

HEFT 35.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

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

BERLIN 1915.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

1340

Alle Rechte vorbehalten.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300749

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

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

=====
MIT 14 TEXTABBILDUNGEN
=====

BERLIN 1915.

B I B L I O VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

REGIONALNEJ DYREKCJI
PLANOWANIA PRZESTRZENNEGO

WE W R O C Ł A W I U

NR/ 1340 T. DZ

W
327

50 75 100

1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000

SYMBOLE

INSTRUKCJA

WYKONANIE



111-352170

~~III 17942~~

Alle Rechte vorbehalten.

WYKONANIE

WYKONANIE

WYKONANIE

WYKONANIE

WYKONANIE

III 17942/2018

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Akc. Nr.

~~904/52~~

111

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Veranlassung zu den Vor-Versuchen mit Zementen	I
Probematerial	2
Eigenschaften der Zemente	2
Versuchsausführung	4
Versuchsergebnisse	5
II. Erweiterung der Versuche auf Mörtel	II
Arbeitsplan II für Versuche zur Bestimmung der Längenänderung von Zement und Zementmörtel	12
Probematerial	13
Prüfung der Zemente	13
Prüfung der Sande	13
Versuchsausführung	16
Versuchsergebnisse	16
Vergleich mit den Vorversuchen I	27
Einfluß des Alters	27
Einfluß der Dichte der Versuchskörper	27
Endergebnisse	29
1. Hält längeres Anfeuchten die Schwindung auf?	29
2. Wie weit wird die Schwindung durch Magerung mit Sand beeinflusst?	30
3. Welchen Einfluß auf die Verminderung der Schwindung hat die Art des Sandes?	30
4. Aeußert sich die verschiedene Neigung der Zemente zum Schwinden auch nach Magerung mit verschiedenen Sanden?	34
Schluß	34

I. Veranlassung zu den Vor-Versuchen mit Zementen.

Bei der Beratung über weiter auszuführende Versuche zur Bestimmung der Längenänderungen von Beton während des Erhärtens und infolge von Wärmeänderungen¹⁾ ist in der Sitzung des Arbeitsausschusses des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton vom 29. Oktober 1911 beschlossen worden, zunächst Vorversuche zur Ermittlung der Schwindungsverhältnisse verschiedener Zemente anzustellen, um eine Grundlage für die Wahl der für die Hauptversuche in Betracht kommenden Zemente zu gewinnen.

Das Königliche Materialprüfungsamt Lichterfelde wurde mit der Ausführung der Versuche beauftragt und beschloß, Längenänderungsversuche unter Verwendung der Dehnmessner von Bauschinger und Martens auszuführen, wobei, den Wünschen des Ausschusses entsprechend, nur Zement ohne Sandzumischung Verwendung finden sollte. Die Proben sollten z. T. unter Wasser, z. T. 7 Tage unter Wasser, dann an der Luft erhärten. (Kombinierte Erhärtung.)

Das Probematerial, von dem nur geringe Mengen benötigt wurden, lieferte entgegenkommend Herr Dr. Framm, Leiter des Laboratoriums des Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten in Karlshorst aus seinen Beständen. Dabei wurden auf Wunsch solche Marken ausgewählt, die bei den alljährlich in dem Laboratorium zu Karlshorst angestellten Kontrollversuchen besonders auffallendes Verhalten in bezug auf Längenänderungen in Nässe und Trockenheit, Kälte und Wärme gezeigt hatten. Herr Dr. Framm lieferte auf Wunsch auch die Angaben über das Herstellungsverfahren der verwendeten Marken, so weit Portlandzemente in Frage kommen, während die nachstehenden Angaben für die Eisenportland- und die Hochofenzemente (Schlackenzemente) aus den Akten des Amtes entnommen wurden.

Die Veröffentlichung des Ursprungs der einzelnen Marken unterbleibt der Gepflogenheit des Ausschusses entsprechend. Die einzelnen Marken sind nur mit den Nummern 1 bis 10 bezeichnet und nach ihrer Art und Herstellungsweise umstehend kurz gekennzeichnet.

In der Versuchsreihe sind alle zur Zeit in Deutschland in Gebrauch befindlichen Herstellungsverfahren der Zemente vertreten, so daß die untersuchten Zemente als Typen ihrer Art gelten können.

¹⁾ Ueber die bisherigen einschlägigen Versuche s. Heft 23 und 34.

Probematerial.

Nr.	Art des Zementes	Herstellungsverfahren
1	Portlandzement	Halbnaßverfahren; Drehrohfen.
2		
3		Nasse Aufbereitung; Dietzsch-Ofen.
4		Trockene Aufbereitung; Dietzsch- oder Schneider-Ofen.
5		Trockene Aufbereitung; Drehrohfen.
6		Trockene Aufbereitung; Schneider-Ofen.
7	Eisenportlandzement	Trockene Aufbereitung. 45 Schlacke, 55 Kalk. Drehrohfen.
8		Trockene Aufbereitung. Mischung unbekannt. Schacht-ofen mit künstlichem Zug.
9	Hochofenzement	Scharf getrocknet. 75 Schlacke, 20 Portlandzement. Rohrmühle.
10		{ Trockene Aufbereitung. 1 Schlacke, 1,1 Kalk. Schneider-Ofen. { 25—35 Klinker: 75—65 Schlacke. Rohrmühle.

Eigenschaften der Zemente.

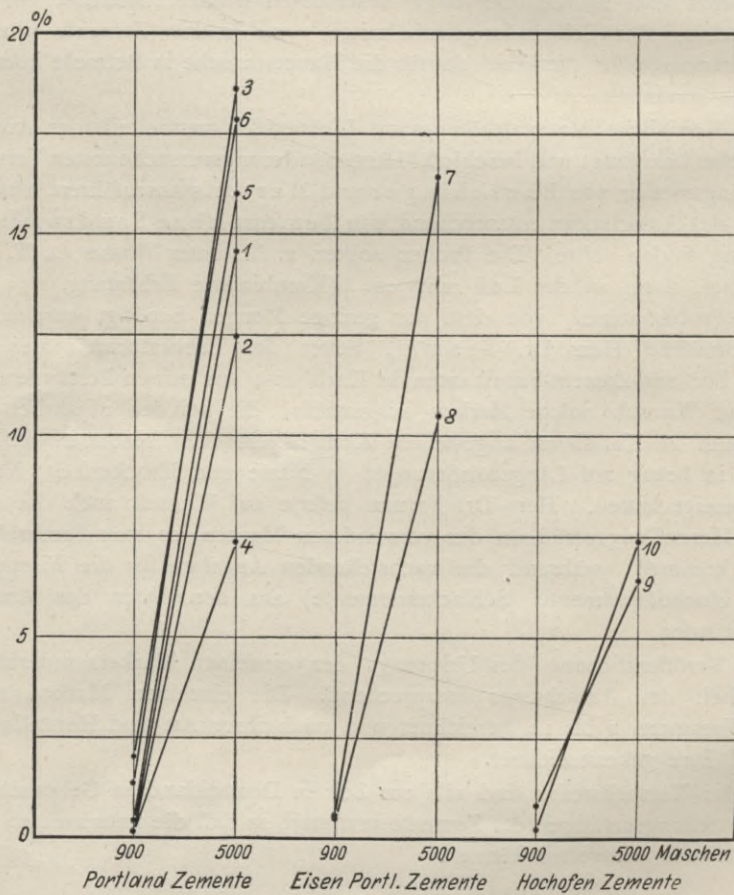


Abb. 1. Rückstände der Zemente auf 900 und 5000 Maschen.

Eine normenmäßige Untersuchung der Zemente war aus Gründen der Kostenersparnis um so weniger geplant, als aus zahlreichen Versuchen bekannt war, daß die zu den Versuchen in Aussicht genommenen Marken sämtlich den Anforderungen der deutschen Normen vom Dezember 1909 entsprechen. Nur die für das Ergebnis der Dehnungsmessungen besonders wichtige Eigenschaft der Mahlung der Zemente ist nachgeprüft und die Ergebnisse sind in Tab. 1 zusammengestellt. Alle Zemente sind sehr fein gemahlen, am feinsten aber die Portlandzemente 2 und 4, der Eisenportlandzement 8 und die Hochofenzemente 9 und 10. Den Ueberblick erleichtert Abb. 1. Wir werden später sehen, ob und wie sich die feine Mahlung äußert.

Im Laufe der Versuche stellte sich als wünschenswert heraus, auch die chemische Zusammensetzung der beiden am meisten voneinander abweichenden Zemente kennen zu lernen. Die Analysen dieser Zemente stellte Herr Dr. F r a m m freundlichst zur Verfügung. Sie sind in Tab. 2 enthalten.

Tab. 1. Mahlung der 10 Versuchszemente.

Art des Zementes	Bezeichnung des Zementes	Rückstand %	Siebe mit der überschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm		
			900	5000	
Portlandzement	1	Auf den Sieben	0,0	14,6	
		Zwischen je zwei Sieben	0,0	14,6	85,4
	2	Auf den Sieben	0,0	12,5	
		Zwischen je zwei Sieben	0,0	12,5	87,5
	3	Auf den Sieben	1,6	18,6	
		Zwischen je zwei Sieben	1,6	17,0	81,4
	4	Auf den Sieben	0,2	7,4	
		Zwischen je zwei Sieben	0,2	7,2	92,6
	5	Auf den Sieben	0,4	16,0	
		Zwischen je zwei Sieben	0,4	15,6	84,0
	6	Auf den Sieben	2,0	17,8	
		Zwischen je zwei Sieben	2,0	15,8	82,2
Eisenportlandzement	7	Auf den Sieben	0,6	16,4	
		Zwischen je zwei Sieben	0,6	15,8	83,6
	8	Auf den Sieben	0,5	10,5	
		Zwischen je zwei Sieben	0,5	10,0	89,5
Schlackenzement	9	Auf den Sieben	0,8	6,4	
		Zwischen je zwei Sieben	0,8	5,6	93,6
	10	Auf den Sieben	0,2	7,4	
		Zwischen je zwei Sieben	0,2	7,2	92,6

Tab. 2. Chemische Zusammensetzung der Zemente 2 und 4.

	Vereinslaboratorium Karlshorst	
	Zement Nr.	
	2	4
In Salzsäure unlöslich	0,14	0,83 %
Kieselsäure	21,23	20,21 „
Tonerde	6,34	7,17 „
Eisen	1,85	2,84 „
Kalk	65,86	59,43 „
Magnesia	0,82	2,85 „
Schwefelsäure	1,44	2,23 „
Sulfidschwefel	0,00	0,03 „
Glühverlust	2,09	3,23 „

Versuchsausführung.

Wie bereits erwähnt, sollten die 10 Zemente in reinem Zustand auf Schwellung bzw. Schwindung nach zwei Verfahren geprüft werden:

- a) auf dem Bauschinger-Apparat,
- b) „ „ Martens-Apparat.

Das Verfahren nach a) ist allgemein bekannt. Man bedient sich dazu der Stäbe von 10 cm Länge und 5 qcm quadratischem Querschnitt; in die Endflächen werden gekörnte Achatplättchen zur Aufnahme der Tasterspitzen des Meßapparates eingeformt.

Das Verfahren nach b) ist ebenfalls bereits veröffentlicht¹⁾. Im vorliegenden Falle wurden aus dem reinen Zement Zugproben gefertigt, in welche mit Hilfe einer Lehre Drahtstifte eingelassen wurden, deren Abstand gemessen wurde.

Bei Herstellung der Körper betrug der Wasserzusatz, in der üblichen Weise bestimmt,

für Zement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	17,0	17,5	18,0	19,5	16,5	18,0	16,5	17,0	18,0	18,5.

Auffällig war der hohe Wasseranspruch des Zementes 4, für den indessen keine Erklärung gefunden wurde.

Während der Herstellung der Körper (14. November 1912 bis 3. Dezember 1912) betrug die Wärme der Luft 18 C⁰, die Wärme des Wassers 17 C⁰ und die Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 52 und 60 %.

Von jedem Zement wurden 10 Stäbe und 4 bzw. 6 Zugproben gefertigt. Diese lagerten je zur Hälfte (5 bzw. 2 bzw. 3)

- a) vom 1. Tage nach der Fertigung an unter Wasser,
- β) „ 1. „ „ „ „ „ 6 Tage unter Wasser, dann an der Luft (kombinierte Erhärtung).

Geplant war, die Körper nach 1 Tag, 7 Tagen, 28 Tagen, 6 Monaten, 1 Jahr und 2 Jahren zu messen. Da sich aber die charakteristischen Unterschiede zwischen den Zementen bereits nach 3 Monaten deutlich zeigten und eine baldige Entscheidung erwünscht war, wurde die letzte Messung fortgelassen und durch eine solche nach 3 Monaten ersetzt.

¹⁾ Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt 1905, S. 203.

Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse der Längenmessungen sind in Tab. 3 in $\frac{1}{1000}$ mm, ausgehend von der Anfangslänge bei einem Tag Alter, und in Prozenten der Anfangslänge mal 1000 zusammengestellt.

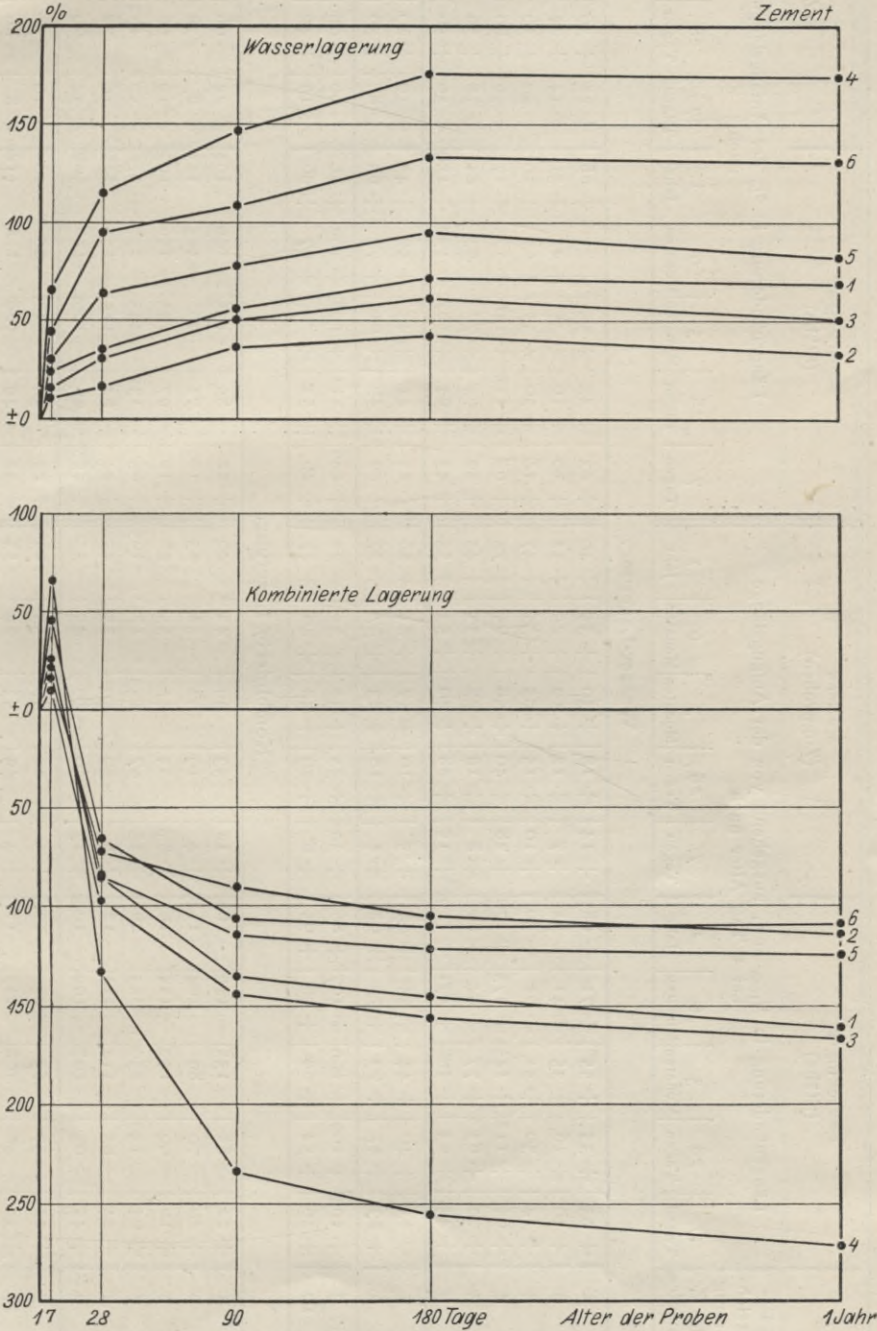


Abb. 2. Darstellung der Längenänderung nach Bauschinger in % der Anfangslänge mal 1000 der Proben aus Portland-Zement 1 bis 6.

Zusammenstellung der Ergebnisse der Längenmessungen (Mittelwerte aus je zwei bis fünf Einzelversuchen).
 Tab. 3. Prüfung reiner Zemente auf Schwellung und Schwundung.

Meßverfahren	Bauschinger (Stäbe)										Martens (Zugproben)										
	Längenänderung in 1/1000 mm, ausgehend von der Anfangslänge bei 1 Tag Alter nach					Längenänderung in 1/1000 mm, ausgehend von der Anfangslänge nach					Längenänderung in 1/1000 mm, ausgehend von der Anfangslänge mal 1000 nach					Längenänderung in 1/1000 mm, ausgehend von der Anfangslänge mal 1000 nach					
Art des Zementes	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	6 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	6 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	6 Monaten	1 Jahr	7 Tagen	28 Tagen	3 Monaten	6 Monaten	1 Jahr	
Wasser-Lagerung.																					
Portlandzement	1	+23	+33	+55	+71	+68	+14	+18	+30	+35	+40	+23	+33	+55	+71	+68	+28	+36	+60	+70	+80
	2	+10	+16	+35	+41	+31	+7	+12	+19	+25	+32	+10	+16	+35	+41	+31	+14	+24	+38	+50	+64
	3	+14	+30	+51	+61	+50	+10	+15	+25	+35	+37	+14	+30	+51	+61	+50	+20	+30	+50	+70	+74
	4	+64	+112	+145	+173	+170	+28	+40	+58	+65	+75	+65	+113	+146	+175	+172	+56	+80	+116	+130	+150
	5	+29	+63	+77	+94	+81	+8	+18	+28	+35	+43	+29	+63	+77	+94	+81	+16	+36	+56	+70	+86
	6	+43	+93	+106	+131	+129	+15	+28	+40	+53	+55	+43	+94	+107	+132	+130	+30	+56	+80	+106	+110
Eisenportlandzement	7	+23	+40	+44	+55	+42	+5	+10	+17	+23	+28	+23	+41	+45	+56	+43	+10	+20	+34	+46	+56
	8	+29	+47	+60	+72	+62	+4	+18	+23	+27	+37	+29	+48	+61	+73	+63	+8	+36	+46	+54	+74
Schlackenzement	9	+104	+109	+106	+107	+86	+30	+34	+32	+32	+32	+106	+111	+108	+109	+88	+60	+68	+64	+64	+64
	10	+26	+52	+69	+96	+95	+8	+20	+32	+40	+47	+26	+53	+70	+97	+96	+16	+40	+64	+80	+94
Kombinierte Lagerung.																					
Portlandzement	1	+22	-85	-135	-146	-162	+12	-33	-39	-42	-40	+22	-85	-135	-146	-162	+24	-66	-78	-84	-80
	2	+10	-70	-89	-104	-112	+4	-19	-32	-32	-23	+10	-71	-90	-105	-113	+8	-38	-64	-64	-46
	3	+16	-96	-142	-154	-165	+8	-33	-45	-55	-48	+16	-97	-143	-156	-167	+16	-66	-90	-110	-96
	4	+64	-130	-230	-253	-268	+25	-87	-155	-175	-165	+65	-132	-233	-256	-272	+50	-174	-310	-350	-330
	5	+24	-83	-114	-121	-125	+8	-39	-50	-55	-43	+24	-84	-115	-122	-126	+16	-78	-100	-110	-86
	6	+45	-65	-105	-109	-108	+17	-30	-40	-45	-33	+45	-66	-106	-110	-109	+34	-60	-80	-90	-66
Eisenportlandzement	7	+22	-57	-83	-96	-99	+5	-28	-30	-35	-25	+22	-58	-85	-98	-101	+10	-56	-60	-70	-50
	8	+32	-48	-108	-117	-117	+4	-43	-53	-64	-53	+32	-49	-109	-118	-118	+8	-86	-106	-128	-106
Schlackenzement	9	+107	+34	-3	-21	-37	+32	-3	-8	-22	-12	+111	+35	-3	-22	-38	+64	-6	-16	-44	-24
	10	+26	-50	-94	-120	-116	+7	-25	-37	-43	-35	+26	-51	-95	-121	-117	+14	-50	-74	-86	-70

Die Messungen mit dem Bauschinger Tasterapparat haben sich im allgemeinen als die zuverlässigeren erwiesen (früher bei solchen Messungen beobachtete Fehler¹⁾ sind durch Anwendung der Achatplättchen ausgeschaltet). In den Abb. 2 bis 5

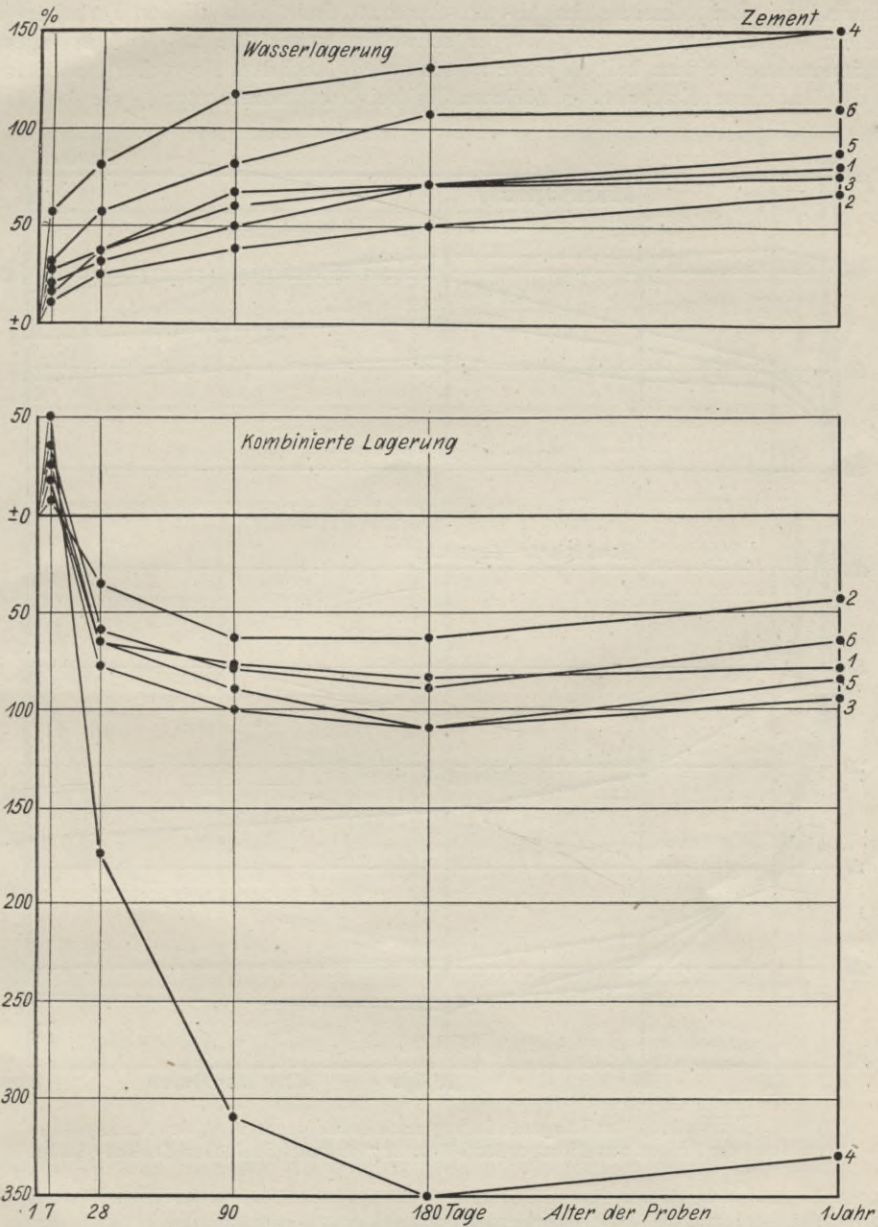


Abb. 3. Darstellung der Längenänderung nach Martens in % der Anfangslänge mal 1000 der Proben aus Portland-Zement 1 bis 6.

sind die auf Prozente der Anfangslänge berechneten Dehnungen bzw. Schwindungen zeichnerisch aufgetragen, und zwar in zwei Gruppen, eine für die 6 Portlandzemente, eine für die 4 anderen Zemente.

¹⁾ S. Mitteilungen aus den Kgl. Techn. Versuchsanstalten 1903, S. 106.

Beim Vergleich der Abb. 2 mit 3 und 4 mit 5 fällt auf, daß nach den Messungen mit dem Bauschinger-Apparat die im Wasser liegenden Proben nach einem halben Jahre sich zu verkürzen (zu schwinden) beginnen, und die nach 7 Tagen an die Luft gebrachten Stäbe auch nach einem halben Jahre noch weiter schwinden. Bei Messung im Martens-Apparat dreht sich dieses Verhalten um: die im Wasser liegenden (Zug-)Körper schwellen weiter, die an der Luft liegenden beginnen nach einem halben Jahre zu schwellen, nachdem sie vorher geschwunden sind. Da diese Erscheinung gleichmäßig bei Portlandzementen, wie bei Eisen-

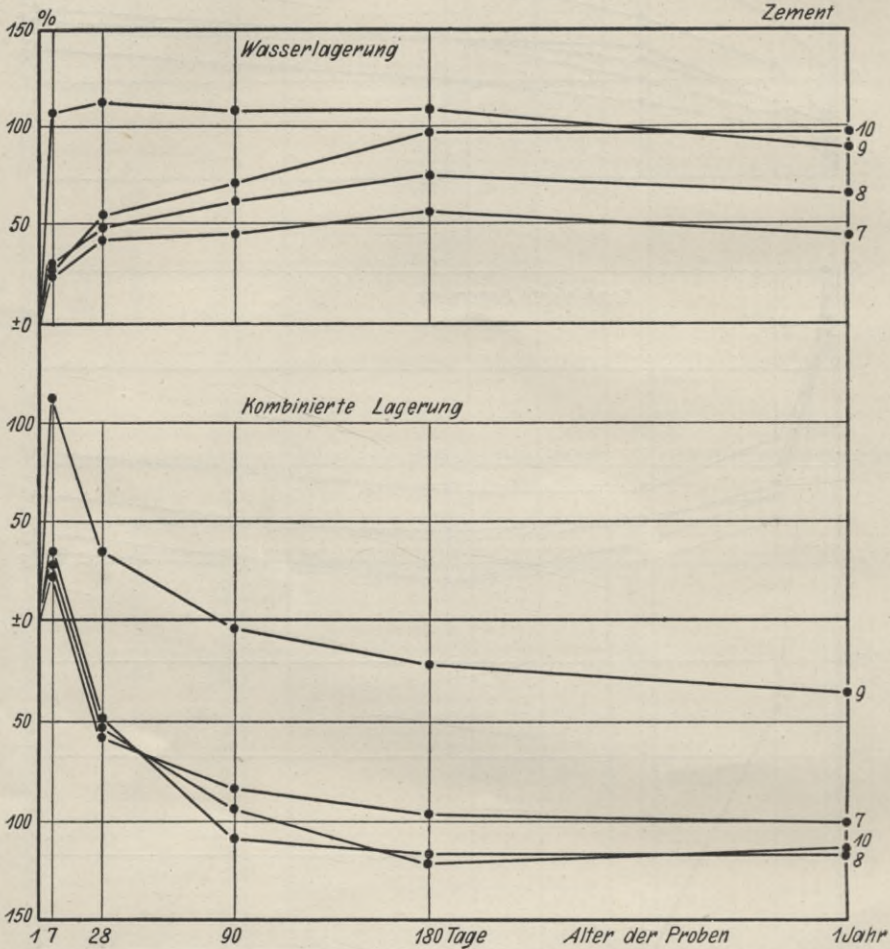


Abb. 4. Darstellung der Längenänderung nach Bauschinger in % der Anfangslänge mal 1000 der Proben aus Eisenportland-Zement 7 bis 8 und Schlacken-Zement 9 bis 10.

portlandzementen und Hochofenzementen und ganz gesetzmäßig auftritt, kann sie nur in der verschiedenartigen Form der Probekörper begründet sein.

Der im Querschnitt gleichmäßige, bei größerer Länge dünnere Stab wird äußeren Einflüssen leichter und schneller zugänglich sein als die im Querschnitt wechselnde, nach den Enden zu sich verdickende Zugprobe, in der außerdem vermöge der größeren Masse zwischen den Meßstellen Verkrümmungen auftreten können, die das Meßergebnis beeinflussen.

Den nachstehenden Betrachtungen sind daher nur die Ergebnisse der Messungen an Stäben im Bauschinger-Apparat zugrunde gelegt. (Abb. 2 und 4.)

Der Vergleich beider Abbildungen beweist, daß sowohl die reinen Portlandzemente wie die schlackenhaltigen Zemente analoges Verhalten zeigen: im Wasser schwellen, an der Luft schwinden sie. Von kleinen Abweichungen, für die Erklärungen fehlen, ist dabei abgesehen. In beiden Gruppen ist die Neigung zu schwellen oder zu schwinden bei verschiedenen Zementen verschieden groß. Von den Portlandzementen zeigt der Zement 4 im Wasser von allen die größte Schwellung, an der Luft die größte Schwindung, Zement 2 die kleinste Schwellung und auch die kleinste Schwindung. Beide Zemente haben (Tab. 2) normale chemische Zusammensetzung, wenn auch Zement 4 ärmer an Kalk und Kieselsäure, dafür

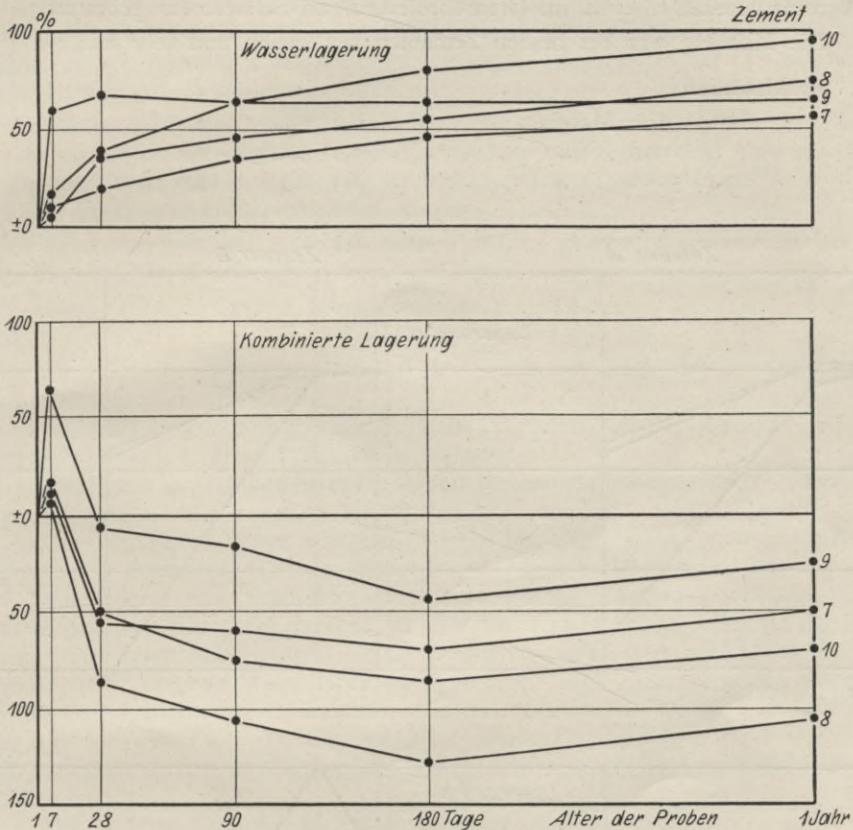


Abb. 5. Darstellung der Längenänderung nach Martens in % der Anfangslänge mal 1000 der Proben aus Eisenportland-Zement 7 bis 8 und Schlacken-Zement 9 bis 10.

reicher an Tonerde, Eisen und Schwefelsäure ist. Diesen geringen chemischen Unterschieden sind indessen die Unterschiede in der Raumbeständigkeit kaum zuzuschreiben; man hätte vielmehr erwarten dürfen, daß der kalkreichere Zement die größere Neigung zur Raumänderung haben würde, wie ja bekannt ist, daß wirkliche Treiberscheinungen bei Portlandzementen vielfach auf zu hohen Kalkgehalt zurückgeführt werden müssen.

Auch die Feinheit der Mahlung gibt keinen Anhalt für die beobachteten Unterschiede zwischen den beiden Zementen 2 und 4. Denn wenn auch der Zement 4 die geringsten Siebrückstände aufweist (Tab. 1), so liegt ihm doch der Zement 2 von allen 5 anderen Portlandzementen in der Feinheit am nächsten.

Die Ursache des verschiedenen Verhaltens in bezug auf Neigung zur Raumänderung kann daher nur in dem Herstellungsverfahren gesucht werden.

Zement 2 ist auf halbnassem Wege aufbereitet und im Drehofen scharf gebrannt; Zement 4 ist trocken aufbereitet und im Schachtofen gebrannt. Die letztere Herstellungsart bringt unvermeidlich gewisse Mengen Schwachbrand mit sich, die vielleicht in Verbindung mit feiner Mahlung die Neigung zur Raumänderung je nach Rohmasse und Brennstoff im erwähnten Sinne beeinflussen. Daß der Schachtofen nicht immer stark schwellenden und schwindenden Zement hervorzubringen braucht, beweisen die Zemente 3 und 6, daß er es aber zuweilen tut, wird durch Versuche bewiesen, die im laufenden Dienst des Amtes durchgeführt wurden und hier ohne Quellenangabe mitgeteilt seien.

Zwei Zemente A und B wurden in derselben Fabrik aus gleichen Rohstoffen trocken aufbereitet, aber A im Drehrohrofen, B im Schachtofen gebrannt.

Die Mahlung war bei beiden Zementen fast gleich und sehr fein.

Es hinterließ	A	B
auf 600 Maschen	0,1 ⁰ / ₀ ,	0,1 ⁰ / ₀ ,
„ 900 „	0,1 „,	0,1 „,
„ 5000 „	8,4 „,	13,0 „,

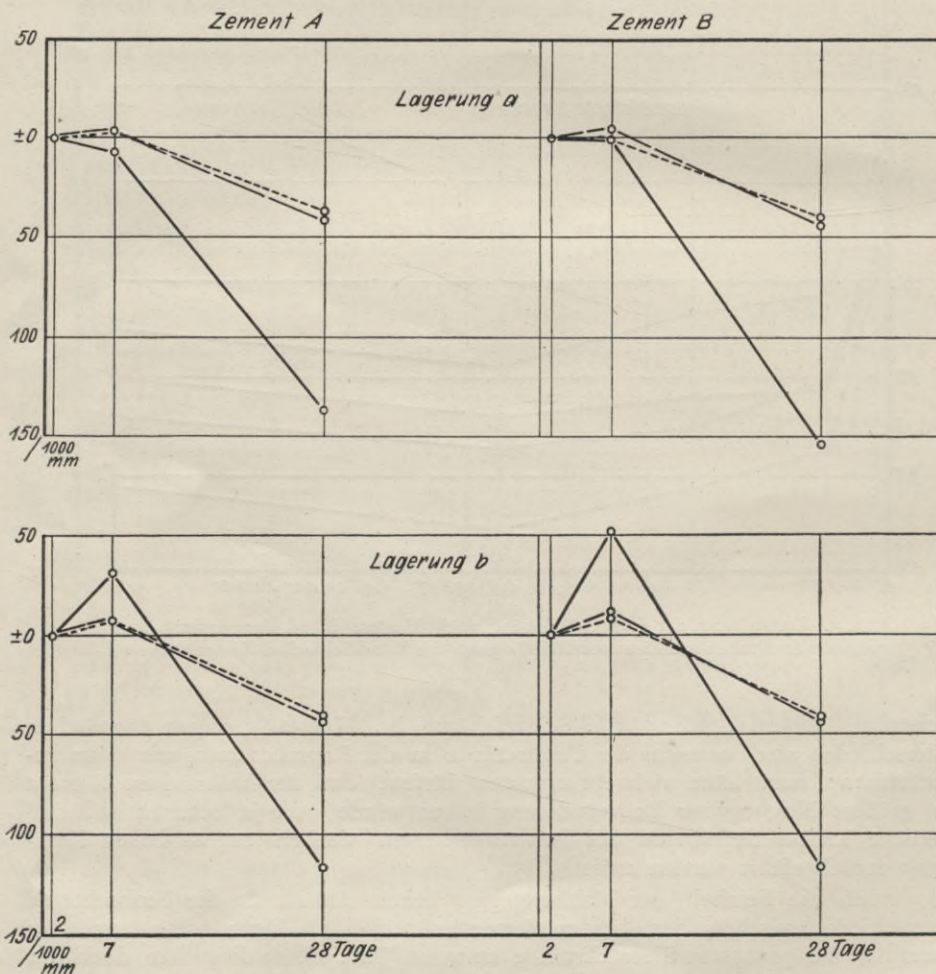


Abb. 6. Längenänderung zweier Zemente in $\frac{1}{1000}$ mm.

○—○ reiner Zement. ○—○ Mischung 1:3. ○- - - ○ Mischung 1:5.

Die Längenänderungen nach Erhärtung

- a) an der Luft, vom 2. bis 7. Tage täglich angefeuchtet,
- b) 1 Tag an der Luft, 6 Tage unter Wasser, dann an der Luft bis zu 28 Tagen Alter enthält Abb. 6.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß der Zement *B*, obwohl er in den feinsten Teilen (5000 Maschen) noch etwas gröber ist als *A*, der gegen Längenänderungseinflüsse empfindlichere von beiden ist, wesentlich allerdings nur im reinen Zustande, kaum in der Mischung mit 3 und 5 Teilen Sand (Freienwalder Rohsand). Während *A* trotz täglichen Anfeuchtens sofort mäßig zu schwinden beginnt, behält *B*, so lange er täglich angefeuchtet wird, seine Länge bei, um dann aber an der Luft um so stärker zu schwinden. Nach dem ersten Tage der Erhärtung unter Wasser gelegt, schwillt *B* zunächst stärker als *A*, um dann an der Luft in gleichem Maße stärker zu schwinden.

Leider muß bei diesen Versuchen die Längenänderung vom Augenblick der Fertigung bis zum Zeitpunkt der Entformung unberücksichtigt bleiben. Wenn es gelänge, diese mit in Rechnung zu stellen, so würden die Unterschiede voraussichtlich noch weit größer gefunden werden.

Bemerkenswert ist, daß der Zement *B* das größere Raumgewicht hat. Es wog nämlich, im 10-l-Gefäß gemessen,

- 1 l *A* (Drehofenzement) 1,185 kg,
- 1 l *B* (Schachtofenzement) 1,232 kg.

Die Ursache war nicht feststellbar; vielleicht liegt sie in der größeren Menge des Siebfeinsten in *A*.

Es wäre eine dankenswerte Aufgabe für den Verein deutscher Portlandzement-Fabrikanten, diese Frage näher zu studieren.

Uebrigens sind beide Zemente *A* und *B* besonders empfindlich in bezug auf Längenänderung. Sie kommen dem in den Vorversuchen geprüften Zement 4 nahe.

Die schlackenhaltigen Zemente zeigen im allgemeinen geringere Reaktion gegenüber Wasser und Luft, was sich wohl damit erklären läßt, daß sie durch die Beimischung von Schlacke schon eine gewisse Magerung erfahren haben. Eine Ausnahme bildet der Zement 9, der im Wasser schon während der ersten sieben Tage eine erhebliche — die größte von allen Zementen — Schwellung erleidet, bei weiterer Wasserlagerung dann aber nicht mehr schwillt, wohl aber bei weiterer Lufterhärtung normal — wie die anderen — schwindet. Es handelt sich hier um einen Zement, der aus einer sehr reaktionsfähigen Hochofenschlacke mit geringem Zusatz von normalem Portlandzement besteht und äußerst fein gemahlen ist.

Die anderen Zemente bieten nichts irgendwie Auffälliges.

II. Erweiterung der Versuche auf Mörtel.

In der Sitzung des Arbeitsausschusses vom 26. April 1913 berichtete der Verfasser über die Ergebnisse der bisherigen Versuche bis zu drei Monaten Alter und regte an, mit denjenigen Zementen, die bei den Vorversuchen besonders abweichende Ergebnisse geliefert haben (4. 2. 9), weitere Versuche bezüglich Dehnung und Schwindung unter Berücksichtigung verschiedener Sandzusätze auszuführen. Der Ausschuß verhehlte sich nicht, daß die Prüfung der Zemente Sache der Zementindustrie ist und von dieser weiter verfolgt werden muß, erkannte aber andererseits an, daß mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Eisenbeton-Industrie, die besonders an der Beseitigung des Schwindens der Zemente interessiert ist, die Versuche möglichst bald weiter fortgesetzt werden müßten. Das Materialprüfungsamt wurde beauftragt, im Benehmen mit der Zement- und der Beton-Industrie einen neuen Arbeitsplan aufzustellen.

Demgemäß wurde empfohlen, mit den beiden Portlandzementen 2 und 4 und dem Hochofenzement 9 folgende Versuche auszuführen:

Die 3 Zemente sind mit 3 Sanden in 3 Mischungen zu Prismen zu verarbeiten (Bauschinger-Verfahren), nämlich mit

Berliner Mauersand	}	1 : 0, 1 : 3, 1 : 5.
Freienwalder Rohsand		
Isarsand		

Die Sande sind auf dem Sieb mit 60 Maschen/qcm abzusieben. Die Körper erhärten 7 Tage unter Wasser, dann kommt die Hälfte an die Luft; alle werden nach 24 Stunden 7, 28, 90, 365 Tagen gemessen.

Eine Vergleichsreihe der Körper bleibt nach 24 Stunden im feuchten Raum dauernd an der Luft.

Die Sande sind so ausgewählt, daß 2 Quarzsande und 1 Kalksteinsand Verwendung fanden, und die beiden Quarzsande vertreten den scharfen, reinen, gemischtkörnigen Sand (Freienwalder) und den feinen Sand in ziemlich gleichmäßigem Korn (Berlin).

In der Sitzung des Arbeitsausschusses vom 13. Oktober 1913 wurden einige Erweiterungen beschlossen, zu denen die Genehmigung des großen Ausschusses auf schriftlichem Wege eingeholt wurde. Namentlich sollte auch ein Eisenportlandzement (7) Verwendung finden und möglichst die Frage gelöst werden, ob längeres Anfeuchten die Schwindung aufhält, wie weit dies durch Magerung erreicht werden kann, wie weit etwa die Art des Sandes hierauf von Einfluß ist und ob die verschiedenen Zemente bei Magerung mit verschiedenen Sanden noch wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen.

Der Arbeitsplan gelangte dann in folgender Form zur Annahme und Ausführung:

Arbeitsplan II

für Versuche zur Bestimmung der Längenänderung von Zement und Zementmörtel.

1. Probematerial.

- 4 Zemente (2 Portlandzemente, 1 Hochofenzement und 1 Eisenportlandzement, 2. 4. 9. 7).
 3 Sande (Berliner Mauersand, Freienwalder Rohsand, Isarsand).
 Die Sande sind auf dem 60-Maschensieb abzusieben.

2. Umfang der Versuche.

Bestimmung der Längenänderung:

- α) des reinen Zementes,
 β) der Mörtel 1 : 3 und 1 : 5 (Gewichtsteile),
 α) und β) nach: a) 7, 28, 90 Tagen und 1 Jahr Wasserlagerung (den ersten Tag an der Luft).
 b) 7, 28, 90 Tagen und 1 Jahr kombinierter Lagerung (1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft).
 c) 7, 28, 90 Tagen und 1 Jahr Luftlagerung,
 γ) des Mörtels 1 : 3 mit allen 3 Sanden nach:
 d) 28, 90 Tagen und 1 Jahr (1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft),
 e) 90 Tagen und 1 Jahr (1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft).

Probematerial.

Der Ausschuß ging von der Ansicht aus, daß Zemente mit außergewöhnlich hohen Festigkeiten für den Eisenbetonbau selten nötig sind, gelegentlich aber durch zu hohen Kalkgehalt schädlich wirken können, sofern sie stärker als andere schwellen oder schwinden. Das Fabrikationsverfahren spielt hierbei eine entscheidende Rolle, wie weiter unten gezeigt wird. Bei sehr guter nasser Aufbereitung kann man im Kalkgehalte ohne Gefahr höher gehen.

Das Hauptaugenmerk mußte auf Beschaffung handelsüblicher Zemente gerichtet werden. Die Zemente 2, 9 und 7 wurden daher als Handelszemente den Beständen des Amtes entnommen und der Zement 4 am Ursprungsort durch einen Mittelsmann unauffällig im Handel aufgekauft. Die Zemente wurden außerhalb des Arbeitsplanes auf ihre Eigenschaften untersucht, weil vorauszusehen war, daß deren Kenntnis für die Beurteilung der Versuchsergebnisse von Wert sein würde.

Prüfung der Zemente.

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Tab. 4 und 5 zusammengestellt.

Nach den Ergebnissen entsprechen sämtliche Zemente den Anforderungen der Normen vom Dezember 1909. Der Zement 4, der sich von den anderen am meisten abhebende, unterscheidet sich von den anderen durch hohen Glühverlust, geringes Raumgewicht, hohen Wasseranspruch und verhältnismäßig geringe Druckfestigkeit.

In der Mahlung weichen die Zemente nur wenig voneinander ab.

Prüfung der Sande.

Die Sande wurden, wie vorgeschrieben, getrocknet und auf dem 60-Maschensieb abgesiebt, um das Grobe zu entfernen. Sonst war ihre Prüfung nicht weiter in Aussicht genommen.

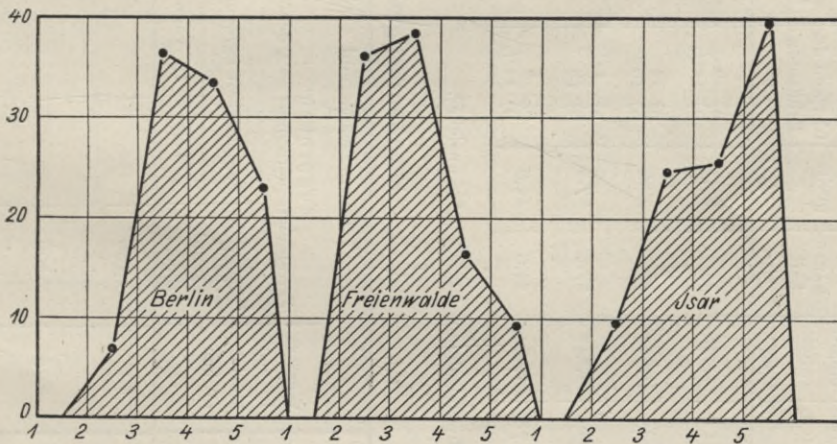


Abb. 7. Darstellung der Rückstände dreier Sande auf 5 Sieben.

In der Besprechung der ersten Versuchsergebnisse am 14. Mai 1914, zu welcher Zeit sich bereits die charakteristischen Unterschiede der Mörtel erkennen ließen, wurde von den Herren Prof. Hager und Dr.-Ing. Frank die Untersuchung der Sande auf Gehalt an Ton, Kalk usw. in Vorschlag gebracht. Der Verfasser hob hervor, daß die verschiedene Wirkung der Sande höchstwahrscheinlich auf die mehr oder minder dichte Lage der Sandkörner zueinander zurückzuführen sein dürfte und sagte die Untersuchung der Sand-Körnung und ihre zeichnerische Darstellung zu. Abb. 7 bringt die Unterschiede in der Körnung der 3 Sande deutlich zur Erscheinung.

Tab. 4. Allgemeine Eigenschaften der vier Zemente.

Zementbezeichnung	Spezifisches Gewicht nach a) Anlieferung b) dem Glühen	Glühlverlust %	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 den Normen	Siebrückstände in % auf den Sieben mit der überschriebenen Anzahl Maschen				
			R _f eingelaufen kg	R _r eingerrüttelt kg		Bindezeit a) Beginn Erhärtung Std.	Wärmeerhöhung beim Binden C°	Wärme der Luft C°	des Wassers C°	Luftfeuchtigkeit %						
Portland n ² _u	a) 3,141 b) 3,242	1,43	1,111	1,938	33,5	25,5	a) 6 b) 11 1/4	5,2	17,3	17,0	74	5000	900	600 ^v	324	180
Portland n ⁴ _u	a) 3,041 b) 3,247	5,80	1,003	1,644	42,5	30,5	a) 4 b) 10	6,8	17,2	17,0	61	14,2	0,1	0,1	0,0	—
Hochofen n ⁹ _u	a) 2,985 b) —	2,74 ¹⁾	1,069	1,842	37,5	27,5	a) 8 1/4 b) 18	0,5	18,8	17,0	62	10,4	0,2	0,2	0,1	0,0
Eisenportl. n ⁷ _u	a) 3,093 b) —	0,36 ¹⁾	1,178	1,984	34,0	25,0	a) 5 b) 11 1/4	1,2	19,0	17,0	62	8,0	1,0	0,8	0,4	0,2

1) Wegen des Gehaltes an Schwefelcalcium auf $\pm 1/2\%$ unsicher.

Tab. 5. Normenfestigkeiten der vier Zemente.

Zement bezeichnet	Wasser in den Mörtelproben %	I Gewt. Zement und 3 Gewt. Normensand				Bemerkungen		
		Zugproben		Druckproben				
		ZerreiBungsquerschnitt = 5 qcm	Zugfestigkeit kg/qcm	Gedrückte Fläche = 50 qcm	Druckfestigkeit kg/qcm			
Portland n ² _u	8,5	2,286	28,5	—	2,239	269	390	Wasser-Lagerung
Portland n ⁴ _u	—	—	—	—	2,239	—	444	Komb.-Lagerung
Hochofen n ⁹ _u	8,75	2,300	21,9	—	2,234	180	249	Wasser-Lagerung
Eisenportl. n ⁷ _u	8,25	2,314	28,4	—	2,234	—	309	Komb.-Lagerung
	—	—	—	—	2,228	231	328	Wasser-Lagerung
	8,25	2,314	23,0	—	2,228	—	357	Komb.-Lagerung
	—	—	—	—	2,228	239	403	Wasser-Lagerung
	—	—	—	—	2,228	—	450	Komb.-Lagerung

Es entspricht dem Sieb 1 ein Sieb mit 20 Maschen auf 1 qcm,
 „ „ 2 „ „ „ 60 „ „ 1 „ „
 „ „ 3 „ „ „ 120 „ „ 1 „ „
 „ „ 4 „ „ „ 324 „ „ 1 „ „
 „ „ 5 „ „ „ 900 „ „ 1 „ „

Tab. 6. Mineralogische Zusammensetzung der Sande.

Sandart	Ergebnisse
Berliner Mauersand	Vorwiegend Quarzsand mit geringen Beimengungen von kohlen-saurem Kalk und Ton.
Freienwalder Rohsand	Reiner Quarzsand, frei von kohlen-saurem Kalk, Ton usw.
Isarsand	Gemenge verschiedenartiger Gesteinstrümmel, vorwiegend Kalk-stein und Quarz; in größerer Menge tonige Bestandteile. (vergl. Abschlämbbares.)

Tab. 7. Gewichte und Beschaffenheit der Sande.

Sandart	Farbe	Korn- form	Korn- ober- flächen- be- schaffen- heit	Gehalt an ab- schläm- baren Bestand- teilen %	Gewicht für 1 l in kg			Spezi- fisches Ge- wicht <i>s</i>	Dich- tig- keits- grad <i>d</i>	Un- dich- tig- keits- grad <i>u</i>
					ein- ge- laufen	ein- ge- rüttelt	ein- gefüllt (im ro- Literge- fäßbest.)			
Berliner Mauersand	gelblich- grau	Teils ab- gerundet,	Teils eben, teils rauh	2,8	1,589	1,891	1,613	2,661	0,711	0,289
Freienwalder Rohsand	hellgrau	teils eckig und kantig		0,3	1,543	1,856	1,566	2,667	0,696	0,304
Isarsand	gelblich- grau			16,5	1,579	2,010	1,585	2,703	0,744	0,256

Tab. 8. Korngröße der Sande.

Sandart	Rückstand %	Siebe mit Maschen auf 1 qcm						Durchgang durch das feinste Sieb %
		20 1	60 2	120 3	324 4	900 5	—	
Berliner Mauersand	Auf den Sieben	—	0,0	7,0	43,4	77,0	—	—
	Zwischen je zwei Sieben	0,0	7,0	36,4	33,6	23,0	—	23,0
Freienwalder Rohsand	Auf den Sieben	—	0,0	36,1	74,6	90,9	—	—
	Zwischen je zwei Sieben	0,0	36,1	38,5	16,3	9,1	—	9,1
Isarsand	Auf den Sieben	—	0,0	9,9	34,5	60,3	—	—
	Zwischen je zwei Sieben	0,0	9,9	24,6	25,8	39,7	—	39,7

Dem Berliner Sand fehlt also, wie aus Tab. 8 und Abb. 6 hervorgeht, das größte, dem Freienwalder das Feinste, während der Isarsand Feinstes im Ueberschuß hat und damit den höchsten Dichtigkeitsgrad erlangt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß ein Teil dieses Feinsten abschlämmbaar ist und daß sich der Dichtigkeitsgrad des Haufwerkes im Mörtel wesentlich anders gestalten kann, als im Sand für sich. Hierauf wird weiter unten näher eingegangen.

Versuchsausführung.

Die Versuchskörper, Stäbe von 10 cm Länge, wurden vom 24. November 1913 bis 3. Februar 1914 gefertigt. Die langen Zwischenzeiten waren nötig, um die Formen wieder benutzen zu können und ausreichend Zeit für die Messung der zahlreichen Probekörper zu haben. In jeder Reihe wurden 3 Probekörper gefertigt. Der Wasserzusatz betrug in $\frac{0}{10}$ der Trockenmischung nach Gewichtsteilen:

Zement	2			4			9			7		
Wasser zum reinen Zement	17,0			17,0			17,0			17,0		
Sand	Berliner	Freienwalder	Isar	Berliner	Freienwalder	Isar	Berliner	Freienwalder	Isar	Berliner	Freienwalder	Isar
1 + 3	8,75	8,5	9,75	8,75	8,5	9,75	8,75	8,5	9,75	8,75	8,5	9,75
1 + 5	8,0	7,75	9,0	8,0	7,75	9,0	8,0	7,75	9,0	8,0	7,75	9,0

Mit Absicht wurde der Wasserzusatz beim Anrühren der reinen Zemente für alle vier Zemente gleich hoch gewählt ($17\frac{0}{10}$), um die etwa aus verschiedenen Wasserzusätzen herrührenden Einflüsse auf Schwellung und Schwindung auszu-schließen. Im übrigen wurden die Wasserzusätze den Mischungen mit Sand in der üblichen Weise so angepaßt, daß erdfeuchte Mörtel entstanden, die im Hammerapparat nach etwa 100 Schlägen Wasser absonderten und sich mit dem Spatel bequem in die Stabformen einschlagen ließen.

Während der Herstellung der Proben schwankte die Wärme der Luft zwischen 18 und 19 C⁰, die Wärme des Wassers wurde gleichbleibend auf 17 C⁰ gehalten und die Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 45 und 60 $\frac{0}{10}$.

Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse der Messungen zu den vorgeschriebenen Zeiten sind in Tab. 9 bis 12 mit allen Einzelwerten enthalten und in Tab. 13 in den Mittelwerten zusammengefaßt. Die beobachteten Längenänderungen sind in $\frac{1}{1000}$ mm ausgedrückt.

Die Versuchsergebnisse werden verdeutlicht durch Abb. 8 bis 11.

Jede der Tabellen 9 bis 12 und jede der Abb. 8 bis 11 enthält die Ergebnisse für einen der vier Zemente.

Zeichen-Erklärung zu Abb. 8 bis 11.

—————	1 : 0.	● ——— ●	Berliner Mauersand.	—————	Lagerung d.
—————	1 : 3.	○ ——— ○	Freienwalder Rohsand.	—————	„ e.
-----	1 : 5.	x ——— x	Isarsand.		

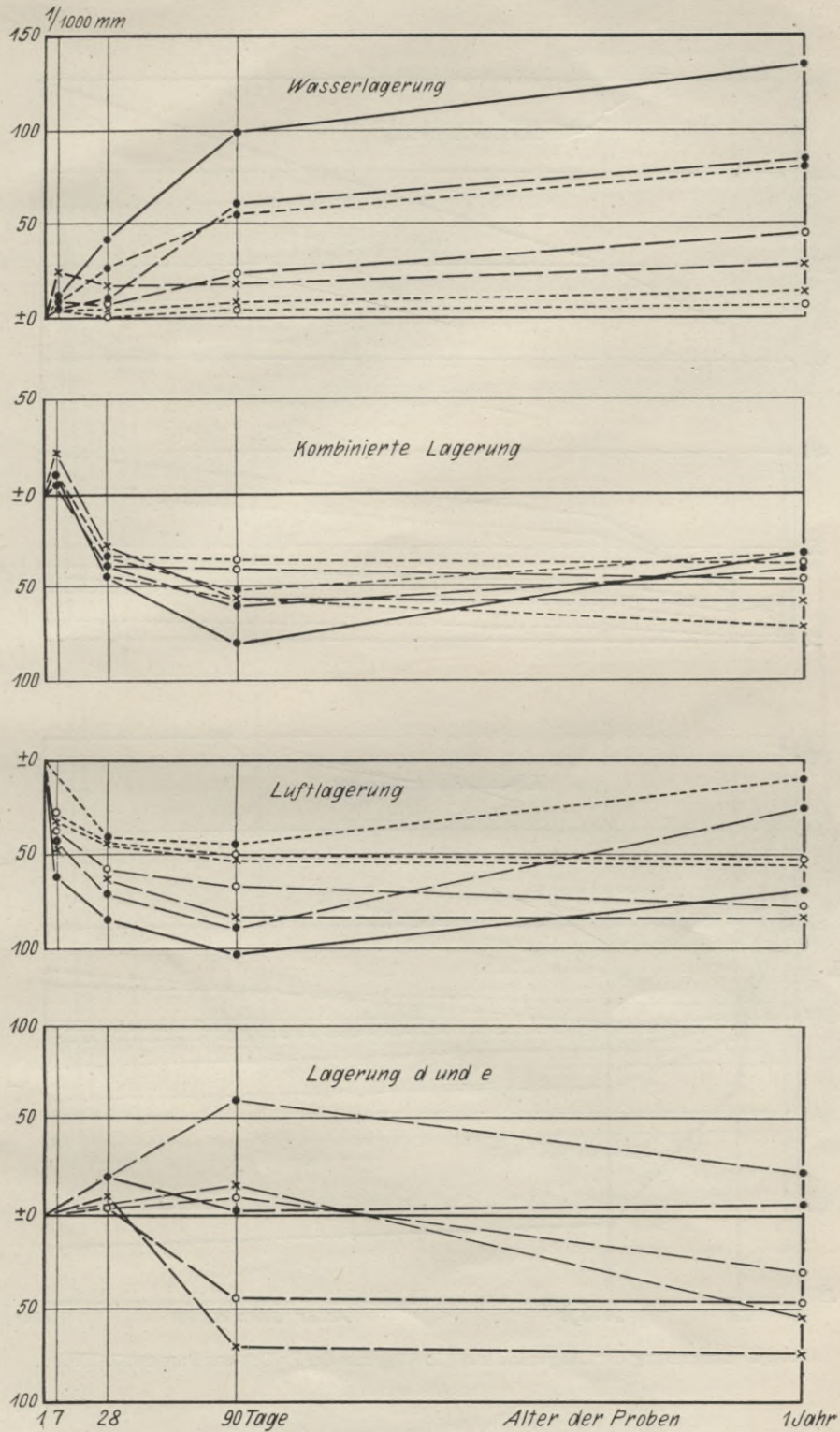


Abb. 8. Darstellung der Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm der Proben aus Portland-Zement 2.

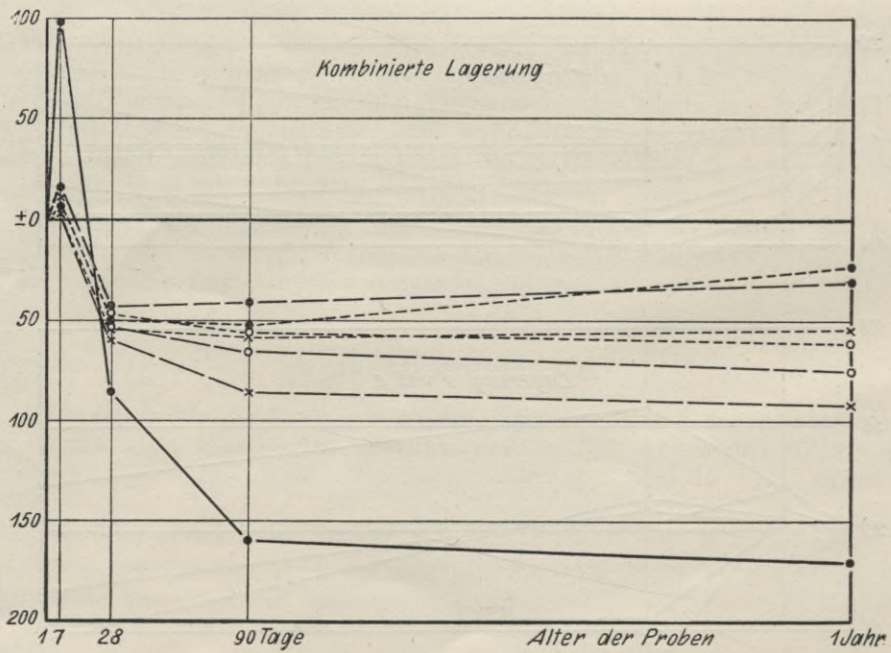
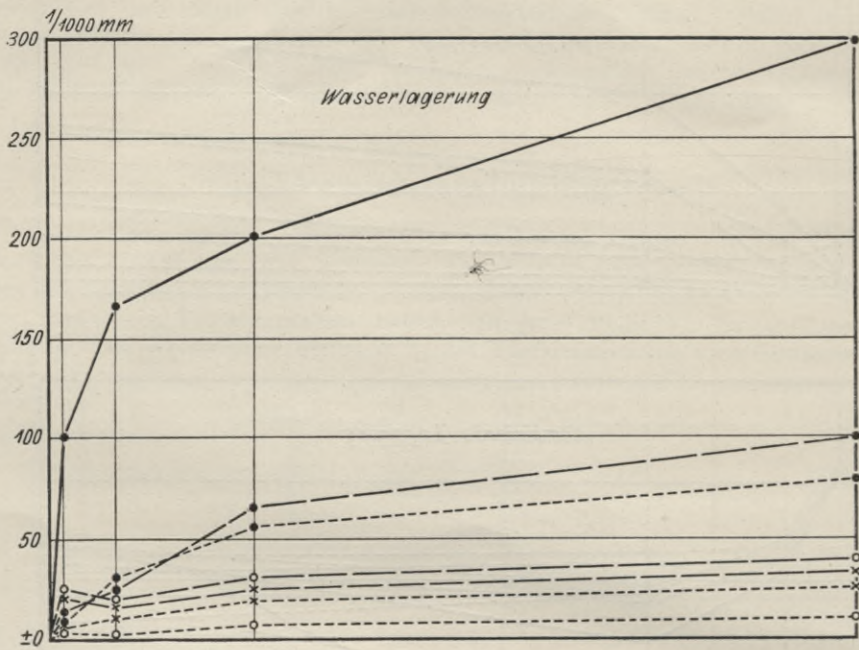


Abb. 9 a. Darstellung der Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm der Proben aus Portland-Zement 4.

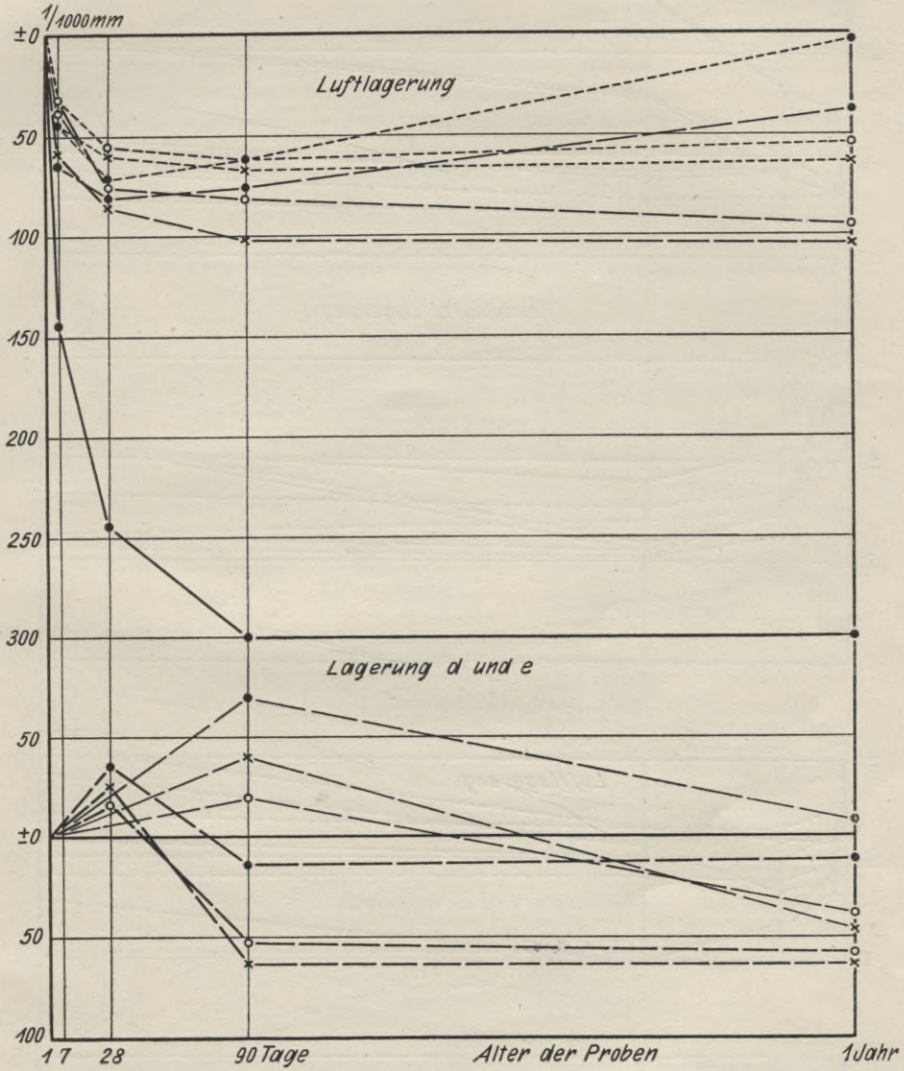


Abb. 9b. Darstellung der Längenänderung in $\frac{1}{1000} \text{ mm}$ der Proben aus Portland-Zement 4.

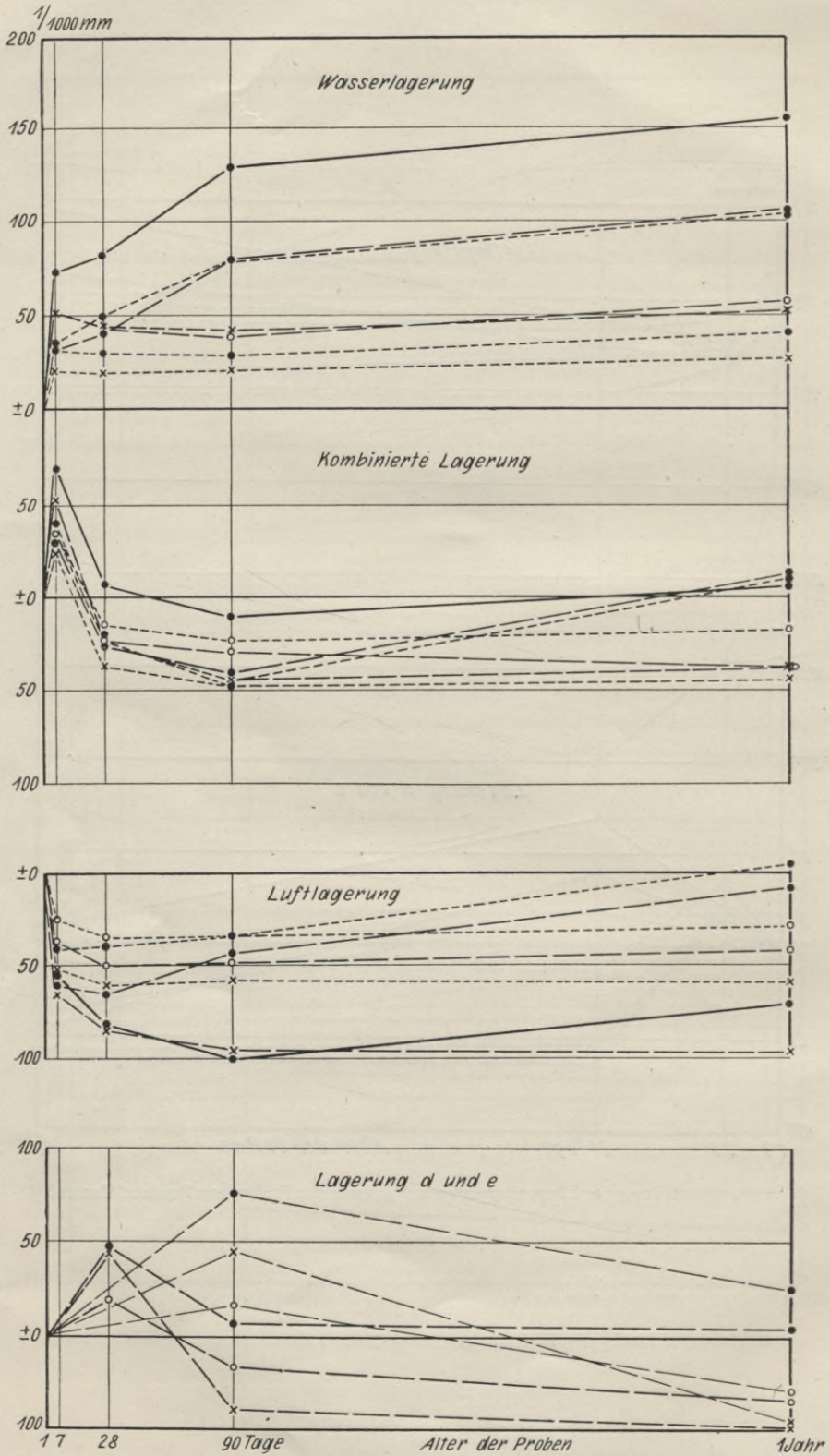


Abb. 10. Darstellung der Längenänderung in $\frac{1}{1000} \text{ mm}$ der Proben aus Hochofen-Zement 9.

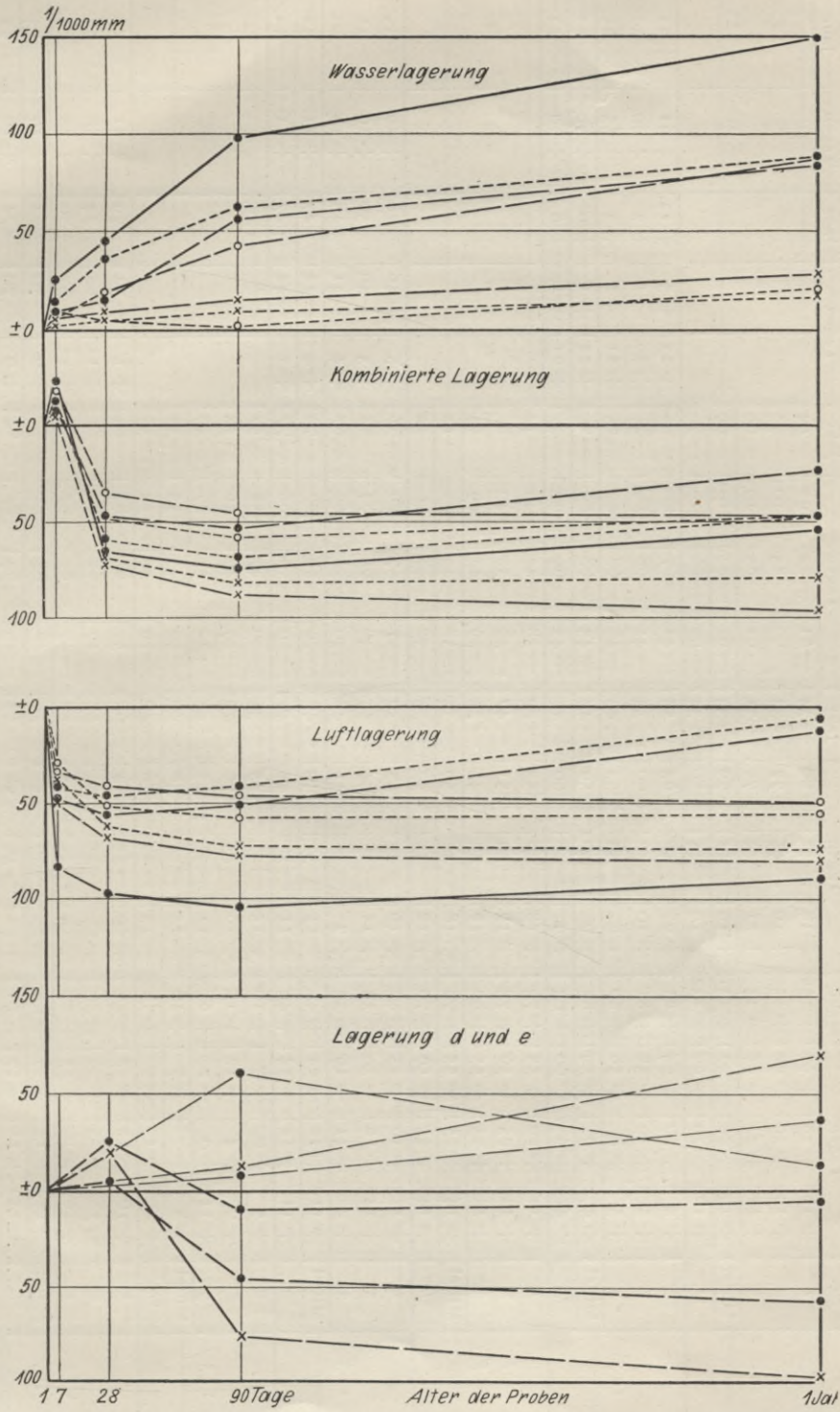


Abb. 11.

Darstellung der Längenänderung in $\frac{1}{1000} \text{ mm}$ der Proben aus Eisenportland-Zement 7.

Tab. 9. Ergebnisse der Versuche auf Längenänderung. Portlandzement 2.

Art des Sandes	Mischung	Probe Nr.	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach																
			1 Tag Luft, dann Wasser			1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft			An der Luft			1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft			1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft				
			7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90		
—	1 : 0	1	+18	+38	+97	+129	+18	+42	+89	+34	+61	+82	+98	+64					
		2	+19	+39	+96	+130	+19	+45	+77	+34	+60	+85	+103	+73					
		3	+21	+41	+98	+133	+21	+44	+71	+31	+61	+85	+103	+69					
		Mittel	+19	+39	+97	+131	+19	+44	+79	+33	+61	+84	+101	+69					
		0/0	+19	+40	+99	+133	+19	+45	+80	+34	+62	+86	+103	+70					
		1	+2	+10	+60	+85	+9	+46	+63	+53	+41	+67	+86	+26	+23	+5	+12	+61	+23
		2	+5	+10	+58	+81	+10	+32	+60	+33	+41	+68	+89	+24	+20	+1	+2	+60	+20
		3	+5	+8	+58	+80	+8	+43	+53	+44	+48	+68	+92	+25	+21	+2	+3	+55	+25
		Mittel	+4	+9	+59	+82	+9	+40	+59	+43	+43	+68	+89	+25	+21	+1	+6	+59	+23
		0/0	+4	+9	+60	+83	+9	+40	+60	+44	+43	+69	+90	+25	+21	+1	+6	+60	+23
Berliner Mauersand	1 : 5	1	+14	+26	+55	+76	+18	+39	+53	+20	+38	+42	+46	+14					
		2	+12	+25	+56	+75	+18	+39	+51	+47	+38	+32	+40	+8					
		3	+15	+25	+55	+82	+18	+27	+45	+34	+39	+44	+49	+14					
		Mittel	+14	+25	+55	+78	+18	+35	+50	+34	+38	+42	+45	+12					
		0/0	+14	+25	+56	+79	+18	+35	+50	+34	+38	+42	+46	+12					
		1	+11	+10	+25	+42	+10	+36	+35	+39	+27	+57	+66	+78	+15	+5	+46	+50	+35
		2	+14	+16	+30	+54	+15	+38	+44	+54	+30	+62	+74	+84	+3	+3	+46	+50	+31
		3	+9	+11	+16	+39	+7	+38	+41	+48	+30	+54	+60	+67	+4	+4	+41	+48	+30
		Mittel	+11	+12	+24	+45	+11	+37	+40	+47	+29	+58	+67	+76	+4	+4	+44	+47	+32
		0/0	+11	+12	+24	+46	+11	+38	+41	+48	+29	+59	+68	+77	+4	+4	+44	+47	+32
Freienwalder Rohsand	1 : 5	1	+5	+0	+7	+10	+15	+27	+33	+35	+30	+47	+55	+57					
		2	+9	+4	+12	+15	+16	+25	+38	+40	+27	+47	+56	+58					
		3	+11	+0	+2	+6	+14	+31	+43	+44	+29	+41	+47	+50					
		Mittel	+8	+1	+7	+10	+15	+28	+38	+40	+29	+45	+53	+55					
		0/0	+8	+1	+7	+10	+15	+28	+38	+40	+29	+45	+53	+55					
		1	+16	+12	+18	+29	+19	+41	+64	+64	+51	+65	+84	+85	+15	+5	+74	+79	+52
		2	+28	+23	+19	+30	+28	+31	+55	+57	+47	+62	+80	+81	+11	+11	+68	+74	+55
		3	+29	+10	+15	+27	+18	+35	+55	+57	+47	+65	+87	+86	+11	+11	+67	+70	+53
		Mittel	+24	+15	+17	+29	+22	+36	+58	+59	+48	+64	+84	+84	+9	+9	+70	+74	+53
		0/0	+24	+15	+17	+29	+22	+36	+58	+59	+48	+64	+84	+84	+9	+9	+70	+74	+53
Isarsand	1 : 5	1	+1	+3	+10	+16	+18	+45	+62	+68	+37	+49	+57	+56					
		2	+8	+7	+6	+9	+13	+47	+63	+74	+43	+53	+60	+62					
		3	+5	+5	+8	+17	+17	+46	+62	+66	+27	+36	+45	+47					
		Mittel	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		0/0	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		1	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		2	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		3	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		Mittel	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					
		0/0	+5	+5	+8	+14	+16	+46	+62	+69	+36	+46	+54	+55					

Tab. 10. Ergebnisse der Versuche auf Längenänderung. Portlandzement 4.

Art der Erhärtung		Längenänderung in 1/1000 mm nach																						
		1 Tag Luft, dann Wasser			1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft			An der Luft			1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft			1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft										
Art des Sandes	Mischung	Probe Nr.	7	28	90	1	7	28	90	1	7	28	90	1	7	28	90	1	7	28	90	1		
			Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen
—	1 : 0	1	+ 98	+ 163	+ 197	+ 309	+ 94	+ 146	+ 154	+ 134	+ 222	+ 273	+ 276											
		2	+ 100	+ 165	+ 200	+ 281	+ 87	+ 156	+ 167	+ 136	+ 239	+ 294	+ 293											
		3	+ 91	+ 151	+ 181	+ 278	+ 107	+ 157	+ 170	+ 143	+ 246	+ 302	+ 302											
		Mittel	+ 96	+ 160	+ 193	+ 289	+ 96	+ 153	+ 164	+ 138	+ 236	+ 290	+ 290											
		0/10	+ 100	+ 166	+ 200	+ 300	+ 99	+ 158	+ 170	+ 143	+ 244	+ 300	+ 300											
		1	+ 13	+ 24	+ 67	+ 100	+ 14	+ 41	+ 39	+ 30	+ 64	+ 77	+ 72	+ 33	+ 31	+ 15	+ 11	+ 11	+ 72	+ 11				
		2	+ 14	+ 25	+ 63	+ 97	+ 19	+ 43	+ 46	+ 40	+ 64	+ 81	+ 75	+ 40	+ 34	+ 11	+ 15	+ 13	+ 71	+ 13				
		3	+ 11	+ 25	+ 66	+ 101	+ 11	+ 41	+ 35	+ 24	+ 66	+ 82	+ 78	+ 38	+ 33	+ 16	+ 11	+ 4	+ 65	+ 4				
		Mittel	+ 13	+ 25	+ 65	+ 99	+ 15	+ 42	+ 40	+ 31	+ 65	+ 80	+ 75	+ 37	+ 33	+ 14	+ 12	+ 9	+ 69	+ 9				
		0/10	+ 13	+ 25	+ 66	+ 100	+ 15	+ 43	+ 41	+ 31	+ 66	+ 81	+ 76	+ 38	+ 34	+ 14	+ 12	+ 9	+ 70	+ 9				
Berliner Mauersand	1 : 5	1	+ 13	+ 26	+ 54	+ 78	+ 9	+ 47	+ 48	+ 16	+ 35	+ 70	+ 64	+ 8										
		2	+ 11	+ 27	+ 58	+ 85	+ 6	+ 50	+ 52	+ 28	+ 63	+ 72	+ 61	+ 1										
		3	+ 12	+ 27	+ 54	+ 74	+ 7	+ 50	+ 54	+ 24	+ 41	+ 71	+ 62	+ 1										
		Mittel	+ 12	+ 27	+ 55	+ 79	+ 7	+ 49	+ 51	+ 23	+ 46	+ 71	+ 62	+ 3										
		0/10	+ 12	+ 27	+ 56	+ 80	+ 7	+ 50	+ 52	+ 23	+ 46	+ 72	+ 63	+ 3										
		1	+ 20	+ 15	+ 27	+ 45	+ 19	+ 48	+ 59	+ 62	+ 39	+ 75	+ 85	+ 91	+ 16	+ 56	+ 65	+ 28	+ 30	+ 28				
		2	+ 25	+ 20	+ 29	+ 43	+ 15	+ 51	+ 69	+ 77	+ 35	+ 67	+ 71	+ 1	+ 18	+ 51	+ 55	+ 49	+ 11	+ 49				
		3	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 16	+ 57	+ 71	+ 78	+ 42	+ 81	+ 93	+ 97	+ 9	+ 45	+ 54	+ 37	+ 21	+ 37				
		Mittel	+ 23	+ 18	+ 28	+ 44	+ 17	+ 52	+ 66	+ 72	+ 39	+ 74	+ 89	+ 94	+ 14	+ 51	+ 58	+ 38	+ 21	+ 38				
		0/10	+ 23	+ 18	+ 28	+ 44	+ 17	+ 53	+ 67	+ 73	+ 40	+ 75	+ 90	+ 95	+ 14	+ 51	+ 58	+ 38	+ 21	+ 38				
Freienwalder Rohsand	1 : 5	1	+ 7	+ 3	+ 6	+ 4	+ 5	+ 57	+ 68	+ 71	+ 34	+ 48	+ 50	+ 42										
		2	+ 4	+ 1	+ 3	+ 3	+ 6	+ 43	+ 53	+ 56	+ 34	+ 55	+ 61	+ 46										
		3	+ 5	+ 3	+ 12	+ 19	+ 5	+ 39	+ 48	+ 51	+ 39	+ 61	+ 71	+ 69										
		Mittel	+ 5	+ 2	+ 7	+ 9	+ 5	+ 46	+ 56	+ 59	+ 36	+ 55	+ 61	+ 52										
		0/10	+ 5	+ 2	+ 7	+ 9	+ 5	+ 46	+ 56	+ 59	+ 36	+ 55	+ 61	+ 52										
		1	+ 17	+ 18	+ 25	+ 31	+ 18	+ 59	+ 87	+ 94	+ 58	+ 79	+ 97	+ 101	+ 29	+ 59	+ 58	+ 53	+ 40	+ 53				
		2	+ 22	+ 18	+ 27	+ 35	+ 14	+ 65	+ 93	+ 99	+ 60	+ 85	+ 102	+ 104	+ 19	+ 66	+ 71	+ 43	+ 40	+ 43				
		3	+ 21	+ 11	+ 21	+ 32	+ 23	+ 49	+ 77	+ 78	+ 64	+ 89	+ 104	+ 108	+ 25	+ 60	+ 64	+ 44	+ 37	+ 47				
		Mittel	+ 20	+ 16	+ 24	+ 33	+ 18	+ 58	+ 86	+ 90	+ 61	+ 84	+ 101	+ 104	+ 24	+ 62	+ 64	+ 47	+ 39	+ 47				
		0/10	+ 20	+ 16	+ 24	+ 33	+ 18	+ 58	+ 86	+ 91	+ 61	+ 84	+ 101	+ 105	+ 24	+ 62	+ 64	+ 47	+ 39	+ 47				
Isarsand	1 : 5	1	+ 8	+ 9	+ 18	+ 23	+ 11	+ 51	+ 53	+ 49	+ 49	+ 64	+ 70	+ 67										
		2	+ 10	+ 12	+ 19	+ 23	+ 8	+ 55	+ 62	+ 64	+ 45	+ 59	+ 67	+ 67										
		3	+ 14	+ 14	+ 19	+ 30	+ 11	+ 50	+ 52	+ 48	+ 43	+ 58	+ 64	+ 62										
		Mittel	+ 11	+ 12	+ 19	+ 25	+ 10	+ 52	+ 56	+ 54	+ 46	+ 60	+ 67	+ 65										
		0/10	+ 11	+ 12	+ 19	+ 25	+ 10	+ 52	+ 56	+ 54	+ 46	+ 60	+ 67	+ 65										

1) Fehlerhafte Probe.

Tab. 1. 1. Ergebnisse der Versuche auf Längenänderung. Hochofenzement 9.

Art der Erhärtung		1 Tag Luft, dann Wasser				1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft				An der Luft				1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft		1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft		
Art des Sandes	Mischung	Probe Nr.	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach															
			7	28	90	1 Jahr	7	28	90	1 Jahr	7	28	90	1 Jahr	28	90	1 Jahr	1 Jahr
—	1 : 0	1	+73	+81	+130	+150	+72	+7	-9	+7	-53	-77	-98	-68				
		2	+72	+81	+129	+150	+76	+7	-9	+9	-51	-77	-98	-70				
		3	+72	+80	+126	+150	+75	+3	-13	+3	-54	-83	-101	-70				
		Mittel	+72	+81	+128	+150	+74	+4	-10	+6	-53	-79	-99	-69				
		$\frac{0}{10}$	+73	+82	+130	+153	+76	+4	-10	+6	-54	-80	-100	-70				
		1	+32	+39	+84	+97	+32	-26	-41	+7	-59	-63	-52	-16	+50	+10	+10	+76
		2	+34	+42	+78	+106	+30	-25	-39	+12	-54	-60	-55	-16	+48	+11	+10	+73
		3	+31	+39	+79	+103	+35	-23	-35	+18	-64	-66	-58	-22	+45	+0	-5	+83
		Mittel	+32	+40	+80	+102	+32	-25	-38	+12	-59	-63	-55	-18	+48	+7	+5	+77
		$\frac{0}{10}$	+33	+41	+82	+104	+33	-26	-39	+14	-60	-64	-56	-18	+49	+7	+5	+78
Berliner Mauersand	1 : 3	1	+36	+51	+81	+103	+37	-26	-42	+14	-45	-41	-32	+5				
		2	+36	+51	+80	+98	+40	-24	-40	+12	-37	-36	-27	+9				
		3	+38	+51	+81	+104	+45	-30	-45	+6	-41	-41	-39	-7				
		Mittel	+37	+51	+81	+102	+41	-27	-42	+11	-41	-39	-33	+2				
		$\frac{0}{10}$	+37	+51	+82	+103	+41	-27	-43	+11	-41	-39	-33	+2				
		1	+28	+32	+38	+52	+33	-20	-28	+35	-37	-50	-48	-41	+27	-6	-22	+17
		2	-1	-1	-1	-1	+24	-26	-33	-40	-36	-44	-42	-35	+22	-21	-40	+21
		3	+32	+37	+46	+56	+33	-27	-30	-39	-35	-52	-52	-50	+15	-23	-41	+15
		Mittel	+30	+35	+42	+54	+30	-24	-30	-38	-36	-49	-47	-42	+21	-17	-34	+18
		$\frac{0}{10}$	+30	+35	+42	+55	+30	-24	-30	-38	-36	-50	-48	-42	+21	-17	-34	+18
Freienwalder Rohsand	1 : 5	1	+36	+36	+38	+39	+37	-14	-22	+13	-25	-34	-38	-32				
		2	+35	+28	+25	+38	+36	-16	-26	+22	-23	-36	-38	-36				
		3	+30	+29	+28	+36	+33	-19	-24	+18	-29	-29	-27	-20				
		Mittel	+34	+31	+30	+38	+35	-16	-24	+18	-26	-33	-34	-29				
		$\frac{0}{10}$	+34	+31	+30	+38	+35	-16	-24	+18	-26	-33	-34	-29				
		1	+55	+42	+41	+52	+55	-24	-46	+41	-73	-89	-98	-96	+47	-37	-48	+47
		2	+47	+47	+41	+53	+51	-20	-41	+35	-63	-86	-95	-95	+50	-38	-46	+40
		3	+50	+48	+41	+52	+51	-19	-40	+38	-59	-69	-	-	+45	-46	-55	+46
		Mittel	+51	+46	+41	+52	+52	-21	-42	+38	-65	-81	-97	-96	+47	-40	-50	+44
		$\frac{0}{10}$	+51	+46	+41	+52	+52	-21	-42	+38	-65	-82	-98	-97	+47	-40	-50	+44
Isarsand	1 : 5	1	+24	+22	+21	+24	+26	-39	-41	+37	-51	-59	-58	-58				
		2	+21	+19	+20	+24	+27	-40	-47	+45	-51	-64	-64	-64				
		3	+21	+18	+18	+25	+27	-28	-50	+50	-56	-61	-59	-57				
		Mittel	+22	+20	+20	+24	+27	-36	-46	+44	-53	-61	-60	-60				
		$\frac{0}{10}$	+22	+20	+20	+24	+27	-36	-46	+44	-53	-61	-60	-60				

Tab. 12. Ergebnisse der Versuche auf Längenänderung. Eisen-Portlandzement 7.

Art der Erhärtung		1 Tag Luft, dann Wasser			1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft			An der Luft			1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft			1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft					
Art des Sandes	Mischung	Probe Nr.	Längenänderung in 1/1000 mm nach																
			7	28	90	1	7	28	90	1	28	90	1	28	90				
			Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Tagen	Jahr	Tagen	Tagen	Jahr		
	1 : 0	1	+24	+41	+99	+151	+20	-67	-80	-58	-83	-98	-107	-96					
		2	+25	+41	+98	+147	+20	-65	-74	-48	-78	-94	-94	-77					
		3	+25	+46	+94	+146	+25	-61	-71	-51	-85	-100	-103	-90					
		Mittel	+25	+43	+97	+148	+22	-64	-75	-52	-82	-97	-101	-88					
		0/10	+25	+44	+98	+150	+22	-65	-76	-53	-83	-99	-103	-90					
		1	+8	+14	+54	+81	+9	-44	-44	-12	-49	-57	-48	-11	+28	-9	-4	+59	+8
		2	+8	+17	+54	+79	+8	-51	-59	-34	-45	-53	-51	-19	+28	-12	-7	+62	+18
		3	+9	+17	+59	+85	+9	-47	-54	-25	-45	-56	-47	-13	+23	-11	-6	+61	+11
		Mittel	+8	+16	+56	+82	+9	-47	-52	-24	-46	-55	-49	-14	+26	-11	-6	+61	+12
		0/10	+8	+16	+57	+83	+9	-48	-53	-24	-47	-56	-50	-14	+26	-11	-6	+62	+12
Berliner Mauersand	1 : 5	1	+11	+24	+61	+88	+15	-61	-69	-43	-41	-41	-30	+5					
		2	+12	+26	+65	+77	+15	-62	-79	-58	-36	-40	-36	-4					
		3	+15	+26	+60	+88	+13	-61	-69	-42	-39	-52	-52	-24					
		Mittel	+13	+25	+62	+84	+14	-61	-72	-48	-39	-44	-39	-8					
		0/10	+13	+25	+63	+85	+14	-62	-73	-48	-39	-44	-39	-8					
		1	+6	+16	+47	+79	+21	-31	-44	-47	-32	-42	-46	-55	+1	-40	-53	+14	-29
		2	+12	+19	+43	+88	+1	-1	-1	-1	-32	-32	-25	-33	+2	-49	-65	+19	-34
		3	+1	+20	+39	+82	+19	-35	-43	-36	-35	-53	-64	-60	+8	-41	-60	+7	-39
		Mittel	+6	+18	+43	+83	+20	-33	-44	-42	-33	-42	-45	-49	+4	-43	-59	+13	-34
		0/10	+6	+18	+43	+84	+20	-33	-44	-42	-33	-42	-45	-50	+4	-43	-59	+13	-34
Freienwalder Rohsand	1 : 5	1	+13	+5	+0	+18	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1					
		2	+22	+10	+4	+29	+7	-47	-59	-57	-33	-51	-56	-50					
		3	+8	+2	-5	+18	+8	-48	-60	-57	-32	-52	-59	-57					
		Mittel	+14	+6	+0	+22	+8	-48	-60	-57	-31	-52	-58	-54					
		0/10	+14	+6	+0	+22	+8	-48	-60	-57	-31	-52	-58	-54					
		1	+9	+7	+14	+25	+9	-71	-89	-98	-51	-68	-77	-82	+26	-77	-101	+26	-65
		2	+10	+22	+13	+25	+1	-1	-1	-1	-48	-68	-79	-80	+26	-69	-89	+18	-82
		3	+4	+1	+15	+36	+9	-72	-87	-94	-52	-64	-72	-71	+17	-82	-106	+22	-65
		Mittel	+8	+10	+14	+27	+9	-72	-88	-96	-50	-67	-76	-78	+23	-76	-99	+22	-71
		0/10	+8	+10	+14	+27	+9	-72	-88	-96	-50	-67	-76	-78	+23	-76	-99	+22	-71
Isarsand	1 : 5	1	+1	+3	+3	+9	+11	-69	-82	-78	-34	-60	-71	-74					
		2	+11	+7	+11	+19	+10	-61	-1	-1	-42	-62	-76	-75					
		3	+6	+6	+9	+14	+10	-67	-82	-82	-39	-64	-72	-73					
		Mittel	+6	+5	+8	+14	+10	-66	-82	-80	-38	-62	-73	-74					
		0/10	+6	+5	+8	+14	+10	-66	-82	-80	-38	-62	-73	-74					

1) Fehlerhafte Probe.

Tab. 13. Zusammenstellung der Mittelwerte der Ergebnisse der Versuche auf Längenänderung.

Art der Erhärtung	Mischung Zement Nr.	Längenänderung in $\frac{1}{1000}$ mm nach																							
		1 Tag Luft, dann Wasser, dann Luft						1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft						An der Luft											
		7	28	90	1	Jahr	7	28	90	1	Jahr	7	28	90	1	Jahr	28	90	1	Jahr	90	1	Jahr		
—	2	+19	+40	+99	+133	+19	-45	-80	-34	-62	-86	-103	-70	+21	+1	+6	+21	+1	+6	+21	+1	+6	+21	+1	+6
	4	+100	+166	+200	+300	+99	-86	-158	-170	-143	-244	-300	-300	+34	-14	-12	+34	-14	-12	+34	-14	-12	+34	-14	-12
	9	+73	+82	+130	+153	+76	+4	-10	+6	-54	-80	-100	-70	+49	+7	+5	+49	+7	+5	+49	+7	+5	+49	+7	+5
	7	+25	+44	+98	+150	+22	-65	-76	-53	-83	-99	-103	-90	+26	-11	-6	+26	-11	-6	+26	-11	-6	+26	-11	-6
	Mittel	+54	+83	+132	+184	+54	-48	-81	-63	-86	-127	-152	-133	+43	-4	-2	+43	-4	-2	+43	-4	-2	+43	-4	-2
Berliner Mauersand	2	+4	+9	+60	+83	+9	-40	-60	-44	-43	-69	-90	-25	+21	+1	+6	+21	+1	+6	+21	+1	+6	+21	+1	+6
	4	+13	+25	+66	+100	+15	-43	-41	-31	-66	-81	-76	-38	+34	-14	-12	+34	-14	-12	+34	-14	-12	+34	-14	-12
	9	+33	+41	+82	+104	+33	-26	-39	+12	-60	-64	-56	-18	+49	+7	+5	+49	+7	+5	+49	+7	+5	+49	+7	+5
	7	+8	+16	+57	+83	+9	-48	-53	-24	-47	-56	-50	-14	+26	-11	-6	+26	-11	-6	+26	-11	-6	+26	-11	-6
	Mittel	+15	+23	+66	+93	+17	-39	-48	-22	-54	-68	-68	-24	+43	-4	-2	+43	-4	-2	+43	-4	-2	+43	-4	-2
Freienwalder Rohsand	2	+14	+25	+56	+79	+18	-35	-50	-34	-38	-42	-46	-12	+29	-59	-68	+29	-59	-68	+29	-59	-68	+29	-59	-68
	4	+12	+27	+56	+80	+7	-50	-52	-23	-46	-72	-63	-3	+46	-72	-63	+46	-72	-63	+46	-72	-63	+46	-72	-63
	9	+37	+51	+82	+103	+41	-27	-43	+11	-41	-39	-33	+2	+39	-33	+2	+39	-33	+2	+39	-33	+2	+39	-33	+2
	7	+13	+25	+63	+85	+14	-62	-73	-48	-39	-44	-39	-8	+39	-44	-39	+39	-44	-39	+39	-44	-39	+39	-44	-39
	Mittel	+19	+32	+64	+87	+20	-44	-55	-24	-41	-49	-45	-5	+41	-49	-45	+41	-49	-45	+41	-49	-45	+41	-49	-45
Isarsand	2	+11	+12	+24	+46	+11	-38	-41	-48	-29	-59	-68	-77	+4	-44	-47	+4	-44	-47	+4	-44	-47	+4	-44	-47
	4	+23	+18	+28	+44	+17	-53	-67	-73	-40	-75	-90	-95	+14	-51	-58	+14	-51	-58	+14	-51	-58	+14	-51	-58
	9	+30	+35	+42	+55	+30	-24	-30	-38	-36	-50	-48	-42	+21	-17	-34	+21	-17	-34	+21	-17	-34	+21	-17	-34
	7	+6	+18	+43	+84	+20	-33	-44	-42	-33	-42	-45	-50	+4	-43	-59	+4	-43	-59	+4	-43	-59	+4	-43	-59
	Mittel	+18	+21	+34	+57	+20	-37	-46	-50	-35	-57	-63	-66	+11	-39	-50	+11	-39	-50	+11	-39	-50	+11	-39	-50
Isarsand	2	+8	+1	+7	+10	+15	-28	-38	-40	-29	-45	-53	-55	+31	-46	-52	+31	-46	-52	+31	-46	-52	+31	-46	-52
	4	+5	+2	+7	+9	+5	-46	-56	-59	-36	-55	-61	-52	+36	-55	-61	+36	-55	-61	+36	-55	-61	+36	-55	-61
	9	+34	+31	+30	+38	+35	-16	-24	-18	-26	-33	-34	-29	+18	-26	-33	+18	-26	-33	+18	-26	-33	+18	-26	-33
	7	+14	+6	+10	+22	+8	-48	-60	-57	-31	-52	-58	-54	+31	-52	-58	+31	-52	-58	+31	-52	-58	+31	-52	-58
	Mittel	+15	+10	+11	+20	+16	-35	-45	-44	-44	-46	-52	-48	+31	-46	-52	+31	-46	-52	+31	-46	-52	+31	-46	-52
Isarsand	2	+24	+15	+17	+29	+22	-36	-58	-59	-48	-64	-84	-84	+9	-70	-74	+9	-70	-74	+9	-70	-74	+9	-70	-74
	4	+20	+16	+24	+33	+18	-58	-86	-91	-61	-84	-101	-105	+24	-62	-64	+24	-62	-64	+24	-62	-64	+24	-62	-64
	9	+51	+46	+41	+52	+52	-21	-42	-38	-65	-82	-98	-97	+23	-40	-50	+23	-40	-50	+23	-40	-50	+23	-40	-50
	7	+8	+10	+14	+27	+9	-72	-88	-96	-50	-67	-76	-78	+47	-76	-99	+47	-76	-99	+47	-76	-99	+47	-76	-99
	Mittel	+26	+22	+24	+35	+25	-47	-69	-71	-56	-74	-90	-91	+26	-62	-72	+26	-62	-72	+26	-62	-72	+26	-62	-72
Isarsand	2	+5	+5	+8	+14	+16	-46	-62	-69	-36	-46	-54	-55	+36	-46	-54	+36	-46	-54	+36	-46	-54	+36	-46	-54
	4	+11	+12	+19	+25	+10	-52	-56	-54	-46	-60	-67	-65	+46	-60	-67	+46	-60	-67	+46	-60	-67	+46	-60	-67
	9	+22	+20	+20	+24	+27	-36	-46	-44	-53	-61	-60	-60	+44	-53	-60	+44	-53	-60	+44	-53	-60	+44	-53	-60
	7	+6	+5	+8	+14	+10	-66	-82	-80	-38	-62	-73	-74	+38	-62	-73	+38	-62	-73	+38	-62	-73	+38	-62	-73
	Mittel	+11	+11	+14	+19	+16	-50	-62	-62	-43	-57	-64	-64	+43	-57	-64	+43	-57	-64	+43	-57	-64	+43	-57	-64

Vergleich mit den Vorversuchen I.

Die vier Zementmarken haben in reinem Zustande nach 3 Monaten Alter bereits höhere Schwellung und geringere Schwindung ergeben, als bei den Vorversuchen, sie ordnen sich aber nach ihrer Empfindlichkeit in der gleichen Reihenfolge ein, die sie bei den ersten Versuchen einnahmen. Auf Unterschiede in der Mahlung kann dieses verschiedene Verhalten der Zemente nicht zurückgeführt werden, denn die Mahlung wurde vor beiden Versuchsreihen als annähernd gleich festgestellt.

Es hatten Rückstand Zement	auf 5000 Maschen				auf 900 Maschen			
	2	4	9	7	2	4	9	7
in der ersten Versuchsreihe	12,5	7,4	6,4	16,4	0	0,2	0,8	0,6 $\frac{0}{10}$.
„ „ zweiten „	14,2	10,4	8,0	14,5	0,1	0,2	1,0	0,4 $\frac{0}{10}$.

Dagegen sind die Abweichungen wahrscheinlich auf die größere Dichte der neuen Körper infolge veränderten Wasserzusatzes (einheitlich 17 $\frac{0}{10}$ statt 17,5 — 19,5 — 18,0 — 16,5) zurückzuführen.

Die stärkste Dehnung zeigt im Wasser der Portlandzement 4, die geringste Dehnung der Portlandzement 2; dazwischen liegen 9 und 7. Man wird nicht sehr fehlgehen, wenn man die vier ausgewählten Zemente in bezug auf Dehnungsneigung im Wasser als typisch für alle vorkommenden Fälle — so weit Handelszemente in Frage kommen — ansieht.

Einfluß des Alters.

Die Zemente, im reinen Zustande untereinander verglichen, ergeben die größten Unterschiede in der Längenänderung nach 90 Tagen. Die Größe der Schwindung nach 90 Tagen beträgt übereinstimmend bei dem Portlandzement 2, dem Eisen-Portlandzement 7 und dem Hochofenzement 9 = $\frac{100}{1000}$ mm = $\frac{1}{10}$ mm oder $\frac{1}{10}$ $\frac{0}{10}$ der Länge des Probestabes. Der Portlandzement 4 dagegen hat abweichend hiervon eine etwa dreimal so große Schwindung. Entsprechend unterscheidet sich auch der Zement 4 bei kombinierter Lagerung wesentlich von den übrigen, er erleidet bis zu 7 Tagen eine bedeutend höhere Dehnung und bis zu 90 Tagen eine etwa doppelt so große Schwindung als die übrigen.

Von drei Monaten Alter an ist die Raumveränderung nicht mehr erheblich. Zwar nehmen die Stäbe aus reinem Zement und die Mörtel im Wasser zwischen 3 und 12 Monaten Alter an Länge dauernd zu, um so stärker, je fetter die Mischungen sind; wenn man aber während der ganzen Dauer der Erhärtung oder während eines Teiles derselben Luft auf die Körper einwirken läßt, so sind die Raumänderungen nach 3 Monaten Alter nur klein und praktisch bedeutungslos. Der Umstand, daß einige der an der Luft lagernden Zement- und Mörtelstäbe von 3 bis zu 12 Monaten wieder an Länge zugenommen haben, dürfte auf die Sommerwärme oder darauf zurückzuführen sein, daß diese Erhärtungszeit gerade in einen nassen Spätsommer fiel, so daß die hohe Luftfeuchtigkeit die geringe, mit dem Grade der Magerung sich abstufoende Wiederschwellung bewirkt hat. Vielleicht haben auch beide Ursachen zusammen gewirkt.

Einfluß der Dichte der Versuchskörper.

Um zu untersuchen, inwieweit etwa die größere oder geringere Schwellung oder Schwindung der Körper von deren Dichte abhängig ist, sind in Tab. 14 die mittleren Gewichte der Probekörper einander gegenübergestellt. Da alle Körper gleiche Größe hatten, geben die Gewichtszahlen auch das Maß für den relativen Dichtigkeitsgrad der Körper ab.

Tab. 14. **Mittlere Gewichte der Probekörper in g.**
Gemessen nach Jahresfrist.

Mischungs- verhältnis	Bindemittel	Erhärtungsart				
		Luft	Wasser	Kombinierte Lagerung		
				7 Tage unter Wasser, dann Luft	28 Tage	90 Tage
1 + 0	Zement 2	114	123	115		
	„ 4	116	124	116		
	„ 9	107	115	109		
	„ 7	113	119	113		
1 + 3 Mauersand	Zement 2	118	122	117	119	120
	„ 4	118	122	117	118	119
	„ 9	113	120	115	115	116
	„ 7	115	124	116	118	120
1 + 5 Mauersand	Zement 2	114	119	114		
	„ 4	113	121	115		
	„ 9	111	119	111		
	„ 7	110	120	112		
1 + 3 Freienwalder Rohsand	Zement 2	119	124	120	119	119
	„ 4	120	125	120	119	120
	„ 9	114	123	117	117	118
	„ 7	117	125	118	120	119
1 + 5 Freienwalder Rohsand	Zement 2	110	120	112		
	„ 4	111	120	111		
	„ 9	108	120	109		
	„ 7	108	120	110		
1 + 3 Isarsand	Zement 2	118	122	117	118	118
	„ 4	117	123	117	118	118
	„ 9	113	121	114	115	116
	„ 7	117	123	117	117	118
1 + 5 Isarsand	Zement 2	115	123	117		
	„ 4	116	122	116		
	„ 9	113	121	113		
	„ 7	114	123	116		

Ein Vergleich dieser Tabelle mit Tab. 13 und mit den Abb. 7 bis 10 zeigt, daß die Schwellungen und Schwindungen der Körper aus reinem Zement und der Mörtelkörper unabhängig von dem Gewicht (der Dichte) dieser Körper sind. Nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber Raumänderungseinflüssen ordnen sich die Körper jeden Zementes ein wie 4, 9, 7, 2; dem Gewicht nach wie 4, 2, 7, 9.

Daß diese Erscheinung nur teilweise vom Gewicht des Zementes an sich abhängig ist, beweist die Zusammenstellung in Tab. 15 und der Vergleich mit Tab. 4. Die empfindlichsten und schwersten Körper 4 sind aus dem leichtesten Zement gefertigt. Das erklärt sich damit, daß bei der Mischung der Körper nach Gewichtsteilen der leichteste Zement die fetteste Mischung liefert. Der schwerste Zement 9 lieferte aber die in der Empfindlichkeit an zweiter Stelle stehenden Körper und die leichtesten.

Tab. 15. **Einfluß des Zementes auf das Gewicht.**
(Mittleres Gewicht in g.)

Bindemittel	Luft	Wasser	7 Tage Wasser, dann Luft
Zement 2 . . .	115	122	116
Zement 4 . . .	116	122	116
Zement 9 . . .	111	120	112
Zement 7 . . .	113	122	115

Hieraus geht hervor, daß die Empfindlichkeit, so weit sie nicht durch größere oder geringere Dichtigkeit des Haufwerkes der Sande bedingt ist, eine Funktion der Reaktionsfähigkeit der Zemente gegen Wasser und Luft sein muß und daher besonders zu prüfen ist.

Einen Einblick über den Einfluß der Sande auf die Empfindlichkeit gibt Tab. 16. In der Dichte der Mischung 1:3 steht der Freienwalder Rohsand an der Spitze, Mauersand und Isarsand sind sich gleich.

In der Dichte der Mischung 1:5 steht Isarsand an erster Stelle, dann folgen Mauersand und Freienwalder Sand.

Weiter unten wird dargestellt, wie sich die Dehnungszahlen hierzu verhalten.

Tab. 16. **Einfluß des Sandes auf das Gewicht.**
(Mittleres Gewicht in g.)

Zuschlag- material	Mischung	Luft	Wasser	7 Tage Wasser, dann Luft
Mauersand	1:3	116	122	116
	1:5	112	120	113
Freienwalder Rohsand	1:3	118	124	119
	1:5	109	120	111
Isarsand	1:3	116	122	116
	1:5	115	122	116

Endergebnisse.

Um zu endgültigen Schlüssen über den Wert der Versuche zu kommen, muß man die mit dem Arbeitsplan gestellten Fragen einzeln zu beantworten suchen.

1. Hält längeres Anfeuchten die Schwindung auf?

Ein allgemeiner Ueberblick ergibt:

- Bei Wasserlagerung erleiden sämtliche Zemente Dehnungen, die mit der Magerung abnehmen.
- Bei Luftlagerung schwinden sämtliche Zemente um so stärker, je fetter die angewendete Mischung ist; das Höchstmaß der Schwindung ist im allgemeinen nach 3 Monaten erreicht.
- Die Schwindung wird um so länger aufgehalten, je länger die Körper feucht bleiben. Das Schwindmaß der Körper ist nach Jahresfrist um so geringer, je länger die Körper im Wasser lagen.

2. Wie weit wird die Schwindung durch Magerung mit Sand beeinflusst?

Um einen Ueberblick zu erleichtern, sind aus Tab. 13 in Tab. 17 A die Summen der Mittelwerte aus allen 4 Zementsorten (um den Einfluß des einzelnen Zementes auszuschalten) für jeden der 3 Sande zusammengestellt. Die so errechneten Mittelwerte für jede der Mischungen 1 + 3 und 1 + 5 sind in Abb. 12 zeichnerisch aufgetragen. Es ergibt sich:

- a) Je größer der Sandzusatz, desto geringer wird die Empfindlichkeit der Mörtel in bezug auf Schwellung und Schwindung, gegen den Einfluß des Wassers und der Luft.
- b) Nach sieben Tage langem Anfeuchten verschwindet nahezu der Unterschied zwischen der Empfindlichkeit der Mischungen 1 : 3 und 1 : 5. Schwellung und Schwindung erreichen das Mindestmaß, so bald die Menge des Bindemittels so gering ist, daß die Hohlräume des Sandes nicht mehr ausgefüllt werden. Die mittlere Schwindung beträgt in beiden geprüften Mischungen rund $\frac{50}{1000}$ mm = $\frac{1}{20}$ 0/0 der ursprünglichen Länge des Körpers, das würde auf 1 m Baulänge 0,5 mm betragen.

Eine Schwindung um $\frac{1}{2}$ mm auf 1 m Baulänge des Mörtels würde nach den Ergebnissen der Versuche noch als ein zulässiges Maß betrachtet werden müssen, so lange es nicht gelingt, die Zemente gegen Einflüsse von Nässe und Trockenheit weniger empfindlich herzustellen.

3. Welchen Einfluß auf die Verminderung der Schwindung hat die Art des Sandes?

Um die Wirkung der Art des Sandes deutlicher zu veranschaulichen, sind aus Tab. 13 in Tab. 17 B' aus allen Versuchsergebnissen für jede Sandart die Mittelwerte berechnet und in Abb. 13 zeichnerisch aufgetragen worden.

Daneben sind die Eigenschaften der Sande zu beachten, wie sie in Tab. 6 bis 8 und in Abb. 6 zur Darstellung kommen.

Der Berliner Sand, dem die größten Teile fehlen, macht die Zementkörper im Wasser von allen Sanden am empfindlichsten, während Isarsand die geringste Wirkung im Wasser auszuüben scheint. Das dürfte daraus zu erklären sein, daß der zum großen Teil aus Kalksteintrümmern mit anhaftendem feinem Ton bestehende Isarsand beim Anrühren des Mörtelgemenges mit Wasser sich sehr schnell mit Wasser sättigt und schon nach 24 Stunden einen wassersatten, sehr dichten Körper darstellt, der weiteres Wasser in seinen Poren nicht mehr aufzunehmen und sich dementsprechend nicht mehr zu dehnen vermag, während die mit Hilfe des quarzreichen Berliner Mauersandes gefertigten Körper im Laufe der Zeit kapillar noch Wasser aufzunehmen vermögen und dadurch Schwellungen erleiden. Ähnliche Verhältnisse wie für den Berliner gelten auch für den quarzreichen Freienwalder Sand.

Damit ist auch erklärt, weshalb an der Luft Berliner Mauersand und Isarsand gerade die umgekehrte Wirkung ausüben.

Der mit Berliner Sand gefertigte Körper gibt beim Lagern an der Luft wesentlich nur das zwischen den Sandkörnern eingeschlossene Wasser ab, wobei die die Sandkörner verkittenden Zementteilchen diese in ihrer Lage festhalten. Der Körper schwindet deshalb nur wenig, nur insoweit, als das austrocknende Bindemittel dies zuläßt. In dem mit Isarsand gefertigten Körper aber geht beim Austrocknen nicht nur das in den Hohlräumen des Körpers eingeschlossene Wasser weg, sondern die Sandkörner und insbesondere auch der feine tonige Staub schrumpfen durch Wasserabgabe ein und verursachen daher höheres Schwinden des Körpers.

Tab. 17. Übersicht über den Einfluß der Magerung und den Einfluß der Sandarten auf Schwellung und Schwindung aller geprüften Körper.

Art der Erhärtung	1 Tag Luft, dann Wasser			1 Tag Luft, 6 Tage Wasser, dann Luft			An der Luft			1 Tag Luft, 27 Tage Wasser, dann Luft			1 Tag Luft, 89 Tage Wasser, dann Luft				
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90		
	Tagen			Tagen			Tagen			Tagen			Tagen				
	Längenänderungen in $\frac{1}{1000}$ mm nach																
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90		
	Jahr			Jahr			Jahr			Jahr			Jahr				
A. Einfluß der Magerung.																	
Berliner Mauersand . . .	+ 15	+ 23	+ 66	+ 93	+ 17	- 39	- 48	- 22	- 54	- 68	- 68	- 24					
Freienwalder Rohsand . . .	+ 18	+ 21	+ 34	+ 57	+ 20	- 37	- 46	- 50	- 35	- 57	- 63	- 66					
Isarsand	+ 26	+ 22	+ 24	+ 35	+ 25	- 47	- 69	- 71	- 56	- 74	- 90	- 91					
Mittel	+ 20	+ 22	+ 41	+ 62	+ 21	- 41	- 54	- 48	- 48	- 66	- 74	- 60					
Berliner Mauersand . . .	+ 19	+ 32	+ 64	+ 87	+ 20	- 44	- 55	- 24	- 41	- 49	- 45	- 5					
Freienwalder Rohsand . . .	+ 15	+ 10	+ 11	+ 20	+ 16	- 35	- 45	- 44	- 31	- 46	- 52	- 48					
Isarsand	+ 11	+ 11	+ 14	+ 19	+ 16	- 50	- 62	- 62	- 43	- 57	- 64	- 64					
Mittel	+ 15	+ 18	+ 30	+ 42	+ 17	- 43	- 54	- 43	- 38	- 51	- 54	- 39					
B. Einfluß der Sandart.																	
Berliner Mauersand	1 : 3	+ 15	+ 23	+ 66	+ 93	+ 17	- 39	- 48	- 22	- 54	- 68	- 24	+ 43	- 4	- 2	+ 68	+ 17
	1 : 5	+ 19	+ 32	+ 64	+ 87	+ 20	- 44	- 55	- 24	- 41	- 49	- 45	- 5				
Mittel		+ 17	+ 28	+ 65	+ 90	+ 19	- 42	- 52	- 23	- 48	- 59	- 57	- 15				
Freienwalder Rohsand	1 : 3	+ 18	+ 21	+ 34	+ 57	+ 20	- 37	- 46	- 50	- 35	- 52	- 63	- 66	+ 11	- 39	+ 16	- 33
	1 : 5	+ 15	+ 10	+ 11	+ 20	+ 16	- 35	- 45	- 44	- 31	- 46	- 52	- 48				
Mittel		+ 17	+ 16	+ 23	+ 39	+ 18	- 36	- 46	- 47	- 33	- 52	- 58	- 57				
Isarsand	1 : 3	+ 26	+ 22	+ 24	+ 35	+ 25	- 47	- 69	- 71	- 56	- 74	- 90	- 91	+ 26	- 62	+ 30	- 55
	1 : 5	+ 21	+ 11	+ 14	+ 19	+ 16	- 50	- 62	- 62	- 43	- 57	- 64	- 64				
Mittel		+ 19	+ 17	+ 19	+ 27	+ 22	- 49	- 66	- 67	- 50	- 66	- 77	- 78				

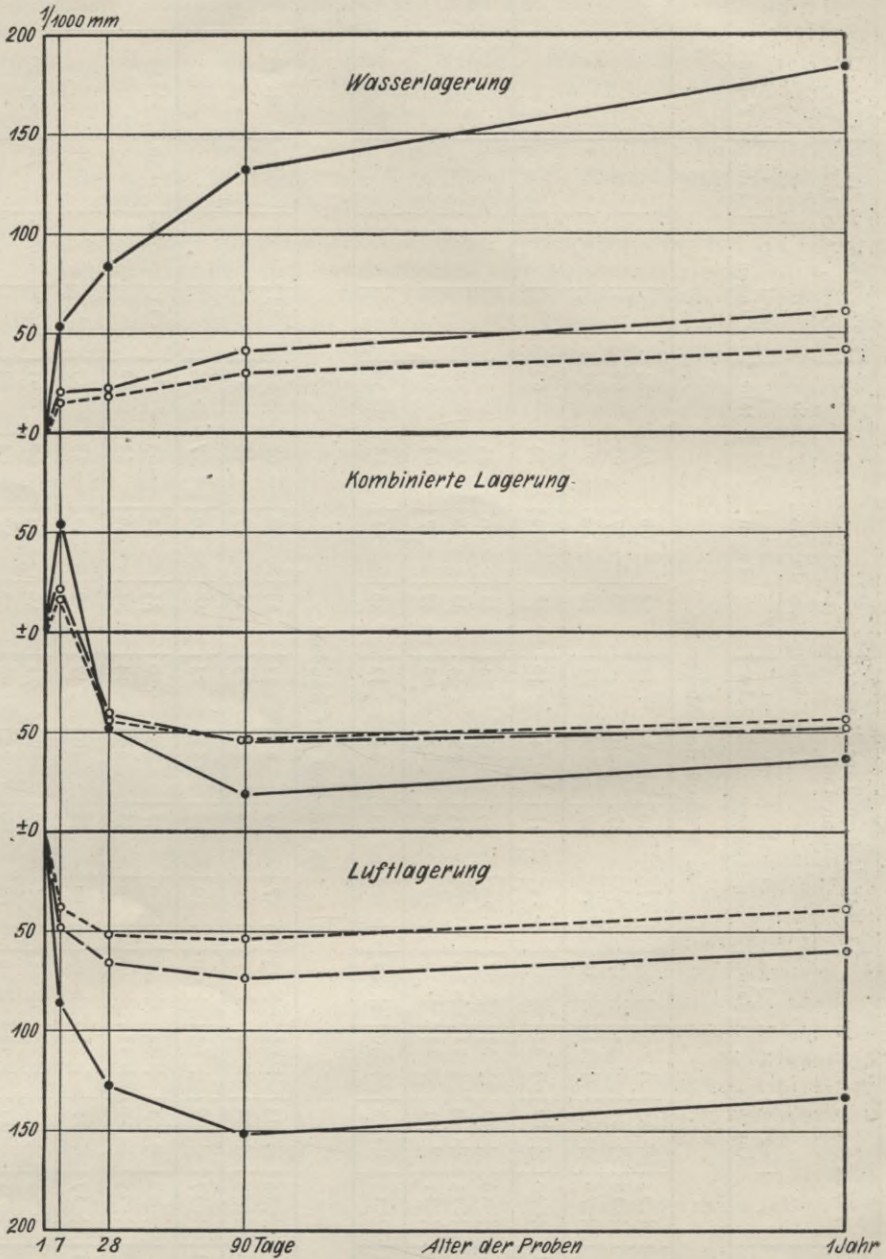


Abb. 12. Einfluß der Magerung.

Mischung 1:0 — Mischung 1:3 - - - Mischung 1:5 - - - -

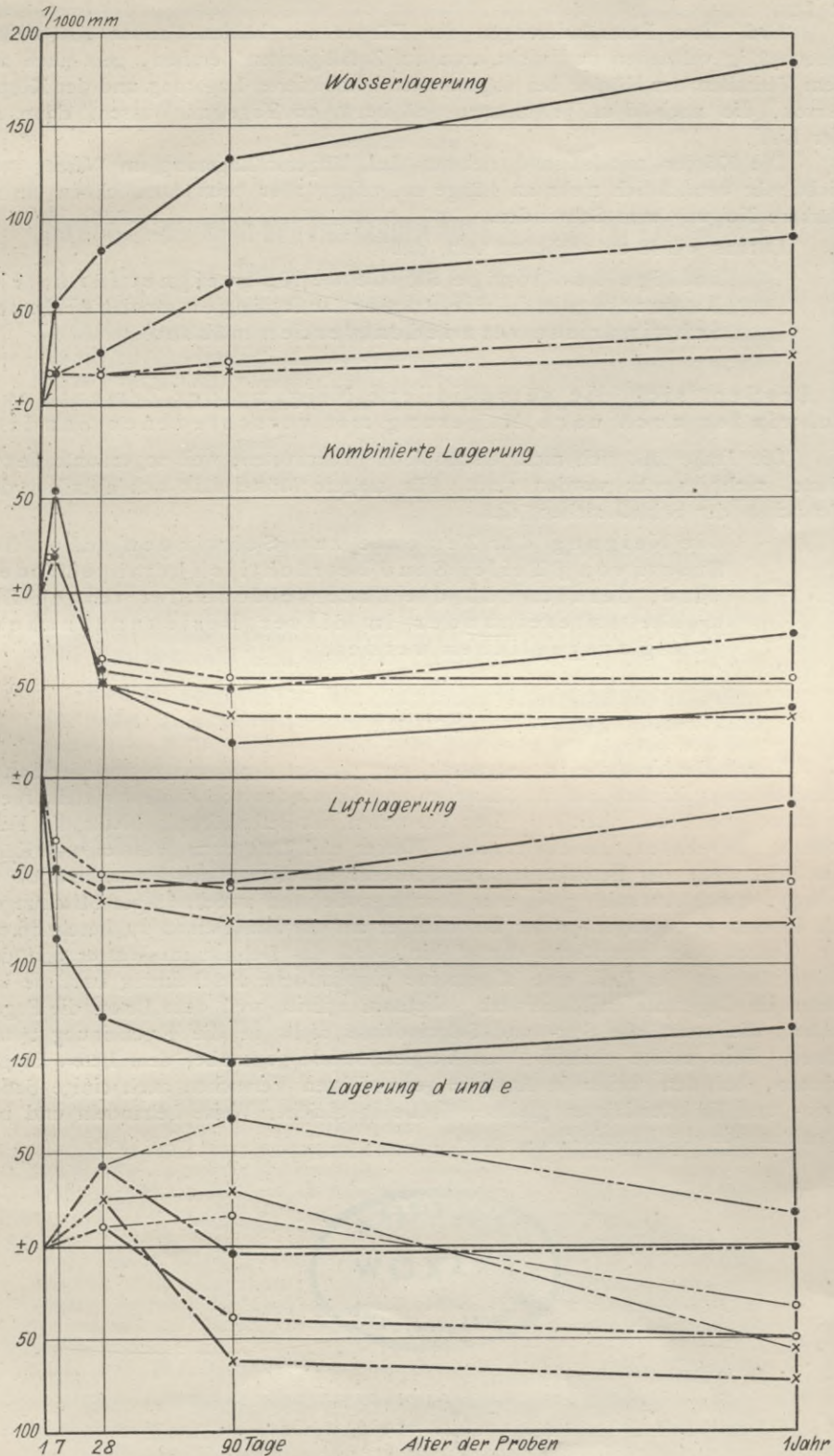


Abb. 13. Einfluß der Sandart.

- —•—•—•— Berliner Mauer sand —•—•—•—•— Lagerung d
- o - - - o - - - o - - - Freienwalder Rohsand - - - o - - - o - - - Lagerung e
- x - - - x - - - x - - - Isarsand - - - x - - - x - - - Lagerung f

Daß diese Raumänderungen der Körper aus beiden Sanden sich völlig gesetzmäßig vollziehen und nicht etwa auf Zufälligkeiten beruhen, geht auch aus dem Verhalten der Körper bei sogenannter kombinierter Lagerung und der Körper hervor, die nach *d* und *e* lagerten (28 bzw. 90 Tage im Wasser, dann an der Luft).

Die Körper mit Isarsand nehmen bei längerer Lagerung im Wasser zwar nicht sehr beträchtlich mehr an Länge zu, zeigen aber beim Austrocknen um so stärkere Neigung zum Schwinden.

Daraus würde zu schließen sein, daß

kalkige und tonige Sande wenig geeignet für solche Bauwerke sind, die an der Luft liegen und bei denen Schwindrisse vermieden werden müssen.

4. Äußert sich die verschiedene Neigung der Zemente zum Schwinden auch nach Magerung mit verschiedenen Sanden?

Die Frage läßt sich nicht erschöpfend beantworten, weil sogenannte fette Mörtel nicht geprüft worden sind. Für magere Mörtel läßt sich aber aus den Versuchen der Schluß ziehen, daß

die Neigung der Zemente zum Schwinden schon bei Zusatz von 3 Teilen Sand beträchtlich herabgemindert wird, derart, daß die Unterschiede der reinen Zemente untereinander in dieser Beziehung nahezu völlig ausgeglichen werden.

Schluß.

Durch die Versuche ist festgestellt, daß die Art der Zemente und der Sande entscheidenden Einfluß auf das Schwellen und Schwinden von Zementmörtelkörpern in Nässe und Trockenheit hat. Den Versuchen mit Betonkörpern bleibt die Feststellung vorbehalten, inwieweit neben Wasser und Luft auch Wärme und Kälte die Dehnungen der Betonkörper verschiedener Mischung beeinflussen und ob es gelingt, durch Auswahl geeigneter Zuschlagstoffe und zweckmäßiger Mischungen die inneren Bewegungen großer Betonkörper auf ein Mindestmaß zu beschränken. Dr. Goslich wies mit Recht darauf hin, daß das Dehnen im Wasser und das Schwinden an der Luft eine allgemeine physikalische Erscheinung ist, die bei Beton im Gegensatz zu Mauerwerk unliebsam auftritt, weil dem Beton die Fugen fehlen, die sonst die Setz- und Schwindrisse nicht in die Erscheinung treten lassen. Man müßte deshalb, um Vergleichsmaße gegenüber dem Beton zu gewinnen, bei den weiter in Aussicht genommenen Versuchen auch einige Sandstein- und Kalksteinkörper gleicher Größe in gleicher Weise behandeln und beobachten wie die Betonkörper.



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 Vorstande 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, Direktor der Königl. Sächsischen Techn. Versuchsanstalt 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. würt. 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. würt. 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 Materialprüfungs-Anstalt, 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.**

28. 2

Verlag von WILHELM ERNST & SOHN, BERLIN W66
Wilhelmstraße 90

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. **Otto Wawrziniok**, a. o. Professor an der Königlich 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 Königl. Materialprüfungsamtes in Berlin-Lichterfelde-West und der Akt.-Ges. für Beton- und Monierbau in Berlin. Teil I. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königl. Materialprüfungsamt. — Teil II. Von Geh. Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor des Königl. Materialprüfungsamts.
1915. Mit 23 Textabb. und 11 Tabellen. Geh. Preis 2 M.

Heft 33. **Versuche über den Gleitwiderstand verzinkten Eisens in Beton.** Von **F. Schmeer**, Konservator des Mechanisch-Technischen Laboratoriums der Königl. Technischen Hochschule zu München.
1915. Mit rd. 20 Textabb. *In Vorbereitung.*

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 Königl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geh. Regierungsrat, Direktor des Königl. 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 Königl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königl. 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.

Weitere Hefte in Vorbereitung.

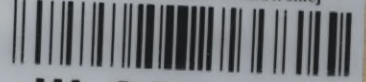
Deutscher Ausschluß für Eisenbeton.

Heft A. **Widerstand einbetonierten Eisens gegen Gleiten. Einfluß der Haken.** 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 16 Abb. Geh. Preis 1 M.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

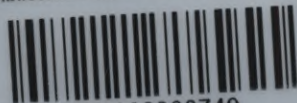


III-307170

L.

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

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300749