte Erscheinung zeigte. Die Zementplatten, mit denen das abgebrannte Haus bedeckt war, sind unter Knall explodiert und haben „durch umherfahrende Splitter und größere Bruchstücke die Umgebung geradezu gefährdet“. Versuche bestätigten, daß neue, einjährige Platten der gleichen Herstellung explodierten, alte zehnjährige aber widerstandsfähiger waren (vermutlich infolge Vorhandenseins von Haarrissen in der Oberfläche). Die Nachricht ging später in die deutsche Presse über<sup>1)</sup> und diente zur lebhaften Bekämpfung der damals ganz jungen Zement-Dachstein-Industrie. Der „Thonwarenfabrikant“ (20. Jahrg. 1894 Nr. 22, Konstanz, den 15. November) eröffnete den Angriff mit folgenden Worten:



Abb. 11. Schweizer Zement-Dachziegel aus 1 T. Roman-Zement + 1 T. Sand, mit abgesprengter Oberfläche.

„Als vor einigen Jahren zweimal im Appenzellerlande Feuerbrünste entstanden, allwo Dächer mit Zementziegeln gedeckt waren, machte man die furchtbare Entdeckung, daß die Bewohner nur mit größter Lebensgefahr und theilweise verwundet der Brandstätte entfliehen konnten, und daß die Feuerlöschmannschaft nichts zur Rettung beitragen konnte, weil die Cementziegel explodierten und wie ein feuerspeiender Berg die Steinstücke ausgeworfen wurden.“

Die Untersuchung dieser „gefährlichen“ Dachziegel im Amte ergab, daß sie aus 1 Teil Roman-Zement + 1 Teil Sand erzeugt worden waren und eine sehr dichte Oberfläche hatten. Ueber einem heftigen Holzfeuer zersprangen diese Platten nach 15 Minuten mit einem Knall, gleich dem eines schwachen Büchenschusses, indem sich schalenförmige Stücke lösten, ähnlich, wie die Kuchen in Abb. 9 u. 10 sie zeigen (Abb. 11).

In der Folge wurden mit zahlreichen Zementdachziegeln deutschen Ursprungs ebenfalls Brandproben angestellt, ohne daß es jemals gelang, sie zum Absplittern

<sup>1)</sup> Deutsche Töpfer- und Ziegler-Zeitung Nr. 28 vom 10. Juli 1896.

zu bringen. Diese Ziegel werden in der Mischung 1:3 bis 1:4 unter Verwendung von Portland-Zement hergestellt und haben nicht die dichte Oberfläche der Schweizer Platten, explodieren also auch über dem heftigsten Feuer nicht. Unter Hinweis hierauf sei betont, daß die auf S. mitgeteilten Versuche bewiesen haben, daß die Oberfläche des zu dem Hause IV verwendeten Granitbetons wesentlich dichter war, als die des Basaltbetons im Hause III.

Um aber jeden Zweifel auszuschließen, wurden noch Versuche ausgeführt, die auch etwaige Wirkung glühenden Eisens unter dem Mörtel (dichtem und undichtem) dartun sollten.

### Versuche mit Mörtelplatten auf Eisen.

Zwölf dünne Eisenbleche von 10·10 cm wurden mit einer etwa 2 mm dicken Mörtelschicht überzogen, und zwar sechs Bleche mit reinem Zement, sechs mit Normenmörtel 1:3. Je drei davon kamen nach 24 Stunden unter Wasser, die anderen lagerten an Zimmerluft. Nach 5 Tagen wurde je eine Probe über den Bunsenbrenner gebracht. Die Mörtelplatten veränderten kaum ihr Aussehen, auch die trockene Platte aus reinem Zement wurde nur mürbe, ohne zu zerspringen, die nasse Platte aus reinem Zement ergab aber nach wenigen Sekunden die charakteristischen Absprengungen der dichten Oberflächenschicht in Talergöße.

Bei 21 Tagen Alter der Platten wurde der Versuch wiederholt. Die trockene Mörtelplatte veränderte sich nicht, die nasse sprang in mehrere Stücke; die trockene Platte aus reinem Zement wurde nur mürbe, die nasse ergab wieder die Absprengung eines talergroßen Stückes.

Trockene Platten, die nur eine halbe Stunde unter Wasser, darauf wieder einen Tag an der Luft lagen, also wieder austrocknen konnten, veränderten sich nicht, nasse dagegen, die nur einen Tag vor dem Versuch an der Luft gelegen hatten, also immer noch feucht waren und oberflächlich Kohlensäure aufgenommen hatten, zersprangen nach etwa einer Minute mit heftigem Knall.

Daraus ist zu schließen:

Die Explosionen treten nur bei dichter Oberfläche und bei bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt des Betons im Innern auf. Das Alter des Betons ist auf diese Erscheinung ohne Einfluß.

### Wärmeleitfähigkeit von Platten aus Basaltbeton und Granitbeton.

Die Geschwindigkeit der Erwärmung des Betons muß von Einfluß auf das Auftreten von Explosionserscheinungen sein, denn es ist klar, daß bei langsamer Erwärmung des feuchten Betoninneren das verdunstende Wasser Zeit behält, auch bei scheinbar dichter Oberfläche noch durch die vorhandenen feinsten Poren zu entweichen, während bei plötzlicher Verdampfung des Wassers Absprengungen eintreten müssen. Deshalb schien die Feststellung der Wärmeleitfähigkeit der beiden Betonarten, über die schon an den Bauwerken III und IV angestellten rohen Messungen hinaus, besonders notwendig.

Um festzustellen, inwieweit etwa die verschiedene Wärmeleitfähigkeit des Basalt- und des Granitbetons tatsächlich vorhanden war, wurden zunächst Versuche mit Platten durchgeführt, die in gleicher Mischung wie der Eisenbeton der Brandhäuser III und IV<sup>1)</sup>, nämlich

1. 1 Rtl. Zement + 4 Rtl. Basaltgrus-Gemisch,
2. 1 „ „ + 4 „ Granitgrus-Gemisch (Meißen),

<sup>1)</sup> Vgl. Heft 33 der Mitteilungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

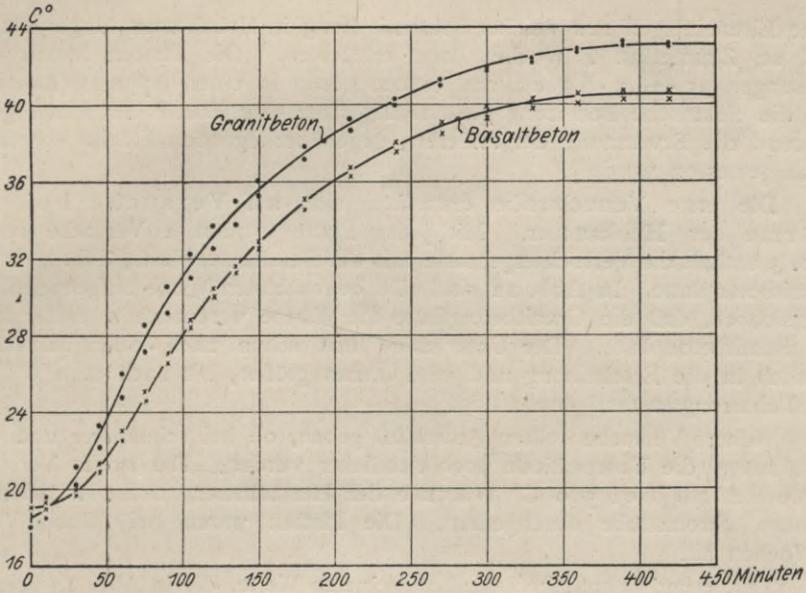


Abb. 12. Prüfung auf Wärmedurchlässigkeit.

Basaltbetonplatten im Vergleich zu Granitbetonplatten.

Wärmeänderung in der Plattenoberfläche bei Erwärmung der Gegenfläche auf 100 C°. Mittel aus 2 Versuchen.

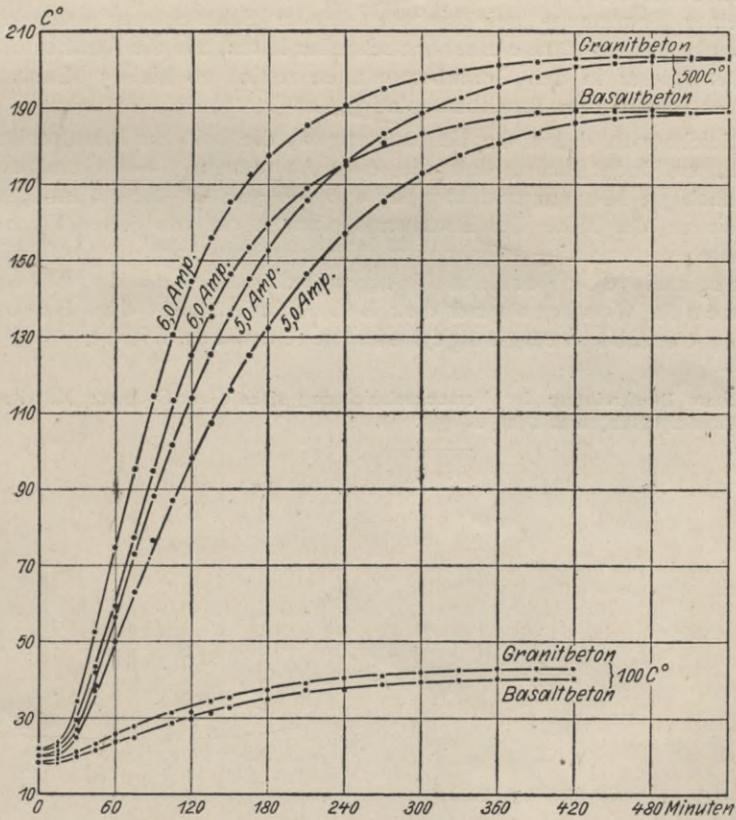


Abb. 13. Prüfung auf Wärmedurchlässigkeit.

Basaltbetonplatten im Vergleich zu Granitbetonplatten.

Wärmeänderung in der Plattenoberfläche bei Erwärmung der Gegenfläche auf 100 C° und auf 500 C°. Mittel aus je 2 Versuchen.

ohne Eiseneinlagen aus weicher Betonmischung in Holzformen hergestellt wurden und an Zimmerluft 4 Wochen lang erhärteten. Die Platten hatten die Abmessungen  $35 \cdot 26,5 \cdot 6,5$  cm und paßten genau in einen Apparat (Bauart Gary), der die elektrische Beheizung gleichmäßig über eine Fläche der Platte gestattete, während die Erwärmung der anderen, gegenüberliegenden Fläche ebenfalls elektrisch gemessen wurde<sup>1)</sup>.

Die erste Versuchsreihe erstreckte sich auf Versuche bei  $100\text{ C}^0$  Wärme der Heizkammer. Mit jeder Platte wurden 2 Versuche ausgeführt. Tab. 3 enthält die Versuchsergebnisse mit der Basaltbetonplatte, Tab. 4 die mit der Granitbetonplatte. In Abb. 12 sind alle beobachteten Werte aufgetragen. Es ist offensichtlich, daß die Granitbetonplatte die Wärme wesentlich schneller leitet, als die Basaltbetonplatte. Der Unterschied tritt schon nach einer halben Stunde deutlich in die Erscheinung und wird immer größer, bis nach etwa  $6\frac{1}{2}$  Stunde der Beharrungszustand erreicht ist.

Weitere Versuche sollten Aufschluß geben, ob bei schnellerer und stärkerer Erwärmung die Unterschiede noch deutlicher werden. Die zweite Versuchsreihe wurde deshalb bei  $500\text{ C}^0$  Wärme der Heizkammer, und zwar unter 5 und 6 Amp. Stromstärke durchgeführt. Die Platten waren bei diesen Versuchen 7 Wochen alt.

Tab. 5 und 6 enthalten die beobachteten Werte, die in Abb. 13 zeichnerisch aufgetragen sind, im Vergleich noch einmal mit den Wärmedurchlaßversuchen bei nur  $100\text{ C}^0$ .

Man erkennt deutlich, daß bei schnellerer und stärkerer Erwärmung der Platten die Unterschiede zwischen den beiden Plattensorten größer werden und daß bei einer Erwärmung, wie sie etwa einem Schadenfeuer entspricht, die Granitbetonplatten die Wärme erheblich schneller leiten, als die Basaltbetonplatten, so daß das Wasser in den Granitbetonplatten restlos 20 bis 25 Minuten früher verdampft ist, als in den Basaltbetonplatten.

Vergleicht man damit die Beobachtungen, die bei den Brandproben angestellt sind, so findet man, daß die erste Absprengung des Granitbetons am Haus IV nach 33 Minuten stattfand bei  $630$  bis  $700\text{ C}^0$  Innenwärme, während welcher Zeit in der Mitte der Betonwand, nur 4 cm von jeder Fläche sicher das gesamte vorhandene Wasser zur Verdampfung kam. Auf die Geschwindigkeit der Verdampfung wird es neben der Menge des vorhandenen Wassers und der Beschaffenheit des Betons ankommen, ob Absprengungen eintreten oder nicht.

<sup>1)</sup> Nähere Beschreibung der Versuchseinrichtung siehe Gary-Dittmer: Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt 1916 S. 435.

Tab. 3. Prüfung auf Wärmedurchlässigkeit von Basalt-Betonplatten bei 100 C°. Ausgeführt im Apparat Gary.

		Versuch I <sup>1)</sup>										Versuch II <sup>1)</sup>									
Ab-lesung nach Min.	Strom-stärke in Amp.	der Luft im Zimmer		Wärme in C° an der Plattenoberfläche						der Luft in der Vorkammer		der Luft im Zimmer		Wärme in C° an der Plattenoberfläche						der Luft in der Vorkammer	
		Q	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Σ	Mittel	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Q	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Σ	Mittel	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>		
0	0,98	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	
5	2,14	19,5	96,0	19,5	19,0	19,0	57,5	19,2	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	58,0	19,3	19,0	19,0	19,0	
15	2,12	19,5	100,0	20,0	19,5	20,0	59,5	19,8	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	64,0	20,0	19,5	19,5	19,5	
30	2,00	19,5	100,0	21,0	20,5	21,5	68,0	22,7	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	64,0	21,3	20,5	20,5	20,5	
45	1,89	19,5	100,0	22,5	22,5	23,5	74,0	24,7	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	64,0	23,0	22,0	22,0	22,0	
60	1,83	20,0	100,0	24,5	24,5	25,0	80,0	26,7	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	86,0	27,0	25,0	25,0	25,0	
75	1,79	20,5	100,0	26,5	26,0	27,5	86,0	28,5	26,0	26,5	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	86,0	28,7	26,5	26,5	26,5	
90	1,75	20,0	100,0	28,5	27,5	29,5	94,0	31,3	27,0	27,5	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	90,5	30,2	27,5	27,5	27,5	
105	1,73	20,0	100,0	30,0	29,0	31,0	94,0	31,3	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	90,5	31,5	28,5	28,0	28,5	
120	1,71	20,0	100,0	31,5	30,5	32,0	94,0	31,3	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	90,5	31,5	28,5	28,0	28,5	
135	1,69	19,5	100,0	32,5	31,5	33,5	94,0	31,3	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
150	1,67	19,5	100,0	34,5	33,5	35,5	94,0	31,3	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
165	1,64	20,0	100,0	36,5	35,0	37,5	94,0	31,3	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
180	1,62	20,0	100,0	38,5	37,5	39,5	94,0	31,3	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
210	1,60	20,5	100,0	40,0	38,5	41,0	94,0	31,3	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
270	1,59	20,5	100,0	40,0	38,5	41,0	94,0	31,3	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
300	1,58	20,5	100,0	40,0	38,5	41,0	94,0	31,3	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
330	1,57	20,0	100,0	40,0	38,5	41,0	94,0	31,3	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
360	1,56	20,0	100,0	40,0	38,5	41,0	94,0	31,3	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
390	1,56	19,5	100,0	40,5	39,5	41,0	94,0	31,3	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	
420	1,56	19,5	100,0	40,5	39,5	41,0	94,0	31,3	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	98,5	32,8	29,5	29,0	29,3	

<sup>1)</sup> 100 C° Heizwärme wurden erreicht beim Versuch I nach 18 Minuten, beim Versuch II nach 16 Minuten. Q = Quecksilber-Thermometer. T = Thermoelemente.

Tab. 4. Prüfung auf Wärmedurchlässigkeit von Granit-Beton bei 100 C°. Ausgeführt im Apparat Gary.

		Versuch I <sup>1)</sup>										Versuch II <sup>1)</sup>														
Ab- lesung nach Min.	Strom- stärke in Amp.	Wärme in C°					Wärme in C°					Ab- lesung nach Min.	Strom- stärke in Amp.	Wärme in C°					Wärme in C°							
		der Luft im Zimmer kammer Q	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	der Luft in der Heiz- kammer	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>			T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	der Luft in der Heiz- kammer Q	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	der Luft in der Vorkammer	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	Mittel
0	0,99	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,0	0,99	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
5	2,14	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	19,0	2,14	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
15	2,12	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	2,14	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
24	2,10	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	2,02	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
30	2,04	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	1,94	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
45	1,96	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,88	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
60	1,89	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,83	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
75	1,83	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,79	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
90	1,80	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,76	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
105	1,78	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,73	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
120	1,75	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,71	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
135	1,72	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,68	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
150	1,70	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	1,65	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
165	1,67	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	1,63	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
180	1,65	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	1,62	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
210	1,63	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	1,61	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
240	1,62	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,60	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
270	1,62	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,59	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
300	1,61	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
330	1,60	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
360	1,59	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
390	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
420	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	1,58	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

<sup>1)</sup> 100 C° Heizwärme wurden erreicht beim Versuch I nach 24 Minuten, beim Versuch II nach 22 Minuten. Q = Quecksilber-Thermometer, T = Thermoelemente.



Tab. 6. Prüfung auf Wärmedurchlässigkeit von Granit-Beton bei 500 C°. Ausgeführt im Apparat Gary.

Versuch I*)										Versuch II*)									
Beobachtungszeiten in Min.	Stromstärke in Amp.	Wärme in C°					der Luft im Zimmer $T_0$	der Luft in der Heizkammer $\frac{T_1+T_2}{2}$	Wärme in C°					der Luft in der Heizkammer $\frac{T_1+T_2}{2}$	Wärme in C°				
		$T_3$	$T_4$	$T_5$	$\Sigma$	Mittel			$T_6$	$T_7$	Mittel	$T_3$	$T_4$		$T_5$	$\Sigma$	Mittel	$T_6$	$T_7$
0	2,70	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	
5	5,50	20,0	20,5	21,0	21,0	20,8	22,0	377,0	22,0	23,0	23,5	23,0	69,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
15	5,50	20,0	27,5	28,0	28,0	27,8	22,5	425,0	22,5	33,5	34,5	35,5	69,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
30	5,50	20,0	42,0	43,0	42,0	42,3	22,5	454,0	22,5	51,0	52,5	54,0	69,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
45	5,50	20,0	55,5	57,5	56,5	56,5	22,5	476,0	22,5	73,0	75,0	75,5	223,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
60	5,50	20,5	72,5	73,5	73,0	73,0	22,5	500,0	22,5	95,0	96,0	96,0	287,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
75	5,50	20,5	87,5	88,5	88,5	88,2	22,5	500,0	22,5	114,0	114,5	114,5	343,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
90	5,50	20,5	101,0	102,5	102,0	101,8	23,0	500,0	23,0	130,5	130,5	130,5	391,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
105	5,50	20,5	113,0	114,5	113,5	113,7	23,0	500,0	23,0	143,5	144,5	144,5	432,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
120	5,50	20,5	124,5	126,0	125,5	125,5	23,0	500,0	23,0	155,0	156,5	156,0	467,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
135	5,50	20,5	135,0	136,5	135,5	135,7	23,0	500,0	23,0	164,5	166,0	165,0	495,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
150	5,50	20,5	144,5	145,5	145,0	145,0	23,0	500,0	23,0	171,0	173,5	172,0	516,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
165	5,50	20,5	151,5	153,0	152,0	152,2	23,0	500,0	23,0	184,5	186,5	185,0	556,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
175	5,50	20,5	165,0	166,0	165,5	165,5	23,0	500,0	23,0	190,0	191,5	190,0	571,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
180	5,45	21,0	175,0	176,0	175,8	175,8	22,5	500,0	22,5	194,5	195,5	194,0	584,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
210	5,30	21,0	182,0	184,0	183,0	183,0	22,5	500,0	22,5	199,0	200,5	198,0	598,5	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
240	5,20	21,5	187,5	189,0	188,5	188,3	22,5	500,0	22,5	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
270	5,14	22,0	191,5	193,5	192,5	192,5	22,5	500,0	22,5	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
300	5,10	22,0	194,0	196,5	196,0	195,8	22,5	500,0	22,5	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
330	5,07	22,0	197,5	198,5	198,0	198,0	22,5	500,0	22,5	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
360	5,04	22,5	201,0	202,5	201,5	201,7	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
390	5,02	22,5	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
420	5,00	22,5	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
450	4,98	22,5	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
480	4,97	22,0	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
510	4,96	22,0	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
540	4,95	22,0	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	
570	4,95	22,0	203,0	203,5	203,0	203,2	22,0	500,0	22,0	209,5	202,0	200,5	603,0	23,2	22,5	22,5	22,5	22,5	

\*) 500 C° Heizwärme wurden erreicht beim Versuch I nach 175 Minuten, beim Versuch II nach 75 Minuten.  $T_0$  = Quecksilberthermometer.  $T_1$  bis  $T_7$  = Thermoelement.

### III. Hauptversuche.

#### α) Verwendete Materialien.

1. Portland-Zement der Portland-Zementfabrik Rüdersdorf, Marke Bär.  
Erhärtungsanfang 2 Stunden 45 Minuten. Abbindezeit 10 Stunden 15 Minuten.  
 $s = 3,284$  hydraul. Modul 2,01. Rückstand auf 900 Maschen 0,3 %, auf 5000 Maschen 9,9 %. Raumbeständig. Nach 7 Tagen Zug 24,4, Druck 248. Nach 28 Tagen komb. Erhärtung 403. Wassererhärtung 356 kg/qcm. Also ein guter, normaler Zement.
2. Cossebauder Kies von der Firma Dyckerhoff & Widmann A.-G., Dresden.
3. Basaltgrus 0 bis 3 mm und Basaltsplitt 3 bis 10 mm von der Firma Holzammer, Bauer & Co. G. m. b. H. in Bischofswerda i. S. aus deren Brüchen im Stiftswald, Nieder-Linda.
4. Granitgrus 0 bis 5 mm und Granitsplitt 5 bis 10 mm von Ing. Karl Beck in Meißen i. S. Bruch rechts am Steinweg, Flur Meißen-Cölln.
5. Granitgrus 0 bis 3 mm und Granitsplitt 3 bis 10 mm von dem Granitwerk C. Kulmiz G. m. b. H. in Striegau i. Schles. (Oberstreiter Granit).
6. Syenitgrus 0 bis 3 mm, Syenitsplitt 3 bis 10 mm und Syenitschotter 10 bis 30 mm aus dem Plauenschen Grunde von Gustav Beyer, Syenit-Steinbrüche Plauenscher Grund, Dölzschen b. Dresden.  
Die Materialien 3 bis 6 sind im Maulbrecher aus gesunden Stücken vorgebrochen und auf Sortiertrommeln abgeseibt. Sie stellen in ihrer feinsten Körnung das Abfallprodukt der Schotterfabrikation dar. Das Material 3 gilt als vorzüglich zur Betonbereitung geeignet, obwohl einzelne der dazu gebrochenen Steine eine mehrere Millimeter dicke Verwitterungsschale haben und bei nassem Wetter mit etwas Lehm behaftet sind, der beim Zerkleinern mit in den Grus kommt.
7. Isarkies von der Bauunternehmung Gebr. Rank, München.  
Von den Materialien 3 bis 7 wurden außerdem eine Anzahl größere Stücke zum Herausbohren von Zylindern und Herstellung von Dünnschliffen, sowie für Ausführung der Wasseraufnahme- und Wasserabgabeveruche angefordert und eingeliefert.
8. 815 Rundeisenstäbe von 5, 7 und 10 mm Durchmesser und 1 m Länge.

#### β) Eigenschaften der Zuschlagstoffe für die Hauptversuche.

Die Eigenschaften der Zuschlagstoffe bis in alle Einzelheiten zu prüfen, lag keine Veranlassung vor. Da es aber nicht möglich war, die Zuschlagstoffe sämtlich in gleicher Korngröße und Körnerbeschaffenheit zu erhalten, wurde es notwendig, die vorhandenen Unterschiede festzustellen, weil diese möglicherweise von Einfluß auf die Ergebnisse der Brandproben sein konnten. Es sind deshalb mit allen Zuschlagstoffen Siebversuche unter Verwendung derselben Siebe ausgeführt worden, deren Ergebnisse in Tab. 7 zusammengestellt und in Abb. 14 aufgetragen sind.

Man erkennt:

Während in dem Cossebauder Kies das feine Korn überwiegt, weist das Basaltgemisch vorwiegend grobes und mittleres Korn auf und stellt das Meißener Granitgemisch eine sehr glückliche Vereinigung grober und feiner Körner dar, die ein dichtes Haufwerk erwarten lassen. Noch günstiger gestaltet sich die Mischung nach Ersatz des feinen Granitmehles 0 bis 3 mm durch Cossebauder Kiessand von 0 bis 11 mm ( $c_3$ ).

Das Striegauer Granitgemisch hat in der Körnung viel Ähnlichkeit mit dem Basaltgemisch und das Syenitgemisch gewisse Ähnlichkeit mit der Körnung des Meißener Granitgemisches. In den beiden Isarkiesen  $f$  und  $f_1$  sind alle Körnungen vertreten, die feinen Körner aber nur schwach. In diesem Kies über-

Tab 7. **Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe.**  
Rückstand in % auf den Sieben.

Sieb Nr.		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material	bez.	Siebe mit									
		Maschen von cm Maschenweite			Maschen auf 1 qcm						
		2,5	1,5	0,7	4	9	16	60	120	324	900
Cossebauder Kies 0—11 mm	a	—	0,0	2,6	8,2	18,0	22,8	34,2	45,3	79,7	96,4
Basalt 0—5 mm	b	—	—	0,0	4,5	12,3	26,9	49,9	61,1	73,8	80,7
Basalt 5—10 mm		—	0,0	5,8	27,1	81,9	92,2	96,3	96,7	97,4	97,7
Granit Meißen 0—3 mm	c	—	—	0,0	0,2	1,5	12,1	37,9	49,7	65,0	74,8
Granit Meißen 3—10 mm		—	0,0	36,8	62,5	90,2	96,8	98,9	99,0	99,1	99,2
Granit Meißen nach Entfernung des feinsten Mehles (Durchgang durch das 900-Maschensieb)	c <sub>2</sub>	—	0,0	18,4	29,1	46,0	56,7	73,3	81,4	91,9	97,8
Granit Meißen nach Ersatz des Feinen 0—3 mm durch Cosse- bauder Kies 0—11 mm	c <sub>3</sub>	—	0,0	7,8	20,0	36,7	42,2	52,2	63,7	84,8	96,4
Granit Striegau 0—3 mm	d	—	—	0,0	0,4	2,5	14,0	33,0	43,4	58,5	68,4
Granit Striegau 3—10 mm		—	0,0	2,5	24,3	81,2	88,7	91,0	91,6	92,3	93,0
Syenit Plauen 0—3 mm	e	—	0,0	1,8	9,1	36,6	48,2	63,7	70,1	79,1	84,7
Syenit Plauen 3—10 mm		—	0,0	28,4	74,7	94,5	95,7	96,3	96,9	97,5	97,9
Isarkies 0—18 mm	f	0,0	1,9	37,2	52,1	74,1	78,3	82,9	85,0	90,2	96,5
Isarkies nach Entfernung des feinsten Mehles (Durchgang durch das 900-Maschensieb)	f <sub>1</sub>	0,0	2,2	41,0	58,6	83,1	86,6	90,4	92,0	95,7	99,9

wiegen die Körner von 5 bis 15 mm und zwischen 3 und 4 mm. Tab. 8 enthält die im 10-Liter-Geräß ermittelten Raumgewichte der Zuschlagstoffe, wie sie zu den Mörtelmischungen verwendet worden sind, die spezifischen Gewichte, Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrade der Haufwerke. Dabei ist zu berücksichtigen,

daß die Gesteine und Gerölle vor dem Einfüllen in das 10-Liter-Gefäß nicht völlig getrocknet wurden, sondern so benutzt, wie sie zur Verarbeitung gelangten. Dadurch werden die Raumgewichte etwas beeinflußt, der Vergleich wird aber nicht behindert, weil die Zuschlagstoffe alle gleichmäßig lagerten und gleichmäßig

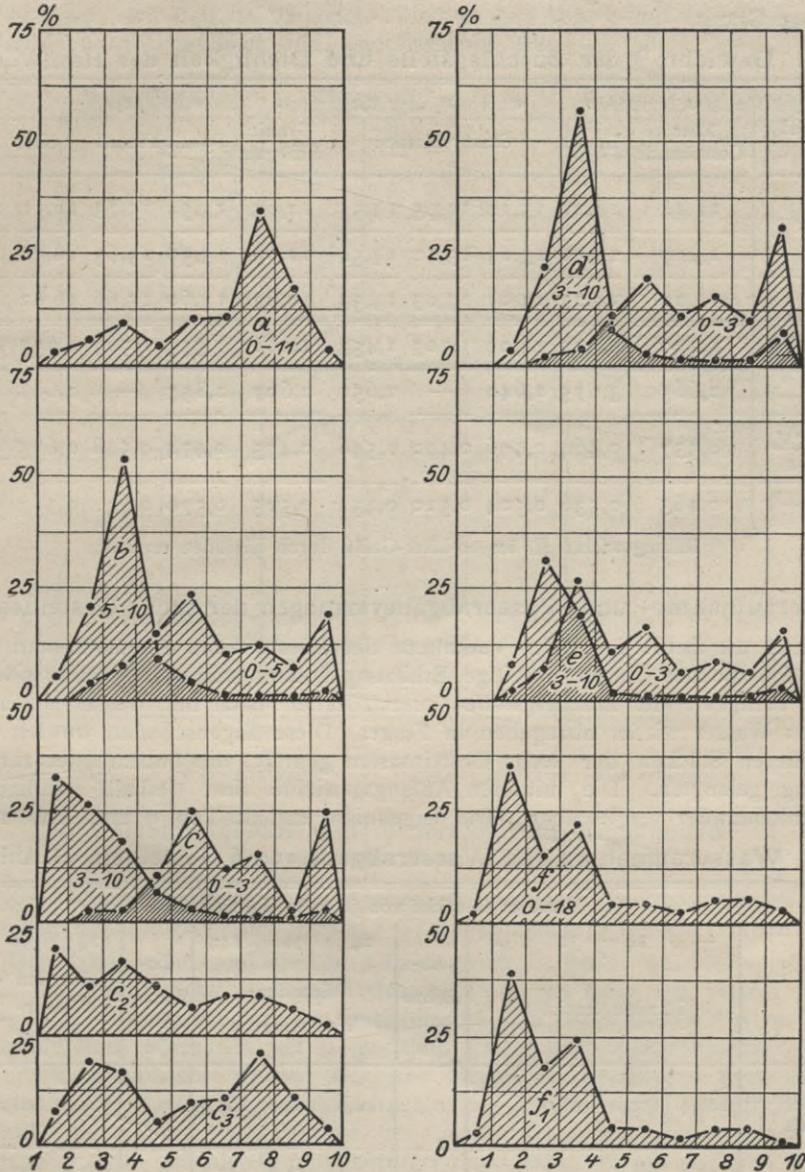


Abb. 14. Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe.

behandelt wurden, so daß sie im Augenblick der Messung denjenigen Zustand hatten, der ihnen auch bei der Verarbeitung zu Beton zu eigen war. Um diesen Zustand handelt es sich aber bei dem Vergleich der größeren oder geringeren Dichte des Haufwerkes. Dieser Vergleich ergibt: Wie schon aus den Körnungen sich ableiten ließ, bildet der Isarkies das dichteste Gemisch, namentlich, wenn ihm der feinste Staub entzogen ist; dann folgt der Cossebauder Kies. Von den Gesteinen lagert sich am dichtesten der Meißener Granit, der noch wesentlich

dichter wird, wenn man seine feinsten Körner durch feinen Cossebauder Sand ersetzt. Am undichtesten liegt der Basalt und zwischen beiden mit fast gleicher Undichte finden sich Striegauer Granit und Plauener Syenit; letzterer lagert sich dichter in seinem groben Korn als in seinem feinen.

Nennenswerte Mengen Abschlammbares enthielten nur der Isarkies und der Meißener Granit.

Tab. 8. Gewichte<sup>1)</sup> der Zuschlagstoffe und Dichtigkeit des Haufwerkes.

Material	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>c</i> <sub>2</sub>	<i>c</i> <sub>3</sub>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>e</i> <sub>1</sub>	<i>f</i>	<i>f</i> <sub>1</sub>
	Kies Cossebaude	Basalt	Granit Meißener			Granit Striegau	Syenit Plauen		Kies Isar	
1	14,24	14,27	13,12	12,95	14,55	12,63	13,54	15,73	16,51	17,10
2	14,17	14,30	13,07	13,12	14,50	12,69	13,50	15,63	16,51	17,02
3	14,20	14,23	13,07	13,03	14,53	12,67	13,60	15,66	16,62	17,10
Mittel $R_f =$	1,420	1,427	1,309	1,303	1,453	1,266	1,355	1,567	1,655	1,707
<i>s</i>	2,665	3,075	2,640	—	2,650	2,667	2,857	—	2,691	—
$\delta = \frac{R_f}{s}$	0,537	0,464	0,496	0,490	0,548	0,475	0,474	0,548	0,615	0,634
$u = 1 - \delta$	0,463	0,536	0,504	0,510	0,452	0,525	0,526	0,452	0,385	0,366

<sup>1)</sup> Raumgewichte  $R_f$  im 10-Liter-Gefäß durch Einfüllen ermittelt.

### Wasseraufnahme- und Wasserabgabevermögen der sechs Gesteinsarten.

Für die Beurteilung des Verhaltens des Betons beim Annässen und plötzlichen Austrocknen durch einseitige Erhitzung kommt auch die größere oder geringere Fähigkeit der Zuschlagstoffe, auszutrocknen, sich mit Wasser zu sättigen und das Wasser wieder abzugeben in Frage. Diese Eigenschaften wurden an je 10 größeren Stücken der sechs Gesteinsarten geprüft, die unbearbeitet zur Verwendung gelangten. Die mittleren Anfangsgewichte sind deshalb zufällige und nicht miteinander vergleichbar. Die Ergebnisse enthält Tab. 9 und Abb. 15.

Tab. 9. Wasseraufnahme und Wasserabgabe von 6 Gesteinen. (S. Abb. 15.)

Material	Mittleres Gewicht von je zehn Stücken in Gramm											
	—				Ab- nahme o/o	24			Zu- nahme o/o	24		Ab- gabe ins- gesamt o/o
	Stunden trocknen					Stunden Wasserlagern				Stunden Wasser- abgabe		
Cossebauder Kies	101,4	101,0	101,0	—	0,4	101,6	101,8	101,8	0,8	101,4	101,2	0,6
Basalt	107,1	106,9	106,8	106,8	0,3	107,1	107,2	107,2	0,4	107,0	107,0	0,2
Meißener Granit	114,1	114,0	114,0	—	0,1	114,3	114,4	114,4	0,4	114,1	114,1	0,3
Striegauer Granit	108,4	108,2	108,2	—	0,2	108,6	108,8	108,8	0,6	108,5	108,2	0,6
Syenit	106,6	106,4	106,2	106,2	0,4	106,6	106,6	106,6	0,4	106,5	106,3	0,3
Isar-Kies	109,6	109,4	109,4	—	0,2	110,0	110,0	110,0	0,6	109,6	109,5	0,5

Man sieht, daß das Wassersättigungsvermögen der sechs Gesteine fast gleich und die Wasseraufnahme sehr gering ist, am geringsten bei dem Syenit und dem Meißener Granit. Die geringe Menge Wasser, die alle sechs Gesteine aufzunehmen und sehr schnell auch ohne Erhitzung wieder abzugeben vermögen, kommt gegenüber dem beträchtlichen Wasseraufnahmevermögen des Betons gar nicht in Frage, wie sich im Vergleich zwischen den Abb. 5 und 15, die beide im gleichen Maßstab gezeichnet sind, ohne weiteres erkennen läßt.

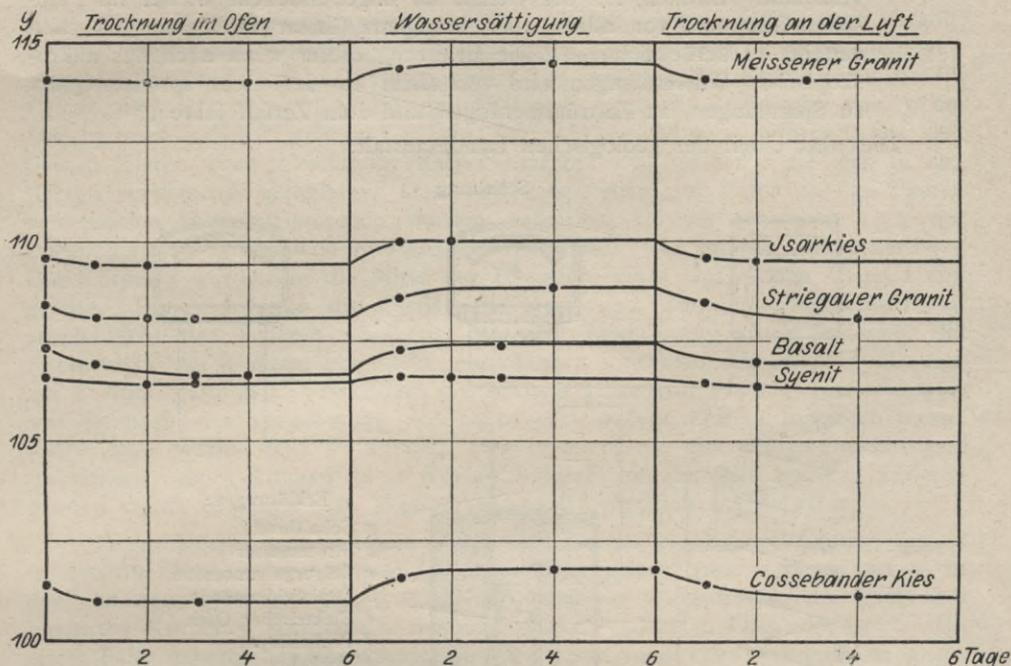


Abb. 15. Wasseraufnahme und Wasserabgabe von sechs Gesteinen.

### Petrographische und mineralogische Eigenheiten des roten Meißener Granits.

Zur völligen Aufklärung der wiederholt erwähnten Explosionserscheinungen sollte auch mineralogisch der Meißener Granit eingehend erforscht werden.

Der Königlichen geologischen Landesanstalt in Berlin wurden einige Dünnschliffe und Bruchstücke des roten Granites mit der Bitte um petrographische Prüfung und — wenn möglich — Aeußerung zu den beobachteten Absprengungen des Granitbetons übersandt, da ja aus dem Kreise der Ausschußmitglieder auch die Vermutung geäußert wurde, der rote Granit weise vielleicht Kristallwassereinschlüsse oder andere Eigenschaften auf, die das Zerspringen begünstigen, und sei somit die unmittelbare Ursache der beobachteten Explosionserscheinungen. Das Material ergab sich als ein mittelkörniger Biotitgranit, der aus zweierlei Feldspat (Plagioklas und Orthoklas), Quarz und Biotit besteht und außerdem Zirkon, Apatit, Kalkspat, Roteisenerz usw. in geringen Mengen führte. Die Korngröße reicht bis 10 mm. Die Feldspäte sind in Verglimmerung begriffen.

Ueber die Ursachen des Auseinanderspringens des Granitbetons konnte die geologische Landesanstalt bündige Aufschlüsse auf Grund der Untersuchung nicht geben. Sie hob nur allgemein hervor,

„daß der Gehalt an leicht spaltbaren Mineralien, wie Feldspat, Glimmer, Kalkspat, und an dem sehr spröden, wenn auch harten Quarz an sich schon Grund genug für eine sehr viel geringere Feuerbeständigkeit sein

dürfte, gegenüber einem scheinbar gleichmäßigen, dichten oder sehr feinkörnigen quarzfreien Basalt<sup>1)</sup>, bei dem die Wärmeausdehnung nach allen Richtungen annähernd gleichmäßiger und einheitlicher erfolgen dürfte, als beim Granit. Dazu kommt, daß das grobe Korn des letzteren die Ausdehnung durch Wärme in den verschiedenen Richtungen des Hauptgemengteiles (Feldspat) verschieden groß und stark verlaufen läßt und dadurch erhebliche innere Spannungen, die zu Bruch und Zerfall führen, veranlaßt. Endlich ist der Gehalt an ungebundenem Wasser im Feldspat, Glimmer, vor allem aber im Quarz (linear in kleinen Bläschen verteilt) zu berücksichtigen. Die Erhitzung dieser wenn auch nur mikroskopischen Wassermengen wird vor allem in dem sehr spröden Quarz zu Spannungen, zu Zertrümmerungen und zum Zerfall führen.“

Dies das Urteil der geologischen Landesanstalt.

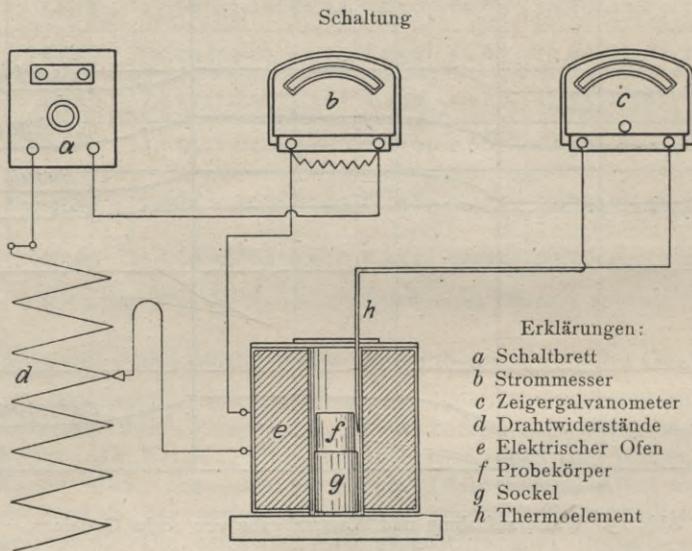


Abb. 16. Elektrisch geheizter Ofen zur Erhitzung von Steinkörpern.

Es ist bekannt, daß Granite heftigem Feuer zuweilen wenig Widerstand leisten und bei Schadenfeuern (z. B. als Treppenstufen) mit lautem Knall zerspringen. Man könnte sich denken, daß das auf Maulbrechern aus großen Stücken erzeugte Zuschlagmaterial, welches auf Siebtrommeln gesichtet wurde, möglicherweise wegen etwa vorher entstandener feiner Risse noch stärker zum Zerfall neigt.

Von Zementmörtel umhüllt verhalten sich aber die Gesteine im Feuer wesentlich anders, als beim Erhitzen des nackten Gesteins. Jedermann weiß, daß kohlenaurer Kalk schon in mäßigem Feuer seine Kohlensäure verliert und zu Aetzkalk brennt, der sich mit Wasser ablöscht und zu Staub zerfällt. Der zum Kalkbrennen in Norddeutschland besonders bevorzugte Rüdersdorfer Kalk hat sich aber bei Brandproben als Zuschlagmittel zu Beton vorzüglich bewährt<sup>2)</sup>, Zermürbungen des

<sup>1)</sup> Der Basalt war ein Nephelinbasalt, der in einer dichten und einer feinkörnigen Ausbildung vorliegt. Die feinkörnige Ausbildung besteht aus Olivin als Einsprengling bis zu 5 mm Größe, Augit als Einsprengling in der Grundmasse, Nephelin in der Grundmasse in der Form kleiner Körnchen. Außerdem ist auch Kalkspat, Magnetit und vereinzelt Biotit vorhanden. Die Einsprenglinge sind der Grundmasse gegenüber untergeordnet. Der Nephelingeht den Basalt in die weniger wetterbeständigen Basalte ein. Sonnenbrand wurde an den Proben nicht beobachtet.

<sup>2)</sup> Siegemann und Gary: Die Verwertung der Abfälle aus den Kalksteinbrüchen der Kgl. Berginspektion Rüdersdorf in Kalkberge (Mark), Berlin 1911. Verlag Jul. Springer, Berlin S 33—38.

Betons sind nur an der vom Feuer direkt bestrichenen Oberfläche der Wände auf wenige Millimeter Tiefe beobachtet worden. Im Innern des Betons blieb der Kalkstein trotz stärkster Erhitzung der Wände völlig gesund.

Das Zerspringen des Betons auf Grund des Zerfalls der leicht spaltbaren Mineralien im Granit erschien daher wenig wahrscheinlich, indessen sind — um jeden Zweifel auszuschließen — über diese Neigung zum Zerfall noch besondere Versuche angestellt worden.

Diese Versuche erstreckten sich über Basalt, roten und grauen Granit, Syenit, Isarkies und Cossebauder Kies, sämtlich den zu den Versuchsplatten verwendeten Vorräten (s. S. ) entnommen. Aus größeren Handstücken von Basalt, Granit und Syenit wurden auf der Diamantbohrmaschine Zylinder von 5 cm Durchmesser gebohrt und auf 5 cm Länge abgeschnitten, während aus den beiden Kiesen etwa gleichgroße Kiesel herausgesucht wurden, die den in den Kiesen vorwiegend enthaltenen Gesteinen entsprechen. Aus den zu den Platten verwendeten Gesteinsgemischen wurden außerdem in der Mischung 1:4 mit Portlandzement zylindrische Mörtelkörper hergestellt, die an der Luft erhärteten. Die Körper *f* wurden in die Mitte der Heizröhre eines elektrischen Ofens *e* eingebaut. Die Anordnung des Ofens, die Heiz- und Wärme-Meßvorrichtung veranschaulicht das Schema Abb. 16. Bei der Erwärmung wurde zunächst die Stromstärke auf 5 Amp. eingestellt und danach innerhalb der ersten 5 Minuten auf 8 Amp. gesteigert. Nachdem die höchste Hitze von 1100 C<sup>0</sup> erreicht war, was je nach der Vorwärmung des Ofens verschiedene Zeit in Anspruch nahm, wurde diese Wärme etwa 10 Minuten lang erhalten, um eine völlige Durchhitzung zu sichern, dann kühlten je 2 Körper langsam an der Luft ab, die anderen wurden durch Eintauchen in Wasser von 13 C<sup>0</sup> plötzlich abgeschreckt.

Einige Körper (die in Spalte 2 der Tab. 10 mit *x* gekennzeichneten) kamen in den auf Zimmerwärme eingestellten Ofen, die anderen (mit *w* bezeichneten) in den auf 250 C<sup>0</sup> vorgewärmten Ofen, und die zur Wiederholung des Versuches benutzten Körper *h* wurden in den auf 600 C<sup>0</sup> erhitzten Ofen eingesetzt. Im ersten Falle dauerte der Versuch 90 Minuten, im warmen Ofen nur halb so lange.

Alle Beobachtungen enthält Tab. 10.

Zur besseren Uebersicht sind für die an den Körpern beobachteten Erscheinungen Zeichen eingeführt. Es bedeutet

- ◊ Probe rißfrei, ohne äußerlich feststellbare Veränderungen.
- feine Risse.
- . — . feine Risse und vereinzelte Abbröckelungen.
- o — o feine Risse und größere und zahlreiche Abbröckelungen.
- — • stärkere Risse, Material mürbe und bröckelig.
- ∞ Probe zerfallen.

Man übersieht auf den ersten Blick, daß die erwarteten Wirkungen, namentlich bei dem roten Meißener Granit, nicht eingetreten sind. Zerfall zeigten nur die Kiesel aus dem Isarkies, die aus kohlenurem Kalk bestanden, im Ofen zu Aetzkalk gebrannt wurden und naturgemäß infolge Ablöschens zerfielen. Sonst hat nur der graue Striegauer Granit (und der im Wasser abgeschreckte Basalt) durch Erhitzung und Abkühlung größere Risse und Absprengungen erlitten, ohne daß indessen irgendwelche gewaltsamen Loslösungen oder explosionsartige Erscheinungen eintraten. Selbst der sofort in 600 C<sup>0</sup> Hitze gebrachte und an der Luft abgekühlte Meißener Granit und Basalt erlitt nur feine Risse, ohne zu zerfallen. Die mit dünner Zementmörtelschicht umhüllten Körper verhielten sich im wesentlichen wie die Urgesteine. Eine Ausnahme macht der Betonmörtel aus Cossebauder Kies, weil dieser außer den groben, widerstandsfähigen Kieseln auch kalkige und schieferige Bestandteile enthält, die sich bei der Erhitzung lockern, u. U. sogar ablösen, soweit sie vom Wasser und der Luft erreicht werden.

Tab. 10. Ergebnisse der Erhitzung von Gesteinen und von Mörtel aus diesen.

Material	Urgestein				Betonmischungen				Bemerkungen	
	Anfangswärme des Ofens	Art der Abkühlung	Verhalten der Proben	Raumzunahme nach dem Brennen in 0/10	Bemerkungen	Mischungen in Raumteilen	Anfangswärme des Ofens	Art der Abkühlung		Verhalten der Proben
Basalt	x	Luft	—	2	Probe 1 oberer Teil zersprengt bei 400°. Alle Proben nach dem Brande schwach rotbraun gefärbt.	1 Zement + 4 Basaltgrus-Gemisch	w	Luft	—	
	x	Wasser	•	16			w	Wasser	0	0
	w	Luft	—	3			w	Luft	—	—
	h	Luft	—	5			w	Wasser	0	0
Roter Granit Meißen	x	Luft	—	5	Alle Proben nach dem Brande schwach gerötet.	1 Zement + 4 Granitgrus-Gemisch Meißen	w	Luft	—	
	w	Wasser	0	7			w	Wasser	0	0
	w	Luft	—	7			w	Luft	—	—
	h	Luft	—	7			w	Wasser	0	0
Grauer Granit Striegau	w	Luft	•	12	Alle Proben nach dem Brande schwach gerötet.	1 Zement + 4 Granitgrus Striegau	w	Luft	—	
	w	Wasser	•	16			w	Wasser	0	0
	w	Luft	—	5			w	Luft	—	—
	x	Wasser	0	5			w	Wasser	0	0
Syenit	x	Luft	•	5	Alle Proben nach dem Brande schwach rötlich gefärbt. Bei der Erwärmung über 600° traten zischende Geräusche auf.	1 Zement + 4 Syenitgrus-Gemisch Plauen	w	Luft	—	
	w	Wasser	0	5			w	Wasser	0	0
	w	Luft	—	5			w	Luft	•	•
	x	Wasser	0	5			w	Wasser	0	0
Isar-Kies (größere Kiesel)	x	Luft	∞	—		1 Zement + 4 Isar-Kiesgemisch	w	Luft	∞	
	w	Wasser	∞	—			w	Wasser	∞	∞
	w	Luft	∞	—			w	Luft	∞	∞
	x	Wasser	∞	—			w	Wasser	∞	∞
Cossebauder Kies (größere Kiesel)	w	Luft	0	—	Proben nach dem Brande schwach rötlich gefärbt.	1 Zement + 4 Cossebauder Kiesgemisch (entfeint)	w	Luft	∞	
	w	Wasser	0	—			w	Wasser	∞	∞
	w	Luft	0	—			w	Luft	∞	∞
	w	Wasser	0	—			w	Wasser	∞	∞

1) Wiederholung: Die Proben wurden in den noch heißen Ofen bei 600° gesetzt und dann noch bis 1100° weiter erhitzt.



suchen wurde der Plauensche Syenit *S*, der Meißener Granit *R* und der Striegauer Granit *G* unterworfen. Von jedem Gestein wurden zwei walnußgroße Stücke, das eine völlig trocken, das andere naß, und zwar unter der Luftpumpe wöllig mit Wasser gesättigt, in Kugeln aus reinem Zement so eingeschlossen, daß die Zementschicht über dem Gestein mindestens 5 mm Dicke aufwies.

Nach 8 Tagen Erhärtung an der Luft wurden die Kugeln nacheinander (paarweise) in elektrischen Oefen innerhalb einer Stunde auf etwa 1000 C° erhitzt. Die Anfangswärme des Ofens beim Einsetzen der Körper betrug 100 bis 200 C°. Die Wärmesteigerung während der sechs Versuche (es wurden auch Kugeln aus reinem Zement zum Vergleich herangezogen) ist aus Abb. 17 ersichtlich.

Aus dem heißen Ofen genommen wurden alle Körper in Wasser abgeschreckt.

An den Kugeln aus reinem Zement traten von 350 C° an (im Ofen), also nach etwa 20 Minuten zischende Geräusche auf. Im Wasser bröckelte die äußere Schale der Kugel ab, der Kern hatte feine Risse.

Ganz ähnliches Verhalten zeigten die Kugeln mit Gesteinseinschluß; das nasse Gestein ergab die zischenden Geräusche, ohne daß sich zwischen den drei Gesteinssorten irgend ein Unterschied erkennen ließ. In keinem Falle traten gewaltsame Absprengungen ein.

Die Versuche wurden nun mit denselben Gesteinssorten, aber mit talergroßen flachen Steinsplintern wiederholt, die derart von Zementkuchen umschlossen wurden, daß die Zementschicht das Gestein nur wenige Millimeter dick bedeckte. Die Kuchen lagen 4 Wochen lang, vor starker Austrocknung geschützt, in einem Zinkkasten. Beim Erhitzen über der Gebläseflamme erlitten sämtliche Kuchen nur netzförmige Risse, aber keinerlei Absprengungen. Die am Brandhaus IV beobachteten Sprengerscheinungen sind deshalb keinesfalls auf die petrographische oder mineralogische Beschaffenheit des verwendeten Gesteins zurückzuführen. Nur indirekt hat das Gestein — der Meißener Granit — zu der Erscheinung beigetragen, indem die Verwitterungsprodukte des Feldspates und die dichte Lagerung der Gesteinstrümmer dazu beigetragen haben, die Oberfläche der Wände zu dichten und dem verdampfenden Wasser den Austritt zu erschweren.

### γ) Brandproben mit Platten.

#### Herrichtung der Probplatten für die Hauptversuche.

In Holzformen wurden die Platten zum Teil ohne, zum Teil mit Eiseneinlagen, wie sie Abb. 18 erkennen läßt, aus weichem Beton in der Mischung 1 Rtl. Zement + 4 Rtl. Zuschlagmaterial hergestellt. Die zum Vergleich herangezogenen Platten ohne Eiseneinlagen sind mit  $c_1$  und  $d_1$  bezeichnet (roter Granit und grauer Granit), die übrigen Platten tragen die Bezeichnungen des Arbeitsplanes *a* bis *f* (S. 3). Den Mischungen wurden die auf dem Versuchswege im 10-Litergefäß ermittelten Raumgewichte zugrunde gelegt, die in Tab. 8 enthalten sind. Das Raumgewicht des Zementes wurde auf 1,135 bestimmt. Tabelle 11 enthält die für die einzelnen Zuschlagstoffe für erforderlich erachteten Wasserzusätze, berechnet auf den trockenen Zustand des Gemisches.

Tab. 11. Wasseranspruch der Zuschlagstoffe.

Material	<i>a</i> Kies Cosse- baude	<i>b</i> Basalt	<i>c</i> $c_1$	$c_2$	$c_3$	<i>d</i> $d_1$ Granit Striegau	<i>e</i> Syenit	$e_1$ Plauen	<i>f</i>	$f_1$ Kies Isar
Wasser %	12,6	14,0	12,5	11,0	10,5	13,5	14,5	9,8	9,8	8,3

Die Platten wurden in der Reihenfolge des Arbeitsplanes vom 14. September 1915 bis zum 15. November 1915 hergestellt, nachdem der Beton auf der Mischmaschine weich zubereitet und die Eisen nach der Vorschrift an den Kreuzungsstellen gebunden waren. Die Platten von 8 cm Dicke wurden in zwei Schichten, die von 12 cm Dicke in drei Schichten in wagrecht liegenden Holz-

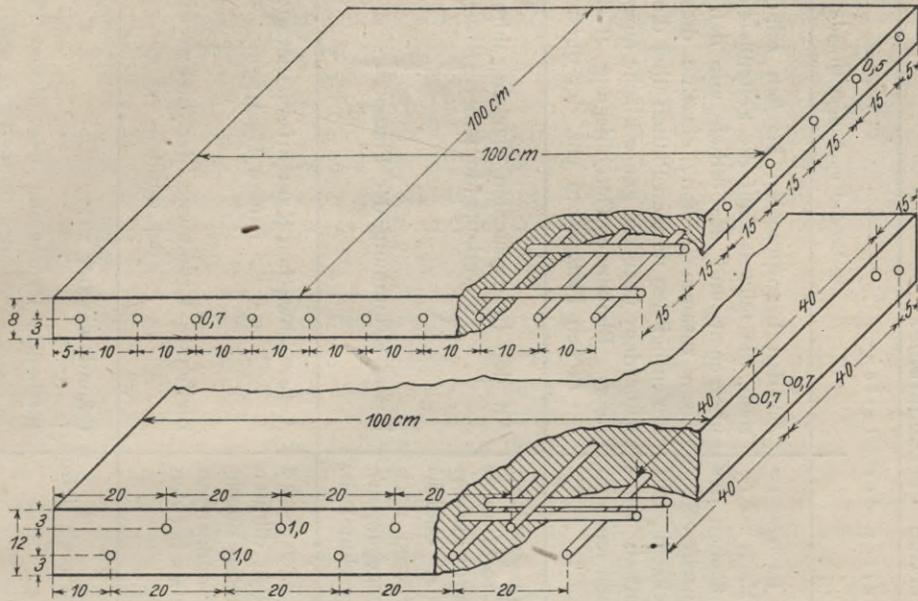


Abb. 18. Größe und Bewehrung der Platten.

formen gestampft. Drei Tage blieben die Platten in der Form, 4 Tage im Zimmer. Dann wurden sie im Freien hochkant nebeneinander mit Zwischenräumen von je etwa 10 cm aufgestellt, mit einem Dach überdeckt und vom 7. bis zum 14. Tage täglich einmal auf der oberen Fläche angeätzt.

Die Wärme der Luft schwankte während der Herstellung zwischen 17 und 20 C°, die Luftfeuchtigkeit zwischen 63 und 90 %.

### Vorbereitung der Versuche.

Die Ausgestaltung der vier zur Verfügung stehenden Versuchshäuschen ist aus Abb. 4 ersichtlich. Ueber die in der Decke dieser Häuschen belassenen vier quadratischen Oeffnungen von 80 cm Seitenlänge sollten bei jedem Versuch vier der zu prüfenden Platten gelegt und somit gleichzeitig durch Feuer beansprucht werden. Die Platten sollten in der Reihenfolge des Arbeitsplanes (wie sie gefertigt wurden) zur Prüfung kommen und derart angeordnet werden, wie die Skizze Abb. 19 erkennen läßt. Durchweg sollten die beiden 12 cm dicken Platten über den hinten gelegenen, die nur 8 cm dicken Platten über den Öffnungen nahe der Eingangstür liegen. Wie die Schraffur andeutet, lagen rechts (auf dem Versuchsgelände nach Süden zu) die angeätzten, links die lufttrockenen Platten.

Zur Messung der erzielten Wärme wurden Schammotteschälchen mit Metall-Legierungen verschiedener Schmelzbarkeit an den in der Abb. 19 mit 1 bis 8 bezeichneten Stellen, dicht unter den Platten (am

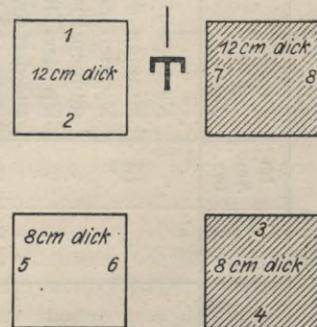


Abb. 19. Anordnung der Platten und der Wärme-Meßeinrichtungen während des Versuches.

Tab. 12. Ergebnisse der ersten Versuchsreihe.

Platten der Mischung	Dicke cm	Im Amt bez.	Beobachtungen während des Brandes	Verhalten der Platten	Befund nach dem Brande
Kies " mit Cossebauder	8	19	Nach $\sim 10$ Minuten beginnen sich die dünnen, nach $\sim 15$ Minuten die dicken Platten durchzubiegen. Nach $\sim 15$ Minuten entwickelt sich Dampf an den Außenflächen der dünnen Platten, nach etwa 20 Minuten an vereinzelt Stellen der Oberflächen der dicken Platten, gleichzeitig tritt aus den feuchten Platten Wasser, das sich stellenweise sammelt und Blasen treibt. Schwefel auf der dünnen feuchten Platte geschmolzen.	An den beanspruchten Flächen zahlreiche Kantensrisse, die teilweise auf die Seitenflächen der Platten übergehen und die örtlich mit den eingebetteten Eisen zusammentreffen, einzelne dieser Risse verlaufen bei den dünnen Platten über die ganze Fläche. Außerdem über die ganze Fläche ausgebreitete Netzrisse. Bleibende Durchbiegung (Krümmung) der dicken Platten 0,6 cm, der dünnen 0,8 cm	
	12	19			
Basaltgrus " mit Eiseneinlagen	8	20	Nach $\sim 15$ Minuten Dampfentwicklung und Wasseraustritt an der dünnen feuchten Platte, das nach $\sim 20$ Minuten Blasen treibt. Nach $\sim 25$ Minuten Dampfaustritt an vereinzelt Stellen der dünnen trockenen Platte. Gleichzeitig schwache Durchbiegung der dünnen Platten nach unten (nach Abkühlung anscheinend zurückgegangen). Schwefel auf der dünnen feuchten Platte geschmolzen.	An den beanspruchten Flächen zahlreiche, netzartig verlaufende feinere Risse.	
	12	20			Keine Krümmung der Platten.
" mit Weissen	8	21	Nach $\sim 15$ Minuten Dampfentwicklung und nach $\sim 20$ Minuten Wasseraustritt mit Blasenbildung an den dünnen Platten, die sich gleichzeitig schwach nach unten durchbiegen. Nach $\sim 25$ Minuten dieselben Erscheinungen an den dicken Platten, jedoch in geringerem Maße als bei den dünnen Platten.	Außer schwachen Kantensriszen netzartig verlaufende feinere Haarrisse.	
	12	21			Bleibende Krümmung der dicken Platten 0,2 cm, der dünnen 0,3 cm.
" ohne Granitgrus	8	22	Im wesentlichen die gleichen Erscheinungen zu etwa denselben Zeiten wie bei 21.		Befund wie bei 21.
	12	22			Bleibende Krümmung der dicken Platten 0,3 cm, der dünnen 0,4 cm.

Gebälk der Decke) aufgehängt. Außerdem wurde an der Rückseite der Versuchshäuser zwischen den beiden Abzugsluken (bei  $T'$ ) dicht unter der Decke ein Thermoelement eingeführt und die von ihm angezeigte Wärme von Zeit zu Zeit am Galvanometer abgelesen.

Im Innenraum jedes Versuchshauses wurden bei jedem Versuch vier Holzstapel errichtet (etwa  $1\frac{1}{2}$  Festmeter), zu denen nach Möglichkeit kleingespaltenes und trockenes Holz, angefeuchtet mit leicht brennbaren Flüssigkeiten, verwendet wurde.

Hauptwert wurde darauf gelegt, die Hitze so schnell als möglich zu entwickeln und eine Zeitlang auf der Höhe zu halten. Um festzustellen, ob die Hitze an der Oberfläche der Versuchsplatten den Siedepunkt des Wassers erreicht und wann etwa dieser Zeitpunkt eintritt, wurden kleine Würfel aus Schwefel, durch Glaszylinder vor der Einwirkung der Außenluft geschützt, auf die Platten gestellt.

Um möglichst gleiche Versuchsbedingungen zu haben, sollten die Versuche nur an regenfreien Tagen ausgeführt und jedes Versuchshaus dreimal in Benutzung genommen werden.

### Erste Versuchsreihe (Versuche 19 bis 22).

Am 15. September 1916 gelangten die Platten  $a$  und  $b$  und am 18. September 1916 die Platten  $c$  und  $c_1$  zur Prüfung. Die auf den Häusern rechts liegenden Platten wurden an der Oberfläche noch einmal gründlich angeätzt und die Versuchsplatten so über die Oeffnungen der Decke des Versuchshauses gelegt, daß ihre untere Fläche etwa 5 cm über der Oberfläche der Decke sich befand, indem Eisenstückchen von 5 cm Dicke die Platten abstützten. Auf diese Weise konnten die Flammen die gesamte untere Fläche der Versuchsplatten umspülen.

Da beim ersten Versuch die Hitze im Brandraum, der etwa 1 cbm trockenes Holz aufnahm, sich nur verhältnismäßig langsam entwickelte, wurden bei den folgenden Versuchen alle Oeffnungen im oberen Teil der Wände des Versuchshauses mit Ziegelsteinen zugesetzt und die Türöffnung soweit geschlossen, daß nur unten ein Spalt für den Luftzutritt blieb. Die Luft mußte somit ihren Weg von den Oeffnungen am Fußboden durch das brennende Holz und die schmalen Spalte unter den Versuchsplatten nehmen, die überdies noch an der Windseite verschlossen wurden. Es gelang nicht, während einer halben Stunde Brenndauer die Hitze unter den Platten höher als (in einem Falle) auf  $950\text{ C}^0$  zu treiben, deshalb ist bei späteren Versuchen die Brennmaterialmenge auf  $1\frac{1}{2}$  Festmeter erhöht worden. Die gemachten Beobachtungen enthält Tab. 12 und die abgelesenen Wärmegrade nach dem Schema der Abb. 19 Tab. 13.

Tab. 13. Beobachtete Wärmegrade bei der ersten Versuchsreihe.

Versuch Nr.	Material	Hitze bei $T'$	Höchste Wärme bei							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	$a$	980	850	950	850	850	850	850	950	850
2	$b$	1020	950	950	850	850	850	850	950	950
3	$c$	960	850	850	850	850	850	850	850	850
4	$c_1$	980	850	850	850	850	850	850	850	850

Die am Thermoelement  $T$  gemessene Innenwärme ist in Abb. 20 aufgetragen. Sie weist bei allen vier Versuchen eine außerordentlich schnelle Wärmesteigerung auf, die ihren Höchstgrad bereits nach 20 Minuten erreichte. Da innerhalb dieser Zeit in allen Fällen der auf die dünnen Platten gelegte Schwefel schmolz, ist erwiesen, daß in der angegebenen Frist das Wasser im Innern der Platte verdampft war. Weil sich trotzdem an den Platten  $c$  und  $c_1$  die erwarteten Absprengungen nicht zeigten, sind die Versuche abgebrochen worden, um

neue Platten zu fertigen und die noch vorhandenen etwas älter werden zu lassen. Inzwischen trat Regenwetter und später Kälte ein, so daß die Brandproben auf das Frühjahr 1917 verschoben werden mußten.

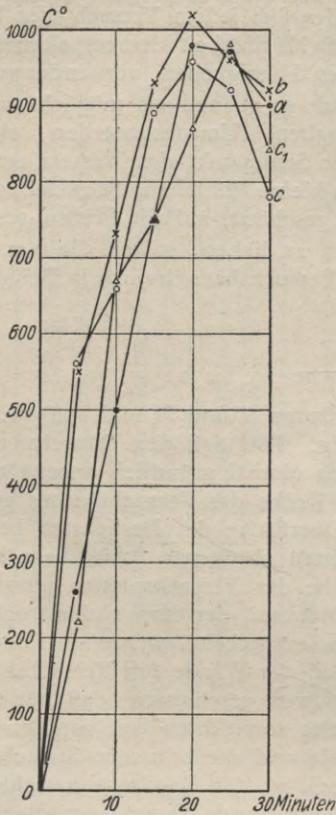


Abb. 20. Innenwärme der Brandhäuser bei den Versuchen 1 bis 4.  
Versuch 1 •—• Versuch 3 o—o  
" 2 ×—× " 4 Δ—Δ

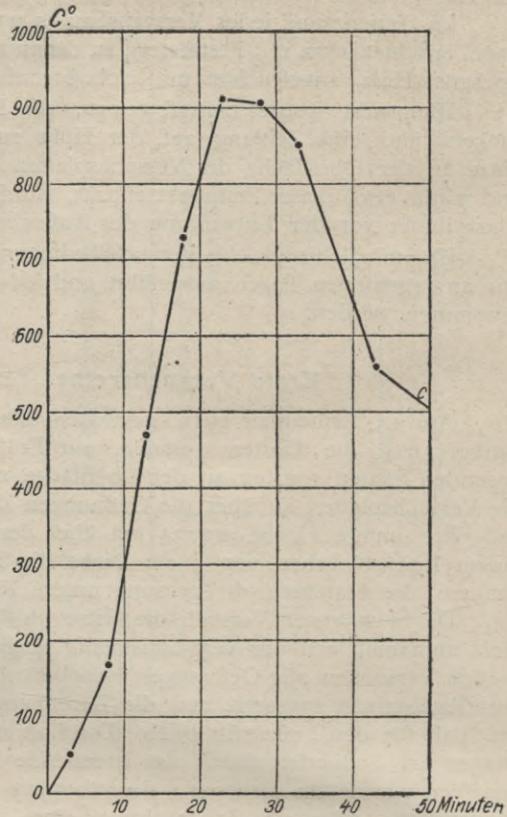


Abb. 21. Innenwärme der Brandhäuser bei Prüfung der eingespannten Platten c. (Versuch 5.)

### Zweite Versuchsreihe (Versuch 5).

Aus dem Meißener Granit *c* wurden am 26. und 28. September 1916 neue Platten *c* und *c*<sub>1</sub> gefertigt, und zwar am 26. September 1916 zwei Platten ohne Eiseneinlagen, am 28. September 1916 zwei Platten mit gekreuzten Rundeisenstäben von 7 mm Durchmesser genau in gleicher Weise wie die ersten Platten. Sie wurden auch wie diese gelagert und behandelt und am 23. Juli 1917 bei trockenem Wetter geprüft (Versuch 5). Die Versuchsausführung war im allgemeinen dieselbe wie bei den Versuchen der ersten Reihe. Die Eisenbetonplatten lagen mit den eisenbewehrten Flächen nach oben; diese Flächen waren bei der Herstellung geglättet. Auch die nicht bewehrten Platten lagen mit den geglätteten Flächen nach oben.

Um nun festzustellen, ob etwa die Explosionserscheinungen an dem Brandhause IV durch die dreiseitige Einspannung der Platten hervorgerufen, oder doch vielleicht begünstigt wurden, sind die beiden eisenbewehrten Platten *c* und *c*<sub>1</sub> mehrere Tage vor dem Versuche zwischen verschraubten I-Eisen, die seitlich unbeeinflusst vom Feuer lagen, und eingelegten Ziegelsteinen dreiseitig fest verspannt worden. Je eine Platte war wasserdicht abgedeckt und blieb lufttrocken, die andern wurden am 18., 19., 20 und 21. Juli täglich einmal angehäßt und an-

Tab. 14. Ergebnisse des Versuches 5. (Zweite Versuchsreihe.)

Platten Nr. 17		Verhalten der Platten		Befund nach dem Brande
Mischung	Be-schaffen-heit	Beobachtungen während des Brandes		
Meissener Granit	Mit Eiseneinlagen, eingespannt	naß	8 cm	Die Durchbiegung geht bis auf 3 mm zurück. Die Spannung zwischen den Trägern bleibt bestehen, die nach der dritten Seite (senkrecht zu den Trägern) ist gelöst. An der Oberfläche senkrecht zu den Verspannungsträgern fünf feine Risse, die von der Mitte nach den Enden zu verlaufen und etwa 65 cm lang sind. Zahlreiche Kantenrisse.
		trocken		
	Mit Eiseneinlagen, lose aufgelegt	naß	8 cm	Die Durchbiegung ist geringer wie die der naß eingespannten Platte. 2 Oberflächenrisse ähnlich denen der nassen Platte. Vereinzelte Kantenrisse.
	trocken			
				Von der Mitte der Platte ausgehend netzartig verbreitete feine Risse auf einer Fläche von etwa 50 · 60 cm. Zahlreiche Kantenrisse, die teilweise in die Oberfläche übergehen. Bleibende Durchbiegung 0,3 cm.
				Oberflächenrisse nicht wahrnehmbar. Vereinzelte Kantenrisse. Bleibende Durchbiegung 0,1 cm.

schließend mit feuchten Säcken abgedeckt. In der Nacht vom 21. zum 22. Juli setzte Regen mittlerer Stärke ein, der mit Unterbrechungen bis gegen Mittag des 22. Juli anhielt und damit die künstliche Benetzung am 22. Juli erübrigte. Etwa 2 Stunden vor dem Brande wurden die beiden nassen Platten noch mehrmals angehäßt. Der Brand dauerte eine Stunde. Die Wärmeentwicklung während dieser Zeit veranschaulicht die Linie *c* in Abb. 21. Die höchste Wärme war nach 23 Minuten erreicht, dann fiel die Wärme langsam.

Die während des Brandes und nachher an den Platten gemachten Beobachtungen enthält Tab. 14.

Absprengungen traten auch dieses Mal — trotz der scharfen Einspannung der Platten — nicht auf.

### Dritte Versuchsreihe (Versuch 5a).

Da die Platten *c* auch bei dem zweiten Versuch (5) keinerlei Absprengungen erlitten hatten, tauchte die Vermutung auf, die Platten könnten vielleicht infolge ihrer Herstellung in wagerechter Stellung (liegend) irgendwie anders geartete Gefügeverhältnisse aufweisen als die Wände des Versuchshauses IV. Es wurden deshalb am 11. August 1917 unter Verwendung alter Eiseneinlagen noch einmal zwei 8 cm dicke Platten — eine mit, eine ohne Eisenbewehrung — aus derselben Meißener Granitmischung gestampft wie *c* und *c*<sub>1</sub>, die Formen dabei aber hochkant gestellt. Der Wasserzusatz, bezogen auf die trockene Mischung, betrug 12,9 <sup>0</sup>/<sub>10</sub>. Die Mischung wurde genau wie bei dem Aufbau der Brandhäuser III und IV von Hand hergestellt und zwischen die Schalung eingestampft. Die Platten standen hochkant in der Form im Freien; nach 48 Stunden wurde der äußere Teil der Schalung entfernt.

Am 28. November 1917 wurden beide Platten im lufttrockenen Zustande der Brandprobe unterzogen. Sie waren also wenig über 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Monate alt und enthielten noch beträchtliche Mengen Feuchtigkeit. Die Anordnung des Versuchs war die gleiche wie bei den Versuchen 19—22. Die Platten lagen also lose über den Oeffnungen in der Decke des Brandhauses. Die Wärme stieg schnell bis auf 980 C<sup>0</sup>. Der Versuch dauerte eine Stunde.

Das Versuchsergebnis war im wesentlichen das gleiche wie das der ersten Versuchsreihe.

Etwa 7 Minuten nach Entflammung des Holzes begannen beide Platten an den Oberflächen abzutrocknen. Nach etwa 15 Minuten zeigten sich auf den nunmehr trockenen Flächen vereinzelte Wasserblasen und begannen die Platten sich zu krümmen. Von nun an nimmt der Wasseraustritt rasch zu und das Wasser fließt nach der Mitte der durchhängenden Platten ab, dort kochend und verdampfend. Nach etwa 22 Minuten ist das Wasser verdunstet und bilden sich Kantenrisse und Oberflächenrisse, aus denen von Zeit zu Zeit schwache Dampffahnen stoßweise austreten.

Nach dem Brande ergab sich die Durchbiegung der unbewehrten Platte auf 0,5 cm, die der bewehrten auf 0,4 cm. Einige Oberflächenrisse verlaufen von der Mitte nach den Kanten zu ziemlich gradlinig und fallen in der eisenebewehrten Platte mit den Eiseneinlagen örtlich zusammen. Das Betonmaterial war ziemlich mürbe. Absprengungen sind nicht eingetreten.

### Schlußversuche.

Nachdem das Bemühen, ähnliche Explosionserscheinungen, wie sie bei dem Brandversuch von Haus IV aufgetreten waren, auch an Platten aus gleichem Material hervorzurufen, um ihre Ursachen sicher zu ergründen, fehl geschlagen war, blieb noch in Erledigung des Arbeitsplanes die Ausführung der Versuche mit Beton aus abgeändertem Meißener Material und aus den anderen Zuschlagstoffen, wie sie in dem Arbeitsplan (S. 3) aufgeführt sind.

Tab. 15. Ergebnisse der Schlußversuche. Brenndauer 1 Stunde.

Bezeichnung der Platte	Ver suchs-Nr.	Zuschlagmaterial	Eisen-einlage	Dicke der Platten cm	Datum der Her-stellung	Höchst-Wärme bei 7 C°	Verhalten der Platten	Beobachtungen während des Brandes	Befund nach dem Brande
c <sub>2</sub>	23	Meißner Granit nach Entfernung des feinsten Mehles	vor-handen	8	2. 10. 1915	980	Nach etwa 5 Minuten beginnt die Oberfläche beider Platten (der nassen und der trockenen) von den Kändern aus abzutrocknen. Nach 10 Minuten Durchbiegung wahrnehmbar; Bildung von Wasserblasen, an der angefeuchteten Platte stärker als an der trockenen. Nach 20 Min. Kantenrisse. Dieselben Erscheinungen wie bei den dünnen Platten nur später und in geringerem Maße auftretend.		
	23		12	22. 8. 1917					
c <sub>2</sub>	24	Meißner Granit mit Cossebauder Sand an Stelle des feinsten Mehles	vor-handen	8	6. 10. 1915	1030	Nach etwa 6 Minuten beginnt die Oberfläche der Platten abzutrocknen. Nach 12 Minuten stößwises Auftreten flatternder Dampfbläschen — ähnlich dem Auspuffdampf der Dampfmaschine — in Abständen von etwa 2 Minuten. Sonst wie bei c <sub>2</sub> .		
	24		12	13. 9. 1917			Dieselben Erscheinungen wie bei den dünnen Platten.		
d	25	Striegauer Granit	vor-handen	8	9. 10. 1915	1080	Nach etwa 10 Minuten Dampfaustritt, nach etwa 15 Minuten Bildung von Wasserblasen, Beginn der Durchbiegung. Das austretende Wasser läuft nach der Mitte zu und verdampft dort kochend. Nach 20 Min. Kantenrisse an der angefeuchteten Platte sowie kochendes Wasser tritt und abfließt. Nach 25 Minuten stößweise auftretende Dampfsäulen über den Kantenrissen und einigen über den Eisen verlaufenden Flächenrissen. Die Erscheinungen treten an den dicken Platten etwas später und geringer auf, als an den dünnen.		
	25		12	29. 9. 1917					
d <sub>1</sub>	26	Striegauer Granit	fehlen	8	16. 10. 1915	970	Bis auf die mit dem Eisen zusammenfallenden Längsrisse in der Oberflächenseite sind die Erscheinungen wie an den Platten d (mit Eiseneinlagen).		
	26		12	4. 11. 1917					
e	27	Syenit	vor-handen	8	28. 10. 1915	1050	Nach 10 Minuten ist die lufttrockene, nach 12 Minuten die angefeuchtete Platte trocken und beginnt der Durchgang. Wasserblasenbildung an der feuchten Platte stärker. Nach 25 Minuten Kantenrisse. Nach 40 Min. Oberflächenrisse in der feuchten Platte und stößweise auftretende Dampfbläschen.		
	27		12	16. 10. 1917			Im allgemeinen dieselben Erscheinungen wie an den dünnen Platten, nur später und in geringerer Ausdehnung auftretend. Keine Dampfbläschen.		
e <sub>1</sub>	28	Syenit mit Zusatz von grobem Schlottier	vor-handen	8	1. 11. 1915	970	Nach 7 Minuten Dampfaustritt aus der befeuchteten Platte. Nach 10 Min. aus beiden Platten Wasseraustritt und beginnender Durchgang. Nach 13 Minuten Kantenrisse. Nach 20 Minuten Oberflächenrisse, aus denen zeitweise Dampf entweicht.		
	28		12	5. 10. 1917			Nach 10 Minuten Kantenrisse, aus denen kochendes Wasser tritt. Nach 13 Minuten hört der Wasseraustritt auf und es beginnt stößweise Dampf aus den Rissen zu treten. Beginnender Durchgang. Nach 20 Minuten Wasserkissen auf beiden Platten. Nach 25 Minuten stößweise aus den Rissen der Oberflächen tretender Dampf.		
f	29	Isarkies	vor-handen	8	9. 11. 1915	980	Nach 6 Minuten Dampfaustritt aus den Flächen. Nach 10 Minuten beginnender Durchgang, nach 12 Minuten Wasserblasenbildung. Nach 25 Minuten Kantenrisse und einige Minuten später in der Richtung der Eisen verlaufende Flächenrisse, aus denen zeitweilig stößweise Dampf austritt.		
	29		12	22. 10. 1917			Bei den dicken Platten treten die Erscheinungen etwas später auf als bei den dünnen.		
f <sub>1</sub>	30	Isarkies nach Entfernung des feinsten Mehles	vor-handen	8	15. 11. 1915	990	Im allgemeinen die gleichen Erscheinungen wie bei den Platten f aber in verstärktem Maße. Nach 7 Minuten beginnt die lufttrockene, nach 9 Minuten die feuchte Platte abzutrocknen. Nach 12 Minuten beginnender Durchgang. Nach 12 Minuten Auftreten von Wasserblasen und Kochen des Wassers in der Mitte der Platte, das nach 20 Minuten verdrängt ist. Nach 22 Minuten Kantenrisse, nach 25 Minuten Oberflächenrisse, aus denen stößweise Dampf auspufft. Nach 30 Minuten springt von einer Kante der 8 cm dicken Platte ein etwa 1 1/2 cm langes Stückchen unter schwachem Knall ab.		
	30		12	14. 11. 1917					

Alle Ergebnisse dieser Versuche sind in Tab. 15 zusammengefaßt. Es geht daraus zunächst hervor, daß weder die Entziehung des feinsten Mehles aus dem Meißener Granit ( $e_2$ ) noch der Ersatz dieses feinsten Granitmehles durch feinen Sand von Cossebaude wesentlich anderes Verhalten der Platten im Feuer bewirkt hat. Insbesondere sind bei keiner dieser Platten Absprengungen beobachtet worden, wenn man von dem einen Splitter der dünnen Platte  $f_1$  absieht. Die Erscheinungen waren vielmehr bei allen Platten annähernd dieselben. Unter der Einwirkung der sehr heftig auftretenden Hitze trocknen die Platten oberflächlich schnell ab und scheiden dann Wasser in kochendem Zustande aus, um so stärker, je länger die Platten naß gehalten wurden. Dann bilden sich zunächst feine, sich allmählich erweiternde Risse in der Oberfläche, durch die der Rest des in den Platten noch enthaltenen Wassers in Dampfform entweicht. Infolge der einseitigen Erhitzung und Dehnung entsteht eine Ausbauchung, ein Durchhang der Platten nach unten, und treten Kantenrisse auf, die ebenfalls Wasser und Dampf den Austritt gestatten. Je nach der Art des verwendeten Zuschlagmaterials ist die Zermürbung des Betons größer oder geringer und die bleibende Durchbiegung kleiner oder größer.

Die Höhe der erreichten Endwärme, die abhängig ist von der Außenwärme und den Windverhältnissen, spielt keine wesentliche Rolle, da die größte Hitze in allen Fällen in etwa 20 Minuten erreicht wurde und spätestens nach 15 Minuten bereits das Wasser an der Außenfläche der Platten siedet und Wasserdampf austritt.

#### IV. Schlußbetrachtung.

Die kritische Würdigung der vorstehend geschilderten Versuche führt zu folgenden Erwägungen:

Nachdem als festgestellt gelten kann, daß die Explosionserscheinungen in dem Haus IV weder auf eigenartige mineralische Bestandteile des verwendeten roten Meißener Granits, noch auf schädliche Mineraleinschlüsse (Kristallwasser, Kohlensäure) zurückzuführen sind, nachdem ferner erwiesen ist, daß auch ohne Verwendung von Meißener Granit als Zuschlagstoff unter bestimmten Voraussetzungen Absprengungen ähnlicher Art, wie sie in dem Hause aufgetreten sind, bei schneller Erhitzung von Betonkörpern eintreten können, ist erwiesen, daß die von dem Beton umschlossene Feuchtigkeit oder Luft oder beide die unmittelbare Veranlassung zu den Absprengungen gewesen sind, wobei vielleicht das Vorhandensein stark verwitterter Feldspate in dem Zuschlagmaterial zur Dichtung der Oberfläche der Betonwände beigetragen und die Explosionserscheinungen begünstigt hat. Aus den Versuchen ist klar ersichtlich, daß sich bei der einseitigen Erhitzung von Betonplatten im Innern der Platte Wasserdampf entwickelt. Aus der Beobachtung, daß dieser Wasserdampf unter bestimmten äußeren Bedingungen in Zeitabständen stoßweise die Platte verläßt, ist zu schließen, daß der Dampf im Innern der Platte eine gewisse Spannung erlangt. Von Einfluß auf diese Dampfspannung scheint einmal die Dichtigkeit der Betonmasse, die Art der Porenverteilung und die Dichtigkeit der Oberfläche zu sein, dann auch die von der Platte eingeschlossene Wassermenge und schließlich die Dicke der Platte. Bei den Brandversuchen zeigte es sich, daß beim Vorliegen starkporiger Betonmassen, deren Poren sich nach der Außenseite öffnen, der Dampf in Schwaden fast ununterbrochen und drucklos der Oberfläche entstieg. Ebenso konnte wahrgenommen werden, daß aus den im lufttrockenen Zustande dem Feuer ausgesetzten Platten der Wasserdampf immer stoßweise entstieg, wogegen aus den angefeuchteten Platten eine mehr oder weniger starke Wasserabsonderung an der Oberfläche stattfand und erst gegen Ende des Versuches, nachdem sämtliches Oberflächenwasser verdunstet war und der Abfluß aus den Kantenrissen aufhörte, ebenfalls die Neigung zu einem stoßweisen Dampfaustritt bestand, wenn auch nicht mehr in dem Umfange wie bei den lufttrockenen

dem Versuche unterworfenen Platten. Der Gedanke scheint deshalb naheliegend, daß während der Verdampfungsperiode ein stetiger Kreislauf des an die Oberfläche bzw. an die obersten Plattenschichten aufgestiegenen erhitzten Wassers nach Abkühlung an der Oberfläche zu den tiefergelegenen bzw. dem Feuer mehr ausgesetzten Stellen stattfand, von wo das zurücktretende Wasser wiederum erhitzt zur Oberfläche aufsteigt. Auf dem Wege nach und von der Oberfläche wird dieses Wasser aber auch den möglicherweise im Platteninnern entstandenen Dampf verdichtet haben. Das Spiel dürfte sich so lange wiederholen, bis in den dem Feuer zunächst gelegenen Schichten keine umlauffähige Wassermenge mehr vorhanden ist, sondern nur noch das kapillar festgehaltene Wasser, das nun verdampft und zur Oberfläche steigt, auf diesem Wege aber wiederum von dem noch in den oberen Schichten befindlichen Wasser verdichtet wird. Die Dampfspannung wird unter diesen Gesichtspunkten nicht so groß werden können wie in Platten, die von vornherein nur kapillar festgehaltenes Wasser enthalten, welches die Vorbedingungen zur Verdichtung nicht in dem gleichen Maße vorfindet. Hier wird bei der schnell und stetig fortschreitenden Erhitzung und Dampfentwicklung der Dampf sich unter der dichten Oberfläche ansammeln und einen geeigneten Ausweg ins Freie suchen, gegebenen Falles gewaltsam durch Absprengung von Teilen der Oberflächenschicht.

Aber auch die Spannungen im Beton, hervorgerufen durch die stetig zugeführte Wärme, werden infolge des Wasserumlaufes bei den wassergetränkten Platten geringer sein wie bei denjenigen, die keine größeren Wassermengen enthalten. Da in der nicht durchnäßten Platte eine weit ungleichmäßigere Erwärmung der einzelnen Betonschichten und Betonteile eintritt und entsprechend auch eine ungleichmäßigere Ausdehnung der einzelnen Betonschichten bei entsprechend dünnen Platten, kann das Zusammenwirken der Dampfspannungen mit den ungleichmäßigen Spannungen im Beton unterhalb der dichten Oberfläche der Platte wohl eine Zerstörung der Platte hervorrufen, wobei das Knallgeräusch im Augenblick der Zerstörung auf die plötzlich eintretende Außenluft zurückzuführen sein mag. Es sei an einen Vorgang erinnert, der bei Ausführung anderer Versuche beobachtet wurde:

Auf etwa  $800\text{ C}^0$  erhitzte Schamottezylinderchen von 5 cm Durchmesser wurden noch heiß dem elektrischen Ofen entnommen und auf eine steinerne kalte Tischplatte gestellt. Nach wenigen Sekunden sprangen sie unter ziemlich starkem Knall von der Tischplatte ab und wurden etwa 1 m weit fortgeschleudert. Eine Beschädigung der Zylinder war nach diesem Vorgang nicht bemerkbar, der sich bei 5 Zylindern viermal wiederholte. Es hatte sich augenscheinlich zwischen Tischplatte und Versuchskörper eine dünne Schicht überhitzten Dampfes gebildet, die plötzlich die durch das Gewicht des Körpers erzeugte Spannung überwand und diesen fortschleuderte.

Da nun aber die Explosionserscheinungen an dem Granitbeton der Brandproben nur in einem einzigen Falle aufgetreten sind, muß angenommen werden, daß in diesem Falle durch das Zusammentreffen besonderer Umstände die in den miteinander nicht in Verbindung stehenden Poren eingeschlossenen Wasser- und Luftmengen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander gestanden haben, eine ganz bestimmt begrenzte Porenfüllung vorlag, und es nicht gelungen ist, bei den nachfolgenden Versuchen dieses zufällig vorhandene Gemenge von Wasser und Luft in den Poren wieder zu erreichen.

Aehnliche Erscheinungen kennt man auch bei Explosionen von Gas- oder Staubgemischen.

Es sei z. B. daran erinnert, daß Gemische aus benzindampfhaltiger Luft mit Auspuffgasen von Benzinmotoren nur dann explodieren, wenn etwa doppelt so viel Luft als Auspuffgas zugegen ist. Aber auch diese Gemische explodieren nur, wenn der Benzindampfgehalt innerhalb bestimmter Grenzen, nämlich zwischen 1,6 und 4,5 Raumprozent liegt.

So kann man sich sehr wohl denken, daß ein ganz bestimmtes Verhältnis von Luftraum und Wasserdampf unterhalb der dichten Oberfläche einer erhitzten Betonwand vorhanden sein muß, wenn explosionsartige Absprengungen eintreten sollen.

Da diese für die Explosion günstigen Bedingungen bei Bauwerken verhältnismäßig nur sehr selten vorhanden sein werden, ist den beobachteten Zerstörungserscheinungen bei Eintritt von Schadenfeuern keine weitgehende praktische Bedeutung beizulegen. Will man solche Explosionserscheinungen sicher verhindern, so ist es nur notwendig, für das Vorhandensein luft- und wasserdurchlässiger Oberflächen der Betonwände, sei es durch geeignete Auswahl der Zuschlagstoffe und Mischung, sei es durch entsprechende Bearbeitung der Oberflächen, Sorge zu tragen.





WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307171

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn,  
Wilhelmstraße 90.

Deutscher Ausschuß für Eisenbeton.

Heft A.

**Widerstand einbetonierten Eisens gegen Gleiten.  
Einfluß der Haken.**

Von

**Dr.-Ing. C. BACH**

K. Württ. Baudirektor, Professor  
an der K. Technischen Hochschule  
Stuttgart

und

**O. GRAF**

Ingenieur der Materialprüfungs-  
anstalt Stuttgart.

Mit 16 Textabbildungen.

1913.

Geheftet 1 Mark.

Heft B.

**Beton und Eisen in Mauerwerk und Mörtel.**

Von

**M. GARY**

Geheimer Regierungsrat, Professor, Abteilungsvorsteher  
im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde.

Mit 3 Abbild. u. 3 Tabellen.

1917.

Geheftet 1 Mark.

Heft C.

**Eigenschaften von Stampfbeton.**

Von

**M. GARY**

Geheimer Regierungsrat, Professor  
Abteilungsvorsteher im Kgl. Material-  
prüfungsamt Berlin-Lichterfelde.

und

**M. RUDELOFF**

Geheimer Regierungsrat, Professor  
Direktor des Kgl. Materialprüfungs-  
amtes Berlin-Lichterfelde.

Mit 8 Abbild. u. 8 Tabellen.

1917.

Geheftet 2 Mark.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300748