

HEFT 42

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

SCHWINDUNG VON ZEMENTMÖRTELN
AN DER LUFT

II. BERICHT ÜBER
VERSUCHE IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT
BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

ERSTATTET VON

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

BERLIN 1918.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.



701240

Alle Rechte vorbehalten.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300747

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

SCHWINDUNG VON ZEMENTMÖRTELN
AN DER LUFT

II. BERICHT ÜBER
VERSUCHE IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT
BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

ERSTATTET VON

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

MIT 16 TEKTABBILDUNGEN UND 22 TABELLEN.

BERLIN 1918.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.





III-307172

~~III 17342~~

Alle Rechte vorbehalten.

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

3011-3-224/2018

Akc. Nr. 484/52

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Voruntersuchungen	1
Ergänzungsversuche und Arbeitsplan	2
Probematerial	3
Bindemittel	3
Sande	6
Herstellung der Mörtelproben	9
Messungen im Bauschingerapparat	15—26
A. Allgemeine Beobachtungen	26
B. Versuchsergebnisse	29
Allgemeine Erfahrungen	29
Einfluß der Art der Aufbereitung des Zementes	29
Einfluß der Sande	30
Einfluß der Eiseneinlagen auf die Schwindung	31
C. Schlußfolgerungen	35

Voruntersuchungen.

In Heft 35 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton sind die Ergebnisse der Versuche mitgeteilt worden, die als Vorversuche mit Mörteln für in Aussicht genommene umfangreichere Versuchsreihen über das Schwellen und Schwinden von Beton verschiedener Mischung geplant waren und z. T. bereits ausgeführt worden sind.

Diese Vorversuche bezweckten zunächst, die Schwindungsverhältnisse von Zementen verschiedenen Ursprungs festzustellen, um eine Grundlage für die Wahl der für die Hauptversuche in Betracht kommenden Zemente zu gewinnen. In der ersten Versuchsreihe waren alle zur Zeit in Deutschland im Gebrauch befindlichen Herstellungsverfahren der Zemente vertreten, so daß die untersuchten Zemente als Typen ihrer Art gelten konnten. Auf Grund der Untersuchungen mußte angenommen werden, daß die beobachtete verschieden große Neigung zur Raumveränderung bei den verschiedenen Zementen in Wasser und in Luft auf das Herstellungsverfahren der Zemente zurückzuführen ist. Es wurde vermutet, daß das Brennen im Schachtofen mit dem damit unvermeidlich verbundenen Schwachbrand, vielleicht in Verbindung mit feiner Mahlung die Neigung der Zemente zur Schwindung je nach Rohmasse und Brennstoff begünstigt. Die Eigenschaft der Schwindung aber ist es besonders, die im Betonbau — hauptsächlich im Eisenbetonbau — störend empfunden wird, weil auf sie — ob mit Recht oder Unrecht bleibe dahingestellt —, ein großer Teil der an Betonbauten beobachteten Risse zurückgeführt wird. Die Vorversuche sind dann auf Mörtel erweitert worden, zu denen Berliner Mauersand, Freienwalder Rohsand und Isarsand Verwendung gefunden hat. Aus diesen Versuchen konnte geschlossen werden:

1. An der Luft schwinden alle Zementmörtel umso stärker, je fetter die angewendete Mischung ist; das Höchstmaß der Schwindung wird im allgemeinen nach 3 Monaten erreicht. Die Schwindung wird umso länger aufgehalten, je länger die Körper feucht bleiben.
2. Nach 7 Tage langem Anfeuchten verschwindet der Unterschied zwischen der Empfindlichkeit der Mischungen 1 : 3 und 1 : 5. Die Schwindung erreicht das Mindestmaß, sobald die Menge des Bindemittels so gering ist, daß die Hohlräume des Sandes nicht mehr ausgefüllt werden. Die mittlere Schwindung beträgt bei beiden Mischungen (1 : 3 und 1 : 5) im Mörtel $\frac{1}{20}$ v. H. der ursprünglichen Länge des Körpers, d. h. auf 1 m Baulänge 0,5 mm.
3. Bei Lagerung an der Luft schwinden die mit Berliner Sand gefertigten Körper weniger als die aus Isarsand gefertigten, woraus zu schließen ist, daß kalkige und tonige Sande wenig geeignet für solche Bauwerke sind, die an der Luft liegen und bei denen Schwindrisse nach Möglichkeit vermieden werden müssen.
4. Die Neigung der Zemente zum Schwinden wird schon bei Zusatz von 3 Teilen Sand beträchtlich herabgemindert derart, daß die Unterschiede der reinen Zemente untereinander in dieser Beziehung nahezu völlig ausgeglichen werden.

Mit dem Sande *f* sollen außerdem folgende Versuche ausgeführt werden:

A. Das durch das 1 mm Sieb fallende Material soll auf feineren Sieben von 120, 324 und 900 Maschen auf 1 qcm abgeseibt werden. Nötigenfalls ist feinstes Korn durch Mahlung herzustellen.

Von diesen feinsten Körnungen ist dem Ursande soviel zuzusetzen, daß ein möglichst dichtes Gemisch entsteht.

B. Aus dem Ursande ist das Feinste auf einem Siebe von 1 mm Maschenweite zu entfernen.

Von den Gemischen *A* und *B* ist der Undichtigkeitsgrad festzustellen.

Die beiden so gewonnenen Sande, dichter und undichter, sollen mit soviel Zement versetzt werden, daß die Hohlräume der Sande eben noch ausgefüllt werden. Dazu sind die Bindemittel a_1 und a_2 zu verwenden.

Einige Körper sollten mit Rundeisenstäbchen versehen werden, um die Veränderung des Probekörpers im Vergleich zu den Körpern aus gleicher Mischung ohne Eiseneinlagen zu beobachten. Es wurde vermutet, daß die Schwindung an den Körpern mit Eiseneinlagen anders verlaufen würde als die Schwindung ohne Eisen.

Probematerial.

I. Bindemittel.

a) Portlandzement.

1. Der Portlandzement wurde aus einer norddeutschen Fabrik entnommen, welche ihren Zement aus Kreide auf dem Wege des Schlämmverfahrens erzeugt und im kontinuierlichen Schachtofen brennt. Unter den Rosten der im Betriebe befindlichen Doppelschachtofen wurden einige Säcke mit Klinkern gefüllt, die zur Abfuhr in die Mühle als mahlfertiger Zement bereit lagen und bereits durch Aussuchen der größeren Stücke Schwachbrand von diesem soweit befreit waren, als fabrikmäßig üblich ist.

2. Ein dritter Sack ist mit dem ausgesuchten Schwachbrand gefüllt worden.

3. Der Drehrohrofenzement wurde von dem Klinkerlager einer Fabrik entnommen, die Muschelkalk auf trockenem Wege aufbereitet und im Drehrohrofen brennt. Die Klinker waren nahezu frei vom Schwachbrand. Den Klinkern wird nach Angabe des Betriebsleiters 2% Rohgips zugesetzt, und eine entsprechende Menge Rohgips ist auch aus der Fabrik entnommen worden. Der Zement wird in der Fabrik so fein gemahlen, daß auf dem 900-Maschen-Sieb etwa 0,1%, auf dem 5000-Maschen-Sieb etwa 10—12% Rest verbleiben. Der Betriebsleiter machte von vornherein darauf aufmerksam, daß der Klinker beim Mahlen in kleinen Versuchsmühlen leicht schnellbindenden Zement ergibt.

b) Eisenportlandzement.

Die Klinker zu dem Eisenportlandzement sind in einem norddeutschen Werk aus der Klinkerhalle von demjenigen Haufen entnommen worden, der zur Zementerzeugung in die Mühle wandert. Aus dem Becherwerk an der Mühle ist außerdem ein Sack noch warme, luftgranulierte Schlacke abgefüllt worden und dem Sack sind einige Stücke Rohgips zugefügt, wie er in der Fabrik Verwendung findet. Die entnommenen Schlacken und Klinker werden in der Fabrik nach Angabe des Betriebschemikers in folgendem Verhältnis gemischt: 112 kg Klinker und 48 kg Schlacke. Dem Gemisch werden $2-2\frac{1}{4}\%$ Gips zugesetzt.

c) Hochofenzement.

Die Materialien für den Hochofenzement sind ebenfalls den Vorräten eines Werkes in Norddeutschland entnommen, und zwar ein Sack Klinker aus dem Drehrohrofen, ein Sack mit einer Durchschnittsprobe granulierter Schlacke und

Tab. 1. Ergebnisse der Normenprüfung der.

1	2	3	4	5		6		7	8	9	10	11	12	13	14	15			
				R _f	R _r	Wasser										Siebrückstände in %			
Art des Zementes	Bezeichnung	Spezifisches Gewicht a) bei Anlieferung b) nach Glühen	Glühverlust %	Ein Liter wog		Wasser für sirupartige Beschaffenheit		300 g Zement mit der in Spalte 8 angegebenen Wassermenge angemacht	Während der Bestimmung der Bindezeit betrug im Durchschnitt die	Raumbeständigkeit nach Normen	Siebrückstände in %			Bemerkungen					
				R _f eingelaufen	R _r eingerüttelt	für die Bindeprobe	für die Erhärtung				Wärme der Luft	Wärme des Wassers	Luftfeuchtigkeit		10000	5000	900		
a) Portlandzement	Z ₁	a) 3,175 b) 3,235	1,17	1,148	1,933	51,0	35,0	a) 6 Min. b) 8 1/4 Std.	7,5	17,7	17,0	81	be-	1)	—	11,6	0,0	Schachtofenzement, Schwachbrand ausgesucht.	
	Z ₂	a) 3,167 b) 3,218	1,76	1,130	1,901	38,5	35,0	a) 7 Min. b) 7 3/4 Std.	7,7	17,9	17,0	75	„	1)	—	11,4	0,0	Derselbe mit 10 v. H. Schwachbrand-Zusatz.	
	R	a) 3,133 b) 3,243	2,20	1,059	1,876	35,0	26,0	a) 6 Min. b) 1 1/2 Std.	11,8	18,2	17,0	76	„	1)	—	12,8	0,0	Drehofenzement.	
b) Eisenportlandzement	K	a) 3,069	1)	1,149	1,994	31,5	23,5	a) 3 1/2 Std. b) 8 1/2 Std.	5,7	17,8	17,0	78	„	1)	—	12,3	0,0	Eisenportlandzement.	
c) Hochofenzement	B	a) 2,985	1)	1,089	1,840	37,5	27,5	a) 3 1/2 Std. b) 11 Std.	1,4	17,9	17,0	79	„	1)	—	12,3	3,5	0,0	Hochofenzement.

ein Beutel Gips. Nach Angabe der Fabrikleitung war die Schlacke zwecks Erzeugung von Hochofenzement vorher bei 400–500°C zu trocknen. Schlacken, Klinker und Gips waren im Verhältnis 70:30:2 zu mischen und daß Gemisch so zu feinen, daß der Rückstand des Mehles auf dem 5000-Maschen-Sieb etwa 6–7% und auf dem 10000-Maschen-Sieb etwa 12–15% beträgt.

Alle Bindemittel wurden von vereideten Beamten entnommen und gut verpackt mit der Plombe des Amtes verschlossen nach Lichterfelde eingeschickt.

Die einzelnen Materialien wurden zunächst zu Gries zerkleinert, dann in dem vorgeschriebenen Verhältnis gemischt, der Vorschrift entsprechend fein gemahlen und durch Sieb- und Abbindeversuche kontrolliert. Nach Einstellung der richtigen Feinheit und Abbindezeit sind die fertiggestellten Bindemittel nach den Normen geprüft worden und haben die in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnisse geliefert.

Die beiden Portlandzemente „Z₁“ und „Z₂“ haben die für neuzeitliche Zemente übliche Feinmahlung erfahren, beginnen, weil sie frisch verarbeitet wurden, schon nach 6–7 Minuten zu erhärten, sind aber erst nach 8 1/4 bis 9 3/4 Stunde abgebunden. Der Zusatz von Schwachbrand setzt sowohl das Raumgewicht als die Abbindezeit und die Festigkeit etwas herab.

1) Nicht festgestellt.

zu den Versuchen benutzten fünf Bindemittel.

16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1 Gewt. Zement und 3 Gewt. Normensand									
Wasserlagerung						Kombin. Lagerung			
Wasserzusatzz %	Zugproben ZerreiBungsquerschnitt = 5 qcm			Druckproben Gedrückte Fläche = 50 qcm			Druckfestigkeit kg/qcm 28 Tage	Raumgew. nach 24 Std. g/ccm	Bemerkungen
	Raumgew. nach 24 Std. g/ccm	Zugfestigkeit kg/qcm		Raumgew. nach 24 Std. g/ccm	Druckfestigkeit kg/qcm				
		7 Tage	28 Tage		7 Tage	28 Tage			
11,0	2,329	24,3	—	2,268	187	268	311	2,268	Schachtofenzement, Schwachbrand ausgesucht.
11,25	2,329	21,9	—	2,256	167	253	291	2,256	Derselbe mit 10 v. H. Schwachbrand-Zusatz.
8,75	2,300	24,0	—	2,251	229	315	359	2,251	Drehofenzement.
8,25	2,286	27,2	—	2,242	245	416	460	2,242	Eisenportlandzement.
8,5	2,286	33,1	—	2,248	285	405	444	2,248	Hochofenzement.

Der Drehrohrofenzement ist tunlichst genau nach der Vorschrift gefeint worden, hat auf 900 Maschen keinen Rückstand ergeben, dafür aber auf dem 5000-Maschen-Sieb statt 12,0 etwas mehr, nämlich 12,8 v. H. Dieser geringe Unterschied dürfte indessen nicht von Belang sein.

Wie der Betriebsleiter der betreffenden Fabrik vorhersagte, band der Zement ziemlich schnell ab. Die Erhärtung begann nach 6 Minuten und der Abbindeprozeß war nach 1 1/2 Stunde beendet. Auch durch Lagerung ließ sich hierin keine Aenderung erzielen. Von irgendwelchen fremden Zusätzen mußte mit Rücksicht auf den Zweck der Versuche abgesehen werden. Da indessen der Mörtel für die Herstellung der Versuchsstäbe nur in kleinen Mengen angerührt und sofort verarbeitet wurde, ist nicht anzunehmen, da die kurze Abbindezeit den Bestand der Körper irgendwie nennenswert beeinflusst hat.

Der durch Mischung der Klinker mit den vorgeschriebenen Schlackenmengen und gleichzeitige Mahlung im Laborium erzeugte Eisenportlandzement „K“ hat sich bei der Normenprobe als ein sehr guter, durchaus normengemäßer Zement erwiesen, und auch der auf gleiche Art hergestellte Hochofenzement entspricht den an ein gutes hydraulisches Bindemittel zu stellenden Anforderungen. Er mußte, um ihn der Fabrikware gleichzumachen, noch wesentlich feiner gemahlen werden als die anderen Zemente und hatte auf 5000 Maschen nur 3,5 v. H. und auf 10000 Maschen nur 12,3 v. H. Rückstand.

Die von einer Seite im Deutschen Ausschuss für Eisenbeton geäußerte Befürchtung, daß es nicht gelingen würde, im Laboratorium Zemente zu erzeugen, welche der praktischen Herstellung entsprechen, hat sich somit nicht bewahrheitet. Wenn es auch sonst erwünscht sein mag, Versuche, die zur Beurteilung gewisser Eigenschaften von Bindemitteln dienen sollen, nur an Probemengen auszuführen, die auf den Werken entnommen oder aus dem Handel aufgekauft werden, so mußte hiervon bei den vorliegenden Versuchen schon um deswillen Abstand genommen werden, weil besonderer Wert darauf zu legen war, daß die Zusammensetzung der Zemente genau bekannt, daß sie (mit Ausnahme von B) möglichst gleich fein gemahlen und daß sie möglichst gleich frisch waren, als sie zu den Versuchskörpern verarbeitet wurden, denn es war aus den Vorversuchen bereits bekannt, daß die Feinheit der Mahlung das Schwinden beeinflusst, und es leuchtete ohne weiteres ein, daß die Treib- oder Schwindneigung eines Zementes umso stärker in die Erscheinung treten muß, je frischer von der Mühle weg er zur Verarbeitung kommt. Da aber der durch den Arbeitsplan geforderte Vergleich nur dann Erfolg versprach, wenn alle Versuchsbedingungen möglichst auf gleiche Grundlage gestellt wurden, mußte, wie geschehen, verfahren werden. Die feinere Mahlung des Hochofenzements B ist dabei mit in Kauf zu nehmen, weil nach Mitteilung der Betriebsleitung in den dem Verein deutscher Hochofenzementwerke angehörenden Hochofenzementfabriken die höchste Feinmahlung Brauch ist und für diese Zemente auch nicht entbehrt werden kann.

II. Sande.

Sämtliche Sande wurden den Beständen des Amtes entnommen und auf dem 4-mm-Sieb abgeseibt. Ueber ihre Raumgewichte und ihren Dichtigkeitsgrad gibt Tab. 2 Aufschluß.

Bezüglich der Auswahl der Siebe für die Sichtung der Sande ist folgendes zu bemerken:

Im Handel sind keine Siebe zu haben, die genau der im Arbeitsplan vorgeschriebenen Maschenweite, von 4, 3, 2 und 1 mm, entsprechen¹⁾. Man muß sich deshalb damit begnügen, Siebe zu verwenden, die annähernd den gestellten Anforderungen entsprechen. Das handelsübliche Sieb mit 60 Maschen auf 1 qcm hat ungefähr 1 mm weite Maschen. Demgemäß stellt sich das Verhältnis von Drahtstärke zur Lochweite wie 2:3. Danach ergeben sich für 2 mm Weite 15 Maschen, für 4 mm Weite 3,75 Maschen. Diese Siebe werden als Siebe mit 16 und mit 4 Maschen auf 1 qcm bezeichnet. Entsprechend wurde aus dem Handel ein 3-mm-Sieb beschafft.

Um den Vergleich mit früheren Versuchen nicht zu verlieren, sind für die Sichtung und Kennzeichnung der Sande die früher bereits benutzten Siebe für die feineren Körnungen auch bei den neuen Versuchen beibehalten worden und auch die gleichen Bezeichnungen gewählt. Es kamen demnach zur Anwendung:

Sieb mit 4 mm Maschenweite	=	4	Masch. auf 1 qcm bez.	00
„ „ 3 „	„	=	9	„ „ 1 „ „ 0
„ „ 2 „	„	=	16	„ „ 1 „ „ 1
„ „ 1 „	„	=	60	„ „ 1 „ „ 2
		Sieb mit 120	„ „ 1	„ „ 3
		„ „ 324	„ „ 1	„ „ 4
		„ „ 900	„ „ 1	„ „ 5

Die Sande waren erheblich gröber als die zu den früheren Mörtelversuchen (Heft 35 der Mitteilungen des deutschen Ausschusses S. 13 u. 14) benutzten, die das 60-Maschensieb völlig passierten. Es ließ sich also erwarten, daß die Unterschiede der Sande unter sich bei den neuen Schwindversuchen deutlicher in die Erscheinung treten würden, als bei den ersten Versuchen.

Daß dies der Fall war, wird weiter unten näher dargelegt.

¹⁾ S. Gary: Sand- und Zementsiebe. Mitt. aus den techn. Versuchsanstalten 1896 S. 294.

Ueber die Korngröße der verwendeten Sande gibt Tab. 3 und Abb. 1 Aufschluß. Es ist ersichtlich, daß die Sande nicht nur in ihrer Zusammensetzung nach Mineralien, sondern auch nach der Korngröße und der Körnerbeschaffenheit innerhalb der Grenzen von 0—4 mm sehr charakteristische Unterschiede aufweisen. Während der Freienwalder Rohsand vorwiegend aus Mittelkorn besteht, sind im Isarsand die Körner verschiedener Größe ziemlich gleichmäßig verteilt, wobei das größte Korn etwas überwiegt. Im Rheinsand ist dagegen die Körnung

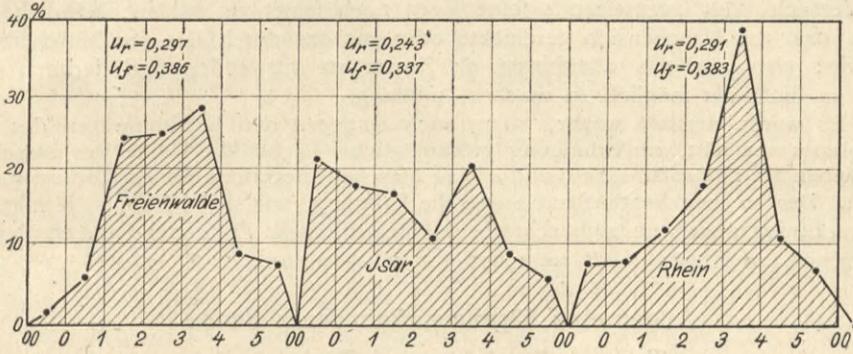


Abb. 1. Zeichnerische Darstellung der Menge der verschiedenen Körnungen in den verwendeten Ursanden.

zwischen 120 und 324 Maschen auf 1 qcm am stärksten vertreten, so daß also dieser Sand als der feinste nach dem Gefühl und dem Aussehen anzusprechen ist.

Die Farbe des Freienwalder Rohsandes ist weiß-grau, die Körner sind kantig mit glatter Oberfläche und bestehen fast ausschließlich aus Quarz, der Gehalt an Abschlümbbarem beträgt 0,3 v. H.

Der Isarsand ist gelblich-grau gefärbt, hat meist flach-rundliche bis längliche Körner (vorwiegend Kalksteintrümmer) mit matter Oberfläche. Der Gehalt an Abschlümbbarem beträgt 3,0 v. H.

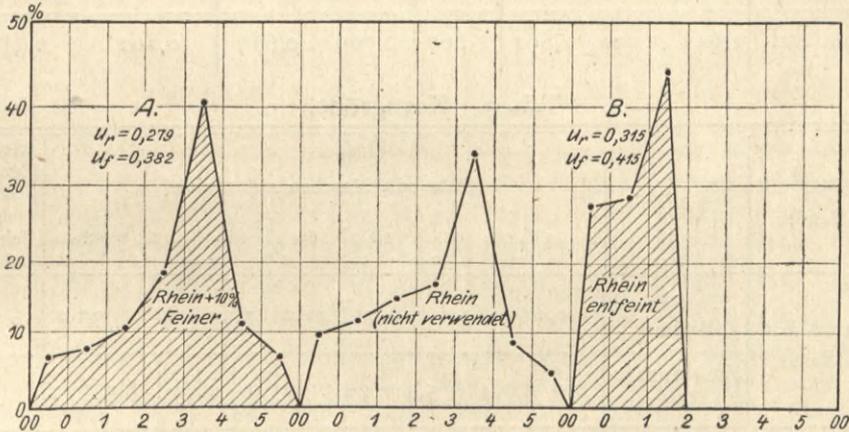


Abb. 2. Zeichnerische Darstellung der Menge der verschiedenen Körnungen in den besonders hergerichteten Rheinsanden.

Der Rheinsand hat bräunlich-graue Farbe; die Körner haben meist rundliche Form und ziemlich glatte Oberfläche. Sie bestehen aus verschiedenartigen Gesteinstrümmern und der Gehalt an Abschlümbbarem beträgt 1,3 v. H.

Nach dem Arbeitsplan sollte versucht werden, die Dichtigkeit des Rheinsandes durch Zusatz feinsten Teile zum Ursande noch zu erhöhen. Um diesen Sand A herzustellen, wurde zunächst aus einer bestimmten Menge das durch das 60-Maschen-Sieb hindurchfallende Feine in wechselnden Mengen dem Ursande

zugesetzt und das Raumbgewicht der so entstandenen Sande festgestellt. Es ergab sich bei der Mischung 0,9 Ursand + 0,1 Feinsand (60 Maschen = 1 mm)

$$R_r = 1,923, \quad R_f = 1,648, \quad u_r = 0,279, \quad u_f = 0,382.$$

Der Unterschied zwischen dem Ursande und diesem Sande ist nur gering, wie auch aus Abb. 1 rechts und Abb. 2 links hervorgeht. Gleichwohl ließ sich durch Zusatz von feinstem Korn der Sand nicht weiter verdichten, vielmehr wurde mit der größeren Menge des Feinen das Haufwerk immer undichter. Auch der Versuch, das zuzusetzende feine Korn noch feiner zu wählen, nämlich das durch das 324-Maschensieb geschickte oder gar das durch das 600-Maschensieb fallende, also nur das allerfeinste als Zusatz zu verwenden und dadurch den Sand so dicht als möglich zu machen, mißlang.

Es wurde deshalb weiter, wenn auch entgegen den Bestimmungen des Arbeitsplanes versucht, zur Erlangung größtmöglicher Dichte die Hälfte des zwischen den Sieben Nr. 3 (120 Maschen) und 4 (324 Maschen) liegenden feinen Kornes zu entfernen. Der so entstehende Sand zeigte die Körnung, wie sie in Abb. 2 die mittlere nur von Linien umgrenzte, nicht schraffierte Fläche darstellt. Für diesen Sand ergab sich

$$R_r = 1,890, \quad R_f = 1,646, \quad u_r + 0,291, \quad u_f = 0,382.$$

Allgemeine Eigenschaften der 3 Sande.

Tab. 2. Gewichte und Dichtigkeit.

Art des Sandes	Mittleres Gewicht für 1 Liter in kg			Spezifisches Gewicht s	Dichtigkeitsgrad		Undichtigkeitsgrad	
	eingefüllt ¹⁾ R_f	eingelaufen ²⁾ R_t	eingerüttelt ²⁾ R_r		$d_r = \frac{R_r}{s}$	$d_f = \frac{R_f}{s}$	$u_r = 1 - d_r$	$u_f = 1 - d_f$
Freienwalder Rohsand	1,638	1,591	1,874	2,667	0,703	0,614	0,297	0,386
Isarsand	1,785	1,728	2,038	2,691	0,757	0,663	0,243	0,337
Rheinsand	1,645	1,592	1,891	2,667	0,709	0,617	0,291	0,383

Tab. 3. Korngröße.

Art des Sandes	Rückstand %	Siebe mit Maschen auf 1 qcm								Durchgang durch das feinste Sieb
		4 ∞	9 0	16 1	60 2	120 3	324 4	900 5		
Freienwalder Rohsand	Auf den Sieben	0,0	1,4	6,7	31,2	56,2	84,4	92,0	—	
	Zwischen je 2 Sieben	0,0	1,4	5,3	24,5	25,0	28,2	8,5	7,1	
Isarsand	Auf den Sieben	0,0	21,6	38,9	55,2	65,7	86,1	94,7	—	
	Zwischen je 2 Sieben	0,0	21,6	17,3	16,3	10,5	20,4	8,6	5,3	
Rheinsand	Auf den Sieben	0,0	7,2	14,7	26,3	43,9	82,6	93,2	—	
	Zwischen je 2 Sieben	0,0	7,2	7,5	11,6	17,6	38,7	10,6	6,8	

¹⁾ Im 10-Litergefäß ermittelt. ²⁾ Trocken geprüft.

Die Mischung war demnach in der Dichtigkeit dem Ursande fast gleich.

Da es somit nicht gelang, den von der Natur schon außerordentlich dicht gemischten Rheinsand künstlich wesentlich zu verbessern, wurde der oben erwähnte Sand, der 10 v. H. Zusatz an feinem Korn enthält, den Versuchen als Sand *A* zugrunde gelegt.

Der Arbeitsplan forderte weiter, aus dem Rheinsand das Feinste auf dem 60-Maschensieb zu entfernen und den so als Rückstand gewonnenen Sand *B* als sicher undichten Sand zum Vergleich zu verwenden. Die Körnung dieses Sandes *B* ist in Abb. 2 rechts dargestellt. Für ihn betrug

$$R_r = 1,829, \quad R_f = 1,560, \quad u_r = 0,315, \quad u_f = 0,415.$$

Herstellung der Mörtelproben.

Nach dem Arbeitsplan sollte die Schwindung der Körper an je 3 Stäben auf dem Bauschingerschen Tasterapparat ermittelt werden. Zum Einförmigen der Körper wurde die übliche Messingform von 10 cm Länge benutzt. Die Stäbchen wurden zur Sicherung zuverlässiger Messungen an den Enden mit Achatplättchen versehen, die sorgfältig eingeschliffene Körnung trugen¹⁾.

Sämtliche Mörtel wurden in weichem Zustande in die Formen eingefüllt. Nach dem Arbeitsplan waren 2 Mischungsverhältnisse zu wählen:

1. eine magere Mischung: 1 Rtl. Zement zu 5 Rtl. Sand,
2. eine fette Mischung, der so viel Zement zugesetzt werden sollte, daß die Hohlräume des Sandes eben noch durch den Zement ausgefüllt wurden.

Den Mörtel-Mischungen wurden die in Tab. 4 zusammengestellten, an den trocknen Zementen und Sanden im 10-Litergefäß ermittelten Raumgewichte zugrunde gelegt.

Tab. 4. Raumgewichte, im 10-Litergefäß ermittelt.

Ver- such Nr.	Bindemittel					Ur-Sande			Aus Sand <i>f</i> bereitete Sande	
	<i>Z</i> ₁	<i>Z</i> ₂	<i>R</i>	<i>K</i>	<i>B</i>	<i>d</i> Freien- walde	<i>e</i> Isar	<i>f</i> Rhein	<i>A</i>	<i>B</i>
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	12,06	11,98	10,90	12,09	11,24	16,40	17,81	16,40	16,48	15,57
2	12,11	11,98	10,94	12,13	11,25	16,40	17,88	16,45	16,48	15,62
3	12,14	11,97	10,98	12,09	11,23	16,34	17,85	16,50	16,48	15,62
Mittel	12,10	11,98	10,94	12,10	11,24	16,38	17,85	16,45	16,48	15,60
11 =	1,210	1,198	1,094	1,210	1,124	1,638	1,785	1,645	1,648	1,560

Nach Tab. 2 ergeben sich als Mischungsverhältnis nach Raumteilen für die Mörtel, in denen die Hohlräume des Sandes noch eben durch den Zement ausgefüllt werden, die in Tab. 5 eingesetzten Werte für u_r und u_f . Der Mischung zugrunde zu legen sind die Werte u_f . Diesen Werten 20 v. H. Zement zur Ver kittung der Sandkörner hinzugefügt, ergeben sich die in der letzten Zeile der Tab. 5 fett gedruckten Verhältnis zahlen, nach denen die Mörtel gemischt wurden.

Der Wasseranspruch für sämtliche Mischungen ist aus Tab. 6 ersichtlich.

Die dichtesten Sande brauchten am wenigsten Wasser; eine Ausnahme macht der künstlich von feinem Korn befreite Sand *B*, in dem das Wasser nicht mehr die Hohlräume füllen, sondern nur die Körneroberflächen benetzen kann.

¹⁾ Vergl. Gary: Die Körnerplättchen zum Bauschingerschen Tasterapparat. Mitteilungen aus den Technischen Versuchsanstalten, 1903, S. 106.

Tab. 5. Mischungsverhältnisse.

Für den Undichtigkeitsgrad	Freienwalder Rohsand	Isarsand	Rheinsand	Rheinsand	
	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	A (gedichtet)	B (entfeint)
μ_r	1:3,3	1:4,1	1:3,4	1:4,1	1:3,2
μ_f	1:2,6	1:3,1	1:2,6	1:3,1	1:2,4
mit 20 v. H. Zementzuschlag	1:2,2	1:2,6	1:2,2	1:2,6	1:2,0

Tab. 6. Wasserzusätze.

Zemente:		Z_1	Z_2	R	K	B
Mischung	Sand	Wasseranspruch in %				
I mager	<i>d</i>	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
	<i>e</i>	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
	<i>f</i>	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
	A	15,0	15,0	—	—	—
	B	13,2	13,2	—	—	—
2 fett	<i>d</i>	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
	<i>e</i>	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
	<i>f</i>	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Weil zu befürchten stand, daß die am 14. August 1916 und folgenden Tagen kellengerecht in die Form gebrachten Mörtel aus frischem Zement, bei Feuchthaltung von der Fertigung an, wie im Arbeitsplan vorgesehen ist, sich am ersten Prüfungstermin (nach 3 Tagen) noch nicht ausreichend sicher handhaben lassen würden, wurde die Reihe I der Körper etwas abweichend vom Arbeitsplan den ersten Tag in der Form offen an der Luft gelagert und dann erst 2 Tage mit feuchten Tüchern bedeckt gehalten, während vom 4. Tage an die Körper an der Luft im Zimmer bei möglichst gleichbleibender Wärme und Luftfeuchtigkeit lagerten. Als sich dann zeigte, daß nach 90 Tagen der weitaus größte Teil der Probekörper noch nicht zum Gleichgewichtszustand gekommen war, sondern sich an der Luft weiter verkürzte, wurden die Messungen über den Arbeitsplan hinaus nach 6 Monaten wiederholt und können noch weiter jahrelang fortgesetzt werden, wenn das sich als notwendig erweisen sollte.

Die Ergebnisse der Messungen enthalten die Tab. 7 bis 11. Die Werte sind in Abb. 3 bis 7 aufgetragen (linke Liniengruppe bez. Reihe I).

Tab. 12 enthält die Zusammenstellung der Mittelwerte für die 3 Ursande, die auch in Abb. 8 aufgetragen sind und Tab. 13 die Mittelwerte der Körper aus den beiden künstlich veränderten Rheinsanden im Vergleich mit dem Ursand bei Verwendung der Schachtofenzemente Z_1 und Z_2 (Abb. 9).

Genau nach dem Arbeitsplan wurden die Körper einer Reihe II behandelt; sie wurden nämlich unmittelbar nach der Herstellung, am 20. September 1916 und folgenden Tagen, mit feuchten Tüchern bedeckt und 3 Tage lang so gehalten; dann erst lagerten sie an der Luft.

In Tab. 14 bis 20 sind die beobachteten Messungen zusammengefaßt und in Abb. 3 bis 7 und 9 neben den Werten der ersten Reihe aufgetragen (rechte Liniengruppe). Abb. 10 enthält die Mittelwerte der Reihe II nach Tab. 14 bis 18 und Abb. 3 bis 7.

Zeichenerklärung für Abb. 3—15.

—	fett	○	○	Freienwalder Rohsand
- - -	1:5	×	×	Isarsand
—	Mittelwert	•	•	Rheinsand

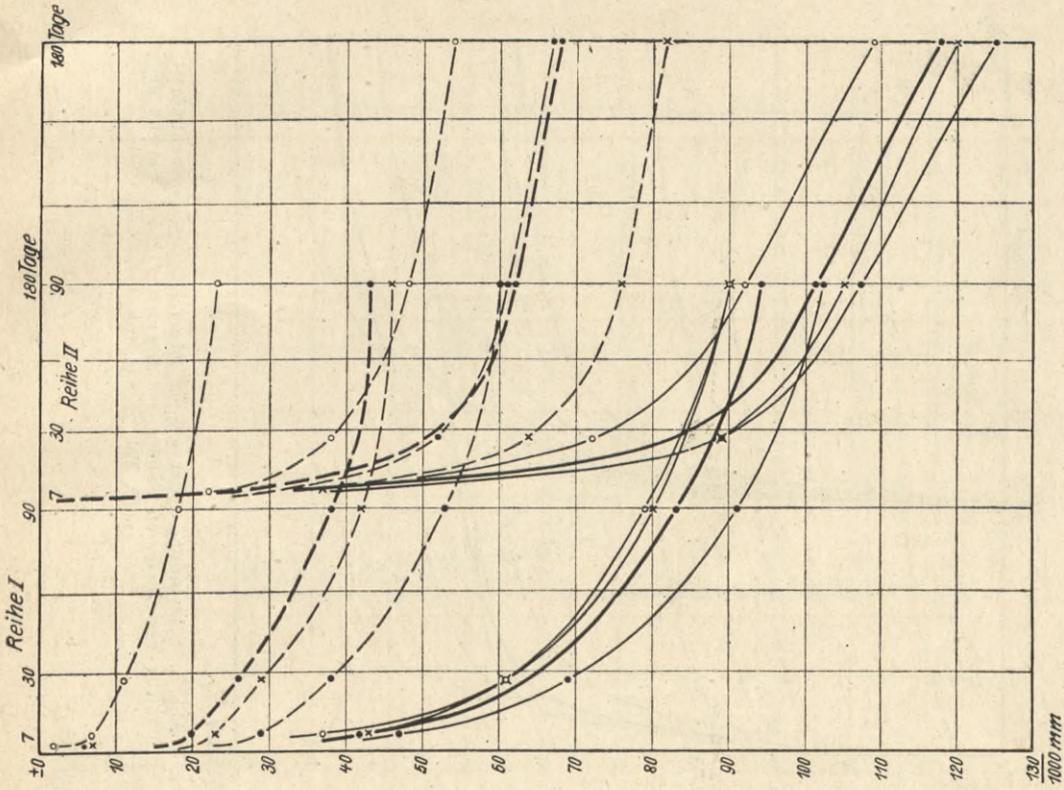


Abb. 4. Schwindung fetter — und magerer — Zementmörtel mit 3 verschiedenen Sanden und Schachtofenzement Z_2 nach Tab. 8 und Tab. 15.

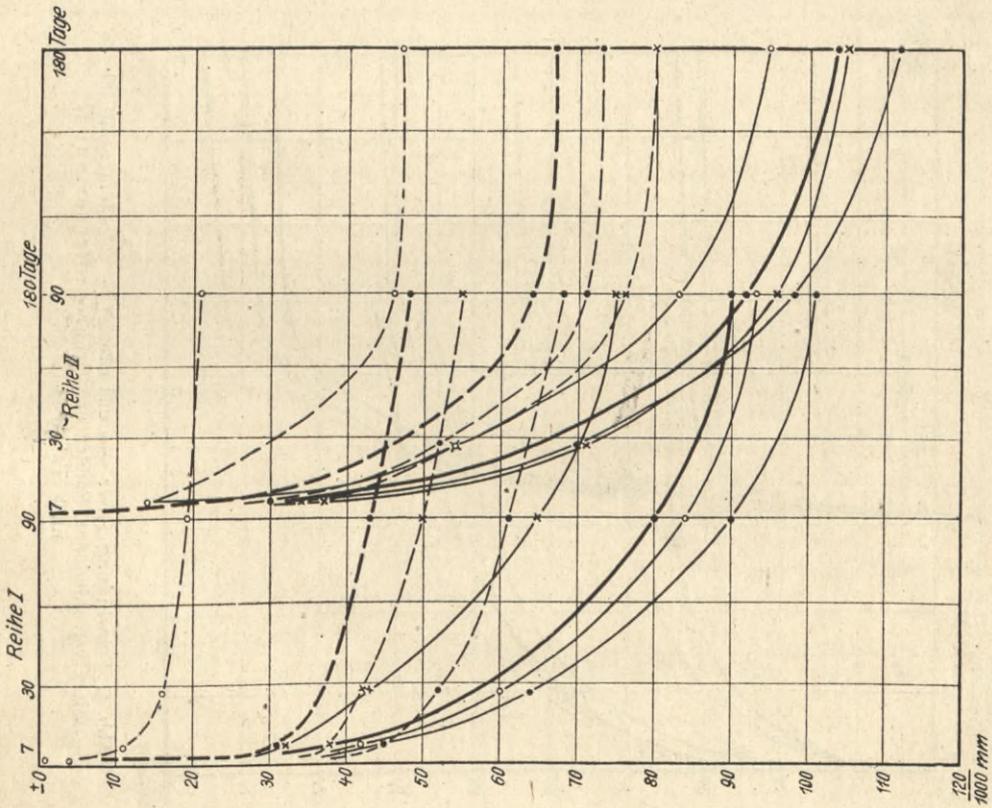


Abb. 3. Schwindung fetter — und magerer — Zementmörtel mit 3 verschiedenen Sanden und Schachtofenzement Z_1 nach Tab. 7 und Tab. 14.

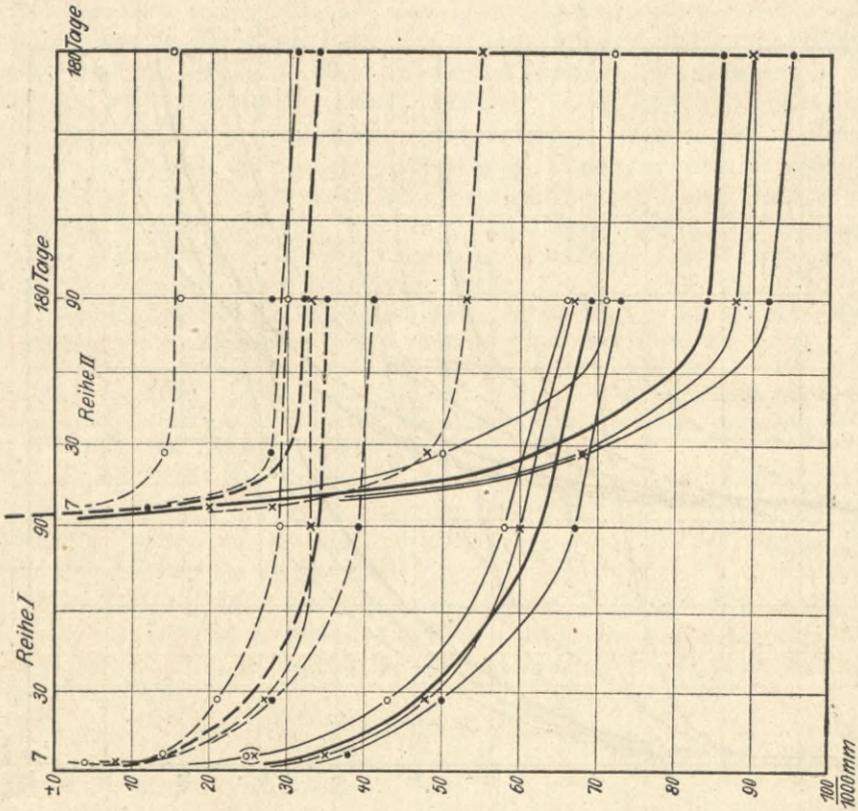


Abb. 5. Schwindung fetter — und magerer — — — Zementmörtel mit 3 verschiedenen Sanden und Drehrohrencement R nach Tab. 9 und Tab. 16.

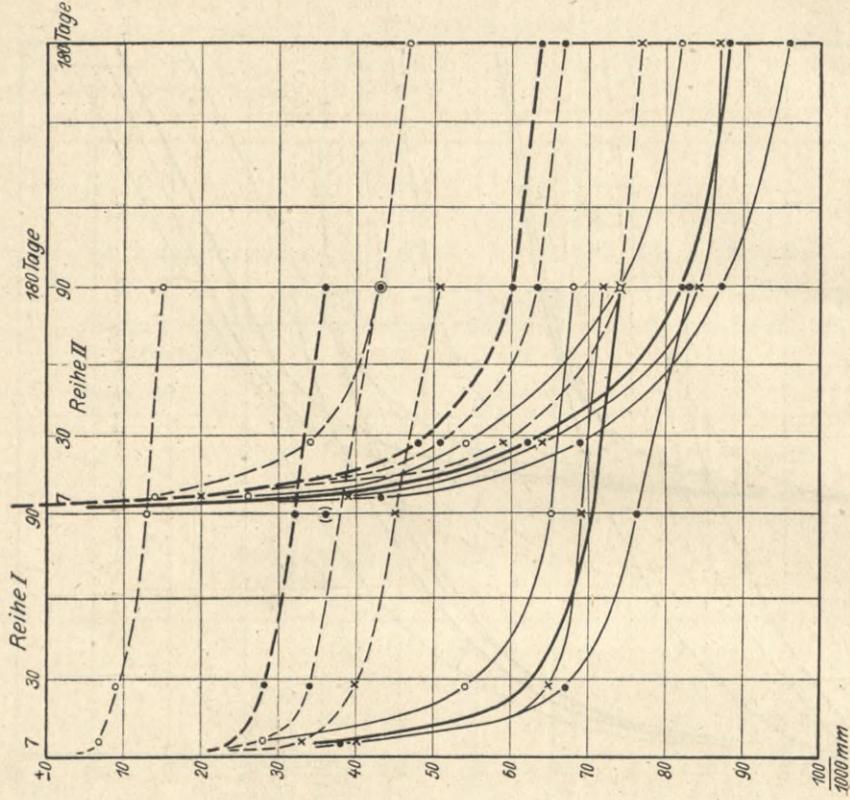


Abb. 6. Schwindung fetter — und magerer — — — Zementmörtel mit 3 verschiedenen Sanden und Eisenportlandzement K nach Tab. 10 und Tab. 17.

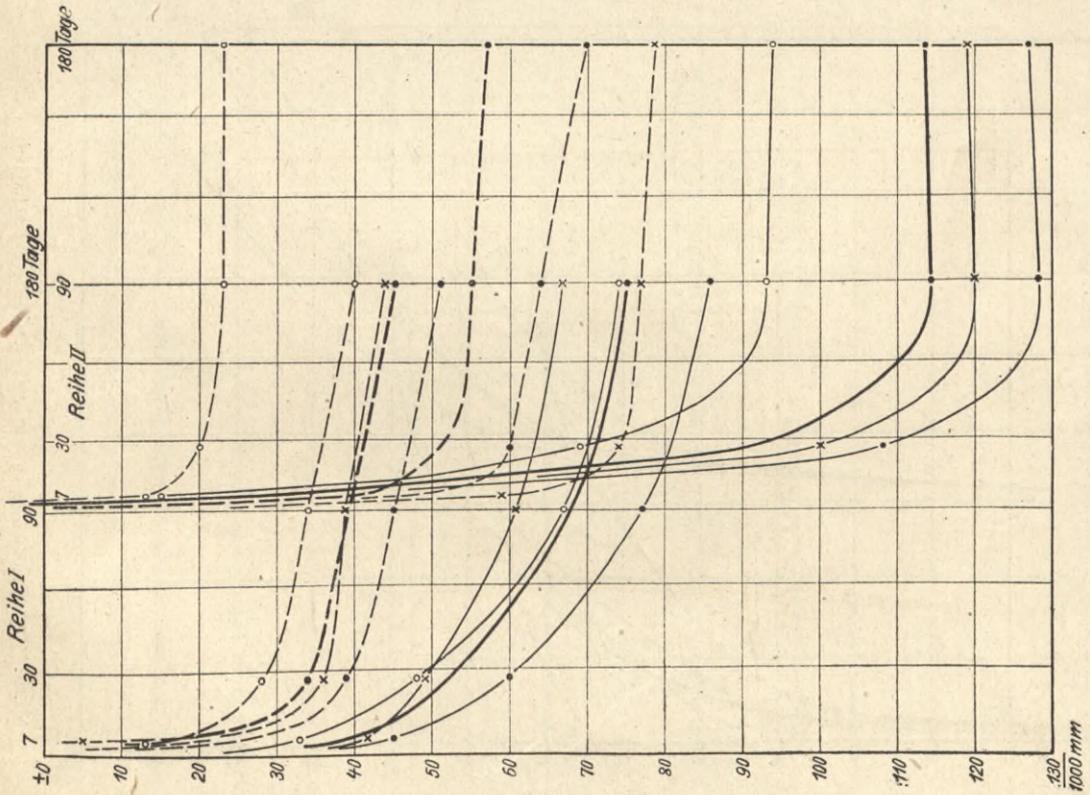


Abb. 7. Schwindung fetter — und magerer — Zementmörtel mit 3 verschiedenen Sanden und Hochofenzement B nach Tab. 11 und Tab. 18.

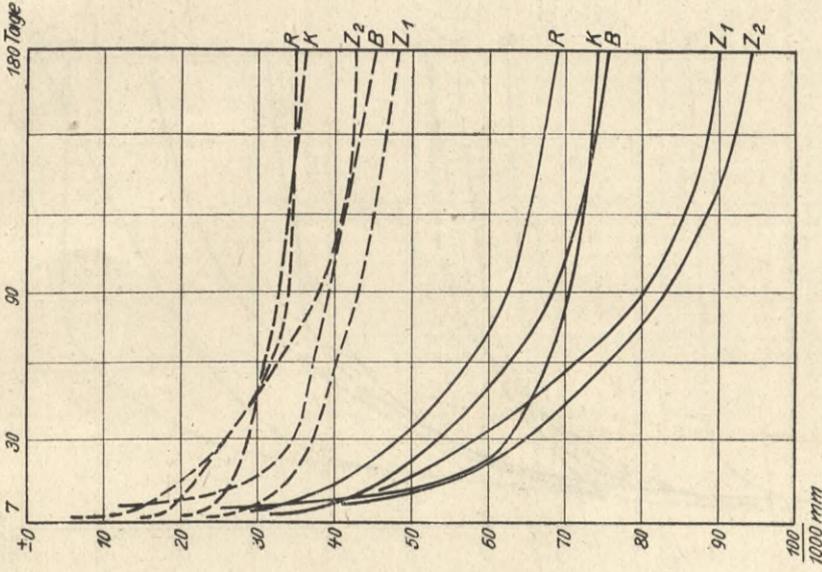


Abb. 8. Schwindung fetter — und magerer — Zementmörtel, Mittelwerte der Reihe I (Tab. 12) für 5 verschiedene Zemente.

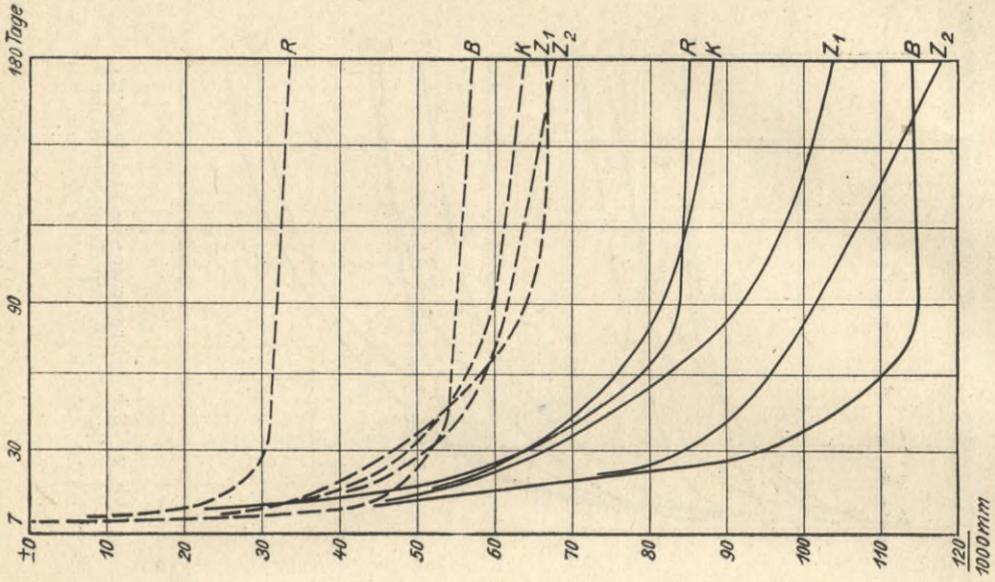


Abb. 10. Schwindung fetter — und magerer Zementmörtel. Mittelwerte der Reihe II (Tab. 19) für 5 verschiedene Zemente.

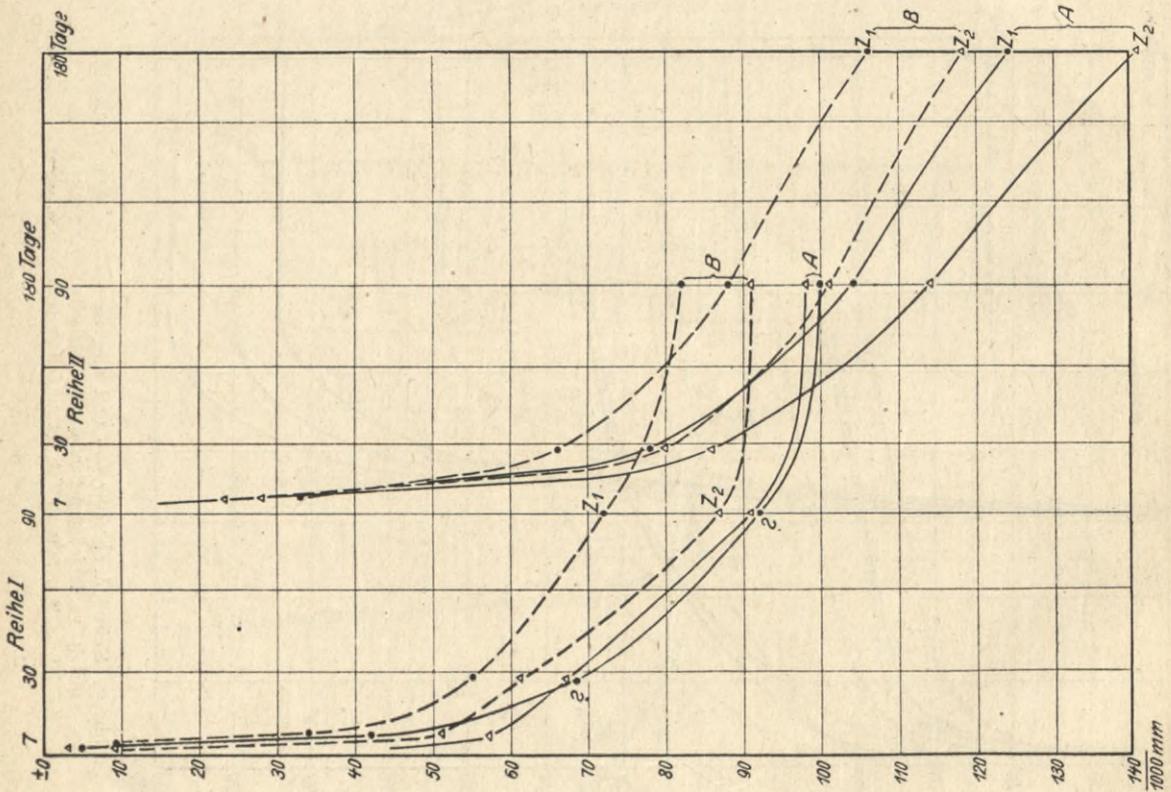


Abb. 9. Schwindung eines dichten (A) und undichten (B) Rheinsandmörtels mit Schachtofeuzement Z₁ und Z₂. (Tab. 7, 8, 13 und 14, 15 und 20.)

Tab. 8. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe I.) Schachtofenzement „Z₂“ (Zusatz von 10⁰/₁₀ Schwachbrand). (Vgl. Abb. 4 und 9.)

Mischung	Ver- such Nr.	Längenänderung in 1/1000 mm bezogen auf die Anfangslänge nach Tagen												Diffe- renz									
		1	3	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28		Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz				
d Freienwalder Rohsand	1	99755	99751	-4	99747	-8	99743	-12	99735	-20	99731	-24	99050	99050	± 0	99013	-37	98986	-64	98970	-80	98960	-90
	2	99345	99345	± 0	99337	-8	99332	-13	99329	-16	99321	-24	98725	98725	± 0	98688	-37	98667	-58	98649	-76	98636	-80
	3	99966	99965	-1	99960	-6	99957	-9	99949	-17	99946	-20	99027	99027	± 0	98990	-37	98965	-62	98945	-82	98935	-92
	Mittel	—	—	-2	—	-7	—	-11	—	-18	—	-23	—	—	± 0	—	-37	—	-61	—	-79	—	-90
e Isarsand	1	99458	99450	-8	99434	-24	99428	-30	99416	-42	99411	-47	99760	99760	± 0	99720	-40	99702	-58	99683	-77	99675	-85
	2	99634	99625	-9	99609	-25	99603	-31	99591	-43	99586	-48	99853	99853	± 0	99810	-43	99794	-59	99775	-78	99763	-90
	3	99760	99755	-5	99739	-21	99735	-25	99719	-41	99716	-44	100340	100340	± 0	100295	-45	100275	-65	100255	-85	100246	-94
	Mittel	—	—	-7	—	-23	—	-29	—	-42	—	-46	—	—	± 0	—	-43	—	-61	—	-80	—	-90
f Rheinsand	1	99270	99261	-9	99244	-26	99235	-35	99221	-49	99214	-56	99975	99975	± 0	99927	-48	99900	-75	99876	-99	99865	-110
	2	99463	99455	-8	99432	-31	99423	-40	99406	-57	99401	-62	99840	99840	± 0	99793	-47	99774	-66	99750	-90	99740	-100
	3	99350	99340	-10	99319	-31	99312	-38	99296	-54	99289	-61	99295	99295	± 0	99250	-45	99229	-66	99210	-85	99200	-95
	Mittel	—	—	-9	—	-29	—	-38	—	-53	—	-60	—	—	± 0	—	-47	—	-69	—	-91	—	-102
A Gemisch aus Rheinsand — dicht —	1	99497	99495	-2	99443	-54	99433	-64	99410	-75	99400	-87	99410	99410	± 2	99443	-54	99433	-64	99410	-87	99400	-97
	2	99113	99110	-3	99059	-54	99048	-65	99020	-93	99014	-99	99059	99059	± 3	99059	-54	99048	-65	99020	-93	99014	-99
	3	99363	99359	-4	99300	-63	99290	-73	99269	-94	99265	-98	99300	99300	± 4	99300	-63	99290	-73	99269	-94	99265	-98
	Mittel	—	—	-3	—	-57	—	-67	—	-91	—	-91	—	—	± 0	—	-57	—	-67	—	-91	—	-98
B Rheinsand — undicht —	1	99041	99030	-11	98990	-51	98980	-61	98955	-86	98950	-91	98990	98990	± 11	98990	-51	98980	-61	98955	-86	98950	-91
	2	100266	100257	-9	100215	-51	100205	-61	100180	-86	100175	-91	100266	100266	± 9	100215	-51	100205	-61	100180	-86	100175	-91
	3	100342	100335	-7	100291	-51	100280	-62	100254	-88	100250	-92	100342	100342	± 7	100291	-51	100280	-62	100254	-88	100250	-92
	Mittel	—	—	-9	—	-51	—	-61	—	-87	—	-87	—	—	± 0	—	-51	—	-61	—	-87	—	-91

2. Ursande
 I : 2,6 " e
 I : 2,2 " f
 A I : 2,2 " f
 B I : 2,0 " f

1. 1 : 5

Tab. 9. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe I.) Drehrohrenzement „B“. (Vgl. Abb. 5.)

Mischung	1. I : 5															2. Ursande							
	Längenänderung in 1/1000 mm bezogen auf die Anfangslänge nach Tagen															1 : 2,2 Sand d 1 : 2,6 " e 1 : 2,2 " f							
Sandart	Ver- such Nr.	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz
d Freienwalder Rohsand	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99705	99705	± 0	99679	— 26	99660	— 45	99649	— 56	99640	— 65
	2	100223	100226	+ 3	100212	— 11	100206	— 17	100200	— 23	100198	— 25	99992	99992	± 0	99965	— 27	99953	— 39	99935	— 57	99925	— 67
	3	99776	99780	+ 4	99760	— 16	99751	— 25	99741	— 35	99741	— 35	98410	98410	± 0	98385	— 25	98365	— 45	98350	— 60	98343	— 67
	Mittel	—	—	+ 4	—	— 14	—	— 21	—	— 29	—	— 30	—	—	± 0	—	— 26	—	— 43	—	— 58	—	— 66
e Isarsand	1	99691	99683	— 8	99663	— 28	99661	— 30	99655	— 36	99655	— 36	99841	99840	— 1	99809	— 32	99800	— 41	99790	— 51	99785	— 56
	2	99650	99643	— 7	99627	— 23	99626	— 24	99626	— 24	99626	— 24	99802	99799	— 3	99764	— 38	99750	— 52	99738	— 64	99728	— 74
	3	99649	99640	— 9	99622	— 27	99621	— 28	99610	— 39	99610	— 39	99770	99770	± 0	99735	— 35	99720	— 50	99705	— 65	99699	— 71
Mittel	—	—	— 8	—	— 26	—	— 27	—	— 33	—	— 33	—	—	— 1	—	— 35	—	— 48	—	— 60	—	— 67	
f Rheinsand	1	99848	99845	— 3	99822	— 26	99819	— 29	99806	— 42	99803	— 45	99714	99711	— 3	99675	— 39	99663	— 51	99645	— 69	99640	— 74
	2	99530	99525	— 5	99503	— 27	99501	— 29	99491	— 39	99487	— 43	99530	99530	± 0	99495	— 35	99480	— 50	99464	— 66	99458	— 72
	3	99526	99523	— 3	99503	— 23	99501	— 25	99491	— 35	99490	— 36	99125	99125	± 0	99086	— 39	99075	— 50	99060	— 65	99053	— 72
Mittel	—	—	— 4	—	— 25	—	— 28	—	— 39	—	— 41	—	—	— 1	—	— 38	—	— 50	—	— 67	—	— 73	

1) Probe I zerbrochen.

Tab. 10. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe I.) Eisenportlandzement „K“. (Vgl. Abb. 6.)

Mischung	1. I : 5															2. Ursande							
	Längenänderung in 1/1000 mm bezogen auf die Anfangslänge nach Tagen															1 : 2,2 Sand d 1 : 2,6 " e 1 : 2,2 " f							
Sandart	Ver- such Nr.	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz
d Freienwalder Rohsand	1	100155	100155	± 0	100145	— 10	100147	— 8	100148	— 7	100142	— 13	99455	99454	— 1	99424	— 31	99399	— 56	99389	— 66	99384	— 71
	2	100210	100212	+ 2	100207	— 3	100207	— 3	100207	— 13	100192	— 18	99501	99501	± 0	99533	— 28	99507	— 54	99494	— 67	99489	— 72
	3	100254	100252	— 2	100245	— 9	100237	— 17	100236	— 18	100240	— 14	99265	99265	± 0	99239	— 26	99213	— 52	99204	— 61	99204	— 61
	Mittel	—	—	± 0	—	— 7	—	— 9	—	— 13	—	— 15	—	—	± 0	—	— 28	—	— 54	—	— 65	—	— 68
e Isarsand	1	100170	100169	— 1	100136	— 34	100131	— 39	100123	— 47	100118	— 52	99353	99352	— 1	99315	— 38	99292	— 61	99289	— 64	99289	— 64
	2	100070	100070	± 0	100035	— 35	100026	— 44	100019	— 51	100013	— 57	99940	99940	± 0	99899	— 41	99873	— 67	99868	— 72	99864	— 76
	3	99518	99517	— 1	99484	— 34	99480	— 38	99480	— 38	99478	— 45	99905	99904	— 1	99863	— 42	99837	— 68	99834	— 71	99829	— 76
Mittel	—	—	± 0	—	— 34	—	— 40	—	— 45	—	— 51	—	—	— 1	—	— 40	—	— 65	—	— 69	—	— 72	
f Rheinsand	1	99550	99549	— 1	99526	— 24	99521	— 29	99513	— 37	99516	— 34	100020	100018	— 2	99979	— 41	99949	— 71	99938	— 82	99928	— 92
	2	99980	99980	± 0	99953	— 27	99944	— 36	99939	— 41	99926	— 54	99510	99509	— 1	99477	— 33	99449	— 61	99439	— 71	99434	— 76
	3	99813	99813	± 0	99782	— 31	99776	— 37	99783	— 30	99773	— 40	99515	99512	— 3	99474	— 41	99447	— 68	99439	— 76	99434	— 81
Mittel	—	—	± 0	—	— 27	—	— 34	—	— 36	—	— 43	—	—	— 2	—	— 38	—	— 67	—	— 76	—	— 83	

Tab. 11. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe I.) Hochofenzement „B“.
(Vgl. Abb. 7.)

Mischung	1. 1:5											2. Ursande $\begin{cases} 1:2,2 & \text{Sand } d \\ 1:2,6 & \text{„ } e \\ 1:2,2 & \text{„ } f \end{cases}$												
	Ver- such Nr.	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	90	Diffe- renz	180	Diffe- renz	
d Freienwalder Rohsand	1	99008	99007	— 1	98006	— 2	98975	— 33	98969	— 39	98968	— 40	99163	99160	— 3	99127	— 36	99112	— 51	99092	— 71	99085	— 78	
	2	— ¹⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99170	99171	+ 1	99140	— 30	99125	— 45	99108	— 62	99100	— 70	
	3	99723	99722	— 1	99698	— 25	99700	— 23	99694	— 29	99684	— 39	— ¹⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Mittel	—	—	— 1	—	— 13	—	— 28	—	— 34	—	— 40	—	—	— 2	—	— 33	—	— 48	—	—	— 67	—	— 74
e Isarsand	1	99350	99347	— 3	99313	— 37	99315	— 35	99313	— 37	99310	— 40	99735	99735	± 0	99695	— 40	99688	— 47	99675	— 60	99670	— 65	
	2	99653	99647	— 6	99613	— 40	99615	— 38	99612	— 41	99602	— 51	99370	99370	± 0	99330	— 40	99321	— 49	99310	— 60	99305	— 65	
	3	99750	99743	— 7	99711	— 39	99713	— 37	99712	— 38	99710	— 40	100265	100265	± 0	100220	— 45	100215	— 50	100201	— 64	100195	— 70	
	Mittel	—	—	— 5	—	— 39	—	— 37	—	— 39	—	— 44	—	—	± 0	—	— 42	—	— 49	—	— 61	—	— 67	
f Rheinsand	1	99638	99625	— 13	99591	— 47	99595	— 43	99589	— 49	99588	— 50	100415	100415	± 0	100365	— 50	100353	— 62	100335	— 80	100325	— 90	
	2	99050	99041	— 9	99008	— 42	99010	— 40	99004	— 46	98980	— 50	99778	99778	± 0	99735	— 43	99718	— 60	90700	— 78	99691	— 87	
	3	100100	100090	— 10	100058	— 42	100065	— 35	100059	— 41	100047	— 53	99808	99808	± 0	99765	— 43	99751	— 57	99735	— 73	99728	— 80	
	Mittel	—	—	— 11	—	— 44	—	— 39	—	— 45	—	— 51	—	—	± 0	—	— 45	—	— 60	—	— 77	—	— 86	

¹⁾ Probe zerbrochen.

Tab. 12. Zusammenstellung der Mittelwerte der Reihe I.
 Proben die ersten 24 Stunden trocken. (Vgl. Abb. 8.)

Mischung	1 (mager)					2 (fett)				
Sandart:	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach Tagen.									
	3	7	28	90	180	3	7	28	90	180

Schachtofenzement „Z₁“.

Freienwalder Rohsand	- 2	- 11	- 16	19	- 21	- 4	- 42	- 60	- 84	- 93
Isarsand	- 9	- 41	- 42	- 50	- 55	- 3	- 32	- 43	- 65	- 75
Rheinsand	- 14	- 46	- 52	- 61	- 68	- 7	- 44	- 64	- 90	- 101
Mittel	- 8	- 33	- 37	- 43	- 48	- 5	- 39	- 56	- 80	- 90

Schachtofenzement „Z₂“ (Zusatz von 10% Schwachbrand).

Freienwalder Rohsand	- 2	- 7	- 11	- 18	- 23	(- 0)	- 37	- 61	- 79	- 90
Isarsand	- 7	- 23	- 29	- 42	- 46	(- 0)	- 43	- 61	- 80	- 90
Rheinsand	- 9	- 29	- 38	- 53	- 60	(- 0)	- 47	- 69	- 91	- 102
Mittel	- 6	- 20	- 26	- 38	- 43	(- 0)	- 42	- 64	- 83	- 94

Drehrohrofenzement „R“.

Freienwalder Rohsand	+ 4	- 14	- 21	- 29	- 30	± 0	- 26	- 43	- 58	- 66
Isarsand	- 8	(- 26)	- 27	- 33	- 33	- 1	- 35	- 48	- 60	- 67
Rheinsand	- 4	(- 25)	- 28	- 39	- 41	- 1	- 38	- 50	- 67	- 73
Mittel	- 3	(- 22)	- 25	- 34	- 35	- 1	- 33	- 47	- 62	- 69

Eisenportlandzement „K“.

Freienwalder Rohsand	± 0	- 7	- 9	- 13	- 15	± 0	- 28	- 54	- 65	- 68
Isarsand	± 0	- 34	- 40	- 45	- 51	- 1	- 40	- 65	- 69	- 72
Rheinsand	± 0	- 27	- 34	- 36	- 43	- 2	- 38	- 67	- 76	- 83
Mittel	- 0	- 23	- 28	- 31	- 36	- 1	- 35	- 62	- 70	- 74

Hochofenzement „B“.

Freienwalder Rohsand	- 1	(- 13)	- 28	- 34	- 40	- 2	- 33	- 48	- 67	- 74
Isarsand	- 5	(- 39)	- 37	- 39	- 44	± 0	- 42	- 49	- 61	- 67
Rheinsand	- 11	(- 44)	- 39	- 45	- 51	± 0	- 45	- 60	- 77	- 86
Mittel	- 6	(- 32)	- 35	- 39	- 45	- 1	- 40	- 52	- 68	- 76

Tab. 13. Zusammenstellung der Mittelwerte der Reihe I für die Mischungen A und B im Vergleich zu Ur-Rheinsand unter Verwendung der Zemente Z_1 und Z_2 . (Vgl. Abb. 9)

Sandart:	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ nach Tagen				
	3	7	28	90	180
Schachtofenzement „Z_1“.					
A. Gemisch aus Rheinsand — dicht —	— 5	— 42	— 68	— 91	— 100
B. Gemisch aus Rheinsand — undicht —	— 9	— 34	— 55	— 72	— 82
Ur-Rheinsand <i>f</i>	— 7	— 44	— 64	— 90	— 101
Mittel	— 7	— 40	— 62	— 84	— 94
Schachtofenzement „Z_2“ (Zusatz von 10% Schwachbrand.					
A. Gemisch aus Rheinsand — dicht —	— 3	— 57	— 67	— 91	— 98
B. Gemisch aus Rheinsand — undicht —	— 9	— 51	— 61	— 87	— 91
Ur-Rheinsand	± 0	— 47	— 69	— 91	— 102
Mittel	— 4	— 52	— 66	— 90	— 97

Tab. 15. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe II.) Schachtfenizement „Z₂“ (Zusatz von 10⁰/₁₀ Schwachbrand). (Vgl. Abb. 4 u. 9.)

Mischung	Ver- such Nr.	Längenänderung in 1/1000 mm bezogen auf die Anfangslänge nach																						
		1 Tage	3 Tagen	Diffe- renz	7 Tagen	Diffe- renz	1 Tage	3 Tagen	Diffe- renz	7 Tagen	Diffe- renz	28 Tagen	Diffe- renz	3 Monaten	Diffe- renz	6 Monaten	Diffe- renz							
d Freienwalder Rohsand	1	99815	99807	-8	99790	-25	99773	-42	99765	-50	99758	-57	99456	99454	-2	99433	-23	99385	-71	99365	-91	99350	-106	
	2	99130	99128	-2	99110	-20	99092	-38	99082	-48	99075	-55	99442	99436	-6	99420	-22	99375	-67	99355	-87	99340	-102	
	3	98995	98992	-3	98975	-20	98960	-35	98950	-45	98945	-50	99083	99078	-5	99063	-20	99005	-78	98985	-98	98965	-118	
	Mittel	—	—	-4	—	22	—	-38	—	-48	—	-54	—	—	-4	—	-22	—	-72	—	-92	—	-109	
e Isarsand	1	99200	99195	-5	99157	-43	99133	-67	99120	-80	99115	-85	99720	99715	-5	99680	-40	99630	-90	99615	-105	99600	-120	
	2	98825	98824	-1	98790	-35	99763	-62	98750	-75	98745	-80	99583	99576	-7	99545	-38	99495	-88	99478	-105	99463	-120	
	3	98850	98847	-3	98816	-34	99786	-64	98778	-72	98770	-80	99215	99207	-8	99175	-40	99125	-90	99110	-105	99095	-120	
	Mittel	—	—	-3	—	37	—	-64	—	-76	—	-82	—	—	-7	—	-39	—	-89	—	-105	—	-120	
f Rheinsand	1	98869	98870	+1	98838	-31	98818	-51	98810	-59	98803	-66	98491	98485	-6	98456	-35	98405	-86	98385	-106	98368	-123	
	2	99335	99335	±0	99303	-32	99280	-55	99270	-65	99263	-72	98945	98938	-7	98905	-40	98851	-94	98833	-112	98815	-130	
	3	99224	99225	+1	99195	-29	99175	-49	99165	-59	99160	-64	99172	99167	-5	99135	-37	99086	-86	99070	-102	99050	-122	
	Mittel	—	—	+1	—	31	—	-52	—	-61	—	-67	—	—	-6	—	-37	—	-89	—	-107	—	-125	
A Gemisch aus Rheinsand — dicht —	1	98990	98990	±0	98990	98990	±0	98963	-27	98905	-85	98879	98879	±0	98851	-21	98815	-87	98790	-111	98863	-127		
	2	99600	99600	±0	99579	-21	99513	-87	99485	-100	99450	-115	99485	99485	±0	99450	-20	99400	-90	99380	-115	99465	-135	
	3	100145	100145	±0	100125	-20	100060	-85	100030	-115	100015	-130	100030	100030	±0	100015	-20	100000	-85	100030	100030	100015	100015	-130
	Mittel	—	—	±0	—	-23	—	-86	—	-114	—	-131	—	—	-114	—	-107	—	-125	—	-107	—	-125	
B Rheinsand — undicht —	1	99765	99765	±0	99740	-25	99685	-80	99665	-90	99645	-100	99663	99663	±0	99638	-25	99600	-80	99663	99663	99663	99663	
	2	99139	99139	±0	99110	-29	99060	-79	99038	-101	99020	-119	99038	99038	±0	99010	-29	99060	-79	99038	99038	99038	99038	
	3	99135	99135	±0	99104	-31	99055	-80	99035	-100	99020	-115	99035	99035	±0	99010	-31	99055	-80	99035	99035	99035	99035	
	Mittel	—	—	±0	—	-28	—	-80	—	-101	—	-118	—	—	-101	—	-28	—	-80	—	-101	—	-118	

2. Ursunde
 1:2,2 Sand d
 1:2,6 " e
 1:2,2 " f
 A 1:2,2 " f
 B 1:2,0 " f

1. 1:5

Tab. 16. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe II.) Drehrohrenzement „R“. (Vgl. Abb. 5.)

Mischung	Ver-such Nr.	1. 1 : 5											2. Ursande $\begin{cases} 1:2,2 & \text{Sand } d \\ 1:2,6 & \text{ } e \\ 1:2,2 & \text{ } f \end{cases}$										
		1 Tage	3 Tagen	Diffe-renz 7 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 3 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten	Diffe-renz 7 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 3 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten										
* Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm bezogen auf die Anfangslänge nach																							
d Freienwalder Rohsand	1	99720	99728	+ 8	99718	- 2	99710	- 10	99710	- 10	99713	- 7	99037	99037	± 0	99025	- 12	98990	- 47	98970	- 67	98968	- 69
	2	99780	99789	+ 9	99778	- 2	99765	- 15	99760	- 20	99760	- 20	99861	99860	- 1	99848	- 13	99810	- 51	99790	- 71	99790	- 71
	3	99502	99509	+ 7	99500	- 2	99485	- 17	99483	- 19	99483	- 19	99015	99015	± 0	99005	- 10	98964	- 51	98940	- 75	98938	- 77
	Mittel	—	—	+ 8	—	- 3	—	- 14	—	- 16	—	- 15	—	—	± 0	—	- 12	—	- 50	—	- 71	—	- 72
e Isarsand	1	99528	99535	+ 7	99500	- 28	99480	- 48	99475	- 53	99473	- 55	99140	99138	- 2	99116	- 24	99070	- 70	99050	- 91	99046	- 94
	2	98985	98988	+ 3	98955	- 30	98935	- 50	98930	- 55	98930	- 55	98885	98885	± 0	98868	- 17	98821	- 64	98801	- 84	98799	- 86
	3	99365	99369	+ 4	99340	- 25	99318	- 47	99313	- 52	99310	- 55	97929	97925	- 4	97910	- 19	97860	- 69	97840	- 89	97838	- 91
	Mittel	—	—	+ 5	—	- 28	—	- 48	—	- 53	—	- 55	—	—	- 2	—	- 20	—	- 68	—	- 88	—	- 90
f Rheinsand	1	99900	99910	+ 10	99885	- 15	99868	- 32	99868	- 32	99865	- 35	99230	99225	- 5	99208	- 22	99163	- 67	99137	- 93	99131	- 99
	2	99661	99675	+ 14	99650	- 11	99635	- 26	99635	- 26	99633	- 28	99293	99288	- 5	99270	- 23	99225	- 68	99201	- 92	99200	- 93
	3	99960	99975	+ 15	99950	- 10	99935	- 25	99933	- 27	99930	- 30	99422	99415	- 7	99391	- 31	99353	- 69	99330	- 92	99325	- 97
	Mittel	—	—	+ 13	—	- 12	—	- 28	—	- 28	—	- 31	—	—	- 6	—	- 25	—	- 68	—	- 92	—	- 96

Tab. 17. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe II.) Eisenportlandzement „K“. (Vgl. Abb. 6.)

Mischung	Ver-such Nr.	1. 1 : 5											2. Ursande $\begin{cases} 1:2,2 & \text{Sand } d \\ 1:2,6 & \text{ } e \\ 1:2,2 & \text{ } f \end{cases}$										
		1 Tage	3 Tagen	Diffe-renz 7 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 3 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten	Diffe-renz 7 Tagen	Diffe-renz 28 Tagen	Diffe-renz 3 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten	Diffe-renz 6 Monaten										
* Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm bezogen auf die Anfangslänge nach																							
d Freienwalder Rohsand	1	99585	99600	+ 15	99580	- 5	99569	- 16	99560	- 25	99559	- 26	99828	99830	+ 2	99800	- 28	99775	- 53	99755	- 73	99748	- 80
	2	99275	99278	+ 3	99261	- 14	99240	- 35	99230	- 45	99225	- 50	99980	99985	+ 5	99953	- 27	99925	- 55	99905	- 75	99898	- 82
	3	98905	98896	- 9	98883	- 22	98854	- 51	98845	- 60	98840	- 65	99231	99233	+ 2	99207	- 24	99176	- 55	99158	- 73	99147	- 84
	Mittel	—	—	+ 3	—	- 14	—	- 34	—	- 43	—	- 47	—	—	+ 3	—	- 26	—	- 54	—	- 74	—	- 82
e Isarsand	1	99175	99170	- 5	99150	- 25	99109	- 66	99090	- 85	99088	- 87	98706	98708	+ 2	98670	- 36	98640	- 66	98620	- 86	98615	- 91
	2	98815	98820	+ 5	98800	- 15	98763	- 52	98753	- 62	98750	- 65	98430	98432	+ 2	98388	- 42	98365	- 65	98345	- 85	98341	- 89
	3	100050	100053	+ 3	100029	- 21	99990	- 60	99975	- 75	99971	- 79	99055	99056	+ 1	99016	- 39	98993	- 62	98975	- 80	98974	- 81
	Mittel	—	—	+ 1	—	- 20	—	- 59	—	- 74	—	- 77	—	—	+ 2	—	- 39	—	- 64	—	- 84	—	- 87
f Rheinsand	1	99103	99115	+ 12	99085	- 18	99059	- 44	99045	- 58	99044	- 59	99700	99700	± 0	99655	- 45	99629	- 71	99610	- 90	99603	- 97
	2	99620	99628	+ 8	99595	- 25	99570	- 50	99560	- 60	99549	- 71	98595	98595	± 0	98551	- 44	98526	- 69	98508	- 87	98496	- 99
	3	99070	99070	—	99028	- 42	99010	- 60	99000	- 70	99000	- 70	99108	99199	+ 1	99158	- 40	99131	- 67	99115	- 83	99105	- 93
	Mittel	—	—	+ 7	—	- 28	—	- 51	—	- 63	—	- 67	—	—	+ 0	—	- 43	—	- 69	—	- 87	—	- 96

Tab. 18. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe II.) Hochofenzement „B“.
(Vgl. Abb. 7.)

Mischung	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm bezogen auf die Anfangslänge nach															2. Ursande							
	1. 1:5															$\begin{cases} 1:2,2 & \text{Sand } d \\ 1:2,6 & \text{„ } e \\ 1:2,2 & \text{„ } f \end{cases}$							
Sandart	Ver- such Nr.	1 Tage	3 Tage	renz Diffe- renz	7 Tagen	Diffe- renz	28 Tagen	Diffe- renz	3 Monaten	Diffe- renz	6 Monaten	Diffe- renz	3 Monaten	Diffe- renz	6 Monaten	Diffe- renz							
d Freienwalder Rohsand	1	100440	100450	+10	100425	-15	100420	-20	100416	-24	100418	-22	99581	99586	+5	99560	-21	99515	-66	99493	-88	99485	-96
	2	99952	99963	+11	99935	-17	99928	-24	99921	-31	99921	-31	99149	99151	+2	99135	-14	99079	-70	99055	-94	99060	-89
	3	99620	99641	+21	99613	-7	99605	-15	99605	-15	99604	-16	98581	98585	+4	98570	-11	98511	-70	98485	-96	98485	-96
	Mittel	—	—	+14	—	-13	—	-20	—	-23	—	-23	—	—	+4	—	-15	—	-69	—	-93	—	-94
e Isarsand	1	98875	98870	-5	98815	-60	98800	-75	98796	-79	98795	-80	99832	99835	+3	99795	-37	99740	-92	99713	-119	99713	-119
	2	98775	98775	± 0	98720	-55	98703	-72	98700	-75	98697	-78	100267	100269	+2	100225	-42	100161	-106	100145	-122	100149	-118
	3	99202	99200	-2	99141	-61	99126	-76	99124	-78	99122	-80	99353	99354	+1	99315	-38	99250	-103	99233	-120	99234	-119
	Mittel	—	—	-4	—	-59	—	-74	—	-77	—	-79	—	—	+2	—	-39	—	-100	—	-120	—	-119
f Rheinsand	1	98970	98969	-1	98925	-45	98915	-55	98910	-60	98908	-62	100325	100325	± 0	100290	-35	100220	-105	100195	-130	100195	-130
	2	99855	99855	± 0	99810	-45	99800	-55	99797	-58	99792	-63	99350	99351	+1	99313	-37	99240	-110	99220	-130	99221	-129
	3	99790	99789	-1	99735	-55	99719	-71	99715	-75	99706	-84	99704	99705	+1	99660	-44	99595	-109	99580	-124	99582	-122
	Mittel	—	—	-1	—	-48	—	-60	—	-64	—	-70	—	—	+1	—	-39	—	-108	—	-128	—	-127

Tab. 19. Zusammenstellung der Mittelwerte der Reihe II.
Proben die ersten 24 Stunden trocken. (Vgl. Abb. 10.)

Mischung	1 (mager)					2 (fett)					
Sandart	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach Tagen										
	3	7	28	90	180	365	3	7	28	90	180

Schachtofenzement „Z₁“.

Freienwalder Rohsand	-1	-14	-29	-46	-47		-1	-20	-54	-82	-95
Isarsand	±0	-34	-54	-76	-80		-2	-37	-71	-96	-107
Rheinsand	-1	-30	-52	-71	-73		±0	-32	-70	-98	-113
Mittel	-1	-26	-45	-64	-67		-1	-30	-65	-92	-105

Schachtofenzement „Z₂“ (Zusatz von 10⁰/₁₀ Schwachbrand).

Freienwalder Rohsand	-4	-22	-38	-48	-54		-4	-22	-72	-92	-109
Isarsand	-3	-37	-64	-76	-82		-7	-39	-89	-105	-120
Rheinsand	+1	-31	-52	-61	-67		-6	-37	-89	-107	-125
Mittel	-2	-30	-51	-62	-68		-6	-33	-83	-101	-118

Drehrohrofenzement „R“.

Freienwalder Rohsand	+8	-3	-14	-16	-15		±0	-12	-50	-71	-72
Isarsand	+5	-28	-48	-53	-55		-2	-20	-68	-88	-90
Rheinsand	+13	-12	-28	-28	-31		-6	-25	-68	-92	-96
Mittel	+9	-14	-30	-32	-34		-3	-19	-62	-84	-86

Eisenportlandzement „K“.

Freienwalder Rohsand	+3	-14	-34	-43	-47		+3	-26	-54	-74	-82
Isarsand	+1	-20	-59	-74	-77		+2	-39	-64	-84	-87
Rheinsand	+7	-28	-51	-63	-67		±0	-43	-69	-87	-96
Mittel	+4	-21	-48	-60	-64		+2	-36	-62	-82	-88

Hochofenzement „B“.

Freienwalder Rohsand	+14	-13	-20	-23	-23		+4	-15	-69	-93	-94
Isarsand	-4	-59	-74	-77	-79		+2	-39	-100	-120	-119
Rheinsand	-1	-48	-60	-64	-70		+1	-39	-108	-128	-127
Mittel	+4	-40	-51	-55	-57		+2	-31	-92	-114	-113

Tab. 20. Zusammenstellung der Mittelwerte der Reihe II für die fetten Mischungen A und B im Vergleich zu Ur-Rheinsand unter Verwendung der Zemente Z_1 und Z_2 . (Vgl. Abb. 9.)

Sandart	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach Tagen					
	3	7	28	90	180	365
Schachtofenzement „Z_1“						
A. Gemisch aus Rheinsand — dicht —	± 0	— 34	— 78	— 104	— 124	
B. Gemisch aus Rheinsand — undicht —	± 0	— 31	— 66	— 88	— 106	
Ur-Rheinsand f	± 0	— 32	— 70	— 98	— 113	
Mittel	± 0	— 32	— 71	— 97	— 114	
Schachtofenzement „Z_2“ (Zusatz von 10% Schwachbrand).						
A. Gemisch aus Rheinsand — dicht —	± 0	— 23	— 86	— 114	— 131	
B. Gemisch aus Rheinsand — undicht —	± 0	— 28	— 80	— 101	— 118	
Ur-Rheinsand f	— 6	— 37	— 89	— 107	— 125	
Mittel	— 2	— 29	— 85	— 107	— 125	

A. Allgemeine Beobachtungen.

Vergleich der Reihen I und II.

Der Unterschied zwischen dem Verhalten der Körper der Reihe I gegenüber denen der Reihe II ist in die Augen springend. Durchweg haben die Körper II scheinbar eine sehr viel größere Schwindung ergeben wie die Körper I, scheinbar deshalb, weil in Reihe I die Körper am ersten Tage in der Form beträchtlich austrocknen, also schwinden konnten, ohne daß diese Schwindung durch die Messung am 3. Tage mit erfaßt und zahlenmäßig festgelegt werden konnte. Die Körper der Reihe II sind dagegen bis zum 3. Tage feucht geblieben, also nicht oder nicht erheblich geschwunden und konnten nun vom 3. bis 7. Tage und weiter schnell trocknen und schwinden. Es ist eine bemerkenswerte Erscheinung, daß das verschiedenartige Verhalten der Körper so deutlich in die Erscheinung tritt, obgleich doch während der ersten 24 Stunden nur die eine Fläche der Körper der Reihe I, die oberliegende Fläche des Versuchsstabes, der Luft ausgesetzt gewesen ist, während die anderen Körperflächen noch von dem Metall der Form dicht umschlossen waren.

Welchen Einfluß die größere oder geringere Feuchthaltung selbst nur einer Körperfläche auf die Längenänderung des Körpers haben kann, geht auch daraus hervor, daß die bloße Ueberdeckung mit feuchten Tüchern genügt hat, bei einer Anzahl der Körper der Reihe II nach deren Entformung bis zur ersten Messung nach 3 Tagen sogar eine Schwellung der Körper hervorzurufen. Das ist eingetreten bei den Körpern aus dem Drehrohrofenzement R mit allen 3 Sanden d , e und f in magerer Mischung, dem Eisenportlandzement K in magerer und fetter Mischung und sogar teilweise dem Hochofenzement B .

Hierin muß ein neuer Beweis dafür erblickt werden, daß die Neigung zum Schwinden der Zemente und Zementmörtel ganz wesentlich von dem Vorhandensein von Schwachbrand abhängt.

Auf die weiter aus dem verschiedenen Verhalten der Mörtelkörper zu ziehenden Schlüsse soll weiter unten eingegangen werden, nachdem noch eine Reihe Ergänzungsversuche mitgeteilt ist, die weitere Aufklärung über den Einfluß der Behandlung der Probekörper kurz nach der Herstellung und das Alter des Zementes berücksichtigen sollte.

Ergänzungsreihe III.

Um noch einmal zu kontrollieren, ob die durch die Reihen I und II festgestellte außerordentliche Empfindlichkeit der Körper gegen die Feuchtigkeit von oben her in den ersten Stadien der Erhärtung gleicherweise bei frischem und bei abgelagertem Zement vorhanden ist, wurde eine Ergänzungsreihe III über den Arbeitsplan hinaus durchgeführt.

1. Von frisch gemahlenem Drehrohren-Portlandzement *A* wurden je drei Bauschinger-Stäbe gefertigt (weich eingefüllt), die
 - a) 24 Stunden in der Form an der Luft lagen, dann entformt wurden und an der Luft blieben;
 - b) 24 Stunden in der Form an der Luft lagen, dann entformt wurden, 2 Tage mit feuchten Tüchern bedeckt und schließlich neben der Reihe *a* an der Luft lagen;
 - c) nach dem Einfüllen sogleich mit feuchten Tüchern bedeckt wurden, die nur während der Entformung nach 24 Stunden weggenommen, dann aber wieder übergedeckt wurden bis nach Ablauf von 2 weiteren Tagen; (sie lagen also insgesamt 3 Tage unter feuchten Tüchern). Nach 3 Tagen lagerten auch diese Körper neben den anderen an der Luft.

Die Körper sind gemessen nach 3, 7 und 28 Tagen.

2. Derselbe frisch gemahlene Portlandzement wurde 14 Tage flach ausgebreitet an der Luft gelagert, dann wurden die Versuche unter 1 wiederholt.
3. Der frisch gemahlene Portlandzement blieb ausgebreitet 2 Monate liegen, dann wurden die Körper wie unter 1 hergestellt und die Versuche wiederholt.

Die Ergebnisse enthält Tab. 21 und Abb. 11.

Es geht daraus hervor:

- α) wie bei den Reihen I und II ergeben diejenigen Körper (*c*) die scheinbar stärkste Schwundung nach 7 und 28 Tagen Austrocknung, die am längsten feucht gehalten wurden (zu vergleichen die Linienzüge *a*, *b*, *c*);
- β) die Schwundungsneigung wird um so geringer, je länger der Zement gelagert hat. Die stark punktierten Verbindungslinien in Abb. 11 beweisen für die 7tägige Erhärtung und die stark ausgezogenen

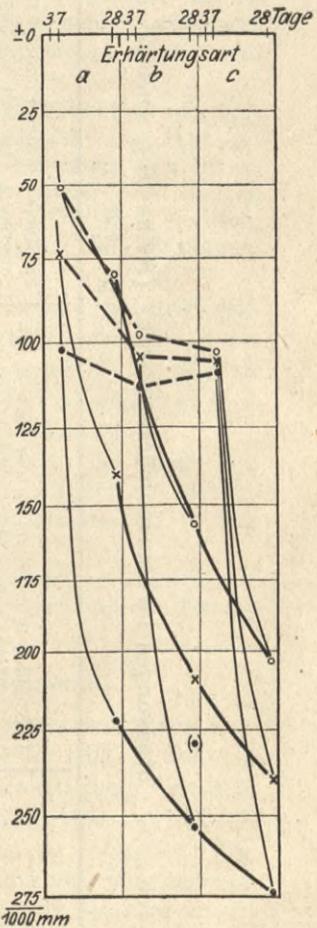


Abb. 11. Schwindung reinen Zementes *A* frisch und abgelagert bei verschieden langer Feuchthaltung der Körper.

Tab. 21. Messungen im Bauschingerapparat. (Reihe III.) Drehofenzement A frisch und abgelagert. I : O.
(Vgl. Abb. I I.)

Gruppe	Versuch Nr.	a						b						c																																																
		24 Stunden in der Form an der Luft, dann entformt und an der Luft belassen						24 Stunden in der Form an der Luft, dann entformt, 2 Tage mit feuchten Tüchern deckt, dann an der Luft abgelagert						Sogleich nach dem Füllen der Form mit feuch- ten Tüchern bedeckt- und drei Tage darunter belassen, dann an der Luft abgelagert																																																
		3		7		Diffe- renz		3		7		Diffe- renz		28		Diffe- renz		3		7		Diffe- renz		28		Diffe- renz																																				
Alter des Zementes bei der Verwendung		Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm, bezogen auf die Anfangslänge nach Tagen																																																												
Gleich verarbeitet		99480	99383	-97	99260	-220	99245	99150	95	99033	-212	98455	98350	105	98170	-285	99680	99376	-104	99458	-222	99245	99133	112	99015	-230	98683	98566	117	98390	-293	Mittel:	—	—	—	-102	—	—	—	-113	—	-229	—	—	-108	—	-286															
Nach 14 Tagen Lagerung		98673	98600	-73	98539	-134	99091	98985	106	98881	-210	99005	98243	107	98115	-235	98430	98355	-75	98289	-141	99300	99200	100	99005	-235	98405	98303	102	98170	-235	98930	98855	-75	98784	-146	98910	98805	105	98700	-210	98585	98475	110	98336	-249	Mittel:	—	—	—	-74	—	—	—	-104	—	-218	—	—	-106	—	-240
Nach 2 Monaten Lagerung		99055	99005	-50	98975	-80	98942	98835	107	98790	-152	99363	99725	116	99638	-203	99193	99135	-58	99110	-83	99518	99410	108	99363	-155	99253	99135	118	99053	-200	99900	99850	-50	99820	-80	99995	99885	110	99835	-160	99185	99065	120	98980	-205	Mittel:	—	—	—	-53	—	—	—	-108	—	-156	—	—	-118	—	-203

Verbindungslinien für die 28tägige Erhärtung, daß dieser Einfluß ein völlig gesetzmäßiger ist.

Allgemein kann aus den Ergebnissen der Reihen I, II und III geschlossen werden, von welcher außerordentlichen Wichtigkeit für die richtige Beurteilung der Schwindneigung der Zemente es ist, nach einem Verfahren zu suchen, welches die Längenmessung der Körper von dem Augenblick ihrer Formung, oder mindestens ihres Erhärtungsbeginnes an gestattet.

Erst dann, und wenn man das Alter des Zementes beachtet, wird es möglich sein, ein zuverlässiges Urteil darüber zu gewinnen, mit welchen Schwindungen man in der Praxis bei größerer oder geringerer Feuchthaltung der Bauwerke zu rechnen hat.

B. Versuchsergebnisse.

a) Allgemeine Erfahrungen.

Die Ergebnisse der neuen Versuche Reihe I bis III bestätigen zunächst die Beobachtungen der früher ausgeführten Versuche in folgenden Punkten:

1. An der Luft schwinden alle Zementmörtel umso stärker, je fetter die angewendete Mischung ist. Das Höchstmaß der Schwindung wird aber im allgemeinen nur von mageren Mischungen schon nach 3 Monaten erreicht. Fettere Mischungen, namentlich solche aus Zementen, die infolge Schwachbrandes an sich stärkere Schwindneigung haben, schwinden noch weiter, teilweise recht beträchtlich bis zu 6 Monaten Alter und darüber hinaus.
2. Die Schwindung erreicht das Mindestmaß, so bald die Mischung so mager ist, daß die Hohlräume des Sandes nicht mehr ausgefüllt sind (Abb. 9). Die mittlere Schwindung beträgt bei der mageren Mischung 1:5 bis zu 6 Monaten Alter 0,42 mm bis 0,58 mm, bei der fetten und dichten Mischung 0,78 mm bis 1,02 mm auf 1 m Baulänge. Das Maß wechselt, je nachdem die Körper längere oder kürzere Zeit nach dem Entformen feucht gehalten werden.
3. In der mageren Mischung ist der Einfluß der Art des Sandes beträchtlich größer als in der fetten. (Die gestrichelten Linienzüge der Abb. 3 bis 7 und 9 liegen weiter auseinander als die ausgezogenen.) In magerer Mischung hat der dichte kalkige Isarsand wieder erheblich stärkere Schwindung ergeben, als der lockere Freienwalder Quarzsand.
4. Die Neigung der Zemente zum Schwinden wird zwar bei Zusatz von Sand beträchtlich vermindert, die charakteristischen Unterschiede der Zemente in bezug auf Schwindneigung bleiben aber namentlich in der dichten Mischung noch erkennbar.

Im besonderen können aus den Versuchen noch die folgenden Schlüsse abgeleitet werden, die sich auf die Art des Zementes, des Sandes und den Einfluß der Eiseneinlagen stützen.

b) Einfluß der Art der Aufbereitung des Zementes.

Auskunft über den Einfluß, welchen die Art des Zementes und seine Aufbereitung auf den Verlauf der Schwindung haben, geben die Abb. 8 und 10, welche die Mittellinien für jeden Zement in magerer und fetter Mischung enthalten, also die Schwind-Eigenschaften dieser Mischungen unter Außerachtlassung der Art des Sandes zusammen fassen, und zwar für die Reihe I und II je für sich. Da zeigen sich bemerkenswerte Unterschiede zwischen den fetten und den mageren Mörteln. Die fetten Mörtel schwinden vom ersten Tage der Messung an erheblich und verkürzen sich bis zum 180. Tage ziemlich gleichmäßig fortlaufend und anscheinend weiter. Nur für den Drehrohrofenzement R und den Eisenportlandzement K tritt nach 180 Tagen nahezu Stillstand im Schwinden ein.

Die mageren Mörtel schwinden anfangs in ähnlicher Form, wenn auch nicht so erheblich. Aber schon nach 30 Tagen tritt eine wesentliche Beruhigung ein und die Schwindung schreitet nur noch langsam fort, bis sie nach 180 Tagen fast ganz zum Stillstand gekommen ist.

Die Unterschiede der Zemente treten — wie bereits früher festgestellt — in der fetten wie in der mageren Mischung deutlich in die Erscheinung, wenn auch einige Abweichungen von den allgemeinen Regeln verzeichnet werden müssen. Allgemein zeigen im Mittel die größte Schwindung Z_2 und Z_1 , das heißt, der Zement mit der größten Menge Schwachbrand weist auch die größte Schwindung auf. Demnächst verhalten sich sehr ähnlich (mit einer Ausnahme B in Reihe II) B , K und R (B =Hochofenzement, K =Eisenportlandzement, R =Drehrohrofenzement).

Der am meisten scharf gebrannten Klinker enthaltende Drehrohrofenzement R erleidet in fetter wie in magerer Mischung die geringste Schwindung.

c) Einfluß der Sande.

In den Abbildungen 12 bis 14 sind aus Abb. 3 bis 7 die Schwindungslinien für jeden Sand noch einmal herausgezeichnet, um den Ueberblick zu erleichtern. Aus den Liniengruppen ist wieder deutlich ersichtlich, wie die Schwindung der Mörtel auch bei Verwendung des gleichen Sandes durch die Zemente beeinflusst wird, was in dem vorhergehenden Abschnitt bereits nachgewiesen war; faßt man die Mittelwerte der Messungen für jeden Sand-zusammen, wie in Abb. 15 geschehen ist, so ergibt sich das Bild des Einflusses der Sandeigenschaften auf den Schwindungsverlauf der Mörtel. Dieser Einfluß der Art des Sandes ist bei den vorliegenden Versuchen beträchtlich größer, als bei den ersten Vorversuchen, deren Ergebnisse in Heft 35 mitgeteilt sind, weil die neuerdings benutzten Sande wesentlich mehr grobes Korn enthalten, sich also ganz anders aufbauen, als die früher benutzten. (Vgl. Abb. 7 in Heft 35 mit Abb. 2 dieser Arbeit.)

Aus dem Vergleich der Abb. 12 bis 14 mit Abb. 3 bis 7 läßt sich schließen, daß der Einfluß der Sandart auf das Schwindungsvermögen der Mörtel mindestens so groß ist, wie der der Zemente, und aus Abb. 15 ersieht man deutlich, daß die Eigenschaften des Sandes im Mittel aus allen Versuchen die mageren Mörtel stärker beeinflussen als die fetten. Das erkennt man aus der sehr geringen Schwindneigung der Mörtel 1:5 mit Freienwalder Sand gegenüber der viel stärkeren des Rheinsandes und daraus, daß in der fetten Mischung 1:2 die Abweichungen im Verlauf der Schwindungslinien für die drei Sande wesentlich geringer sind als in der mageren Mischung, sich auch in einem Falle überschneiden (in Reihe I rückt die Freienwalder Sandmischung zwischen die Mischung mit Isarsand und Rheinsand). Hier müssen also noch Einflüsse während der ersten Stunden der Erhärtung mitgewirkt haben, die sich z. Z. noch der Beobachtung und der Kritik entziehen. Von den drei Sanden ergeben, wie zu erwarten war, die stärkste Schwindneigung der Rheinsand und der Isarsand.

Wie bei den in Heft 35 mitgeteilten Versuchen sich schon gezeigt hat, spielt neben der mineralogischen Zusammensetzung der Sande auch die Dichtigkeit des Haufwerkes eine bedeutsame Rolle. Sande, die zum großen Teil aus mehr oder weniger porigen Kalksteintrümmern mit anhaftendem oder eingeschlossenem feinen Staub bestehen, der sich beim Anrühren mit Wasser zu Schlamm auflöst, wie der Isarsand, haben an sich stärkere Schwindneigung als Quarzsande, die wenig Wasser aufnehmen. Sande mit so dicht gelagerten Körnern aber, wie der Rheinsand, lockern sich beim Anfeuchten mit Wasser infolge Eindringens des Wassers in die feinsten Zwischenräume zwischen den Sandkörnern erheblich auf und schwinden entsprechend beim Austrocknen.

Die Wirkung der stark wassersaugenden Eigenschaften eines Sandes und der dichten Lagerung des Haufwerkes eines Sandes aus wenig Wasser saugenden Mineralien auf die Schwindneigung der Mörtel ist gleich bedeutend, und darf in der Praxis nicht unberücksichtigt bleiben; wenn Schwindung des Mörtels möglichst vermieden werden soll.

Besonders groß ist diese Neigung zum Schwinden naturgemäß da, wo sich die Einflüsse von Zement und Sand addieren, wo ein stark zur Schwindung neigender Zement mit dem die Schwindung begünstigenden stark wasseraufnahmefähigen und dicht gelagerten Sand im fetten Mörtel vereinigt ist (ausgezogene Linien Z_2 und Z_1 in Abb. 13 und Abb. 14).

Auffallend große Schwindneigung ergibt auch die Mischung des Zementes B mit den Sanden aus Rhein und Isar (Abb. 12 und 14), wohl eine Folge der sehr feinen Mahlung des Hochofenzementes B . Da im Isarsand das größte Korn etwas überwiegt, im Rheinsand dagegen das feinste, tritt bei letzterem die Wirkung des feinen Zementes noch schärfer in die Erscheinung als in Verbindung mit Isarsand.

Nicht unerwähnt darf bleiben, daß die mit den fetten Mörteln der vorliegenden Versuche erzielten Schwindungen die größten sein dürften, die praktisch möglich sind, weil die fetten Mischungen die größtmögliche Dichte der einzelnen Mörtel aufweisen, d. h. so viel Zement enthalten, als die Sande in sich überhaupt aufzunehmen vermögen.

Besonderen Aufschluß über die Wirkung, die feinstes Korn in den Mörtelgemischten ausübt, geben dann noch die Zusatzreihen mit den Gemischen aus den Schachtofenzementen Z_1 und Z_2 und dichtem und undichtem Rheinsand (Abb. 9). Durch Wegnahme des feinsten Körnes aus dem Rheinsand und der damit bedingten Auflockerung des Haufwerkes ($u_f = 0,415$ gegen $0,382$) wird die Schwindneigung des Mörtels, selbst bei Vorhandensein stark zum Schwinden neigenden Zementes wesentlich herabgesetzt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß für den Mörtel A das Mischungsverhältnis $1:2,6$ und für den Mörtel B $1:2,0$ beträgt, der Unterschied in der Dichte des Sandes also noch durch Zement wenigstens teilweise ausgeglichen ist. Der an sich undichte Sand B enthält beträchtlich mehr Zement als A . Man hätte demnach, wenn der Zement allein ausschlaggebend wäre, erwarten dürfen, daß der Mörtel B stärker schwindet als A , aber da in der Praxis niemals absolute Dichte eines Mörtelkörpers zu erreichen ist, namentlich dann nicht, wenn der Mörtel mit verhältnismäßig viel Wasser kellengerecht angemacht wurde, darf angenommen werden, daß selbst in einer sehr fetten Mischung der undichte Sand auf Verminderung des Schwindens immer noch günstig einwirkt. Dennoch wurde der Einfluß des Schwachbrandes nicht völlig aufgehoben. Der Schachtofenzement mit Schwachbrandzusatz zeitigt doch noch etwas größere Schwindneigung als der Schachtofenzement mit geringem Gehalt an Schwachbrand.

d) Einfluß der Eiseneinlagen auf die Schwindung.

Um schließlich festzustellen, ob Eiseneinlagen in den Mörteln die Schwindung tatsächlich hemmen, wie vermutet wurde, sind nach Erledigung des gesamten Arbeitsplanes nachträglich zwei besondere Reihen von Versuchen ausgeführt worden, zu denen diejenigen Mischungen verwendet wurden, welche bei früheren Versuchen die stärkste Schwindneigung aufwiesen, nämlich die Mischung

α	1	Raumteil	Schachtofenzement	Z_2	+	2,6	Raumteile	Isarsand,
β	1	„	„	Z_2	+	2,2	„	Freienwalder Rohsand.

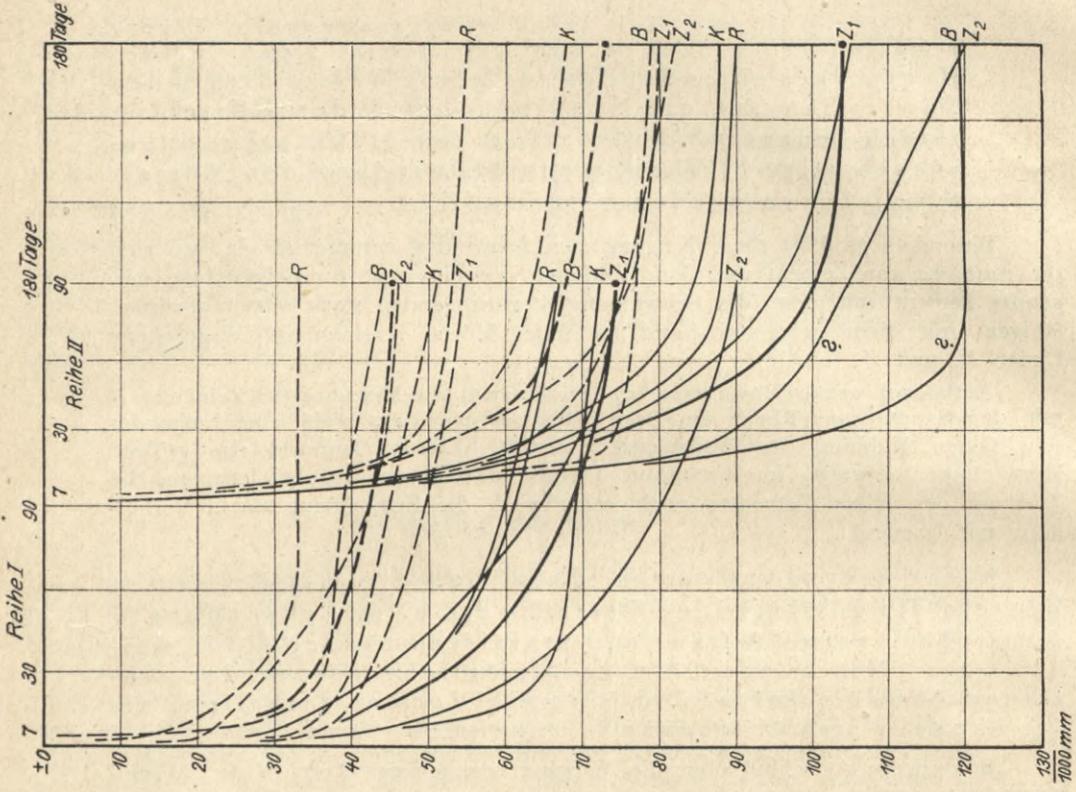


Abb. 13. Schwindung fetter und magerer Zementmörtel mit 5 verschiedenen Zementen und Isarsand.

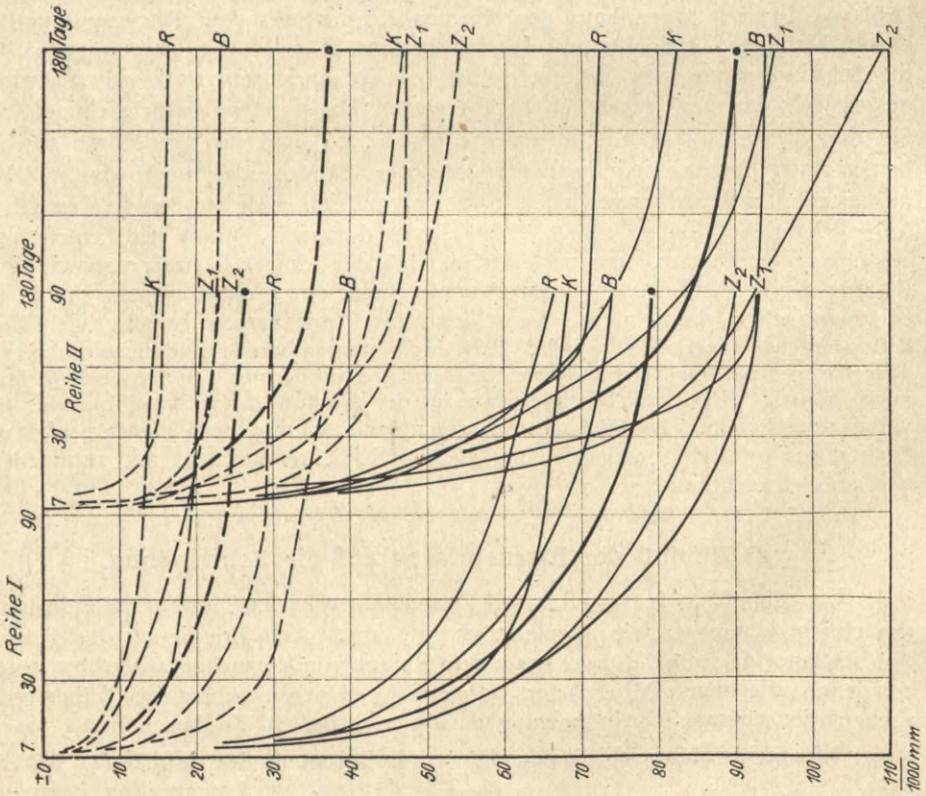


Abb. 12. Schwindung fetter und magerer Zementmörtel mit 5 verschiedenen Zementen und Freienwalder Rohsand.

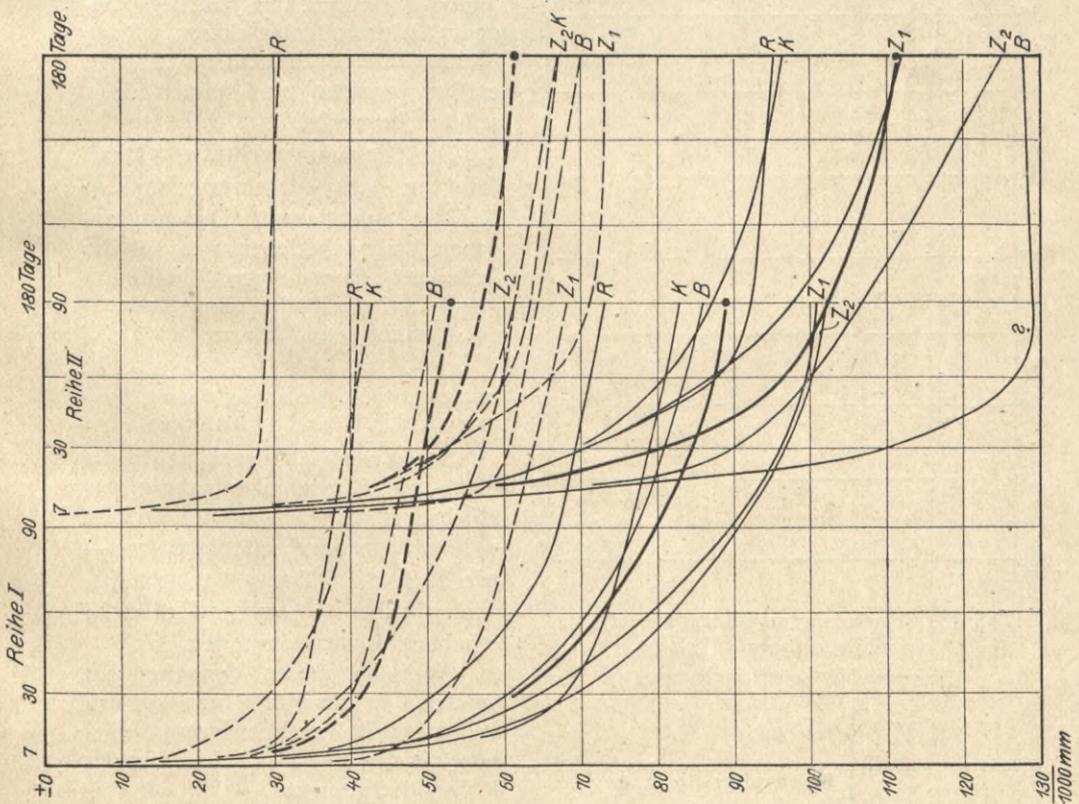


Abb. 14. Schwindung fetter und magerer Zementmörtel mit 5 verschiedenen Zementen und Rheinsand,

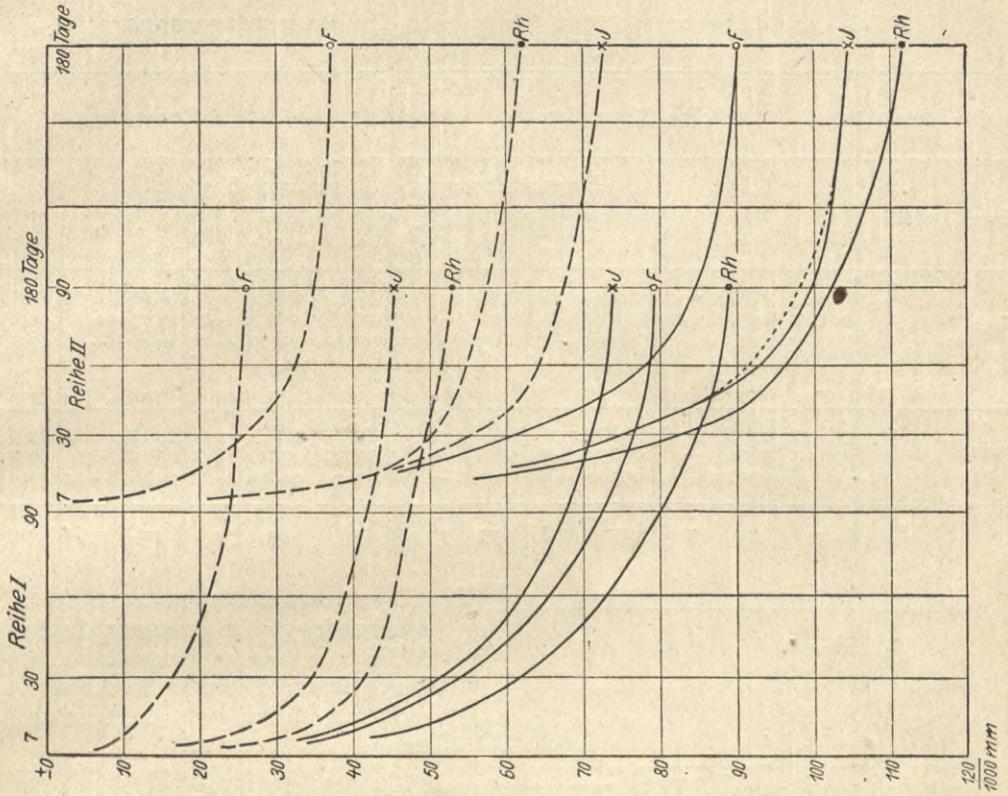


Abb. 15. Schwindung fetter — und magerer — Zementmörtel aus 5 verschiedenen Zementen und 3 Sanden. Mittelwerte für die Sande der Reihe I und II.

Tab. 22. **Ergebnisse der Messungen im Bauschingerapparat** mit Stäben aus fettem Zementmörtel aus Z_2 und zwei Sanden.

Art der Prismen		ohne Eiseneinlage								mit Eiseneinlage							
Sand	Ver-such Nr.	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach Tagen															
		1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz	1	3	Diffe- renz	7	Diffe- renz	28	Diffe- renz		
Isar-sand	1	99993	99993	— 0	99940	— 53	99903	— 90	100458	100456	— 2	100435	— 23	100425	— 33		
	2	100256	100246	— 10	100191	— 65	100153	— 103	100278	100278	— 0	100260	— 18	100250	— 28		
	3	100655	100651	— 4	100600	— 55	100560	— 95	99979	99977	— 2	99963	— 16	99955	— 24		
	Mittel	—	—	— 5	—	— 58	—	— 96	—	—	— 1	—	— 19	—	— 28		
Freien-walder Rohsand	1	99840	99838	— 2	99806	— 34	99760	— 80	99840	99835	— 5	99825	— 15	99815	— 25		
	2	99065	99063	— 2	99035	— 30	98985	— 80	99734	99727	— 7	99718	— 16	99710	— 24		
	3	99530	99529	— 1	99500	— 30	99451	— 79	99620	99619	— 1	99610	— 10	99600	— 20		
	Mittel	—	—	— 2	—	— 31	—	— 80	—	—	— 4	—	— 14	—	— 23		

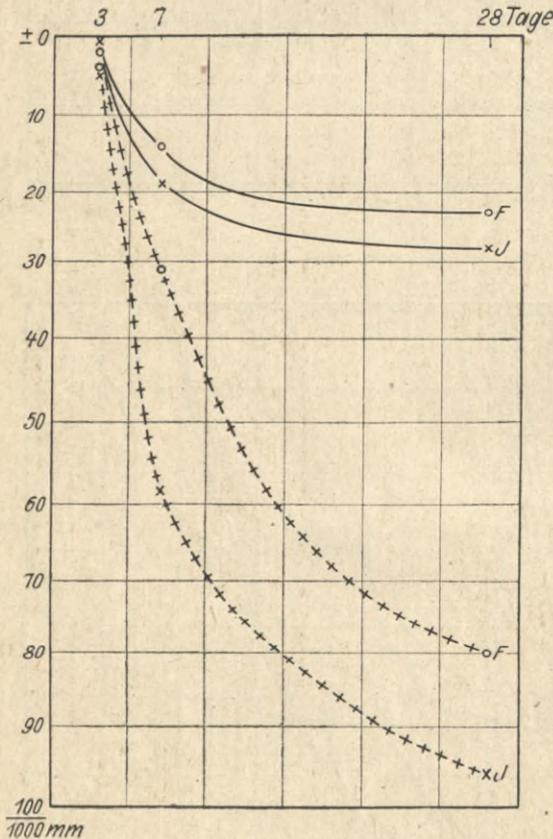


Abb. 16. Schwindung der Mörtelstäbe mit und ohne Eiseneinlagen. (Tab. 22.)

- Mörtel mit Eiseneinlage
- ×××× „ ohne „
- ×—× } Isarsand
- ×××× } Freienwalder Rohsand
- o—o }
- o××o }

Je drei Körper dieser Mörtelmischungen enthielten Eiseneinlagen, Stäbchen von 90 mm Länge bei 10 mm Durchmesser, die an den Enden senkrecht zur Achse glatt abgeschnitten waren.

Die Körper erhärteten wie die der Reihe II. Sie wurden nach der Herstellung mit feuchten Tüchern bedeckt, lagerten unter diesen 3 Tage (während sie nach dem ersten Tage entformt wurden) und kamen dann an die Zimmerluft.

Die Messungsergebnisse enthält Tab. 22. Die Mittelwerte sind in Abb. 16 aufgetragen. Die ausgezogenen Linien beziehen sich auf die Stäbe mit Eiseneinlage, die Linien +++ auf die Stäbe ohne Eisen.

Deutlich ist sichtbar:

Die Eiseneinlagen vermögen die Schwindung beträchtlich aufzuhalten.

Schon nach 28 Tagen haben die Stäbe mit Eiseneinlage nahezu das Höchstmaß der Schwindung erreicht, während sie ohne Eiseneinlagen — wie auch die früheren Versuche bewiesen haben — an der Luft noch erheblich weiter schwinden.

Auch bei diesen Versuchen hat gesetzmäßig der Mörtel mit Isarsand bedeutend höhere Schwindung ergeben, als der Mörtel mit Freienwalder Rohsand erlitten hat.

C. Schlußfolgerungen.

Die Versuche haben bewiesen:

Durch Verwendung scharf gebrannter, nicht übertrieben fein gemahlener Zemente und nicht zudichten, wenig Wasser aufsaugenden Sandes ist es beizunehmen, daß die Schwindung der in der Praxis üblichen Mörtel und — da der Mörtel der Träger des Betons ist — damit auch des Betons auf ein Mindestmaß herabzudrücken.

Die Entfernung des feinsten Staubes aus dem Sande durch Waschen oder Absieben kann auch an sich wenig geeigneten Sanden einen Teil ihrer Schwindneigung nehmen.

Durch Einlegen von Eisen ist dem Auftreten der Schwindrisse auch in fetter, an sich sehr zum Schwinden neigender Mörtelmischung erfolgreich entgegen zu wirken.

Der Zweck der Versuche, wegweisend für die Wahl der weiter zu prüfenden Betonmischungen zu dienen, ist damit erfüllt. Die Vorversuche können als abgeschlossen gelten.



Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Heft 1 bis 3. Bericht über die von der Materialprüfungsanstalt an der Königlichen Technischen Hochschule Stuttgart im Jahre 1908 durchgeführten Versuche mit Eisenbeton-Balken namentlich zur Bestimmung des Gleitwiderstandes. Erstattet vom Vorstände der Anstalt **C. Bach** unter Mitwirkung von **O. Graf**. (Veröffentlicht in Heft 72 bis 74 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1909. Geh. Preis 3 M.

Heft 4. Fortsetzung von Heft 1 bis 3. (Veröffentlicht in Heft 95 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1910. Geh. Preis 1 M.
Die weiteren Hefte sind im Verlage von **Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin**, erschienen.

Heft 5. Versuche mit Eisenbeton-Säulen Reihe I. u. II. Ausgeführt in Groß-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geh. Regierungsrat, Direktor im Kgl. Materialprüfungsamt. 1910. Mit 72 Textabb. und zahlreichen Tabellen. Geh. Preis 6 M.

Heft 6. Versuche über den elektrischen Widerstand von unbewehrtem Beton. Ausgeführt in Darmstadt. Von Professor **O. Berndt**, Geheimer Baurat, Professor Dr. **Wirtz**, Geheimer Hofrat, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. **W. Müller**. 1911. Mit 60 Textabb. Geh. Preis 3,60 M.

Heft 7. Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Bestimmung des Gleitwiderstandes. Ausgeführt in Dresden. Von Professor **H. Scheit**, Geh. Hofrat, Direktor der Königl. Sächsischen Techn. Versuchsanstalt unter Mitwirkung von Privatdozent **O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt. 1911. Mit 55 Textabb. Geh. Preis 1,80 M.

Heft 8. Versuche über das Verhalten von Kupfer, Zink und Blei gegenüber Zement, Beton und den damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten. Ausgeführt in Groß-Lichterfelde-West. Von Professor **E. Heyn**, Direktor im Kgl. Materialprüfungsamt. 1911. Mit 33 Textabb. und zahlreichen Tabellen. Geh. Preis 3,20 M.

Heft 9. Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Bestimmung des Einflusses der Hakenform der Eiseneinlagen. Ausgeführt in Stuttgart. Von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1911. Mit 84 Textabb. und 12 Zusammenstellungen. Geh. Preis 5,20 M.

Heft 10. Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte. ERSTER TEIL. Ausgeführt in Stuttgart. Von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1911. Mit 190 Abb. und 31 Zusammenstellungen. Geh. Preis 9 M.

Heft 11. Brandproben an Eisenbetonbauten. Ausgeführt in Groß-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1911. Mit 22 Textabb. Geh. Preis 2 M.

Heft 12. Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte. ZWEITER TEIL. Ausgeführt in Stuttgart. Von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1911. Mit 304 Abb. und 40 Zusammenstellungen. Geh. Preis 14 M.

Heft 13. **Versuche über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit von Beton.** Ausgeführt in Groß-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

1912. Mit 15 Textabb.

Geh. Preis 1,60 M.

Heft 14. **Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Stoßverbindungen der Eiseneinlagen.** Ausgeführt in Dresden. Von Professor **H. Scheit**, Geh. Hofrat, Direktor der Versuchsanstalt und Privatdozent Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt.

1912. Mit 144 Textabb.

Geh. Preis 4 M.

Heft 15. **Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton.** Ausgeführt in Darmstadt. Von Professor **O. Berndt**, Geh. Baurat, Vorstand der Materialprüfungsanstalt, Professor **Dr. K. Wirtz**, Geh. Hofrat, unter Mitwirkung von Privatdozent **Dr.-Ing. E. Preuß**.

1912. Mit 214 Textabb.

Geh. Preis 4,60 M.

Heft 16. **Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung.** Ausgeführt in Stuttgart. Von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

1912. Mit 114 Textabb. und 14 Zusammenstellungen.

Geh. Preis 4,60 M.

Heft 17. **Versuche mit Stampfbeton.** Ausgeführt in Groß-Lichterfelde-West. Von Geheimem Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor, und Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

1912. Mit 71 Textabb. und 64 Tabellen.

Geh. Preis 9,60 M.

Heft 18. **Die Beziehung zwischen Formänderung und Biegemoment bei Eisenbeton-Balken** (abgeleitet aus den bis Ende 1911 durchgeführten Versuchen). Von Professor **Dr.-Ing. E. Mörsch**.

1912. Mit 12 Textabb.

Geh. Preis 1,20 M.

Heft 19. **Prüfung von Balken zu Kontrollversuchen.** Ausgeführt in Stuttgart. Von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

1912. Mit 26 Textabb. und 10 Zusammenstellungen.

Geh. Preis 2,40 M.

Heft 20. **Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte.** DRITTER TEIL. Ausgeführt in Stuttgart. Von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

1912. Mit 188 Textabb. und 29 Zusammenstellungen.

Geh. Preis 10,60 M.

Heft 21. **Untersuchungen über den Einfluß der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisenbeton-Säulen.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.

1912. Mit 44 Textabb. und 64 Tabellen.

Geh. Preis 6 M.

Heft 22. **Versuche über das Rosten von Eisen in Mörtel und Mauerwerk.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königl. Materialprüfungsamt.

1913. Mit 15 Abb. und 5 Tabellen.

Geh. Preis 2,80 M.

Heft 23. **Untersuchungen über die Längenänderungen von Betonprismen beim Erhärten und infolge von Temperaturwechsel.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt, unter Mitwirkung von **Dr.-Ing. H. Sieglerschmidt**, Assistent der Abteilung für Metallprüfung.

1913. Mit 36 Textabb. und 32 Zusammenstellungen.

Geh. Preis 5,60 M.

Heft 24. **Spannung σ_{bz} des Betons in der Zugzone von Eisenbeton-Balken unmittelbar vor der Ribbildung.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1913. Mit **13** Textabb. und **6** Zusammenstellungen. Geh. Preis **2,80 M.**

Heft 25. **Wahl des Größenwertes der Elastizitätsverhältniszahl n für die Berechnung von Eisenbetonträgern.** Von **M. Möller**, Geheimer Hofrat, Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig und Dipl.-Ing. **M. Brunkhorst**, Assistent an der Hochschule. 1913. Mit **2** Textabb. Geh. Preis **1 M.**

Heft 26. **Belastung und Abbruch von zwei Eisenbetonbauten im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West.** Nachtrag zu der Veröffentlichung über **Brandproben** an Eisenbetonbauten (Heft 11). Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1913. Mit **11** Textabb. Geh. Preis **1,20 M.**

Heft 27. **Gesamte und bleibende Einsenkungen von Eisenbeton-Balken. Verhältnis der bleibenden zu den gesamten Einsenkungen.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1914. Mit **58** Textabb. und **47** Zusammenstellungen. Geh. Preis **2,40 M.**

Heft 28. **Untersuchung von Eisenbeton-Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung.** DRITTER TEIL. (Fortsetzung zu Heft 5 und 21.) Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt. 1914. Mit **47** Textabb. Geh. Preis **8,40 M.**

Heft 29. **Die vorschriftsmäßige Zusammensetzung des Betongemenges nach den Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton.** Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1915. Mit **16** Textabb. Geh. Preis **2,20 M.**

Heft 30. **Versuche mit allseitig aufliegenden, quadratischen und rechteckigen Eisenbetonplatten.** Ausgeführt in Stuttgart. Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1915. Mit **512** Textabb. und **34** Zusammenstellungen. Geh. Preis **25 M.**

Heft 31. **Versuche zur Ermittlung des Rostschutzes der Eiseneinlagen im Beton unter besonderer Berücksichtigung des Schlackenbetons.** Ausgeführt in der Königlich sächs. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt zu Dresden in den Jahren 1908 bis 1914. Bericht erstattet von Geh. Hofrat **H. Scheit**, o. Professor an der Königlich sächs. Technischen Hochschule, Direktor der Versuchsanstalt, und Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, a. o. Professor an der Königl. sächs. Technischen Hochschule, Adjunkt der Versuchsanstalt. Unter Mitwirkung von Regierungsbaumeister Dipl.-Ing. **H. Amos**, Assistent an der Versuchsanstalt. 1915. Mit **293** Textabb., **3** farb. Tafeln, **25** Zahlentafeln. Geh. Preis **8 M.**

Heft 32. **Probebelastung von Decken.** Berichte nach Versuchen des Königlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Lichterfelde-West und der Akt.-Ges. für Beton- und Monierbau in Berlin. Teil I. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. — Teil II. Von Geh. Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor des Königlichen Materialprüfungsamts. 1915. Mit **23** Textabb. und **11** Tabellen. Geh. Preis **2 M.**

Heft 33. **Brandproben an Eisenbetonbauten.** Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West in den Jahren 1914 u. 1915. II. Bericht, erstattet von Professor **M. Gary**, Geh. Regierungsrat, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1916. Mit **54** Textabb. Geh. Preis **3,80 M.**

Heft 34. **Erfahrungen bei der Herstellung von Eisenbeton-Säulen. Längenänderungen der Eiseneinlagen im erhärtenden Beton.** Vierter Teil. (Fortsetzung zu Heft 5, 21 und 28.) Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geh. Regierungsrat, Direktor des Königlichen Materialprüfungsamts. 1915. Mit **50** Textabb. und **4** Zusammenstellungen. Geh. Preis **2,40 M.**

Heft 35. **Schwellung und Schwindung von Zement und Zementmörteln in Wasser und Luft.** Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1915. Mit **14** Textabb. Geh. Preis **1,80 M.**

Heft 36. **Versuche zum Vergleich der Würfelfestigkeit des Betons zu der im Bauwerk erzielten Festigkeit.** Ausgeführt durch die Großherzogliche Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1913. Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geheimer Baurat, Vorstand der Materialprüfungsanstalt und **Dr.-Ing. E. Preuss** †, Privatdozent, Stellvertreter des Vorstandes der Materialprüfungsanstalt. 1915. Mit **25** Textabb. und **22** Tabellen. Geh. Preis **2,80 M.**

Heft 37. **Versuche mit Eisenbetonbalken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Stoßverbindungen der Eiseneinlagen (Ergänzungsversuche).** Ausgeführt in der Königl. Sächs. Mechanisch-technischen Versuchsanstalt zu Dresden im Jahre 1915. Bericht, erstattet von Geh. Hofrat **H. Scheit**, o. Professor an der Technischen Hochschule u. Direktor der Versuchsanstalt, und Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, a. o. Professor an der Technischen Hochschule u. Adjunkt der Versuchsanstalt, unter Mitwirkung von Regierungsbaumeister **H. Amos**, Assistent an der Versuchsanstalt. 1917. Mit zahlreichen Textabb. Geh. Preis **2,40 M.**

Heft 38. **Versuche mit Eisenbetonbalken zur Ermittlung der Beziehungen zwischen Formänderungswinkel und Biegemoment.** Erster Teil. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt an der Königlichen Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1912 bis 1914. Bericht erstattet von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt. 1917. Mit **93** Textabb. und **22** Zusammenstellungen. Geh. Preis **7,60 M.**

Heft 39. **Flüssige Betongemische für Eisenbeton.** Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West, erstattet von Geheimem Regierungsrat, Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1917. Mit **25** Textabb. und **21** Tabellen. Geh. Preis **3 M.**

Heft 40. **Versuche mit Eisenbetonbalken zur Ermittlung des Einflusses von Erschütterungen.** Ausgeführt in der Königl. Sächs. Mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Dresden in den Jahren 1912 bis 1914. Bericht erstattet von Geh. Hofrat **H. Scheit**, o. Professor an der Technischen Hochschule u. Direktor der Versuchsanstalt, Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, a. o. Professor an der Technischen Hochschule u. Adjunkt der Versuchsanstalt und Regierungsbaumeister **H. Amos**, Assistent an der Versuchsanstalt. 1918. Mit **233** Textabb. und **33** Zahlentafeln. Geh. Preis **11,40 M.**

Heft 41. **Brandproben an Eisenbetonbauten.** Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West im Jahre 1916/1917. III. Bericht, erstattet von Geheimem Regierungsrat, Professor **Dr.-Ing. E. h. M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1918. Mit **21** Textabb. und **14** Tabellen. Geh. Preis **4,40 M.**

Heft 42. **Schwindung von Zementmörteln an der Luft.** II. Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West, erstattet von Geheimem Regierungsrat, Professor **Dr.-Ing. E. h. M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt. 1918. Mit **16** Textabb. und **22** Tabellen. Geh. Preis **4,40 M.**

Weitere Hefte in Vorbereitung.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307172

L.

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



100000300747