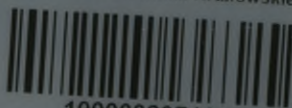


200

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297169



XXX
1000

Besprechungs - Exemplar!

Das Abbinden der Portlandzemente.

Von
Dr. S. Kasai,
Onoda (Japan).



1908.

Berlin NW 21.

Verlag der Tonindustrie-Zeitung G. m. b. H.

28885

xxx
1000

Das Abbinde...

von...

Portlandzement...

Druck von C. Vincent-Prenzlau.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

1.1809

Akc. Nr. 369/49

Einführung.

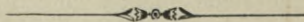
Die auffallendste Erscheinung bei der Erhärtung der hydraulischen Bindemittel ist das Abbinden. Man versteht darunter die Eigenschaft, daß die mit Wasser angemachten Mörtelbildner ohne weiteren Zusatz in verhältnismäßig kurzer Zeit so fest werden, daß sie nicht nur ihre Form beibehalten, sondern auch äußeren Einflüssen gegenüber eine gewisse Widerstandsfähigkeit erhalten. Das Abbinden der hydraulischen Bindemittel macht es erst möglich, sie unter Wasser zu bringen, ohne daß sie sofort zerfallen. Obwohl gerade bei dem wichtigsten hydraulischen Bindemittel — dem Portlandzement — die Vorgänge beim Abbinden schon lange Gegenstand eingehender Studien waren, sind gewisse sowohl theoretisch als auch für die Praxis wichtige Fragen unbeantwortet geblieben. Auch konnten sich sogar in weiteren Kreisen Anschauungen lange behaupten, auf deren zweifelhaften Wert von verschiedenen Forschern bereits aufmerksam gemacht wurde. So hat man dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf den Verlauf des Abbindens eine übertriebene Bedeutung zugeschrieben. Auch in Bezug auf die eigentliche Ursache des Abbindens ist man sich noch nicht vollkommen klar. Die dabei auftretende Wärme wurde allerdings längst als eine durch chemische Vorgänge verursachte Erscheinung gedeutet. Welche Bestandteile des Portlandzementes aber dabei beteiligt sind, wurde noch nicht klar und deutlich ausgesprochen. Vielmehr scheint ganz allgemein angenommen zu werden, daß die das Erhärten hervorrufenden Zementbestandteile auch an dem Abbinden beteiligt sind. Dagegen scheint mir aber die allgemein bekannte Tatsache zu sprechen, daß an diesem chemischen Vorgang nicht alle Teile des Zementes in gleicher Weise beteiligt sind, sondern daß die Tonerde die ausschlaggebende Rolle spielt. Denn es ist doch auffallend, daß gerade die tonerdereichen Portlandzemente am schnellsten abbinden, während, gleichen Grad des Brandes und gleichen hydraulischen Modul vorausgesetzt, die tonerdearmen, dafür aber kieselsäurereichen Zemente langsam abbinden. An dieser Stelle möchte ich diese auffallende Erscheinung nur in Erinnerung bringen, da sie mir in hohem Grade geeignet erscheint, zu weiteren Studien des Abbindevorganges anzureizen.

Welche Beziehungen zwischen dem Abbinden und der darauf folgenden Erhärtung bestehen, ist ebenfalls noch nicht vollständig erkannt. Betrachten wir das Abbinden als eine hauptsächliche Funktion der Tonerde, so können wir andererseits die Erhärtung als eine Funktion der Kieselsäure auffassen, ganz abgesehen davon, welche chemischen Veränderungen der Silikate dabei vor sich gehen.

Ist die Erhärtung eine von dem Abbinden vollständig unabhängige Erscheinung, so muß eine Störung oder sogar Verhinderung des Abbindens an dem Endergebnis der Erhärtung keine wesentlichen Änderungen hervorrufen. Die Praxis steht heute noch auf einem gegenteiligen Standpunkte. Es ist eine alte Regel, besonders rasch bindende Zemente nicht zu übertreiben, weil dadurch das Abbinden gestört und die Festigkeit wesentlich vermindert werden soll. Gelingt es, die Haltlosigkeit dieser Anschauungen zu beweisen, so müßte damit auch der Beweis geliefert sein, daß Abbindung und Erhärtung zwei Vorgänge sind, die nichts miteinander zu tun haben.

Als ich an das Studium der Abbindeverhältnisse heranging, dessen Ergebnisse in folgendem niedergelegt sind, stellte ich mir daher zunächst die Aufgabe, festzustellen, welche Beziehungen zwischen Abbinden und Erhärten des Portlandzements bestehen. Außerdem versuchte ich, den Einfluß der Luftwärme auf das Abbinden zu ergründen und gleichzeitig Beziehungen zwischen der Abbindegeschwindigkeit und der Luftwärme festzustellen. Handelte es sich bei dem Abbinden hauptsächlich um einen chemischen Vorgang, so mußte eine Gesetzmäßigkeit aufzustellen sein. Endlich galt es zu ermitteln, ob die Luftfeuchtigkeit tatsächlich den vermuteten Einfluß auf den Abbindevorgang ausübt.

Die folgenden Ausführungen zeigen die von mir eingeschlagenen Versuchswege zur Lösung der genannten Fragen.



I. Abschnitt.

Wiederanmachung, Erhärtung und Abbindezeit.

Der Bestimmung der Abbindezeit wird große Wichtigkeit zugeschrieben, deshalb, weil »ein bereits abgebundener, mit Wasser wieder angerührter Mörtel fast gar keine oder wesentlich geringere Erhärtungs-Energie besitzen« soll. (Kleines Zementbuch S. 9.) Es wird auch behauptet, daß »ein bereits abgebundener und wieder angemachter Zement dann nur äußerst langsam oder auch gar nicht abbindet«. (Naske, Portlandzementfabrikation S. 230.)

Ganz allgemein werden diese Ansichten als etwas selbstverständliches angesehen; viele Zemente sind dementsprechend beanstandet oder für unbrauchbare, wertlose Erzeugnisse erklärt worden. Es ist aber zwischen »langsam oder gar nicht abbinden« und »gar keine oder wesentlich geringere Erhärtungsenergie besitzen« ein Unterschied; denn das Abbinden des Zementes bestimmt nicht dessen Erhärtung; die beiden Vorgänge sind zwei verschiedene chemische Reaktionen, wie man allgemein annimmt. Diese Ueberlegung hätte schon genügen können, einen Zweifel über Richtigkeit — wenigstens über Genauigkeit — jener Behauptungen zu erwecken.

Jeder, der sich mit der Herstellung höchst rasch bindenden Zementes beschäftigt hat, wird häufig der Enttäuschung nicht entgangen sein, insofern als das Erzeugnis in der Tat gleich beim Anmachen wesentliche Temperaturerhöhung aufweist, das Wasser aufsaugt und halbtrocken wird, und dennoch im Sinne der Normenprüfung als ein normaler Langsambinder auftritt, weil sein erstes Abbinden während des einige Minuten andauernden Anrührens endet, und die weitere Beobachtung sich auf den wiederangerührten Mörtel bezieht. Andererseits ist es gar nicht zutreffend, daß ein solcher Mörtel stets äußerst langsame Abbindezeit aufweisen, oder kaum Erhärtungs-Energie besitzen soll.

Candlot (Ciments et chaux hydrauliques; Annex) beweist durch umfangreiche Versuche, daß der Unterschied zwischen den Zug- und Druckfestigkeiten der einmal- und wiederholt angerührten Mörtel im allgemeinen unbedeutend ist. Von seinen vielen Versuchszahlen seien einige Reihen herausgegriffen; er führt z. B. an:

Tafel 1.
Mittel von 13 Versuchen.
1 Zement : 3 Normensand.
(Probekörper eingeschlagen).

Herstellungs- Weise	Wasser		Zugfestigkeit in kg/qem									
	Einmaliges Anmachen	Wiederholtes Anmachen	Wassererhärtung					Lufterhärtung				
			7 Tage	28 Tage	3 Mon.	6 Mon.	1 Jahr	7 Tage	28 Tage	3 Mon.	6 Mon.	1 Jahr
Einmaliges Anmachen	10.5		10.1	16.6	21.9	24.8	30.8	12.1	23.5	30.0	37.7	47.5
Wiederholtes Anmachen	10.5	1.5	10.4	16.9	22.7	25.5	29.4	11.8	23.3	30.4	35.1	46.2
Vergleichs-Werte												
Einmaliges Anmachen			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Wiederholtes Anmachen			103	102	104	103	95	98	99	101	93	97

Trotzdem schreibt Candlot den Abbindungsverhältnissen große Wichtigkeit zu, weil der wieder angemachte Mörtel

1. bei Verwendung feinen Sandes — besonders wenn man bei der Herstellung der Probekörper größere Wassermengen zum Anmachen verwendet und den Mörtel in die Formen schwach einschlägt oder einfüllt — geringere Zug- wie Druckfestigkeit aufweist,
2. bedeutend geringere Haftfähigkeit als der einmal angemachte Mörtel aufweist und
3. gegen die Wirkung des Meerwassers weniger widerstandsfähig ist.
4. zieht Candlot aus seiner Versuchsreihe 5 den Schluß, daß die wiederangemachten, eingefüllten Mörtel je fetter desto schwächer im relativen Sinne sind. In der Tat sind nach seinen Zahlentafeln die Festigkeiten von den wiederangemachten eingefüllten 1 : 1 Mörteln um 20 v. H. niedriger als diejenigen von den einmal angemachten Mörteln, während bei den eingefüllten sowie eingeschlagenen 1 : 3 Mörteln dieser Unterschied sogut wie verschwindend ist, was übrigens auch bei den eingeschlagenen Proben 1 : 1 der Fall ist.

§ 1. Erhärtung wiederangemachten Zementes.

Beim Studium der Beziehungen zwischen der Temperatur und Abbindezeit des Portlandzementes, worüber in Abschnitt II und III weiteres berichtet wird, wurden zugleich Zerreißversuche an einmal sowie wiederholt

angemachten Mörteln ausgeführt. Sie sollen hier mit den Candlot'schen Ergebnissen verglichen werden.

Versuchsreihe I. Drei Zemente der üblichen chemischen Zusammensetzung wurden zum Versuch herangezogen. Bei jedem Versuch wurden ein Drittel vom angemachten 1 : 3-Mörtel normenmäßig eingeschlagen; das zweite Drittel wurde nach dem Eintritt des Abbindebeginns unter Zusatz einer kleinen Wassermenge wieder kräftig angemacht und eingeschlagen. Mit dem letzten Drittel wurde nach dem Ende des Abbindens ähnlich verfahren. Die Ergebnisse sind hier unten in der Tafel 2 in Hundertteilen angegeben.

Neben jedem solchen Versuch erfolgte zur genau gleichen Zeit die Bestimmung der Abbindeverhältnisse nach den Normen, so daß man genau die Zeit für die Wiederanmachung des Mörtels beobachten konnte.

Sämtliche, einmal- wie wiederholt angemachte Probekörper, wurden 24 Stunden an der Luft, dann im Süßwasser erhärten gelassen.

Die Festigkeitszahlen sind in Zahlentafel 3 (Seite 4 - 6) zusammengestellt; setzt man, des Vergleichs halber, für die Festigkeiten der normalen Mörtel den Wert 100, so erhalten wir die folgenden Verhältniszahlen.

Tafel 2.

Anmachung	Zement	Vergleichswerte der Festigkeit		
		7 Tage	28 Tage	3 Monate
Nur einmal angemacht	A B C	100	100	100
Wiederholt nach Beginn des Abbindens	A	86	97	95
	B	90	96	96
	C	95	97	94
Wiederholt nach Beendigung des Abbindens	A	84	89	91
	B	85	96	92
	C	91	92	89

Versuchsreihe II. An drei verschiedenen Zementen stark abweichender chemischer Zusammensetzung wurde die Festigkeit der reinen Mörtel von verschiedenen Anmachwassermengen bei einmaliger wie wiederholter Anmachung festgestellt. Für die Ergebnisse vergleiche man Zahlentafel 4 (Seite 7—9).

Versuchsreihe III. An chemisch stark abweichenden drei Zementarten wurden die Festigkeiten von den durch die Handarbeit hergestellten Probekörpern der einmal angemachten bez. nach 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 und 24 Stunden unter weiterer Wasserzugabe wiederangemachten 1 : 3-Sandmörtel bestimmt.

Als Sand wurde für eine Hälfte der Versuchsreihe der deutsche Normensand gewählt; für die andere Hälfte dagegen sehr fein gemahlene Quarzmehl, welches auf dem Siebe von 900 Maschen auf den qcm 4—5 v. H.

Zahlentafel 3.

Versuchsreihe I.

Zement A.

Chemische Analyse.

Si O ₂	23,10
Al ₂ O ₃	6,91
Fe ₂ O ₃	2,45
Ca O	62,72
SO ₃	1,02
Glühverlust	2,46
	<hr/> 98,66

Abbindezeit (Vicat'sche Nadel)		Festigkeit kg/qcm															
		1 Zement : 3 Deutscher Normsand															
Wasserzusatz v. H.	Beginn	Ende	Einmal angemacht			Beim Abbindebeginn wieder angemacht			Am Ende der Abbindezeit wieder angemacht								
			Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug					
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m			
28.0	2.30	3.40				7.0				7.0							
						1.0	16.6	20.8		3.0	15.3	21.0					
28.0	1.50	3.20	7.0	18.4	22.8	7.0				7.0							
						1.0	15.6	24.0		3.0	13.8	19.1					
28.0	3.20	5.10	7.0	20.3	23.4	27.5	7.0			7.0							
							2.0	19.8	23.9	31.9	4.0	16.8	22.1	26.4			
28.0	5.50	9.40	7.0	20.3	22.6	27.3	7.0			7.0							
							2.0	19.3	24.7	25.4	4.0	14.9	20.8	24.5			
26.5	8.40	14.0	7.5	21.2	20.3	27.1	7.5			7.5							
							1.5	20.9	21.5	25.3	3.5	18.8	19.3	24.7			
26.0	8.0	13.30	7.0	21.3	22.3	27.4	7.0			7.0							
							1.0	20.8	23.6	27.4	2.0	17.5	17.2	21.7			
26.0	9.10	15.30	7.0	18.4	22.8	26.9	7.0			7.0							
							2.5	18.4	21.3	25.8	3.0	15.9	19.8	25.5			
26.0	8.10	14.50	7.0	18.8	21.8	29.3	7.0			7.0							
							0.5	17.7	20.4	26.4	2.5	16.1	18.3	22.0			
26.0	5.40	9.20	7.0	23.2	24.8	36.7	7.0			7.0							
							2.0	17.8	21.0	28.9	4.0	16.7	19.2	28.8			
26.0	3.30	5.0	7.0	17.6	21.4	27.2	7.0			7.0							
							1.0	17.3	19.0	25.5	4.0	16.1	19.8	24.1			
26.0	3.0	4.10	7.5	16.1	19.8	26.6	7.5			7.5							
							1.5	15.6	19.4	25.3	4.0	14.2	18.8	25.3			
26.0	1.50	2.30	7.5	17.2	21.5	27.3	7.5			7.5							
							1.5	17.0	21.2	26.8	3.0	15.4	21.0	25.4			
26.0	1.10	1.30	7.5	12.5	18.6	24.1	7.5			7.5							
							1.0	12.2	17.6	22.4	3.0	11.3	18.0	21.7			
26.0	3.10	4.20	7.5	18.6	21.9	27.8	7.5			7.5							
							1.5	17.5	21.2	26.1	3.5	15.6	19.5	24.3			
Verhältniszerte:			100	100	100		94	97	94		84	89	87				

Zahlentafel 3.

(Fortsetzung.)

Zement B.

Chemische Analyse.	
Si O ₂	21,76
Al ₂ O ₃	7,81
Fe ₂ O ₃	3,36
Ca O	61,42
SO ₃	0,92
Glühverlust	2,68
	<hr/>
	97,95

Abbindezeit (Vicat'sche Nadel)			Festigkeit kg/qcm											
			1 Zement : 3 Deutscher Normalsand											
Wasserzusatz v. H.	Abbindezeit		Einmal angemacht						Beim Abbindebeginn wieder angemacht					
	Beginn	Ende	Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug		
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m
26.0	5.40	9.50	7.0	16.6	21.3		7.0	12.6	18.1		7.0	12.1	18.5	
							1.5				3.5			
							7.0				7.0			
26.0	6.20	10.0	7.0	17.3	19.8	25.6	1.3	16.5	18.3	25.3	3.0	16.0	18.9	24.7
							7.0				7.0			
26.0	9.20	14.50	7.0	17.5	23.2	25.5	1.5	17.8	23.7	26.8	4.0	14.6	23.7	27.4
							7.5				7.5			
25.0	11.50	18.10	7.5	18.1	21.0	24.3	1.0	16.6	20.2	21.6	3.0	17.3	19.1	21.1
							6.5				6.5			
25.0	15.40	22.10	6.5	18.3	21.0	25.4	1.5	16.6	21.2	25.2	2.5	14.7	19.8	25.1
							7.0				7.0			
25.0	9.40	14.20	7.0	18.1	17.9	27.5	1.5	16.0	20.4	25.8	3.0	12.5	17.6	25.1
							7.0				7.0			
25.0	9.20	13.50	7.0	17.6	17.9	24.2	1.0	14.8	17.4	21.9	2.5	13.8	17.2	22.3
							7.0				7.0			
25.0	7.20	10.10	7.0	16.7	21.5	29.5	1.0	12.5	19.5	23.3	3.0	12.6	19.4	25.6
							7.5				7.0			
25.0	5.20	8.0	7.5	15.4	19.8	28.3	1.0	13.7	19.2	26.8	3.5	13.3	21.3	25.3
							7.0				7.0			
25.0	4.10	6.30	7.0	15.1	21.2	27.0	1.0	16.0	22.3	26.1	3.0	15.8	21.9	24.1
							7.5				7.5			
25.0	3.20	5.10	7.5	12.5	18.4	24.8	2.0	11.9	16.5	22.7	3.5	12.1	16.5	22.6
							7.5				7.5			
25.0	3.0	4.40	7.5	14.0	15.4	18.7	1.0	13.6	15.1	18.5	3.0	12.9	16.0	19.8
							7.5				7.5			
25.0	4.10	6.10	7.5	16.4	19.9	25.5	1.0	14.8	19.1	23.9	3.0	14.0	19.1	24.0
Verhältniszerte:				100	100	100		90	96	94		85	96	94

Zahlentafel 3.
(Fortsetzung.)

Zement C.
Chemische Analyse.

Si O ₂	21,24
Al ₂ O ₃	7,52
Fe ₂ O ₃	3,39
Ca O	62,42
SO ₃	0,97
Glühverlust	2,99
	<hr/>
	98,53

Abbindezeit Vicat'sche Nadel)			Festigkeit kg/qcm											
			1 Zement : 3 Deutscher Normsand											
Wasserzusatz v. H.	Beginn	Ende	Einmal angemacht			Beim Abbindebeginn wieder angemacht			Am Ende der Abbindezeit wieder angemacht					
			Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug			Wasser- zusatz	Zug		
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m
28.0	5 <u>50</u>	8 <u>10</u>	7.0	22.0	23.0	27.7	7.0	20.8	23.7	27.5	7.0	20.3	22.5	24.1
28.0	6 <u>40</u>	8 <u>40</u>	7.0	19.7	23.1	28.8	2.0	17.7	19.7	25.4	7.0	17.6	18.0	24.9
28.0	11 <u>50</u>	17 <u>50</u>	7.0	20.3	24.1	28.6	7.0	21.4	25.0	31.3	7.0	18.2	21.7	28.3
28.0	8 <u>10</u>	11 <u>0</u>	7.0	20.8	24.1	28.1	1.0	18.2	21.2	26.0	7.0	18.0	21.8	23.7
27.5	6 <u>40</u>	7 <u>50</u>	7.0	21.2	25.0	28.4	7.0	20.8	23.3	27.4	7.0	18.4	22.9	26.1
27.0	4 <u>0</u>	4 <u>40</u>	7.0	20.2	23.5	31.7	1.5	17.2	22.5	25.8	7.0	16.7	20.1	24.4
27.0	2 <u>50</u>	3 <u>30</u>	7.5	17.3	21.6	29.7	7.5	16.8	19.4	26.4	7.0	15.4	18.2	22.1
27.0	1 <u>50</u>	2 <u>30</u>	7.0	18.1	23.0	28.9	7.0	18.4	23.2	26.0	7.0	17.1	22.9	25.6
26.0	1 <u>10</u>	1 <u>50</u>	7.5	16.6	19.3	24.2	7.5	16.1	21.9	23.9	7.5	16.4	21.8	23.1
26.0	2 <u>30</u>	3 <u>0</u>	7.5	19.2	22.8	28.0	7.5	18.3	22.0	26.3	7.5	17.5	20.9	24.8
			Verhältniszerte:	100	100	100		95	96	94		91	92	89

Zahlentafel 4.
Versuchsreihe II.

Zement D.
Chemische Analyse.

Si O ₂	24,96
Al ₂ O ₃	5,30
Fe ₂ O ₃	3,00
Ca O	60,84
SO ₃	0,92
Glühverlust	3,80
	<hr/> 98,82

Abbindezeit (Vicat'sche Nadel)			Festigkeit kg/qcm Reiner Zement											
			Einmal angemacht						Beim Abbindebeginn wieder angemacht			Am Ende der Ab- bindezeit wieder angemacht		
Wasserzusatz	Beginn	Ende	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m
			27.5	3.50	7.20	17.0	37.8	48.5		17.0 1.5	39.3	50.3		17.0 4.0
			27.5	35.0	45.8		27.5 1.0	23.0	34.4		27.5 4.0	20.3	32.2	

Zahlentafel 4.

(Fortsetzung.)

Zement C.

Chemische Analyse.

Si O ₂	21,24
Al ₂ O ₃	7,52
Fe ₂ O ₃	3,39
Ca O	62,42
SO ₃	0,97
Glühverlust	2,99
	<u>98,53</u>

Abbindezeit (Vicat'sche Nadel)			Festigkeit kg/qcm Reiner Zement											
			Einmal angemacht			Bei Abbindebeginn wieder angemacht			Am Ende der Ab- bindezeit wieder angemacht					
Wasserzusatz	Beginn	Ende	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m
26.0	5.10	6.40	17.0	43.0	48.7	50.9	17.0 5.0	36.0	41.7	44.7	17.0 7.0	32.3	37.1	41.3
			27.0	31.9	42.6	48.7	27.0 2.0	27.0	39.5	42.6	27.0 12.0	23.3	37.7	39.8

Zahlentafel 4.

(Fortsetzung.)

Zement E.

Chemische Analyse.

Si O ₂	19,13
Al ₂ O ₃	11,91
Fe ₂ O ₃	4,66
Ca O	60,18
SO ₃	0,96
Glühverlust	2,62
	<u>99,46</u>

Abbindezeit (Vicat'sche Nadel)			Festigkeit kg/qcm Reiner Zement											
			Einmal angemacht						Bei Abbindebeginn wieder angemacht			Am Ende der Ab- bindezeit wieder angemacht		
Wasserzusatz	Beginn	Ende	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
				1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m		1 w	4 w	3 m
28.5	0 ³⁰	8 ³⁰	17.0	31.7	34.6	45.4	17.0 2.5	32.9	38.4	41.7	17.6 6.0	21.1	31.2	39.9
			28.5	18.1	28.4	35.8	28.5 2.0	15.8	26.5	31.4	28.5 6.0	14.8	24.4	27.4

Zahlentafel 5.
Versuchsreihe III.

Zement D.

Chemische Analyse.

Si O ₂	24,96
Al ₂ O ₃	5,30
Fe ₂ O ₃	3,00
Ca O	60,84
SO ₃	0,92
Glühverlust	3,80
	<hr/> 98,82

Abbindezeit.

Wasserzusatz	27.5 v. H.
Beginn	3 ^h 50'
Ende	7 ^h 20'

Festigkeit kg/qcm

Wiederange- macht in Stunden nach der ersten Anmischung	1 Zement : 3 Deutscher Normensand				1 Zement : 3 Quarz- feinmehl			
	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.
0	7.5	14.9	18.8	25.5	17.0	9.7	14.2	18.6
3	7.5 + 0	16.2	19.6	23.9	17.0 + 1.0	7.6	13.0	16.7
6	7.5 + 0.1	16.7	20.0	26.3	17.0 + 2.0	5.6	11.0	14.3
9	7.5 + 0.3	16.9	20.4	27.1	17.0 + 3.0	4.7	7.5	13.1
12	7.5 + 0.8	13.4	18.6	25.3	17.0 + 4.0	4.3	8.6	12.9
15	7.5 + 0.5	15.4	20.8	25.1	17.0 + 2.0	4.8	9.3	14.4
18	7.5 + 0.6	14.4	20.2	25.0	17.0 + 1.0	4.2	9.5	13.7
21	7.5 + 1.0	12.9	17.4	26.0	17.0 + 2.0	3.9	8.5	12.6
24	7.5 + 2.0	12.5	18.4	25.0	17.0 + 2.5	3.3	8.0	13.2

Zahlentafel 5.

(Fortsetzung.)

Zement C.

Chemische Analyse.

Si O ₂	21,24
Al ₂ O ₃	7,52
Fe ₂ O ₃	3,39
Ca O	62,42
SO ₃	0,97
Glühverlust	2,99
	<hr/> 98,53

Abbindezeit.

Wasserzusatz	26,0 v. H.
Beginn	5 ^h 10 ^c
Ende	6 ^h 40 ^c

Festigkeit kg/qcm

Wiederange- macht in Stunden nach der ersten Anmachung	1 Zement : 3 Deutscher Normensand				1 Zement : 3 Quarz- feinmehl			
	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.
0	7.5	17.9	21.4	24.6	15.0	15.8	24.4	31.1
3	7.5 + 1.5	17.1	20.1	21.3	15.0 + 1.0	13.4	21.0	26.0
6	7.5 + 2.5	17.7	19.5	22.4	15.0 + 2.0	13.2	20.4	28.5
9	7.5 + 3.0	18.4	19.3	21.4	15.0 + 3.0	12.7	19.6	24.4
12	7.5 + 3.5	16.5	20.3	23.5	15.0 + 3.5	11.0	17.3	23.2
15	7.5 + 4.0	18.3	20.7	23.9	15.0 + 4.0	10.6	15.6	23.9
18	7.5 + 4.0	13.4	16.9	19.0	15.0 + 4.0	10.6	17.5	22.5
21	7.5 + 4.5	12.0	14.6	18.4	15.0 + 4.0	10.0	16.1	22.9
24	7.5 + 5.0	11.6	15.7	19.0	15.0 + 4.5	10.2	16.1	23.5

Zahlentafel 5.
(Fortsetzung.)

Zement E.

Chemische Analyse.

Si O ₂	19,13
Al ₂ O ₃	11,91
Fe ₂ O ₃	4,66
Ca O	60,18
SO ₃	0,96
Glühverlust	2,62
	<hr/>
	99,46

Abbindezeit.

Wasserzusatz	28.5 v. H.
Beginn	0h 30'
Ende	8h 30'

Festigkeit kg/qcm

Wiederange- macht in Stunden nach der ersten Anmachung	1 Zement : 3 Deutscher Normensand				1 Zement : 3 Quarz- feinmehl			
	Wasser v. H.	Zug			Wasser v. H.	Zug		
		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.		7 Tage	28 Tge.	3 Mon.
0	8.5	13.7	16.6	18.8	17.0	5.5	11.6	16.7
3	8.5 + 1.0	12.7	16.2	18.7	17.0 + 1.0	5.3	10.9	15.8
6	8.5 + 1.3	14.1	16.9	18.8	17.0 + 1.5	5.0	9.9	16.5
9	8.5 + 1.4	14.5	18.8	21.3	17.0 + 2.0	4.3	10.0	16.3
12	8.5 + 1.5	14.7	19.7	22.3	17.0 + 2.5	4.3	9.7	15.9
15	8.5 + 2.5	14.1	19.3	22.3	17.0 + 2.5	4.0	9.7	16.7
18	8.5 + 2.5	11.6	14.9	19.2	17.0 + 3.0	3.9	9.1	17.2
21	8.5 + 2.5	12.7	17.7	23.1	17.0 + 3.5	2.8	8.3	16.6
24	8.5 + 2.6	10.7	15.3	19.3	17.0 + 3.5	—	8.3	16.2

und auf 4900 Maschen auf den qcm 20 · 25 v. H. Rückstand zurückläßt. Die Versuchsergebnisse sind in Zahlentafel 5 (S. 10—12) zusammengestellt.

§ 2. Erhärtung wiederangemachten Zementes — Fortsetzung.

Die in § 1 erwähnten Ergebnisse, womit auch die Versuche von Candlot in vielen Beziehungen übereinstimmen, dürften zur Genüge beweisen, daß die Behauptung vieler Autoritäten:

»der wieder angerührte Zement-Mörtel besitze fast gar keine oder wesentlich geringere Erhärtungs-Energie«

durchaus nicht stichhaltig ist.

Unsere Versuche stehen aber auch in einigen Einzelheiten mit den Candlot'schen nicht in Einklang. Daß z. B. nach seinen Versuchen der Unterschied zwischen den einmal und wiederholt angemachten Mörteln durch die Verwendung des feinen Sandes sich vergrößern, durch den groben Sand dagegen verkleinern soll, ist nur insofern richtig, als man kürzere Fristen in Betrachtung zieht. Mit der Zeit überholen die Festigkeiten der feinsandigen, wiederangerührten Mörtel ebenso gut wie bei den grobsandigen Proben die einmal angemachten Mörtel, was sehr deutlich aus Zahlentafel 5 hervorgeht. Jene Versuche sind für groben Sand mit dem kleinsten Wasserzusatz (Konsistenz für starkes Einschlagen); für feinen Sand dagegen mit größerer Wassermenge ausgeführt. Durch Zusatz von 15 v. H. Wasser erhielt man nämlich aus 1 Teil Zement C und 3 Teilen Quarzmehl einen für starkes Einschlagen passenden, halbtrocknen Mörtel und durch 17 v. H. Wasserzusatz zu Zement D und E und Quarzmehl einen feuchten Mörtel solcher Konsistenz, wie sie aus reinem Zement durch 20—21 v. H. Wasserzusatz erhalten wird und sich zum schwachen Einschlagen eignet. Außerdem hat man zu berücksichtigen, daß bei unseren Versuchen der äußerste Fall der Sandfeinheit (Quarzmehl) untersucht worden ist.

Betrachtet man nun die Zahlentafel 4 (Seite 7—9) näher, so dürfte man daraus den Schluß ziehen, daß:

»der Charakter der Festigkeitserscheinungen eines zuerst mit kleiner Wassermenge (a v. H.) und nach einiger Zeit unter weiterem Wasserzusatz (b v. H.) wieder angemachten Zementes gleich demjenigen von demselben, aber von vornherein mit größerer Wassermenge (etwa $a + b$ v. H. oder $a + 2b$ v. H.) auf einmal angemachten Zement ist.«

Man achte nur auf die Ähnlichkeit zwischen den am Ende der Abbindezeit wiederangemachten und durch Einschlagen hergestellten Proben und den nur einmal angemachten und durch Einfüllen hergestellten.

Wir wissen nun, daß die mit größerer Wassermenge hergestellten Probekörper geringere Anfangsfestigkeit aufweisen, mit der Zeit aber die

mit kleinerer Wassermenge hergestellten ganz oder fast ganz einholen; die Zeitdauer zieht sich dabei um so mehr in die Länge, je größer der Wasserzusatz war.

Dehnen wir diese Betrachtungen aus und untersuchen die Werte der Zahlentafeln I und III, so sehen wir, daß unsere Schlußfolgerung, auch für die Zement-Sandmörtel ebenso giltig ist, wie für den reinen Zement

Damit fällt das erste Bedenken, das Candlot gegen die wiederangemachten Mörtel hegt.

§ 3. Verhalten wiederangemachter Mörtel bei Verwendung von Meerwasser und Erhärtung in demselben.

Versuchsreihe IV. Die aus Zement A und C durch einmaliges wie wiederholtes Anmachen hergestellten Kuchen wurden die ersten 24 Stunden an der Luft, dann im Meerwasser erhärten lassen und während längerer Erhärtungsfristen genauer Beobachtung unterzogen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tafeln (6 und 7) zusammengestellt. Das beobachtete Verhalten ist durch Zeichen angegeben und deren Bedeutung in der beigefügten Anmerkung.

Tafel 6.

Zement A.

Anmachung: Meerwasser

Erhärtung: 24 Stunden an der Luft, darauf in Meerwasser.

	Anfertigung	Letzte Beobachtung	Kuchen einmaliger Anmachung	Wiederangemacht beim Abbindebeginn	Wiederangemacht am Abbindungsende
1	15. Aug.	31. Dez. (138 Tage)	⊙ ⊙	⊙ ⊙	⊙ ⊙
2	18. Sept.	31. Dez. (104 Tage)	⊙ 90 Tage ⊙	⊙ 81 Tage ⊙	⊙ 32 Tage ⊙
3	13. Okt.	31. Dez. (79 Tage)	⊙ 62 Tage ⊙	⊙ ⊙	⊙ 56 Tage ⊙
4	13. Nov.	31. Dez. (48 Tage)	⊙ 31 Tage ⊙	⊙ 34 Tage ⊙	⊙ 35 Tage ⊙

Anmerkung: ⊙ Am letzten Beobachtungstage noch an Glasplatte fest haftend.
 ⊙ x Tage . . . Der Kuchen löste sich in x Tagen nach der Anfertigung von der Glasplatte ab.
 ⊙ Der Kuchen zeigte am letzten Beobachtungstage nicht geringste Zeichen von Verkrümmungen, Kantenrissen oder dergl.

Tafel 7.

Zement C.

Anmachtung: Meerwasser

Erhärtung: 24 Stunden an der Luft, darauf in Meerwasser.

	Anfertigung	Letzte Beobachtung	Kuchen einmaliger Anmachtung	Wiederangemacht beim Abbindebeginn	Wiederangemacht am Abbindungsende
1	7. Aug.	31. Dez. (146 Tage)	⊙ ⊙	⊙ ⊙	⊙ 1 Tag ⊙
2	24 Aug.	31. Dez. (129 Tage)	⊙ ⊙	⊙ 106 Tage ⊙	⊙ ⊙
3	20. Sept.	31. Dez. (102 Tage)	⊙ 86 Tage ⊙	⊙ 53 Tage ⊙	⊙ 77 Tage ⊙
4	6. Okt.	31. Dez. (86 Tage)	⊙ 15 Tage ⊙	⊙ 22 Tage ⊙	⊙ 36 Tage ⊙
5	7. Nov.	31. Dez. (54 Tage)	⊙ 12 Tage ⊙	⊙ 8 Tage ⊙	⊙ 10 Tage ⊙

Aus den Tafeln ist beispielsweise zu entnehmen, daß bei der Probe 1 vom Zement A sämtliche am 15. August 1906 hergestellten Proben bei der letzten Beobachtung am 31. Dezember, (also in 138 Tagen) vollkommen tadellos geblieben sind; sie hafteten auch noch fest an der Glasplatte. Bei der Probe 2 von demselben Zemente löste sich der beim Abbindungsende wiederangemachte Kuchen in 32 Tagen nach der Herstellung von der Platte ab, dann folgte der beim Abbindebeginn wiederangemachte Kuchen in 81 Tagen und der Kuchen der gewöhnlichen Anmachtung in 90 Tagen. Alle drei zeigten kein Merkmal des Treibens.

Ueberhaupt sind alle Proben dieser Versuchsreihe fehlerfrei geblieben, ohne irgend welche Kantenrisse oder Verkrümmungen zu zeigen, so daß wir keinen Unterschied in der Widerstandsfähigkeit gegen Meerwasser feststellen können.

Versuchsreihe V. Um die Kuchen einer verschärften Wirkung des Meerwassers auszusetzen, tauchten wir dieselben nach der Anfertigung sofort in Meerwasser ein; sie erhärteten darin und blieben dort während längerer Beobachtungszeit liegen. Die Ergebnisse sind in den beifolgenden Tafeln 8 und 9 auf Seite 16 wiedergegeben. Auch hier zeigten alle Proben bis dahin keine Spur von Treiberscheinungen, so daß ein Unterschied der Widerstandsfähigkeit zwischen den einmal und wiederholt angemachten Mörteln nicht festgestellt werden konnte.

Versuchsreihe VI. Bei diesen Versuchen haben wir die einmal sowie wiederholt angemachten Kuchen 24 Stunden an der Luft, dann in einer

Tafel 8.

Zement A.

Anmischung: Mit Meerwasser

Erhärtung: Im Meerwasser.

	Anfertigung	Letzte Beobachtung	Kuchen einmaliger Anmischung	Wiederangemacht beim Abbindebeginn	Wiederangemacht am Abbindungsende
1	15. Aug.	31. Dez. (138 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 4 Tage	$\odot \odot\odot$	$\odot \odot\odot$
2	18. Sept.	31. Dez. (104 Tage)	$\odot \odot\odot$	$\odot \odot\odot$	$\odot \odot\odot$
3	13. Okt.	31. Dez. (79 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 7 Tage	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 4 Tage	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 74 Tage
4	13. Nov.	31. Dez. (48 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 14 Tage	$\odot \odot\odot$	$\odot \odot\odot$

Tafel 9.

Zement C.

Anmischung: Mit Meerwasser.

Erhärtung: Im Meerwasser.

	Anfertigung	Letzte Beobachtung	Kuchen einmaliger Anmischung	Wiederangemacht beim Abbindebeginn	Wiederangemacht am Abbindungsende
1	7. Aug.	31. Dez. (146 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 95 Tage	$\frac{\odot}{\odot}$ 5 Tage	$\odot \odot\odot$
2	24. Aug.	31. Dez. (129 Tage)	$\odot \odot\odot$	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 106 Tage	$\odot \odot\odot$
3	20. Sept.	31. Dez. (102 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 11 Tage	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 59 Tage	$\odot \odot\odot$
4	6. Okt.	31. Dez. (86 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 22 Tage	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 5 Tage	$\odot \odot\odot$
5	7. Nov.	31. Dez. (54 Tage)	$\frac{\odot}{\odot\odot}$ 13 Tage	$\odot \odot\odot$	$\odot \odot\odot$

3prozentigen Lösung von $MgSO_4 \cdot 7 aq.$ erhärten lassen, über deren Ergebnisse die beifolgenden Tafeln 10 und 11 Auskunft geben.

Bei einigen von diesen Proben haben sich die einmal angemachten Kuchen besser als die wiederholt angemachten gegen $MgSO_4$ -Lösung gehalten; bei anderen Proben ist aber das gerade Gegenteil der Fall. Diese Versuche vermögen also auch keinen Unterschied der Widerstandsfähigkeit zwischen den einmal und wiederholt angemachten Mörteln zu beweisen.

Tafel 10.

Zement A.

Anmischung: Mit Meerwasser.

Erhärtung: 24 Stunden an der Luft, darauf in 3proz. Lösung von $MgSO_4 \cdot 7 aq.$

	Anfertigung	Letzte Beobachtung	Einmal angemacht	Wiederangemacht nach Abbindebeginn	Wiederangemacht n Abbindungsende
1	15 Aug.	31. Dez. (138 Tage)	⊙ 115 Tage ⊙1 128 Tage ⊙2 133 Tage ⊙3 138 Tage	⊙ 36 Tage ⊙1 47 Tage ⊙4 55 Tage ⊙5 66 Tage ⊙6 138 Tage	⊙ 17 Tage ⊙1 77 Tage ⊙4 107 Tage ⊙5 116 Tage ⊙6 138 Tage
2	18. Sept.	31. Dez. (104 Tage)	⊙ 40 Tage ⊙1 44 Tage ⊙2 53 Tage ⊙4 63 Tage ⊙5 71 Tage ⊙6 104 Tage	⊙ 51 Tage ⊙1 53 Tage ⊙2 59 Tage ⊙4 70 Tage ⊙5 79 Tage ⊙6 104 Tage	⊙ ⊙
3	13. Okt.	31. Dez. (79 Tage)	⊙ 62 Tage ⊙	⊙ ⊙	⊙ 56 Tage ⊙
4	13. Nov.	31. Dez. (48 Tage)	⊙ ⊙	⊙ ⊙	⊙ 25 Tage ⊙1 43 Tage ⊙2 48 Tage

- Anmerkung:
- ⊙ Der Kuchen haftete bei der letzten Beobachtung noch fest an der Glasplatte.
 - ⊙ Der Kuchen löste sich von der Glasplatte ab.
 - ⊙⊙ Ohne jede Verkrümmung oder Kantenrisse.
 - ⊙1 Spur von Verkrümmung, Kantenriss oder Aufblähung.
 - ⊙2 Ziemlich deutliche Verkrümmung, Kantenrisse oder Aufblähung.
 - ⊙3 Deutliche Verkrümmung usw.
 - ⊙4 Bedeutende Verkrümmung usw.
 - ⊙5 Beginn der Zerbröckelung durch starke Verkrümmungen, Kantenrisse usw.
 - ⊙6 Weitgehende Zerbröckelung.

Tafel 11.

Zement C.

Anmachtung: Mit Meerwasser.

Erhärtung: 24 Stunden an der Luft, darauf in 3proz. Lösung von $MgSO_4 \cdot 7 aq$

	An- fertigung	Letzte Beobachtung	Einmal angemacht	Nach Abbindebeginn wiederangemacht	Nach Abbindungs- ende wiederangemacht
1	7. Aug.	31. Dez. (146 Tage)	⊙ ⊙	⊙ 3 Tage ⊙1 84 Tage ⊙2 95 Tage ⊙3 130 Tage	⊙ 4 Tage ⊙1 44 Tage ⊙4 63 Tage ⊙5 100 Tage ⊙6 146 Tage
2	24. Aug.	31. Dez. (129 Tage)	⊙ ⊙	⊙ 3 Tage ⊙1 74 Tage ⊙2 88 Tage ⊙3 117 Tage	⊙ 4 Tage ⊙1 68 Tage ⊙2 88 Tage ⊙3 117 Tage
3	20. Sept.	31. Dez. (102 Tage)	⊙ 69 Tage ⊙1 69 Tage ⊙2 75 Tage ⊙3 79 Tage	⊙1 86 Tage ⊙ 92 Tage ⊙2 92 Tage ⊙3 97 Tage	⊙ 61 Tage ⊙1 69 Tage ⊙2 77 Tage ⊙3 79 Tage ⊙4 90 Tage
4	6. Okt.	31. Dez. (86 Tage)	⊙ 45 Tage ⊙2 63 Tage ⊙3 81 Tage	⊙ 37 Tage ⊙1 65 Tage ⊙2 81 Tage	⊙ 36 Tage ⊙2 63 Tage ⊙3 81 Tage
5	7. Nov.	31. Dez. (54 Tage)	⊙1 31 Tage ⊙4 38 Tage ⊙5 43 Tage ⊙ 49 Tage ⊙6 54 Tage	⊙1 54 Tage	⊙1 54 Tage

§ 4. Abbinden des wiederholt angemachten Zementes.

Candlot sagt in Ciments et chaux hydrauliques; Annex V.:

»La prise des mortiers regâchés est toujours beaucoup plus lente que celle des mortiers gâchés normalement. Il est à remarquer qu'elle se produit à peu près dans le même temps avec tous les ciments; ainsi, qu'un mortier ait fait prise en

10 minutes ou en 3 heures, le mortier regâché prendra dans les deux cas en 8 à 10 heures.»

D. h. »Das Abbinden der wiederholt angemachten Mörtel erfolgt immer viel langsamer als das der einmal angemachten Mörtel. Bemerkenswert ist, daß es bei allen Zementen ungefähr dieselbe Zeitdauer beansprucht. Ob ein Zement, einmal angemacht in 10 Minuten oder in 3 Stunden abband, wiederholt angemacht werden beide in 8 bis 10 Stunden abbinden.«

Damit aber steht der am Anfang dieses Abschnittes erwähnte Satz, daß »ein bereits abgebundener und wieder angemachter Zement nur äußerst langsam oder auch gar nicht abbinde«, im schroffsten Gegensatz. Die Ergebnisse unserer Versuche seien im folgenden mitgeteilt.

Versuchsreihe VII. Vom reinen Mörtel aus dem Zement D (vergleiche auch Versuchsreihe II und Zahlentafel 4) wurde ein Teil zur Bestimmung der Abbindezeit nach der Normenmethode benutzt. Es wurde dabei so verfahren, daß man alle 10 Minuten an drei Stellen des Zementbreis die Eindringung der Nadel bestimmte und das Diagramm vom Mittel von solchen Eindringungen konstruierte. Dasselbe wird durch die Linie a, in der angehängten Tafel 1 dargestellt, woraus der Beginn und das Ende des Abbindens mit größter Sicherheit zu entnehmen ist. Ein zweiter Teil des Mörtels wurde zur Zeit des Abbindebeginneres des ersten Teiles wieder angerührt; man verfuhr mit diesem Brei in genau gleicher Weise, wodurch das Abbindediagramm a₂ sich ergibt. Für den dritten, beim Abbindungsende wiederangerührten Teil des Mörtels gilt das Diagramm a₃. Wir fassen die Zahlenwerte zusammen und erhalten folgende Tafel 12.

Tafel 12.
Zement D.

Luftwärme 16,5°—23° C.
Mittlere Luftfeuchtigkeit 76 v. H.

Chemische Zusammensetzung

Si O ₂	24,96
Al ₂ O ₃	5,30
Fe ₂ O ₃	3,00
Ca O	60,84
SO ₃	0,92
Glühverlust	3,80
	<hr/> 98,82

	Wassermenge v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	27,5	3h 50'	7h 20'
Beim Abbindebeginn wiederangerührt	27,5 + 1,0	2h 50'	4h 50'
Beim Abbindungsende wiederangerührt	27,5 + 4,0	1h 20'	5h 20'

Die während des Abbindens eintretende Temperaturänderung des einmal sowie des wiederholt angerührten Mörtels wurde auch genauer Beobachtung unterzogen und ist als Diagramme b₁, b₂, b₃ in der angehängten Tafel 1 eingetragen, entsprechend den Abbindediagrammen a₁, a₂ und a₃.

Ferner sind in der angehängten Tafel 2 und in der angehängten Tafel 3 die an Zement C und E beobachteten Abbinde- und Temperatur-Erscheinungen vorgeführt. Die folgenden Zahlenwerte sind davon im Auszuge entnommen.

Tafel 13.
Zement C.

Lufttemperatur 17—18° C.
Mittlere Luftfeuchtigkeit 75 v. H.

Chemische Zusammensetzung

Si O ₂	21,24
Al ₂ O ₃	7,52
Fe ₂ O ₃	3,39
Ca O	62,42
SO ₃	0,97
Glühverlust	2,99
	<hr/> 98,53

	Wassermenge v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	26,0	5h 10'	6h 40'
Beim Abbindebeginn* wiederangerührt	26,0 + 8,5	4h 30'	8h 40'
Beim Abbindungsende* wiederangerührt	26,0 + 12,0	5h 40'	11h —

Tafel 14.
Zement E.

Lufttemperatur 17—18° C.
Mittlere Luftfeuchtigkeit 57 v. H.

Chemische Zusammensetzung

Si O ₂	19,13
Al ₂ O ₃	11,91
Fe ₂ O ₃	4,66
Ca O	60,18
SO ₃	0,96
Glühverlust	2,62
	<hr/> 98,46

	Wassermenge v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	28,5	30'	8h 30'
Beim Abbindebeginn wiederangerührt	28,5 + 2,0	3h 50'	9h 50'
Beim Abbindungsende wiederangerührt	28,5 + 6,5	6h 20'	13h 30'

§ 5. Abbinden

der wiederholt angemachten Zement-Quarzmehl-Mischung.

Versuchsreihe VIII. Der Versuchsreihe VII entsprechend wurden mit dem Zement D die Abbindeverhältnisse und Temperaturänderungen untersucht, jedoch nicht mit dem reinen Zement, sondern mit der 1 : 1-, 1 : 2-, 1 : 3-Mischung aus Zement und Quarzmehl von der Zement-Mehlfineinheit. In der angehängten Tafel 4 werden die Abbinde- und

Temperaturdiagramme für Zement D im Mischungsverhältnisse von 1 : 1 und in der angehängten Tafel 5 jene für Zement D im Mischungsverhältnis 1 : 3 wiedergegeben.

Genau gleiche Versuche wurden mit dem Zement C bzw. Zement E ausgeführt. Die Ergebnisse waren dieselben.

Die folgenden Tafeln 15 — 17 enthalten den kurz gefaßten Vergleich der Abbindezeiten.

Tafel 15.
1 Zement : 1 Quarzmehl.

	Zement D			Zement C			Zement E		
	Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende		Beginn	Ende		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	25,0	4h 50'	7h 50'	25,5	5h 50'	7h 20'	27,0	1h 20'	10h 30'
Beim Abbindebeginn wiederangemacht	25,0 + 1,0	3h 40'	8h 10'	25,5 + 2,5	1h —	7h 10'	27,0 + 2,0	8h 20'	14h 30'
Beim Abbindeende wiederangemacht	25,0 + 3,0	4h 30'	10h 10'	25,5 + 6,5	6h 40'	12h 30'	27,0 + ?	8h —	17h —

Tafel 16.
1 Zement : 2 Quarzmehl.

	Zement D			Zement C			Zement E		
	Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende		Beginn	Ende		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	25,5	5h —	10h 50'	24,5	6h 10'	8h 40'	24,0	2h 50'	10h 30'
Beim Abbindebeginn wiederangemacht	25,5 + 1,5	5h 40'	11h 40'	24,5 + 2,0	5h 10'	10h 40'	24,0 + 2,5	7h 30'	13h 30'
Beim Abbindeende wiederangemacht	25,5 + 4,0	6h 30'	12h 40'	24,5 + 4,5	6h 10'	13h 30'	24,0 + 6,0	8h 40'	14h —

Tafel 17.

1 Zement : 3 Quarzmehl.

	Zement D			Zement C			Zement E		
	Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden		Wasser v. H.	Abbinden	
		Beginn	Ende		Beginn	Ende		Beginn	Ende
Einmaliges Anmachen	25,0	4h —	12h 10'	23,5	4h 10'	11h 10'	23,5	1h 40'	10h —
Beim Abbindebeginn wiederangemacht	25,0 + 2,0	8h 50'	15h 20'	23,5 + 2,0	8h 50'	16h 30'	23,5 + 0,5	8h 10'	13h —
Beim Abbindeende wiederangemacht	25,0 + 4,0	8h 40'	15h 10'	23,5 + 4,0	8h 30'	16h 30'	23,5 + 6,0	7h —	13h 40'

Hieraus ergibt sich, daß der Satz, »der wiederangemachte Zement binde äußerst langsam oder gar nicht ab«, in dieser allgemein gehaltenen Form der Tatsache vollständig widerspricht.

Die Ergebnisse am reinen Zement sind sehr unregelmäßig; sie scheinen aber mit denjenigen an Quarzmehlmischungen auf Richtigkeit der Candlot'schen Behauptung hinzudeuten, sofern man die Wiederanmachung der Mörtel nach Verlauf einiger Zeit nach vollendetem Abbinden ausführen würde, was aber noch durch weitere Versuche geprüft werden muß.

II. Abschnitt. Abbindezeit und Temperatur.

Als im Jahre 1904 die Vorlage für »Normen zur Zementprüfung« vom Ministerium für Agrikultur und Handel in Japan zur Begutachtung den japanischen Zementfabriken zuzuging, wurde von den letzteren die Einschaltung folgender Bestimmung empfohlen:

»Die Bestimmung der Abbindezeit ist in der Regel bei 15°—18° C. auszuführen.«

Nach einiger Zeit erschienen die Normen als Ministerialerlaß Nr. 35 — 1905, worin jener Beschluß nicht berücksichtigt war.

Es ist wohl bekannt, daß bei höheren Temperaturen das Abbinden rascher erfolgt; in welchem Maße es aber beeinflußt wird, darüber besitzen wir nur vereinzelte Berichte.

Schiffner hatte bereits 1892 im Verein deutscher Portlandzementfabrikanten die nähere Untersuchung dieses Gegenstandes angeregt; es wurde ein Ausschuß zur Prüfung der Arbeitsbedingungen bei der Ermittlung der Bindezeit ins Leben gerufen, aus dessen Berichten im folgenden einige interessanten Zahlen herausgegriffen seien (Protokoll des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten 1894, Seite 140):

Tafel 18.

Ende des Abbindens.				
		Zement A	Zement A'	Zement B
Wasserszusatz v. H.		30	30	33
Temperatur von Zement, Luft und Wasser	0—1° C	6h 40'	?	20h —'
	7—8° C	0h 16'	10h —'	7h —'
	15—16° C	0h 3'	6h —'	—h 25'
	22—23° C		4h 50'	—h 0'

Nach zwei Jahren wurde dieser Ausschuß mit demjenigen zur Prüfung der Untersuchungsweisen auf Raumbeständigkeit verschmolzen. Dieser

neue Ausschuß hat sich jedoch hauptsächlich nur mit den Fragen der beschleunigten Raumbeständigkeitsproben beschäftigt und die Fragen der Abbindeverhältnisse vernachlässigt.

Gary hat die Bestimmung der Temperatur des abbindenden Zementes, über welche Arbeitsweise im älteren Schrifttum nur vereinzelte Berichte zu finden sind, seit 1903 wieder aufgenommen und berichtete darüber in den Versammlungen des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten im Jahre 1904 und 1905 (Protokoll 1904 Seite 86, 1905 Seite 155). Zu einer bestimmten Schlußfolgerung ist er nicht gelangt.

Candlot (Ciment et Chaux hydraulique; Seite 113, Anhangstafel Nr. 6) sagt: »Ein und derselbe Zement kann in 4—5 Stunden oder auch in 10—15 Minuten abbinden, je nachdem man ihn mit kaltem oder warmem Wasser anrührt«; einen diese Behauptung in jeder Hinsicht voll begründenden Beweis führt er nicht an, obwohl seine Zahlentafel recht interessant ist.

Wir haben uns deshalb mit eingehenden Arbeiten über die Beziehungen zwischen Temperatur und Feuchtigkeit einerseits und der Abbindezeit des Zements andererseits beschäftigt, worüber in den folgenden Unterabschnitten berichtet werden soll.

§ 1. Einfluss der Jahreszeiten auf die Abbindezeit.

Versuchsreihe IX. Eine Probe des Zements Marke A wurde nach der sorgfältigsten Durchmischung in 20 Zinkbüchsen verteilt und diese luftdicht verlötet. Jede Büchse war etwa $130 \times 130 \times 130$ mm groß und nahm nach Einrüttelung und Einpressung 4000 gr Zement auf; es konnten also bei einem Litergewicht des eingerüttelten Zementes von 1800 gr nur ganz geringe Mengen Luft darin verbleiben und dementsprechend nur eine noch bedeutend kleinere Menge von CO_2 oder H_2O , so daß die durch Wasser und Kohlensäure zu verursachende Veränderung des Zementes so gut wie ausgeschlossen war.

Seitdem wurde monatlich je eine Büchse geöffnet und die Abbindezeit des Inhaltes bestimmt. Die Abbindeversuche wurden möglichst unter solchen Verhältnissen ausgeführt, wie sie an unvollkommen eingerichteten Versuchsstellen vorkommen können; das Zimmer wurde auch im Winter nicht geheizt, wie es unter unseren klimatischen Verhältnissen häufig vorkommen kann. Zement und Wasser wurden auch nicht auf eine bestimmte gleiche Temperatur gebracht, sondern so verbraucht wie sie im Zimmer vorgefunden wurden.

Nach je 10 Minuten von der Wasserzugabe an gerechnet ließ man die Vicat'sche Nadel an drei Stellen in die Dose einsinken. Die durchschnittliche Entfernung der Nadelspitze vom Boden der Dose wurde festgestellt und zeichnerisch in einer Tafel eingetragen; auf diese Weise

konnte man den Verlauf des Abbindens recht genau verfolgen, sofern man überhaupt mit dem Nadelapparat genau arbeiten kann. Gleichzeitig wurde auch die Temperatur des abbindenden Zementes sowie die Lufttemperatur und Feuchtigkeit, letztere an einem Haarhygrometer und an einem nassen Thermometer, bestimmt. Tafel 20 und 21 auf Seite 26 und 27 zeigen als Beispiele die am 4. September und 16. Oktober 1905 erhaltenen Versuchswerte. Die in folgenden Zeiten monatlich einmal ausgeführten Versuche haben bis heute die in der angehängten Tafel 6 vorgeführten Ergebnisse geliefert. Die wichtigeren Zahlenwerte seien im Auszug in folgender Zusammenstellung 19 mitgeteilt.

Tafel 19.
Zement A
(luftdicht aufbewahrt).

Datum	Luftwärme ° C.		Feuchtigkeit der Luft in v. H.	Abbindezeit nach Vicat	
	Grenzen	Mittel		Beginn	Ende
4. Sept. 1905	25,9—26,9	26,4	82,7	2h 30'	3h 40'
16. Sept. 1905	27,8—29,0	28,4	81,2	1h 50'	3h 20'
16. Okt. 1905	20,4—23,1	21,9	82,6	3h 20'	5h 10'
16. Nov. 1905	14,4—16,8	15,9	77,9	5h 50'	9h 40'
16. Dez. 1905	6,8—12,8	10,6	67,2	8h 40'	14h —'
16. Jan. 1906	8,0—13,4	11,7	79,4	8h —'	13h 30'
16. Febr. 1906	7,2—11,1	9,8	68,5	9h 10'	15h 50'
16. März 1906	8,2—13,2	11,4	68,3	8h 10'	14h 50'
20. April 1906	14,0—17,8	15,9	68,6	5h 40'	9h 20'
16. Mai 1906	19,4—20,8	20,2	91,6	3h 30'	5h —'
16. Juni 1906	21,5—23,4	22,3	82,5	3h —'	4h 10'
16. Juli 1906	24,8—25,8	25,3	89,7	1h 50'	2h 30'
16. Aug. 1906	30,0—30,4	30,2	78,4	1h 10'	1h 30'
18. Sept. 1906	21,2—23,4	22,4	83,0	3h 10'	4h 20'
16. Okt. 1906	21,8—23,8	22,9	75,3	3h —'	4h 10'
16. Nov. 1906	18,4—20,9	20,0	87,2	4h 30'	6h —'
17. Dez. 1906	13,0—14,1	13,7	89,2	6h 50'	11h 30'

Tafel 20.
Zement A. 4. September 1905.

Zeit in Std.u.Min.	Luft- Temperatur in ° C	Feucht. Thermo- meter ° C	Relative Feuchtigkeit		Vicat'sche Nadel				Temperatur des abbildenden Zementes Ablesungen ° C
			Koppe- sche Tafel v. H.	Haar- Hygro- meter v. H.	Ablesungen an 3 Stellen			Mittel	
					mm	mm	mm	mm	
00	25.9	23.2	79	85	0	0	0	0	27.20
10	25.9	23.2	79	85	0	0	0	0	27.35
20	25.9	23.4	80	85	0	0	0	0	27.30
30	26.0	23.5	80	85	0	0	0	0	27.30
40	26.1	23.4	79	85	0	0	0	0	27.25
50	26.2	23.4	78	85	0	0	0	0	27.20
1.00	26.2	23.6	79	84	0	0	0	0	27.20
10	26.2	23.9	82	84	0	0	0	0	27.15
20	26.2	23.8	81	84	0	0	0	0	27.10
30	26.3	23.9	81	84	0	0	0	0	27.10
40	26.2	24.0	82	84	03	0	0	01	27.15
50	26.2	24.0	82	84	03	0	0	01	27.20
2.00	26.4	24.2	82	84	08	03	0	02	27.25
10	26.4	24.4	84	84	05	05	10	07	27.35
20	26.6	24.4	82	84	20	20	15	18	27.50
30	26.7	24.4	82	84	25	20	20	22	27.80
40	26.7	24.4	82	85	65	35	90	63	29.80
50	26.7	24.4	82	85	330	305	335	333	32.80
3.00	26.6	24.3	82	85	390	395	390	391	34.05
10	26.8	24.3	80	85	390	395	395	393	34.20
20	26.9	24.4	80	85	395	395	395	395	33.90
30	26.9	Mittel 26.4° C	24.4	80	85	Mittel			33.65
40	26.8	24.3	80	84	82.7	400	400	400	32.85
50	26.8	24.2	79	84	v. H.				32.20
4.00	26.8	24.4	81	83					32.00
10	26.8	24.4	81	83					31.50
20	26.9	24.4	80	83					31.20
30	26.8	24.2	79	83					30.90
40	26.8	24.4	79	83					30.65
50	26.9	24.4	80	83					30.40
5.00	26.8	24.4	81	83					30.20
10	27.0	24.6	81	83					30.00
20	26.9	24.5	81	83					29.75
30	27.0	24.4	79	83					29.70
40	26.8	24.5	80	83					29.50
50	26.8	24.5	82	83					29.40
6.00	26.9	24.5	81	83					29.35
10	26.8	24.5	82	83					29.25
20	26.7	24.5	83	83					29.05
30	26.7	24.5	83	83					29.00
40	26.6	24.4	82	83					28.95
50	26.6	24.4	82	83					28.85
7.00	26.6	24.4	82	83					28.85
10	26.7	24.4	82	83					28.80
20	26.6	24.6	84	83					28.80
30	26.8	24.7	83	83					28.80
40	27.0	24.7	82	83					28.80
50	26.8	Mittel 26.6° C	24.6	83	83	Mittel			28.80
8.00	26.8	26.6° C	24.6	83	83	82.6			
						v. H.			

Es sei bemerkt, daß die Versuchsreihe I über die Festigkeit der wiederholt angemachten Mörtel mit den hier erwähnten Abbindeversuchen gleichzeitig ausgeführt sind.

Die chemische Analyse des Zementes A bestätigt, daß der Verschuß in den Zinkkistchen den Einfluß der Kohlensäure und Luftfeuchtigkeit gut abgehalten hat, was eigentlich selbstverständlich ist. Die folgende Tafel 22 sei nur der Vollständigkeit halber hier vorgeführt:

Tafel 22.
Analysen des in Blechdosen luftdicht aufbewahrten Zementes A.

	Si O ₂ v. H.	Al ₂ O ₃ v. H.	Fe ₂ O ₃ v. H.	Ca O v. H.	SO ₃ v. H.	Glühver- lust v. H.	Summe
Sept. 1905	22.77	7.66	2.20	62.79	1.01	2.40	98.77
Nov. 1905	23.27	6.89	2.53	62.71	1.02	2.16	98.58
Jan. 1906	23.20	7.02	2.44	62.53	1.00	2.02	98.21
Febr. 1906	22.15	7.76	2.46	62.49	1.03	2.28	98.17
März 1906	23.22	7.15	2.39	62.91	1.02	2.22	98.91
April 1906	23.11	6.62	2.26	62.49	1.03	2.80	98.31
Mai 1906	23.21	6.99	2.57	62.51	1.01	2.43	98.72
Juli 1906	23.30	5.79	2.41	62.63	1.03	3.10	98.26
Sept. 1906	23.31	6.75	2.58	63.28	1.04	2.87	99.83
Nov. 1906	23.47	6.56	2.65	62.84	1.05	2.34	98.91
Durchschnitt	23.10	6.91	2.45	62.72	1.02	2.46	98.66

Versuchsreihe X. In einem Parallelversuch wurde derselbe Zement in mehreren Holzkistchen unter dem lose aufgelegten Deckel aufbewahrt, was der Lagerung in Fässern ziemlich entsprechen dürfte. Monatlich einmal wurde der Inhalt je eines Kistchens untersucht; die erhaltenen Ergebnisse sind in Auszug in Tafel 23 auf Seite 29 zusammengestellt.

In welchem Maße der Zement mit der Zeit an Glühverlust zugenommen hat, also Feuchtigkeit und Kohlensäure an der Luft angezogen hat, ist aus Tafel 24 auf Seite 29 zu ersehen.

Diese beiden Versuchsreihen eines durchaus guten Zementes — die Festigkeitswerte sind bereits im Abschnitt I wiederholt angegeben — geben bereits einen ungefähren Begriff vom Einfluß der Temperatur und somit der Jahreszeiten auf die Abbindezeit.

Versuchsreihe XI. Um jedoch die Beobachtungen noch breiter auszudehnen, haben wir einen Handelszement von gutem Ruf angekauft — Zement Marke B — und die Untersuchungen ähnlich der Versuchsreihe IX (dichter Verschuß) ausgeführt. Tafel 25 auf Seite 30 gibt als Beispiel die am 22. September 1905 gemachten Beobachtungen an; die

Tafel 23.
Zement A
(in Holzkisten aufbewahrt).

Datum	Luftwärme ° C.		Feuchtigkeit der Luft in v. H.	Abbindezeit nach Vicat	
	Grenzen	Mittel		Beginn	Ende
4. Sept. 1905	25,9—26,9	26,4	82,7	2h 30'	3h 40'
13. Sept. 1905	26,3—29,4	27,7	84,8	2h 50'	4h 50'
13. Okt. 1905	19,4—22,2	21,0	70,9	5h 20'	7h 30'
13. Nov. 1905	16,6—20,4	19,1	73,2	5h 30'	8h 20'
13. Dez. 1905	7,6—11,3	9,4	66,8	9h 40'	17h —
13. Jan. 1906	6,6— 9,8	8,3	70,7	13h 20'	22h 40'
13. Febr. 1906	5,5— 8,5	7,3	67,2	13h 40'	22h —
13. März 1906	8,6—15,4	12,9	78,4	10h 10'	14h 10'
18. April 1906	11,6—16,9	14,6	77,5	8h 50'	12h —
14. Mai 1906	20,4—21,4	20,9	82,9	5h 20'	6h 20'
13. Juni 1906	23,2—25,0	24,2	82,9	3h 30'	5h —
13. Juli 1906	22,3—22,7	22,6	90,7	3h 50'	6h 50'
15. Aug. 1906	28,2—29,2	28,7	76,4	2h —	5h 40'
13. Sept. 1906	26,0—27,4	26,9	87,1	2h 20'	6h 30'
13. Okt. 1906	18,2—21,6	20,3	76,5	5h —	11h 10'
13. Nov. 1906	14,6—16,0	15,2	82,1	8h —	13h 40'
13. Dez. 1906	8,6—12,2	11,0	89,4	11h 20'	16h 40'

Tafel 24.
Analysen des in lose bedeckten Holzkistchen aufbewahrten Zementes A.

	Si O ₂ v. H.	Al ₂ O ₃ v. H.	Fe ₂ O ₃ v. H.	Ca O v. H.	SO ₃ v. H.	Glühver- lust v. H.	Summe
Sept. 1905	22,77	7,60	2,20	62,79	1,01	2,40	98,76
Nov. 1905	23,24	6,64	2,53	61,82	1,01	3,66	98,90
Jan. 1906	22,99	7,14	2,34	62,78	1,03	3,39	99,67
Febr. 1906	23,12	6,87	2,41	62,06	1,02	3,26	98,74
März 1906	23,12	7,08	2,35	62,14	1,02	3,05	98,76
April 1906	23,34	6,65	2,37	61,53	1,06	3,85	98,80
Mai 1906	23,09	6,57	2,49	61,20	98	4,02	98,35
Juli 1906	22,85	6,37	2,40	61,20	99	4,94	98,75
Sept. 1906	22,90	6,63	2,65	61,63	1,02	4,08	98,58
Nov. 1906	22,96	5,98	2,42	61,56	99	4,72	98,53

Tafel 25.
Zement B. 22. September 1905.

Zeit in Stunden u. Minuten	Luft-Temperatur in ° C.				Feuchtes Thermometer ° C.				Relative Feuchtigkeit v. H.		Vicat'sche Nadel				Temperatur des abbindenden Zementes ° C	Luft-Temperatur in ° C.				Feuchtes Thermometer ° C.				Relative Feuchtigkeit v. H.		Vicat'sche Nadel				Temperatur des abbindenden Zementes ° C.									
	nach Koppe				Haarhygrometer						Ableseungen an 3 Stellen					Mittel		nach Koppe				Haarhygrometer						Ableseungen an 3 Stellen				Mittel							
	mm				mm						mm					mm		mm				mm						mm				mm							
	mm				mm						mm					mm		mm				mm						mm				mm							
00	19.6	17.2	77	80	0	0	0	0	19.30	40	23.0	19.0	66	67	375	373	375	374	23.15	8.00	23.4	18.7	62	66	380	375	380	378	23.30										
10	19.7	17.2	77	80	0	0	0	0	19.45	50	23.4	18.7	62	66	390	380	385	385	23.45	10	23.4	18.8	62	65	390	390	380	389	23.65										
20	19.8	17.1	75	80	0	0	0	0	19.50	10	23.4	18.8	62	65	390	390	390	390	23.75	20	23.0	18.7	65	65	390	390	390	390	24.00										
30	20.1	17.4	75	80	0	0	0	0	19.55	30	22.8	18.4	64	65	390	390	390	390	24.40	40	22.9	18.7	65	65	390	390	390	390	24.40										
40	20.0	17.4	76	80	0	0	0	0	19.60	40	22.9	18.7	65	65	395	393	393	394	25.00	1.00	20.4	17.5	74	80	0	0	0	0	19.60	50	22.9	18.9	66	65	398	395	395	396	25.50
50	20.4	17.4	72	80	0	0	0	0	19.65	10	20.7	17.5	71	79	0	0	0	0	25.85	20	20.7	17.5	71	79	0	0	0	0	19.70	30	22.9	19.2	69	65	400	395	395	397	25.90
1.00	20.4	17.5	74	80	0	0	0	0	19.70	20	20.7	17.5	71	79	0	0	0	0	25.95	40	21.0	17.4	69	79	0	0	0	0	19.75	30	23.0	19.4	69	65	400	400	400	400	25.95
10	20.4	17.4	72	80	0	0	0	0	19.85	50	21.1	19.7	71	65	0	0	0	0	26.00	20	21.0	17.5	67	77	0	0	0	0	19.85	40	23.0	19.6	71	65					26.00
20	20.7	17.5	71	79	0	0	0	0	19.90	10	21.2	19.8	72	65	0	0	0	0	26.00	20	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	19.95	50	23.1	19.7	71	65					26.00
30	20.8	17.4	69	79	0	0	0	0	20.00	20	21.2	19.8	72	65	0	0	0	0	26.05	40	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.00	10.00	23.1	19.8	72	65					26.00
40	21.0	17.5	69	79	0	0	0	0	20.05	30	21.2	19.8	72	65	0	0	0	0	26.05	30	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.05	10	22.5	19.4	73	65					26.00
50	21.1	17.4	68	78	0	0	0	0	20.20	40	21.4	19.7	71	66	0	0	0	0	26.05	40	21.4	17.7	68	75	0	0	0	0	20.20	20	21.7	19.1	77	66					26.00
2.00	21.2	17.4	67	78	0	0	0	0	20.30	50	21.4	19.7	71	66	0	0	0	0	26.10	50	21.4	17.8	69	75	0	0	0	0	20.30	30	21.8	19.0	75	67					26.00
10	21.3	17.5	67	77	0	0	0	0	20.35	10	21.5	19.9	76	68	0	0	0	0	26.15	30	21.4	17.7	68	75	0	0	0	0	20.40	20	21.7	19.1	77	66					26.00
20	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.45	40	21.5	19.9	76	68	0	0	0	0	26.20	40	21.4	17.7	68	75	0	0	0	0	20.45	30	21.8	19.0	75	67					26.00
30	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.55	50	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.25	50	21.4	17.8	69	75	0	0	0	0	20.50	40	21.8	19.0	75	68					26.00
40	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.60	10	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.30	10	21.5	17.9	69	75	0	0	0	0	20.55	50	21.6	18.9	76	68					26.00
50	21.1	17.4	68	78	0	0	0	0	20.70	20	21.6	18.8	75	68	0	0	0	0	26.35	20	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	20.60	30	21.8	19.2	76	68					26.00
3.00	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	20.80	30	21.6	18.8	75	68	0	0	0	0	26.40	40	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	20.70	20	22.0	18.4	69	68					26.00
10	21.3	17.5	67	77	0	0	0	0	20.90	50	21.9	19.2	76	68	0	0	0	0	26.45	50	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	20.80	30	21.9	19.2	76	68					26.00
20	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	21.05	10	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.50	10	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	20.90	40	21.8	19.0	75	69					26.00
30	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	21.10	20	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.55	20	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	21.05	50	21.8	18.9	75	69					26.00
40	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	21.20	30	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.60	30	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	21.10	50	21.8	18.9	75	69					26.00
50	21.1	17.4	68	78	0	0	0	0	21.30	40	21.6	18.9	76	68	0	0	0	0	26.65	40	21.6	18.0	69	74	0	0	0	0	21.20	10	21.8	19.2	77	69					26.00
4.00	21.2	17.4	67	75	0	0	0	0	21.40	10	21.8	19.2	77	69	0	0	0	0	26.70	10	21.8	17.9	69	75	0	0	0	0	21.20	20	21.8	19.2	77	69					26.00
10	22.1	18.0	65	73	0	0	0	0	21.50	20	21.8	19.2	77	69	0	0	0	0	26.75	20	21.8	18.3	67	72	0	0	0	0	21.30	30	21.8	19.2	76	69					26.00
20	22.1	18.0	65	72	0	0	0	0	21.60	30	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	26.80	30	21.8	18.3	67	72	0	0	0	0	21.40	40	21.8	19.2	76	69					26.00
30	22.2	18.4	67	72	0	0	0	0	21.70	40	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	26.85	40	21.8	18.4	67	72	0	0	0	0	21.50	50	21.8	19.2	76	69					26.00
40	22.2	18.3	67	72	0	0	0	0	21.80	50	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	26.90	50	21.8	18.4	67	72	0	0	0	0	21.60	10	21.8	19.2	77	69					26.00
50	22.2	18.4	67	72	0	0	0	0	21.90	10	21.8	19.2	77	69	0	0	0	0	26.95	10	21.8	18.4	67	72	0	0	0	0	21.70	20	21.8	19.2	76	69					26.00
5.00	22.4	18.5	67	72	0	0	0	0	22.00	20	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.00	20	21.8	18.5	67	72	0	0	0	0	21.80	30	21.8	19.2	76	69					26.00
10	22.5	18.6	67	71	0	0	0	0	22.10	30	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.05	30	21.8	18.5	67	72	0	0	0	0	21.90	40	21.8	19.2	76	69					26.00
20	22.6	18.5	66	70	0	0	0	0	22.20	40	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.10	40	21.8	18.5	67	72	0	0	0	0	22.00	50	21.8	19.2	76	69					26.00
30	22.6	18.4	64	70	0	0	0	0	22.30	50	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.15	50	21.8	18.5	67	72	0	0	0	0	22.10	10	21.8	19.2	76	69					26.00
40	22.6	18.6	66	70	0	0	0	0	22.40	10	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.20	10	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.20	20	21.8	19.2	76	69					26.00
50	22.7	18.6	66	69	0	0	0	0	22.50	20	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.25	20	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.30	30	21.8	19.2	76	69					26.00
6.00	22.8	18.9	67	68	0	0	0	0	22.60	30	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.30	30	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.40	40	21.8	19.2	76	69					26.00
10	22.8	18.4	63	68	0	0	0	0	22.70	40	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.35	40	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.50	50	21.8	19.2	76	69					26.00
20	22.9	18.6	65	68	0	0	0	0	22.80	50	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.40	50	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.60	10	21.8	19.2	76	69					26.00
30	22.9	18.6	65	68	0	0	0	0	22.90	10	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.45	10	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.70	20	21.8	19.2	76	69					26.00
40	23.1	18.6	64	67	0	0	0	0	23.00	20	21.8	19.2	76	69	0	0	0	0	27.50	20	21.8	18.6	67	71	0	0	0	0	22.80	30	21.8	19.2	76	69					

vergleichenden Ergebnisse der monatlichen Versuche sind kurz zusammengefaßt in folgender Tafel 26 eingetragen.

Tafel 26.
Zement B
(luftdicht aufbewahrt).

Datum	Luftwärme ° C.		Feuchtigkeit der Luft in v. H.	Abbindezeit nach Vicat	
	Grenzen	Mittel		Beginn	Ende
22. Sept. 1905	19,6—23,4	22,0	69,7	5h 40'	9h 50'
23. Okt 1905	17,4—22,2	19,6	72,4	6h 20'	10h —'
22. Nov. 1905	11,4—15,8	14,8	71,5	9h 20'	14h 50'
22. Dez. 1905	8,1—10,7	9,8	65,4	11h 50'	18h 10'
22. Jan. 1906	4,2—7,6	6,9	72,2	15h 40'	22h 10'
22. Febr. 1906	10,4—13,4	12,6	80,2	9h 40'	14h 20'
22. März 1906	10,0—14,6	13,1	80,8	9h 20'	13h 50'
23. April 1906	16,4—19,3	17,8	88,1	7h 20'	10h 10'
22. Mai 1906	18,1—22,0	20,8	82,7	5h 20'	8h —'
22. Juni 1906	21,8—23,0	22,2	88,8	4h 10'	6h 30'
23. Juli 1906	28,0—30,0	29,0	77,3	3h 20'	5h 10'
17. Aug 1906	29,4—31,2	30,3	79,0	3h —'	4h 40'
23. Sept. 1906	25,4—27,8	26,7	79,6	4h 10'	6h 10'
22. Okt. 1906	19,0—20,3	19,8	90,7	5h 40'	8h —'
22. Nov. 1906	12,8—13,8	13,3	81,5	10h 10'	13h 20'
22. Dez. 1906	6,2—7,8	7,0	77,2	13h 40'	17h 50'

Auch von diesem Zement sind die Festigkeitswerte bereits wiederholt angegeben; für die chemische Analyse vergleiche man die Tafel 27 auf Seite 32.

Versuchsreihe XII bezieht sich auf Zement C in Zinkverschluß. Sie beginnt im Dezember 1905, zu welcher Zeit dieser Zement bereits 12 Monate lang im Magazin gelagert hatte. Für die näheren Angaben der Versuchsergebnisse vergl. Tafel 28 auf Seite 32.

Die analytischen Zahlenwerte sind in Tafel 29 auf Seite 33 wiedergegeben.

Versuchsreihe XIII ist mit demselben, jedoch seit Dezember 1905 in Holzkistchen also nur unvollkommen luftdicht aufbewahrten Zement C ausgeführt.

Für die Abbindezeiten vergleiche man die Tafel 30 auf Seite 33, für die analytischen Werte die Tafel 31 auf Seite 34, woraus die allmähliche Zunahme an Glühverlust zu ersehen ist.

Tafel 27.

Analysen des in Blechbüchsen luftdicht aufbewahrten Zementes B.

	Si O ₂ v. H.	Al ₂ O ₃ v. H.	Fe ₂ O ₃ v. H.	Ca O v. H.	S O ₃ v. H.	Glühver- lust v. H.	Summe
Sept. 1905	21,64	7,94	3,33	61,58	0,97	2,62	98,08
Jan. 1906	21,74	7,81	3,43	61,18	0,90	2,53	97,59
Febr. 1906	21,51	8,23	3,26	61,39	0,88	2,44	97,71
März 1906	22,01	7,93	3,11	61,22	0,91	2,93	98,11
April 1906	21,43	7,99	3,19	60,92	0,89	2,72	97,14
Mai 1906	21,84	7,97	3,47	61,42	0,94	2,60	98,24
Juni 1906	21,88	7,50	3,52	61,82	0,89	2,66	98,27
August 1906	21,83	7,59	3,50	61,66	0,93	2,73	98,24
Okt. 1906	22,00	7,30	3,42	61,55	0,95	2,87	98,09
Durchschnitt	21,76	7,81	3,36	61,42	0,92	2,68	97,95

Tafel 28.

Zement C

(nach 12 Monate langer Magazinlagerung in Blechbüchsen luftdicht aufbewahrt).

Datum	Luftwärme° C.		Feuchtigkeit der Luft in v. H.	Abbindezeit nach Vicat	
	Grenzen	Mittel		Beginn	Ende
9. Dez. 1905	13,4—17,2	15,5	70,1	5h 50'	8h 10'
10. Jan. 1906	12,8—15,5	14,4	81,1	6h 40'	8h 40'
10. Febr. 1906	5,0— 6,9	6,4	68,8	11h 50'	17h 50'
10. März 1906	9,8—12,8	11,7	79,6	8h 10'	11h —'
10. April 1906	13,6—17,4	15,1	77,0	6h 40'	7h 50'
10. Mai 1906	17,6—19,2	19,0	86,2	4h —'	4h 40'
9. Juni 1906	20,7—21,4	21,1	92,2	2h 50'	3h 30'
10. Juli 1906	25,0—25,4	25,3	85,1	1h 50'	2h 30'
13. Aug. 1906	29,4—29,8	29,7	79,8	1h 10'	1h 50'
10. Sept. 1906	21,5—22,8	22,2	92,9	2h 30'	3h —'
10. Okt. 1906	19,6—20,2	20,0	77,7	3h 20'	4h 20'
10. Nov. 1906	11,9—15,0	14,0	73,5	7h 40'	9h 40'
10. Dez. 1906	7,4— 9,6	8,6	83,7	10h 50'	15h 10'

Tafel 29.

Analysen des in luftdicht verschlossenen Blechbüchsen aufbewahrten Zementes C.

	Si O ₂ v. H.	Al ₂ O ₃ v. H.	Fe ₂ O ₃ v. H.	Ca O v. H.	S O ₃ v. H.	Glühver- lust v. H.	Summe
Dez. 1905	21,32	7,16	3,43	62,44	0,98	2,77	98,10
Febr. 1906	21,18	7,60	3,40	62,34	0,96	2,79	98,24
März 1906	21,02	7,74	3,40	62,51	0,95	2,93	98,55
April 1906	21,39	7,65	3,47	62,05	0,96	3,05	98,57
Mai 1906	21,18	7,78	3,32	62,51	0,93	3,08	98,80
Juni 1906	21,15	7,43	3,39	62,98	0,95	3,16	99,12
August 1906	21,01	7,54	3,39	62,44	0,98	2,87	98,25
Oktober 1906	21,21	7,38	3,33	62,21	1,00	3,11	98,27
Dez. 1906	21,66	7,31	3,33	62,30	0,98	3,10	98,68
Durchschnitt	21,24	7,52	3,39	62,42	0,97	2,99	98,53

Tafel 30.

Zement C

(in Holzkistchen aufbewahrt).

Datum	Luftwärme ° C		Feuchtigkeit der Luft in v. H.	Abbindezeit nach Vicat	
	Grenzen	Mittel		Beginn	Ende
7. Dez. 1905	17,4—18,7	18,1	83,0	4h 40'	5h 50'
8. Jan. 1906	7,3—13,6	11,5	78,3	9h 30'	13h 20'
8. Febr. 1906	7,0—11,5	10,0	72,4	10h —	15h —'
7. März 1906	5,2— 8,8	7,6	71,9	13h 40'	19h —'
7. April 1906	11,4—18,4	15,0	78,8	8h 30'	9h 50'
7. Mai 1906	17,5—17,9	17,7	84,4	5h 30'	6h 30'
7. Juni 1906	19,4—20,8	20,3	92,0	4h 30'	5h 30'
7. Juli 1906	24,0—27,8	26,1	82,9	3h —	6h —'
7. August 1906	28,3—29,0	28,6	87,6	1h 40'	4h 50'
20. Sept. 1906	23,0—25,4	24,6	79,8	3h —	7h 30'
6. Okt. 1906	16,8—19,1	17,8	73,4	5h 50'	12h 40'
7. Nov. 1906	14,0—16,7	15,4	80,1	6h 40'	12h —'
7. Dez. 1906	8,9—12,7	11,1	8,10	9h 20'	14h —'

Tafel 31.

Analysen des in lose bedeckten Holzkistchen aufbewahrten Zementes C.

	Si O ₃ v. H.	Al ₂ O ₃ v. H.	Fe ₂ O ₃ v. H.	Ca O v. H.	S O ₃ v. H.	Glühverlust v. H.	Summe
Dez. 1905	21,32	7,16	3,43	62,44	0,98	2,77	98,10
Febr. 1906	21,00	7,60	3,33	62,19	0,95	3,38	98,45
März 1906	21,01	7,47	3,33	62,07	0,96	3,53	98,37
April 1906	20,73	7,68	3,45	62,05	0,95	3,39	98,25
Mai 1906	21,04	7,71	3,40	62,21	0,97	3,40	98,73
Juni 1906	21,04	7,46	3,34	62,37	0,98	4,00	99,19
Aug. 1906	20,90	6,73	3,30	61,35	0,98	4,95	98,24
Okt. 1906	20,63	7,38	3,33	62,02	1,00	4,08	98,49
Dez. 1906	20,73	7,07	3,36	61,32	1,00	4,66	98,14

§ 2. Beziehung zwischen Temperatur und Abbindezeit.

Die Versuchsreihen IX—XIII beweisen, daß die Temperatur einen sehr bedeutenden Einfluß auf die Abbindeverhältnisse ausübt, die

Feuchtigkeit dagegen eine nur untergeordnete Rolle spielt. Wir wollen daher die Feuchtigkeit zunächst bei Seite lassen und die Beziehungen zwischen t = Temperatur in °C, z_a = Abbindebeginn und z_e = Abbindeende in Stunden und deren Dezimalen betrachten; sie sind in zeichnerischer Darstellung in Bild 1–3 veranschaulicht. Dabei ist zu bemerken, daß t die mittlere Lufttemperatur während des betreffenden Versuchs angiebt. Die Anfangstemperatur der einzelnen Bestandteile (des Zementes und des zugesetzten Wassers) weicht mehr und weniger davon ab. Da indessen der Unterschied verhältnismäßig unbedeutend ist, nehmen wir die mittlere

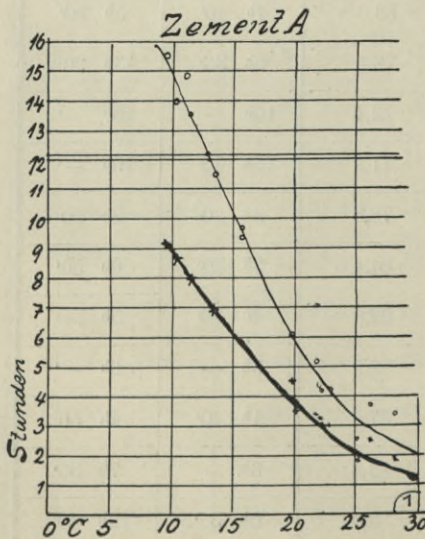


Bild 1.

Lufttemperatur t °C als mittlere Versuchstemperatur an. Es fragt sich

nun, wie sich die in den Abbildungen dargelegten Beziehungen zwischen t , z_a und z_e durch eine Gleichung darstellen lassen.

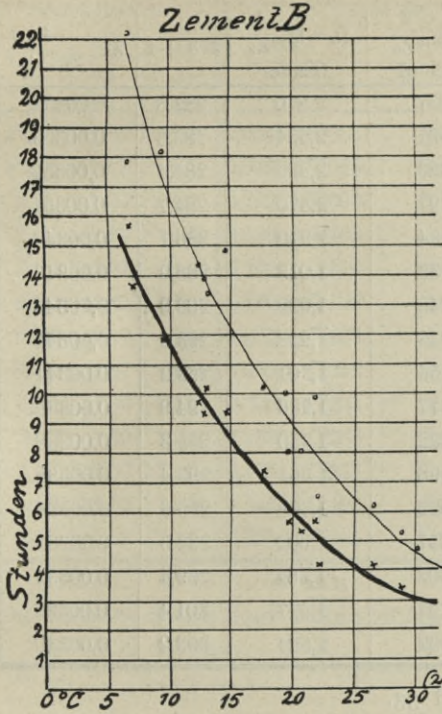


Bild 2.

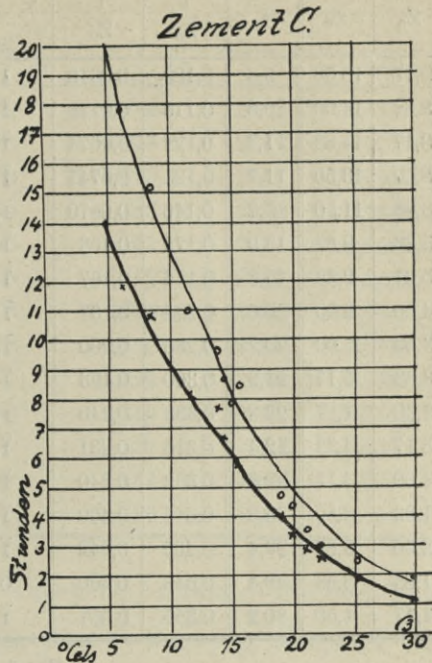


Bild 3.

Bekanntlich werden die Geschwindigkeiten der chemischen Vorgänge durch eine Gleichung folgender Form ausgedrückt:

$$\lg \frac{1}{z} = - \frac{\alpha}{273 + t} + \beta \quad (1)$$

worin α und β gewisse unveränderliche Werte sind.

Wir wollen jetzt die in den Versuchsreihen IX, XI und XII beobachteten Zahlen untersuchen und prüfen, ob etwa auch hier eine solche Beziehung besteht, wozu wir vorläufig zunächst aus den Werten jener Versuche die in den folgenden Tafeln 32, 33 und 34 auf Seite 36 und 37 zusammengesetzten Zahlenwerte ermittelt haben.

Der Uebersichtlichkeit halber tragen wir die Werte von $J_a = \lg_{10} \frac{1}{z_a}$, $J_e = \lg_{10} \frac{1}{z_e}$ und $X = \frac{1}{273 + t}$ zeichnerisch auf und erhalten die Abbildungen 4—6 auf Seite 37 und 38. Es zeigen sich hier in der Tat Beziehungen zwischen jenen Veränderlichen, die wir annähernd als lineare bezeichnen dürfen.

Tafel 32.
Zement A

Versuchswerte			Aus den Versuchswerten berechnete Werte					
Z _a	Z _e	t	$\frac{1}{Z_a}$	$\frac{1}{Z_e}$	$J_a = \lg_{10} \frac{1}{Z_a}$ (Beginn)	$J_b = \lg_{10} \frac{1}{Z_e}$ (Ende)	273 + t	$\chi = \frac{1}{273 + t}$
9,17	15,50	9,8	0,109	0,0645	1,037	2,810	282,8	0,00354
8,67	14,00	10,6	0,115	0,0714	1,061	2,854	283,6	0,00353
8,17	14,83	11,4	0,122	0,0674	1,086	2,829	284,4	0,00352
8,00	13,50	11,7	0,125	0,0741	1,097	2,870	284,7	0,00351
6,83	11,50	13,7	0,146	0,0870	1,164	2,940	286,7	0,00349
5,83	9,67	15,9	0,172	0,103	1,236	1,013	288,9	0,00346
5,67	9,33	15,9	0,176	0,107	1,246	1,029	288,9	0,00346
4,50	6,00	20,0	0,222	0,167	1,346	1,223	293,0	0,00341
3,50	5,00	20,2	0,286	0,200	1,456	1,301	293,2	0,00341
3,33	5,17	21,9	0,300	0,193	1,477	1,286	294,9	0,00339
3,00	4,17	22,3	0,333	0,240	1,522	1,380	295,3	0,00338
3,17	4,33	22,4	0,315	0,231	1,498	1,364	295,4	0,00338
3,00	4,17	22,9	0,333	0,240	1,522	1,380	295,9	0,00338
1,83	2,50	25,3	0,546	0,400	1,737	1,602	298,3	0,00335
2,50	3,67	26,4	0,400	0,242	1,602	1,384	299,4	0,00334
1,83	3,33	28,4	0,546	0,300	0,737	1,477	301,4	0,00332
1,17	1,50	30,2	0,855	0,667	1,932	1,824	303,2	0,00330

Tafel 33.
Zement B.

Versuchswerte			Aus den Versuchswerten berechnete Werte					
Z _a	Z _e	t	$\frac{1}{Z_a}$	$\frac{1}{Z_e}$	$J_a = \lg_{10} \frac{1}{Z_a}$	$J_b = \lg_{10} \frac{1}{Z_e}$	273 + t	$\chi = \frac{1}{273 + t}$
15,67	22,17	6,9	0,0683	0,0451	2,834	2,654	279,7	0,00357
13,67	17,83	7,0	0,0731	0,0561	2,864	2,749	280,0	0,00357
11,83	18,17	9,8	0,0845	0,0550	2,927	2,740	282,8	0,00354
9,67	14,33	12,6	0,103	0,0698	1,013	2,844	285,6	0,00350
9,33	13,83	13,1	0,107	0,0723	1,029	2,859	286,1	0,00349
10,17	13,33	13,3	0,0983	0,0752	2,992	2,876	286,3	0,00349
9,33	14,83	14,8	0,107	0,0674	1,029	2,826	287,8	0,00347
7,33	10,17	17,8	0,136	0,0983	1,134	2,992	290,8	0,00344
6,33	10,00	19,6	0,158	0,100	1,199	1,000	292,6	0,00342
5,67	8,00	19,8	0,176	0,125	1,245	1,097	292,8	0,00342
5,33	8,00	20,8	0,188	0,125	1,274	1,097	293,8	0,00340
5,67	9,83	22,0	0,176	0,102	1,245	1,009	295,0	0,00339
4,17	6,50	22,2	0,240	0,154	1,380	1,188	295,2	0,00339
4,17	6,17	26,7	0,240	0,162	1,380	1,210	299,7	0,00334
3,33	5,17	29,0	0,300	0,193	1,477	1,286	302,0	0,00331
3,00	4,67	30,3	0,333	0,214	1,522	1,330	303,3	0,00330

Tafel 34.
Zement C.

Versuchswerte			Aus den Versuchswerten berechnete Werte					
z_a	z_e	t	$\frac{1}{z_a}$	$\frac{1}{z_e}$	$J_a = \lg_{10} \frac{1}{z_a}$	$J_b = \lg_{10} \frac{1}{z_e}$	$273 + t$	$\chi = \frac{1}{273 + t}$
11,83	17,83	6,4	0,0845	0,0561	2,927	2,749	279,4	0,0358
10,83	15,17	8,6	0,0923	0,0659	2,965	2,819	281,6	0,0355
8,17	11,00	11,7	0,122	0,0909	1,086	2,959	284,7	0,0351
7,67	9,67	14,0	0,130	0,103	1,114	1,013	287,0	0,0348
6,67	8,67	14,4	0,150	0,115	1,176	1,061	287,4	0,0348
6,67	7,83	15,1	0,150	0,128	1,176	1,107	288,1	0,0347
5,83	8,17	15,5	0,172	0,122	1,236	1,086	288,5	0,0347
4,00	4,67	19,0	0,250	0,214	1,398	1,330	292,0	0,0342
3,33	4,33	20,0	0,300	0,231	1,477	1,364	293,0	0,0341
2,83	3,50	21,1	0,353	0,286	1,548	1,456	294,1	0,0340
2,50	3,00	22,2	0,400	0,333	1,602	1,522	295,2	0,0339
1,83	2,50	25,3	0,546	0,400	1,737	1,602	298,3	0,0335
1,17	1,83	29,7	0,855	0,546	1,932	1,737	302,7	0,0330

Der Untersuchung liegt folgender Gedankengang zugrunde: Die Beziehung $\log \frac{1}{z} = -\frac{\alpha}{273 + t} + \beta$, geschrieben $J = -\alpha x + \beta$ entspricht der

Gleichung einer geraden Linie,

$$\text{darin } \chi = \frac{1}{273 + t} \text{ und}$$

$J = \log \frac{1}{z}$ ist. Die berech-

neten Werte χ sind nun jeweils als Abscisse aufgetragen und dazu die aus den Versuchen

ermittelten Werte $J = \log \frac{1}{z}$

als Ordinaten. Der geometrische

Ort der so gefundenen Punkte muß nun auf einer geraden

Linie liegen, wenn die Gleichung

$J = -\alpha x + \beta$ erfüllt sein soll. Die Abbildungen 4, 5

und 6 zeigen, daß dies für alle drei Zementsorten sowohl für den Anfangs- wie Endzustand des Abbindens tatsächlich erfüllt ist. Es ordnen sich die

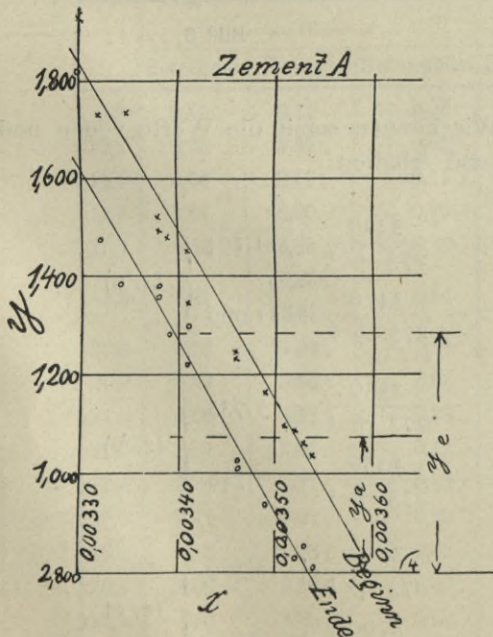


Bild 4.

gefundenen durch \circ bezeichneten Punkte für den Anfangszustand des Abbindens sowohl wie diejenigen mit \times bezeichneten für den Endzustand

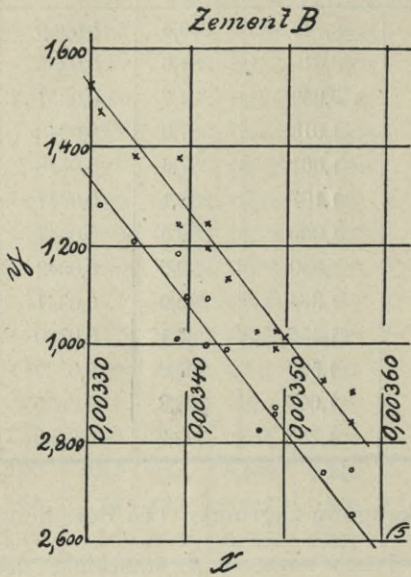


Bild 5.

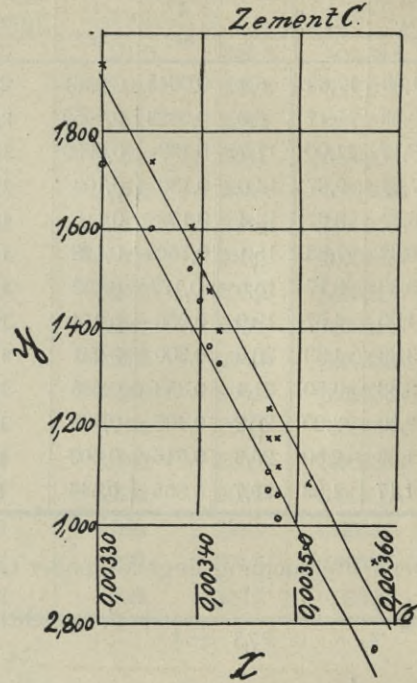


Bild 6.

jeweils um eine gerade Linie. Wir können somit die Werte von α und β in der Gleichung 1 berechnen und erhalten:

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Zement A} \\ \lg_{10} \frac{I}{z_a} = -\frac{3470}{273+t} + 11,294 \\ \lg_{10} \frac{I}{z_e} = -\frac{3470}{273+t} + 11,066 \end{array} \right\} (2, a)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Zement B} \\ \lg_{10} \frac{I}{z_a} = -\frac{2550}{273+t} + 7,935 \\ \lg_{10} \frac{I}{z_e} = -\frac{2550}{273+t} + 7,748 \end{array} \right\} (2, b)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Zement C} \\ \lg \frac{I}{z_a} = -\frac{3760}{273+t} + 12,309 \\ \lg \frac{I}{z_e} = -\frac{3760}{273+t} + 12,157 \end{array} \right\} (2, c)$$

Zu beachten ist ferner, daß die Geraden für $\lg \frac{I}{z_a}$ und $\lg \frac{I}{z_e}$ in allen drei Fällen parallel verlaufen, daher bleibt α für z_a und z_e ein und desselben Zementes gleich. Ganz allgemein ist daher:

$$\left. \begin{aligned} \lg_{10} \frac{I}{z_a} &= -\frac{\alpha}{273 + t} + \beta_a \\ \lg_{10} \frac{I}{z_e} &= \frac{\alpha}{273 + t} + \beta_e \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\lg_{10} \frac{z_a}{z_e} = \beta_e - \beta_a \quad \frac{z_a}{z_e} = 10^{\beta_e - \beta_a} \quad \left\} (4)$$

Wir wollen nun den Unterschied zwischen den nach Gleichung 2 berechneten und den Versuchs-Werten feststellen, welcher einerseits durch Ungenauigkeit der Gleichung und Fehler unserer Art der Abbindezeit-Bestimmung veranlaßt wird und andererseits in Feuchtigkeitsverhältnissen seinen Grund hat. Die folgende Tafel 35 gilt für Zement A.

Tafel 35.
Zement A.

t	z _a			z _e		
	Berechnet	Versuch	Unterschied	Berechnet	Versuch	Unterschied
9,8	9,43	9,17	+ 0,26	16,00	15,50	+ 0,50
10,6	8,70	8,67	+ 0,03	14,75	14,00	+ 0,75
11,4	8,06	8,17	- 0,11	13,64	14,83	- 1,19
11,7	7,81	8,00	- 0,19	13,25	13,50	- 0,25
13,7	6,45	6,83	- 0,38	10,89	11,50	- 0,61
15,9	5,21	5,83	- 0,54	8,77	9,67	- 0,73
		5,67			9,33	
20,0	3,53	4,50	- 0,97	6,00	6,00	+ 0,00
20,2	3,47	3,50	- 0,03	5,88	5,00	+ 0,88
21,9	3,00	3,33	- 0,33	5,03	5,17	- 0,14
22,3	2,87	3,00	- 0,13	4,83	4,17	+ 0,66
22,4	2,84	3,17	- 0,33	4,81	4,33	+ 0,48
22,9	2,71	3,00	- 0,29	4,59	4,17	+ 0,42
25,3	2,18	1,83	+ 0,35	3,69	2,50	+ 1,19
26,4	2,00	2,50	- 0,50	3,34	3,67	- 0,33
28,4	1,73	1,83	- 0,10	2,80	3,33	- 0,53
30,2	1,41	1,17	+ 0,24	2,39	1,50	+ 0,89

§ 3. Beziehung zwischen Feuchtigkeit und Abbindezeit.

Nehmen wir $t = 18^{\circ} \text{ C}$ an und bezeichnen durch

G_a den Beginn des Abbindens für 18° C ,

G_e das Ende des Abbindens für 18° C ,

so erhalten wir:

$$\begin{aligned} \lg_{10} \frac{1}{z_a} &= - \frac{\alpha}{273 + t} + \beta_a & \lg_{10} \frac{1}{z_e} &= \frac{\alpha}{273 + t} + \beta_e \\ \lg_{10} \frac{1}{G_a} &= - \frac{\alpha}{291} + \beta_a & \lg_{10} \frac{1}{G_e} &= \frac{\alpha}{291} + \beta_e \\ \lg_{10} \frac{G_a}{z_a} &= \lg_{10} \frac{G_e}{z_e} = \alpha \left(\frac{1}{291} - \frac{1}{273 + t} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Wir können somit die in § 6 erwähnten Versuchswerte der Abbindezeiten zur Bestimmung der Abbindezeiten G_a und G_e für die Normaltemperatur auswerten, wodurch der Einfluß der beim Abbinden des Zementes vorhanden gewesenen Temperatur beseitigt wird. Wir erhalten beispielsweise für Zement A die folgende Tafel 36, für welche sich für

Tafel 36.
Zement A.

Versuchswerte				Auf 18° C berechnete Werte			
Feuchtigkeit	t	z_a	z_e	$\alpha \left(\frac{1}{291} - \frac{1}{273 + t} \right)$	$\frac{G_a}{z_a} = \frac{G_e}{z_e}$	G_a	G_e
67,2	10,6	8,67	14,00	1,69	0,49	4,25	6,86
68,3	11,4	8,17	14,83	1,72	0,52	4,25	7,71
68,5	9,8	9,17	15,50	1,65	0,45	4,13	6,98
68,6	15,9	5,67	9,33	1,93	0,85	4,82	7,93
75,3	22,9	3,00	4,17	0,21	1,62	4,86	6,76
77,9	15,9	5,83	9,67	1,93	0,85	4,96	8,22
78,4	30,2	1,17	1,50	0,49	3,09	3,62	4,64
79,4	11,7	8,00	13,50	1,76	0,58	4,64	7,83
81,2	28,4	1,83	3,33	0,42	2,63	4,81	8,76
82,5	22,3	3,00	4,17	0,21	1,62	4,86	6,76
82,6	21,9	3,33	5,17	0,17	1,48	4,93	7,65
82,7	26,4	2,50	3,67	0,35	2,24	5,60	8,12
83,0	22,4	3,17	4,33	0,21	1,62	5,14	7,01
87,2	20,0	4,50	6,00	0,10	1,26	5,67	7,56
89,2	13,7	6,83	11,50	1,83	0,68	4,64	7,82
89,7	25,3	1,83	2,50	0,31	2,04	3,73	5,10
91,6	20,2	3,50	5,00	0,10	1,26	4,41	6,30
Mittelwerte						4,66	7,77

die Abbindezeiten einer bestimmten Zementsorte Werte ergeben, die sich um ihre Mittelwerte $G_a = 4,66$ und $G_e = 7,77$ gruppieren, ohne im einzelnen allzuweit von diesen abzuweichen.

Zugleich ersieht man aus der Geringfügigkeit der Abweichung dieser Einzelwerte von ihrem Mittelwert, daß der Einfluß der Feuchtigkeit unbedeutend ist und vollständig innerhalb der Grenze des Versuchsfehlers bleibt, andernfalls jene Abweichungen größer sein müßten.

Die Richtigkeit dieses letzterwähnten Satzes kann auch durch den unmittelbaren Versuch erwiesen werden, wozu die in Bild 7 dargestellte Vorrichtung dient, bei welcher mit verschiedener Luftfeuchtigkeit gearbeitet wird. Sie besteht aus einem Vicat'schen Nadelapparate, bei dem der Rahmen a mit dem Zeugstoffüberzug b eingebaut ist. Das untere Ende des Ueberzugs hängt bis in den mit Wasser gefüllten Teller c. Der Stoff saugt fortwährend Wasser auf und hält den Raum d stets im feuchten Zustande.

Um zu ermitteln, welchen Feuchtigkeitsgrad der Raum d aufweist, haben wir von Zeit zu Zeit ein trocknes und ein feuchtes Thermometer eingesetzt; die folgenden Aufzeichnungen sind Beispiele der dabei beobachteten Zahlen:

Beobachtete Wärmegrade	
Trocknes Thermometer	Feuchtes Thermometer
22,00 ⁰ C	21,80 ⁰ C
23,35	23,20
23,40	23,25
22,80	22,70

Feuchtigkeit nach der Koppe'schen Tafel

98,0 v. H.
 98,5
 98,5
 99,0

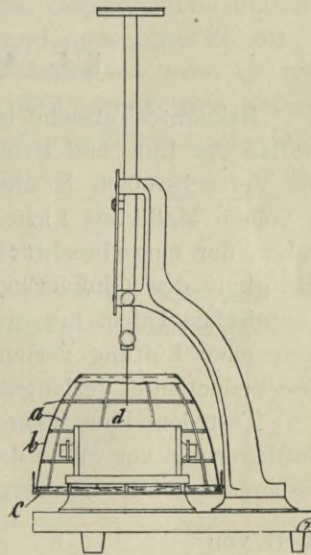


Bild 7.

Wird von einem einmal angemachten Mörtel ein Teil in einem gewöhnlichen, ein anderer Teil in einem oben beschriebenen, abgeänderten Nadelapparat neben einander beobachtet, so ersieht man, daß der Unterschied zwischen den Abbindezeiten nur unbedeutend ist. Hier lassen wir als Beispiele die mit Zement A und B gemachten Versuche folgen.

Tafel 37.

Datum	Luft-Temperatur in Mittel °C.	Trockner Apparat des Abbindens			Feuchter Apparat des Abbindens		
		Feuchtig- keit v. H.	Beginn	Ende	Feuchtig- keit	Beginn	Ende
Zement A.							
16. VII. 1906	25,3	89,7	1h 50'	2h 30'	98-99 v. H.	2h 0'	2h 30'
16 VIII. 1906	30,2	78,4	1h 10'	1h 30'		1h 10'	1h 40'
18. IX. 1906	22,4	83,0	3h 10'	4h 20'		3h 20'	4h 30'
16. X. 1906	22,9	75,3	3h 0'	4h 10'		3h 30'	4h 20'
16. XI. 1906	20,0	87,2	4h 30'	6h 0'		4h 40'	6h 20'
17. XII. 1906	13,7	89,2	6h 50'	10h 30'		7h 20'	11h 50'
Zement B.							
7. VIII. 1906	30,3	79,0	3h 0'	4h 40'	98-99 v. H.	3h 10'	4h 50'
23. IX. 1906	26,7	79,6	4 10'	6h 30'		4h 30'	7h 0'
22. X. 1906	19,8	90,7	5h 40'	8h 0'		6h 0'	8h 0'
22. XI. 1906	13,3	81,5	10h 10'	13h 20'		10h 0'	12h 30'
22. XII. 1906	7,0	77,2	13h 40'	17h 50'		14h 10'	18h 10'

§ 4. Abbindezeit und Lagerung.

Bekannte Tatsache ist, daß der Zement durch Lagerung unter dem Einfluß der Luft und Feuchtigkeit seine Abbindezeit meistens verlängert. Die Versuchsreihen X und XIII sind nicht geeignet, diese Verhältnisse in vollem Maße ans Licht zu bringen, da jene Zemente, wie bereits erwähnt, nur einer beschränkten Lüftung unterworfen waren; die Unregelmäßigkeit der Glühverlustzunahme, die aus den daselbst vorgeführten analytischen Tafeln hervorgeht, ist ein Beweis dafür. Die mit der unvollkommenen Lüftung verbundene Lagerung ist demnach nicht im Stande eine bedeutende Verlangsamung der Abbindezeiten hervorzurufen.

Trotzdem kann man aus jenen Versuchsreihen ersehen, daß mit der Luftlagerung vor allem das Ende des Abbindens ziemlich schnell hinausgeschoben wird, sie vergrößert also z_a , aber noch bedeutender den Wert von $\frac{z_e}{z_a}$.

§ 5. Die japanischen Normen für Portlandzement.

Aus den Betrachtungen der Versuchsreihen IX, XI und XII geht hervor, daß alle drei durchaus normale Zemente A, B und C in Bezug auf Abbindezeit nach den Bestimmungen der japanischen Normen entweder bei tiefen oder bei höheren Temperaturen, die praktisch häufig vorkommen können, oder auch in beiden Fällen zu beanstanden sind. Die Versuche

zeigen auch, daß es wahrscheinlich keinen Portlandzement gibt, welcher ebensogut bei $5-6^{\circ}\text{C}$ wie bei $30-32^{\circ}\text{C}$ den Normen entspricht, woraus folgt, daß jene Bestimmungen Befürchtung zu schwerer Schädigung der japanischen Zement-Industrie Veranlassung geben, wenn die eingangs dieses Abschnittes erwähnten, von den Zementherstellern empfohlenen, in den Bestimmungen aller anderen Länder enthaltenen Beschränkungen in Bezug auf die Temperatur nicht berücksichtigt werden.

§ 6. Der Portlandzement auf dem Bauplatz.

Wir haben ausführlich dargetan, daß die Abbindezeit des Zementes sich mit der Temperatur äußerst stark ändert, daß daher die Angaben derselben allein für die gewöhnlichen Wärmegrade gelten können. Andererseits dürfen wir nicht erwarten, daß die Temperatur der Baustelle immer auch nur annähernd den Versuchstemperaturen entspricht. Die Lufttemperatur in Mitteljapan beträgt im Sommer mittags im Schatten etwa 33°C , daher im Freien $36-37^{\circ}$ oder mehr; im Winter um 10 Uhr morgens an geschützter Stelle 5°C , daher am freien Bauplatze etwa 2°C . Der Zement wird auch nicht immer in guten Lagerräumen, sondern vielfach in Schuppen mit den dünnsten Bretterwandungen unter Zinkdach aufbewahrt. Infolgedessen wird die Temperatur desselben, wenn er aus den Schuppen zur Verwendungsstelle geschafft wird, bereits eine außergewöhnliche sein. Nehmen wir beispielsweise an, ein Zement sei unter normaler Prüfung bei 18°C mit der Abbindezeit:

$$G_a = 3^h 0'$$

$$G_e = 5^h 0'$$

als anstandslos befunden und nach einiger Zeit von solchen Schuppen zur Baustelle geschafft, wo die Lufttemperatur 35°C betrage. Nach Gleichung 2a—c berechnen wir:

$$\lg \frac{z_a}{G_a} = \lg \frac{z_e}{G_e} = \alpha \left(\frac{1}{273 + t} - \frac{1}{291} \right)$$

$$\alpha = 2550 \text{ bis } 3760.$$

Daher folgt

$$z_a (35^{\circ}) = 35' \text{ bis } 1^h 0'$$

$$z_e (35^{\circ}) = 50' \text{ bis } 1^h 20'$$

Ein derartiger Schnellbinder hätte nach allgemeiner Annahme in den Bauten, die an heißen Sommertagen ausgeführt werden, schlimmste Folgen erwarten lassen, was aber in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Dies kann nur durch unsere Beweise erklärt werden, daß die wiederholt angemachten Zemente wohl recht gute Festigkeiten liefern, und nicht, wie allgemein angenommen wird, äußerst langsam abbinden oder gar keine Erhärtungsenergie besitzen.

III. Abschnitt.

Vicat'scher Nadelapparat und die Bestimmung der Abbindezeit mit Temperaturdiagrammen nach Gary.

§ 1. Das Wesen der Vicat'schen und Gary'schen Arbeitsweisen.

Nach Vicat hat man einen Zement für abgebunden zu erklären, wenn derselbe einen gewissen – zwar sehr geringfügigen – Grad an Widerstandsfähigkeit gegen das Eindringen einer Nadel aufweist. Wir müssen aber andererseits bedenken, daß das letzte Ziel des Zementes die Erlangung der größten Festigkeit ist. Der Zement soll am Ende erhärten. Ob er nun in einer Stunde oder in einigen Stunden einen gewissen geringfügigen Grad der Festigkeit erlangt, muß doch ziemlich gleichgültig sein, wenn man keinen anderen besonders wichtigen Grund für die Nützlichkeit solchen Unterschiedes nachweisen kann.

Man hat schon lange den Mangel des Nadelapparates erkannt. Der Vorschlag, daß das Abbinden, welches sehr wahrscheinlich ein chemischer Vorgang ist, am besten an seinen Wärmeverhältnissen zu verfolgen sei, ist auch nicht neu. Garys Verdienst (Protokoll des V. d. P.-Z.-F. 1905, Seite 87) ist es jedoch, erkannt zu haben, daß das erste Tal der Temperaturkurve dem Abbindebeginn, der zweite Berg – der Kulminationspunkt – dem Ende des Abbindens entspricht. Unsere Versuche bestätigen recht gut seine Behauptung. Die Ausführungen von § 2 II. Abschnitt, daß die Abbindeverhältnisse der Gleichung der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit genügen, ist wieder ein Beweis dafür, daß das Abbinden ein chemischer Vorgang ist. Der Grundgedanke der Gary'schen Ermittlungsweise der Abbindezeit ist daher entschieden der Vicat'schen vorzuziehen.

§ 2. Tonerdegehalt und Abbindezeit.

Erfahrungsgemäß liefern die tonerdereichen Tone schnellbindenden Zement. Daraus entstand die Behauptung, das Abbinden sei eine mit Al_2O_3 eng zusammenhängende chemische Reaktion. Ist dies tatsächlich der Fall, so wäre das Abbinden am zweckmäßigsten an höchst Al_2O_3 -reichen oder an möglichst Al_2O_3 -armen Zementen zu studieren.

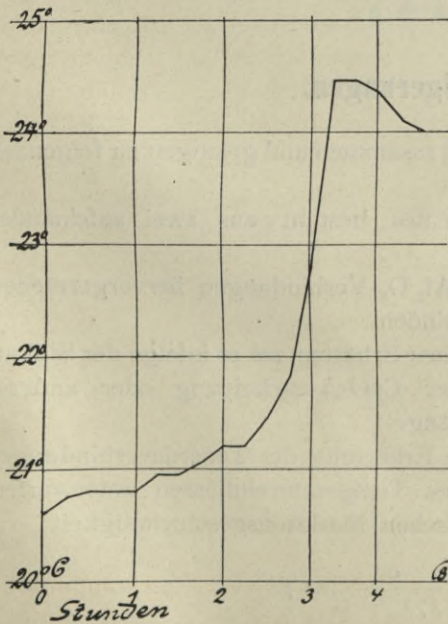
In Bild 8 geben wir ein Temperaturdiagramm eines höchst Al_2O_3 -reichen Zementes wieder. Dasselbe ist den im Oktober 1898 ausgeführten Versuchen entnommen. Die Luftwärme war nicht bestimmt, muß jedoch, nach klimatischen Verhältnissen zu urteilen, etwa $20-22^\circ\text{C}$ im Mittel gewesen sein. Der Zement war im August desselben Jahres hergestellt, daher zur Zeit der Untersuchung 2 Monate alt. Seine chemische Zusammensetzung ist folgende:

	a.	b.	Im Mittel
SiO_2	18,03	18,33	18,18
Al_2O_3	13,00	12,37	12,68
Fe_2O_3	4,23	4,23	4,23
CaO	61,33	60,43	60,88
SO_3	0,55	0,70	0,63
Glühverlust	nicht bestimmt		
	97,14	96,06	96,60

Das Temperaturdiagramm zeigt das übliche schroffe Steigen und Fallen.

Der in Abschnitt I wiederholt erwähnte Zement E ist aus denselben Rohstoffen im Jahre 1904 hergestellt. Er ist somit nach der Lagerung von fast zwei Jahren zu den daselbst vorgeführten Untersuchungen gezogen worden. Der Verlauf der Temperaturkurve ist hier ein ganz anderer (vergl. die angehängte Tafel 3). Sie steigt gleich beim Wasserzusatz schroff an und hält bei einer Temperatur, die $2-5^\circ$ höher als die Lufttemperatur liegt, mehrere Stunden hindurch an.

Die angehängte Tafel 7 gibt die Diagramme von einem sehr Al_2O_3 -armen Zement folgender Zusammensetzung wieder:



SiO_2	24,61
Al_2O_3	3,52
Fe_2O_3	1,94
CaO	64,99
SO_3	0,85
Glühverlust	2,70
	<hr/> 98,61

Bild 8.

Der Verlauf der Temperaturkurve ist ähnlich derselben vom lange gelagerten Al_2O_3 -reichen Zemente E.

In den beiden letzten Fällen stimmen die Gary'schen und Vicat'schen Abbindezeiten nicht überein.

Wir sind weit davon entfernt, eine neue Erklärung auf diesen wenigen Versuchen aufzubauen, glauben aber sagen zu dürfen, daß sich hier andere chemische Vorgänge oder mindestens Vorgänge derselben Verbindungen in ganz anderen Mengenverhältnissen abspielen, deren Einflüsse noch der Klarstellung harren.

§ 3. Diagramme der wiederholt angemachten Mörtel.

Daß der Zement im Sinne der Vicat'schen Erklärung nach der wiederholten Anmischung in nicht langer Zeit wieder abbinde, haben wir bereits in § 4 des I. Abschnittes erörtert. Die Temperatur der wiederholt angemachten Zemente zeigt jedoch weder schroffes Ansteigen noch Abfallen; sie bleibt ziemlich gleich, solange die Lufttemperatur nicht anderen Einfluß ausübt. Das ist nicht allein bei den Zementen mittleren Si O_2 - und $\text{Al}_2 \text{O}_3$ -Gehaltes und deren Quarzmehlmischungen, sondern auch bei $\text{Al}_2 \text{O}_3$ -reichen und sehr $\text{Al}_2 \text{O}_3$ -armen Zementen der Fall. Hier verlieren die Vicat'schen und Gary'schen Arbeitsweisen wieder die Uebereinstimmung. Abermals ist damit der Beweis geführt, daß das Abbinden im Vicat'schen Sinne für die Kennzeichnung einer chemischen Reaktion nur ungenügende Grundlagen liefert.

Schlussfolgerungen.

Wir fassen unsere Ausführungen zusammen und gelangen zu folgenden Schlußfolgerungen:

- 1) Das Erhärten des Zementes besteht aus zwei aufeinander folgenden Vorgängen:
 - a) aus dem durch $\text{Al}_2 \text{O}_3$ -Verbindungen hervorgerufenen sogenannten Abbinden.
 - b) aus dem eigentlichen Erhärten, sei es infolge der Silikatumwandlung, oder CaO -Ausscheidung oder anderer chemischer Vorgänge.
- 2) Die unter 1a bezeichnete Erhärtung der Tonerdeverbindungen ist deutlich erkennbar den Temperatureinflüssen unterworfen. Die Gleichung der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit

$$\lg \frac{1}{z} = - \frac{\alpha}{273 + t} + \beta$$

hat hier ihre Giltigkeit.

- 3) Die Erhärtung der Tonerdeverbindungen tritt schneller auf, ist aber für die Gesamterhärtung wenig wichtig; ihre Störung

hat keine so weitgehende Bedeutung, als daß dadurch die ganze Erhärtung in Frage gestellt wird.

- 4) Wird die Erhärtung der Tonerdeverbindungen durch Wiedermachung gestört, so kann keine richtige zweite Abbindung stattfinden; erhärten tut der Zement dennoch.
- 5) Eine Störung des Abbindens ist ohne wesentlichen Einfluß auf die Endfestigkeit, vorausgesetzt, daß der im Abbinden gestörte Zement vor der Verwendung noch einmal tüchtig durchgearbeitet wird. Nur unter dieser Voraussetzung wäre das Abbinden bzw. die Abbindezeit eines Zementes von nur geringer Bedeutung für seine Verwendung in der Praxis. Dies ist von großer Wichtigkeit insbesondere für die Verarbeitung rasch bindenden Zementes, welche man bisher in vielen Fällen gemieden hat, weil man die üblen Folgen des Ueberrührens fürchtete. Ein Zement erleidet also durch das Ueberrühren keine wesentliche Beeinträchtigung seiner Endfestigkeit, wenn er vor der Verwendung noch einmal tüchtig durchgearbeitet wurde. Dadurch erfährt die Verwendungs-Möglichkeit rasch bindender Zemente eine wesentliche Erweiterung.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Inhalts-Verzeichnis.

	Seite
Einführung	VII
I. Abschnitt.	
Wiederanmachung, Erhärtung und Abbindezeit	1
§ 1. Erhärtung wiederangemachten Zementes	2
§ 2. Erhärtung wiederangemachten Zementes, Fortsetzung	13
§ 3. Verhalten wiederangemachter Mörtel bei Verwendung von Meerwasser und Erhärtung in demselben	14
§ 4. Abbinden des wiederholt angemachten Zementes	18
§ 5. Abbinden der wiederholt angemachten Zement-Quarz-Mischung	20
II. Abschnitt.	
Abbindezeit und Temperatur	23
§ 1. Einfluss der Jahreszeiten auf die Abbindezeit	24
§ 2. Beziehung zwischen Temperatur und Abbindezeit	34
§ 3. Beziehung zwischen Feuchtigkeit und Abbindezeit	40
§ 4. Abbindezeit und Lagerung	42
§ 5. Die japanischen Normen für Portlandzement	42
§ 6. Der Portlandzement auf dem Bauplatz	43
III. Abschnitt.	
Vicat'scher Nadelapparat und die Bestimmung der Abbindezeit mit Temperaturdiagrammen nach Gary	44
§ 1. Das Wesen der Vicat'schen und Gary'schen Arbeitsweisen	44
§ 2. Tonerdegehalt und Abbindezeit	44
§ 3. Diagramme der wiederholt angemachten Mörtel	46
Schlussfolgerungen	46

Abbinden des wiederholt angemachten Mörtels.

Reiner Zement.
Zement D.

(9. Oktober 1905.)

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Diagramme für den am Ende der Abbindezeit wiederangemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_3

Kurve des Nadelapparates a_3

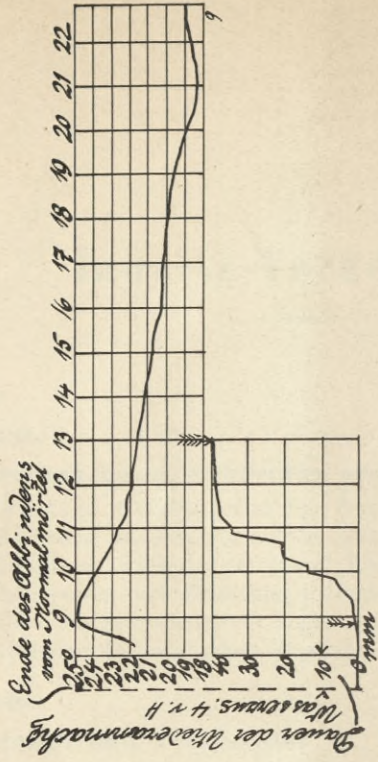


Diagramme für den beim Abbindebeginn wiederangemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_2

Kurve des Nadelapparates a_2

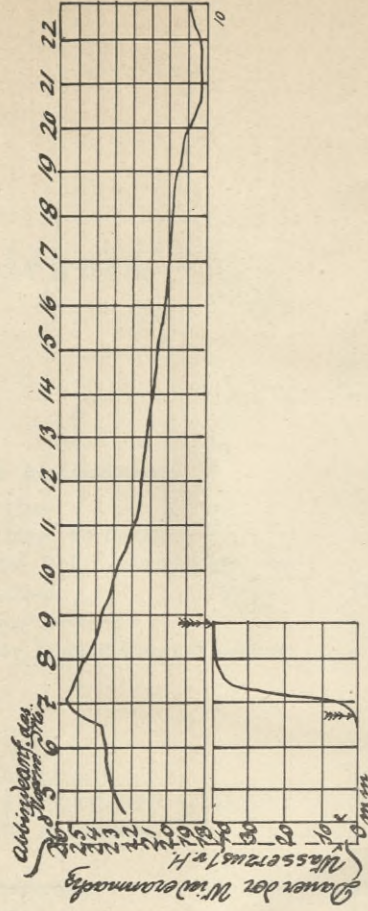
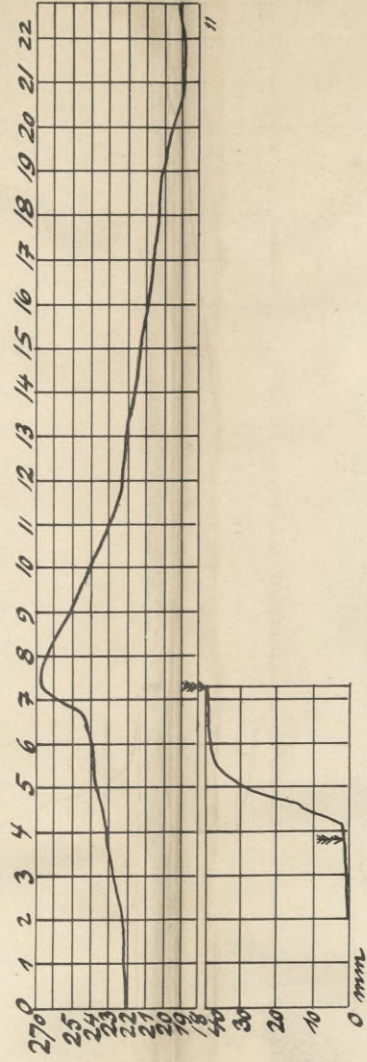


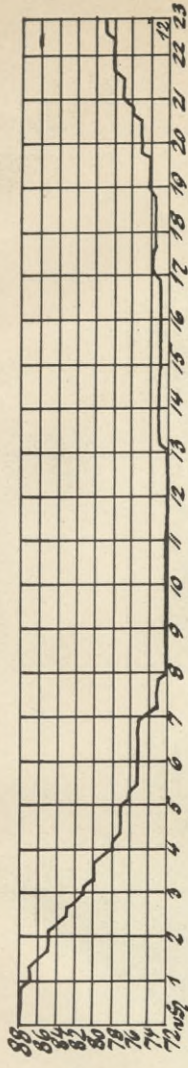
Diagramme für den normal angemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_1

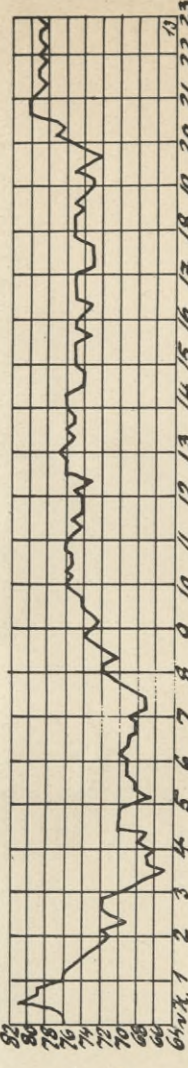
Kurve des Nadelapparates a_1



Spezifische Feuchtigkeit (Haarhygrometer)

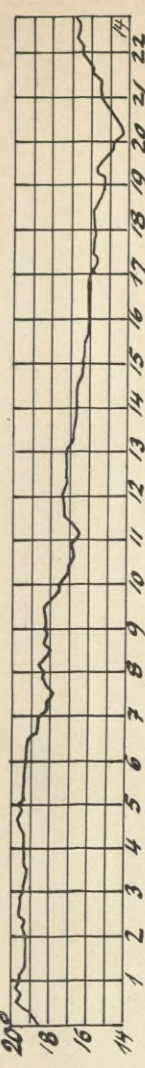


Spezifische Feuchtigkeit (Psychrometer-Tafel)

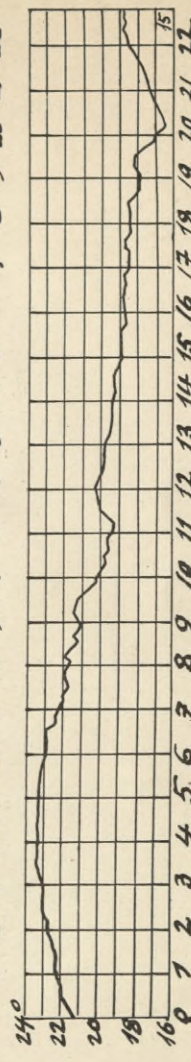


Feuchtigkeit und Temperatur

Feuchtes Thermometer



Lufttemperatur

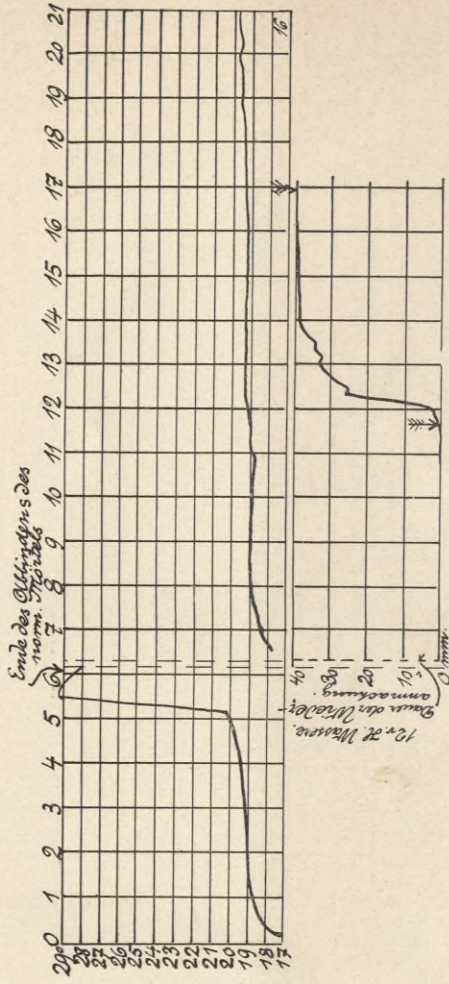


Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Abbinden des wiederholt angemachten Mörtels. Reiner Zement. Zement C.

(9. April 1906.)

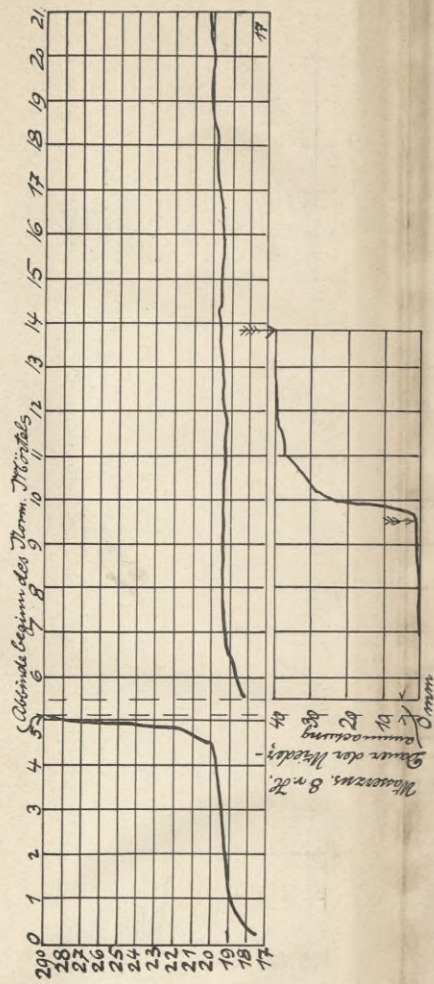
Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz



Temperatur-Kurve b_3

Diagramme für den am Ende der Abbindezeit wieder angemachten Mörtel

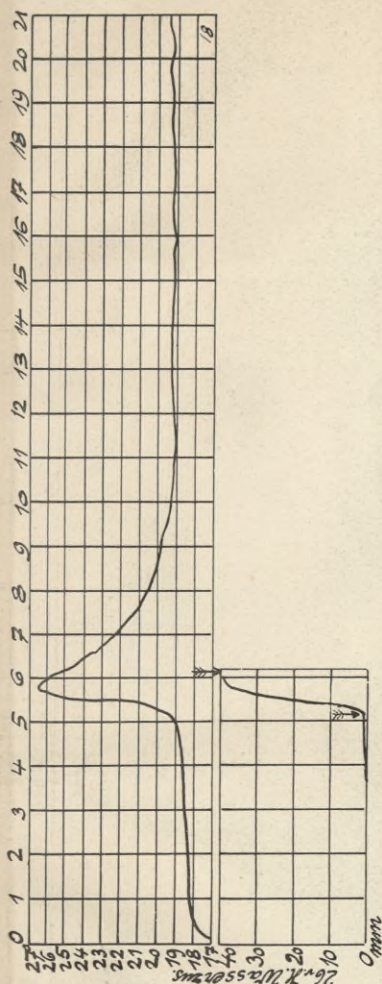
Kurve des Nadelapparates a_3



Temperatur-Kurve b_2

Diagramme für den beim Abbindebeginn wieder angemachten Mörtel

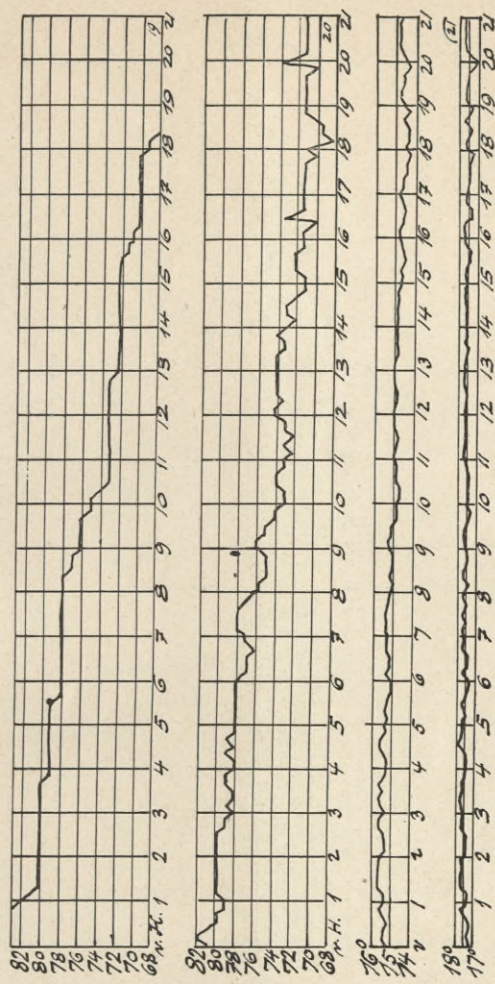
Kurve des Nadelapparates a_2



Temperatur-Kurve b_1

Diagramme für den normal angemachten Mörtel

Kurve des Nadelapparates a_1



Spezifische Feuchtigkeit (Haarhygrometer)

Feuchtigkeit und Temperatur

Spezifische Feuchtigkeit (Psychrometer-Tafel)

Feuchtes Thermometer

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Abbinden des wiederholt angemachten Mörtels.

Reiner Zement.

Zement E.

(19. Februar 1906.)

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Diagramme für den
am Ende der Ab-
bindezeit wiederan-
gemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_3

Kurve des
Nadelapparates a_3

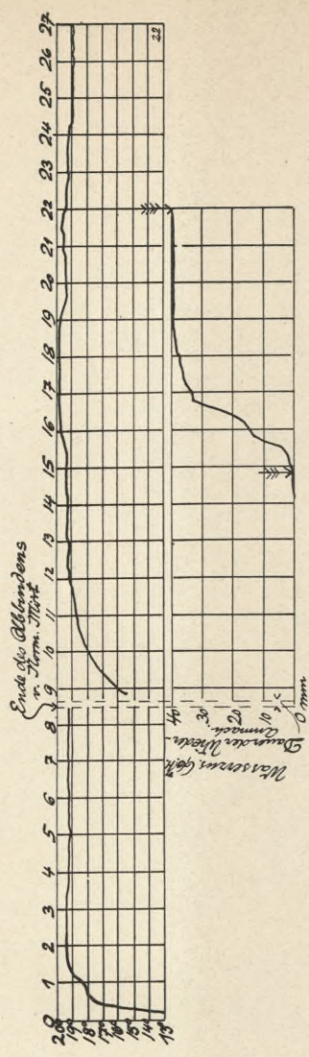


Diagramme für den
beim Abbindebe-
ginn wieder ange-
machten Mörtel

Temperatur-Kurve b_2

Kurve des
Nadelapparates a_2

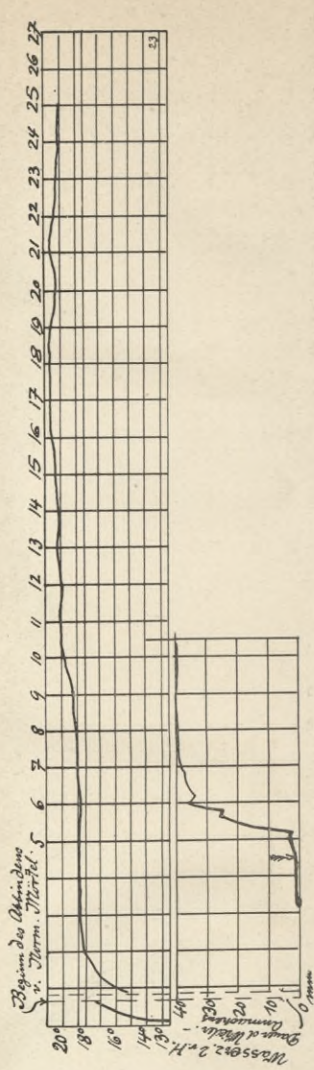
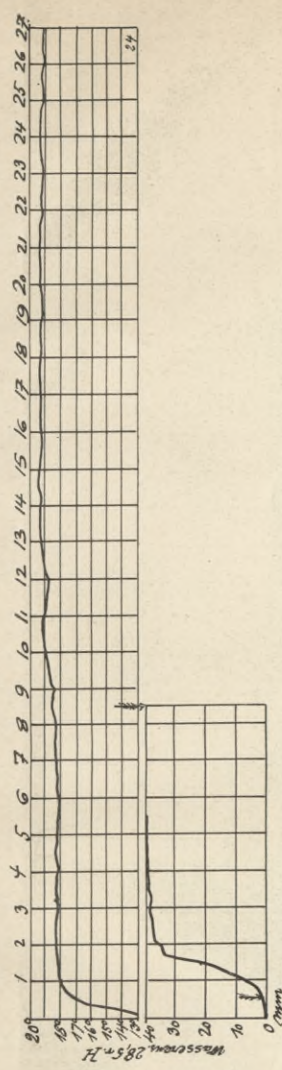


Diagramme für den
normal angemach-
ten Mörtel

Temperatur-Kurve b_1

Kurve des
Nadelapparates a_1



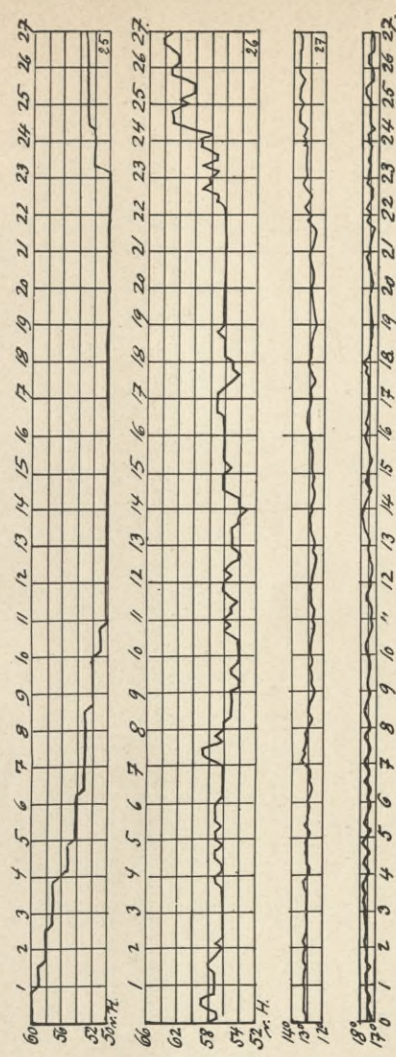
Feuchtigkeit und
Temperatur

Spezifische Feuchtig-
keit
(Haarhygrometer)

Spezifische Feuchtig-
keit
(Psychrometer-Tafel)

Feuchtes
Thermometer

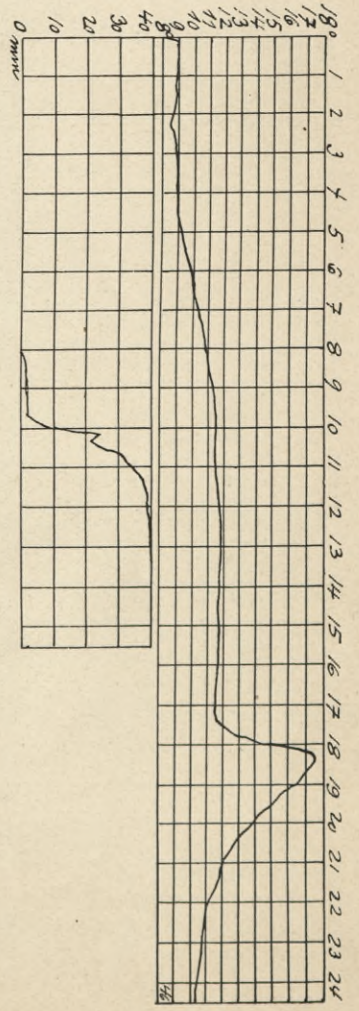
Lufttemperatur
nach dem ersten
Wasserzusatz



Zement A.

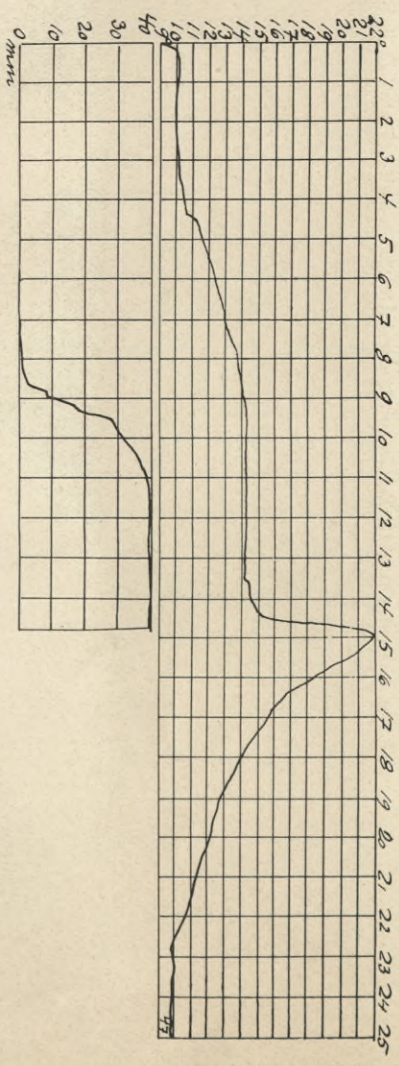
16. Februar 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 7.2—11.8° C.
 " " im Mittel 9.8° C.
 des Zementes) 8° C.
 des Wassers)
 im Mittel 67—71.5 v. H.
 im Mittel 68.5 v. H.



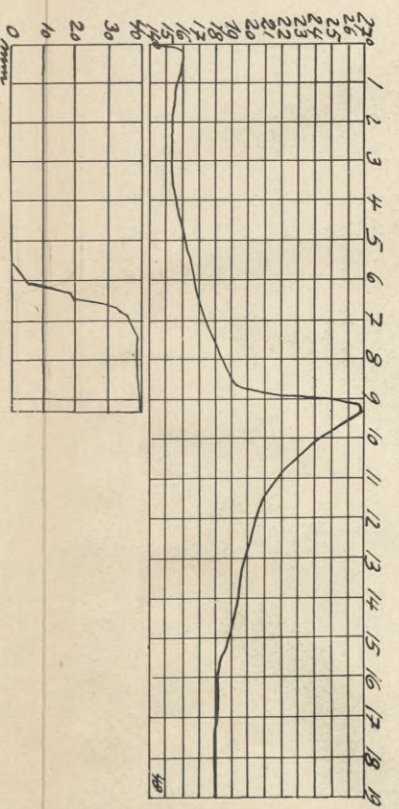
16. März 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 8.2—13.2° C.
 " " im Mittel 11.4° C.
 des Zementes) 9.2° C.
 des Wassers)
 im Mittel 63—74 v. H.
 im Mittel 68.3 v. H.



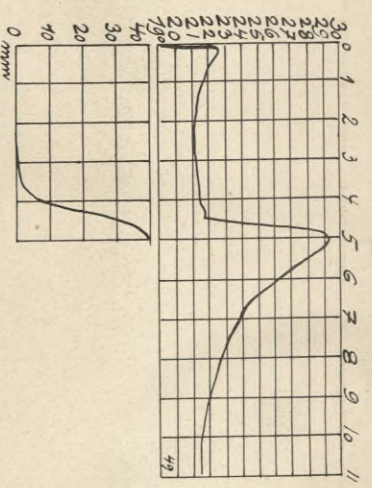
20. April 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 14.—17.8° C.
 " " im Mittel 15.9° C.
 des Zementes) 14.95° C.
 des Wassers) 14.15° C.
 im Mittel 61.5—78.5 v. H.
 im Mittel 68.6 v. H.



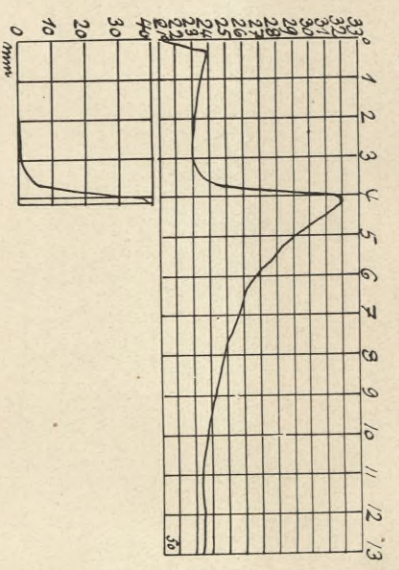
16. Mai 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 19.4—20.8° C.
 " " im Mittel 20.2° C.
 des Zementes) 19.80° C.
 des Wassers) 19.25° C.
 im Mittel 90.5—92.5 v. H.
 im Mittel 91.6 v. H.



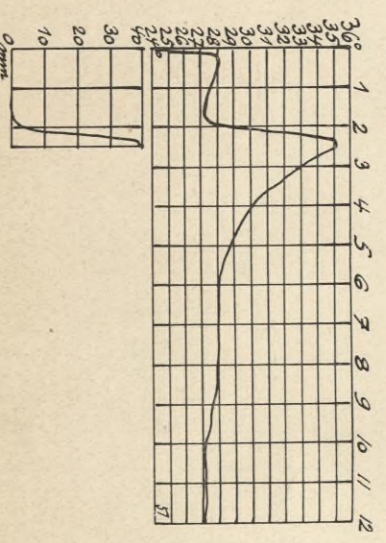
16. Juni 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 21.5—23.4° C.
 " " im Mittel 22.3° C.
 des Zementes) 21.70° C.
 des Wassers) 21.20° C.
 im Mittel 80.5—84 v. H.
 im Mittel 82.5 v. H.



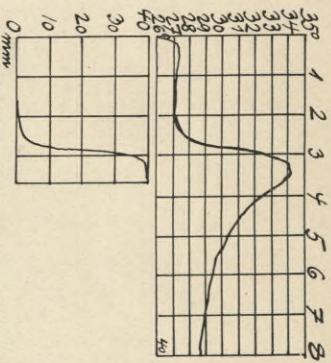
16. Juli 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 24.8—25.8° C.
 " " im Mittel 25.3° C.
 des Zementes) 25.08° C.
 des Wassers) 24.10° C.
 im Mittel 88—91 v. H.
 im Mittel 89.7 v. H.



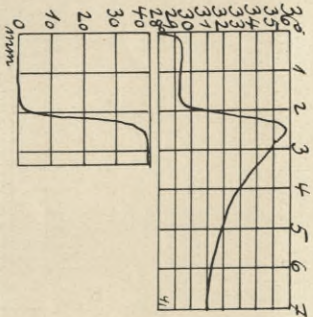
4. September 1905

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 25,9—26,9° C.
 " " im Mittel 26,4° C.
 des Zementes) 26° C.
 des Wassers)



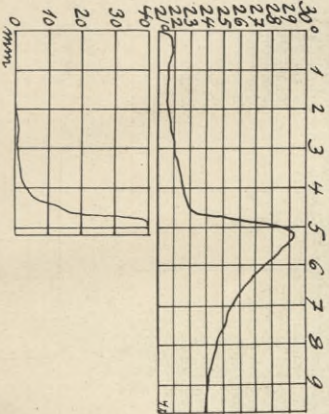
16. September 1905

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 27,8—29,0° C.
 " " im Mittel 28,2° C.
 des Zementes) 28,0° C.
 des Wassers)



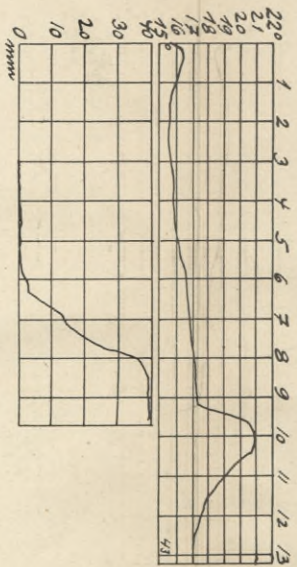
16. Oktober 1905

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 20,4—23,1° C.
 " " im Mittel 21,9° C.
 des Zementes) 21,0° C.
 des Wassers)



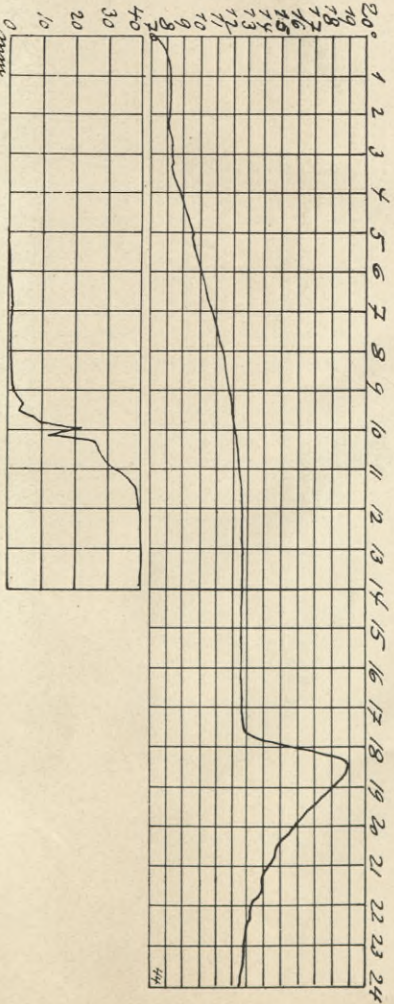
16. November 1905

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 14,4—16,8° C.
 " " im Mittel 15,9° C.
 des Zementes) 15,5° C.
 des Wassers)



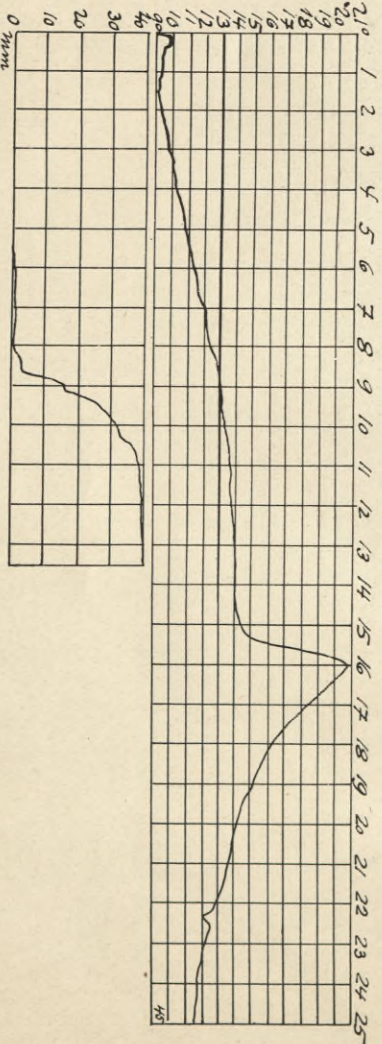
16. Dezember 1905

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 6,8—12,8° C.
 " " im Mittel 10,5° C.
 des Zementes) 7,3° C.
 des Wassers)



16. Januar 1906

Feuchtigkeit der Luft }
 der Luft 8,—13,4° C.
 " " im Mittel 11,7° C.
 des Zementes) 9° C.
 des Wassers)



Abbinden des wiederholt angemachten Mörtels.

1 Zement : 3 Quarzmehl.
Zement D.

(31. Oktober 1905.)

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Diagramme für den am Ende der Abbindezeit wiederangemachten Mörtel

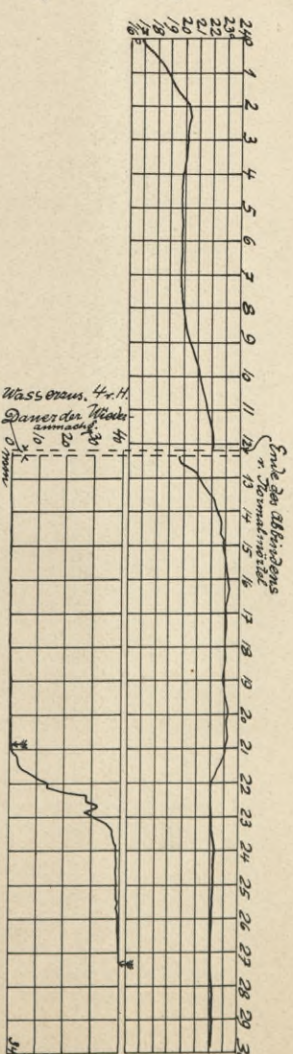


Diagramme für den beim Abbindebeginn wiederangemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b2
Kurve des Nadelapparates a2

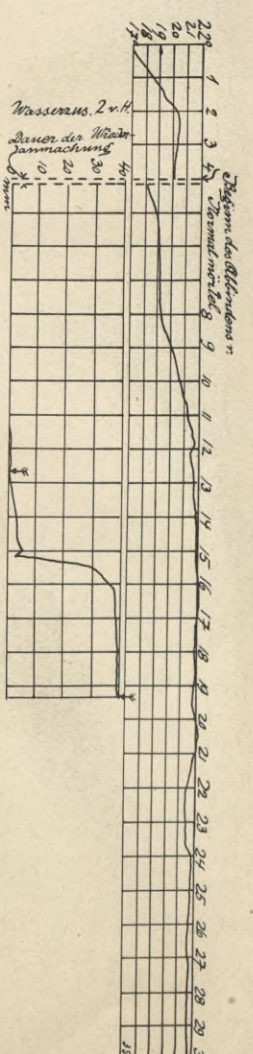
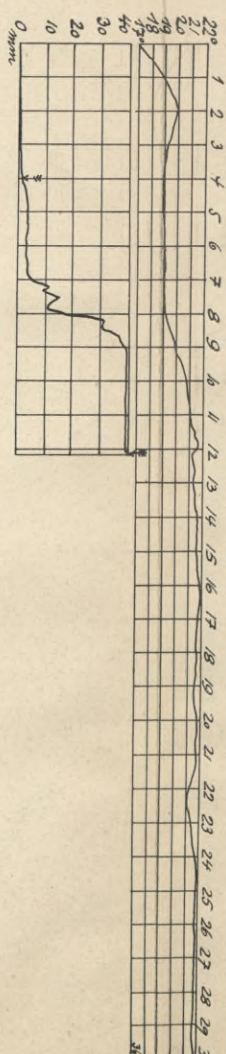


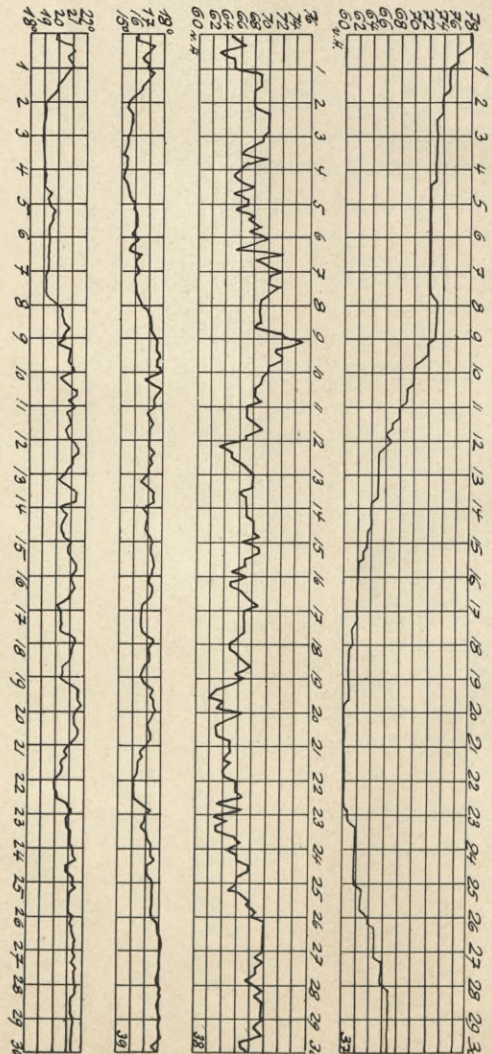
Diagramme für den normal angemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b1
Kurve des Nadelapparates a1



Feuchtigkeit und Temperatur

Spezifische Feuchtigkeit (Haarhygrometer)
Spezifische Feuchtigkeit (Psychrometer-Tafel)
Feuchtes Thermometer
Lufttemperatur



Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Abbinden des wiederholt angemachten Mörtels.

1 Zement : 1 Quarzmehl.

Zement D.

(20. Oktober 1905.)

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

Diagramme für den am Ende der Abbindezeit wiederangemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_3
Kurve des Nadelapparates a_3

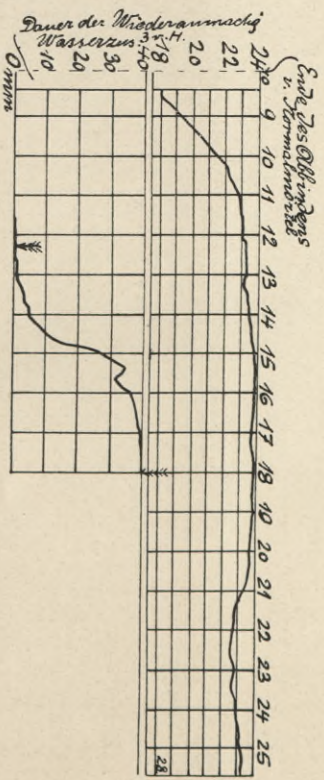


Diagramme für den beim Abbindebeginn wiederangemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_2
Kurve des Nadelapparates a_2

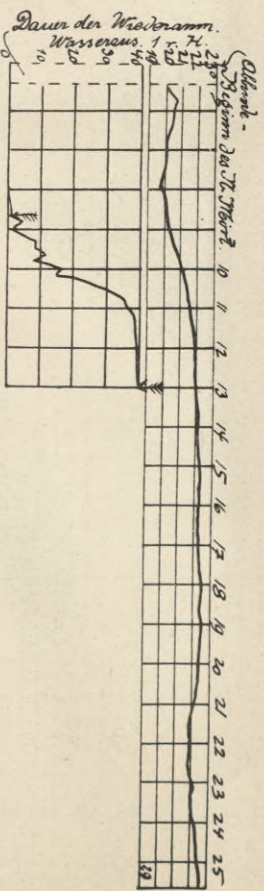
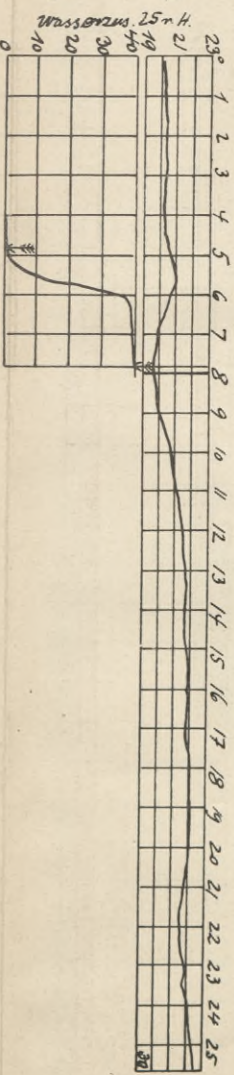


Diagramme für den normal angemachten Mörtel

Temperatur-Kurve b_1
Kurve des Nadelapparates a_1



Feuchtigkeit und Temperatur

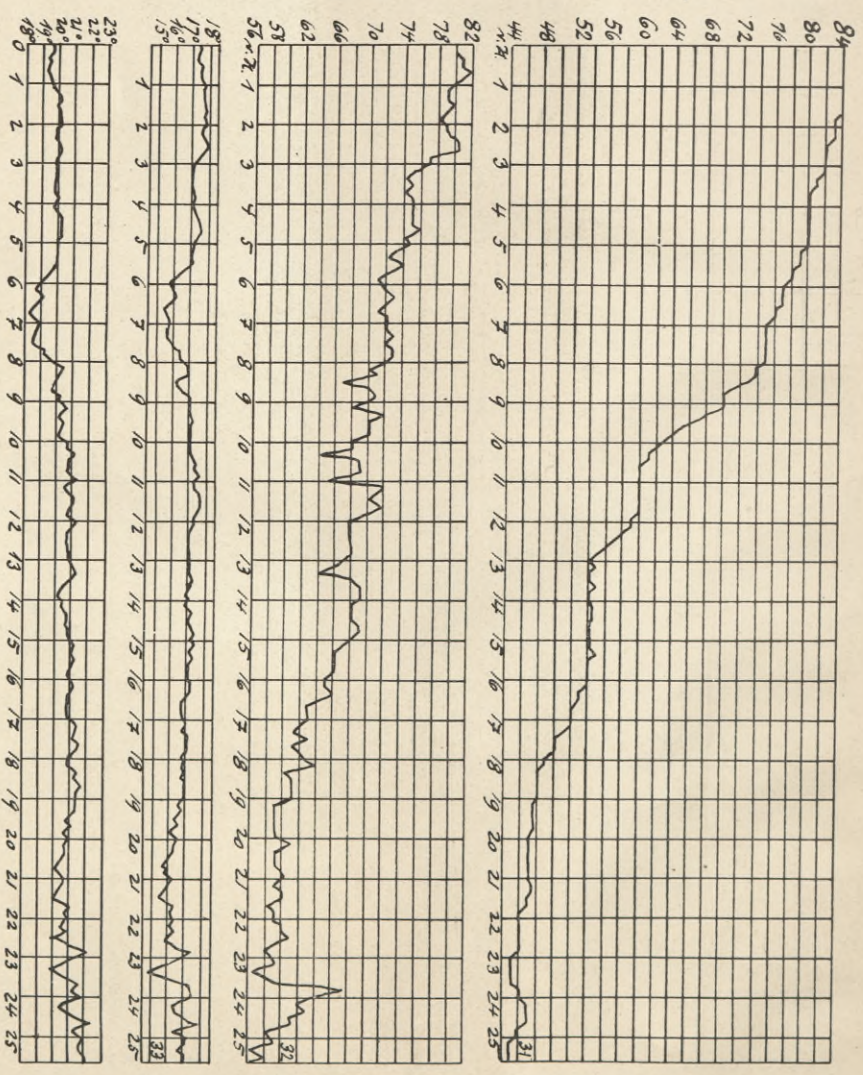
Spezifische Feuchtigkeit (Psychrometer-Tafel)

Spezifische Feuchtigkeit (Haarhygrometer)

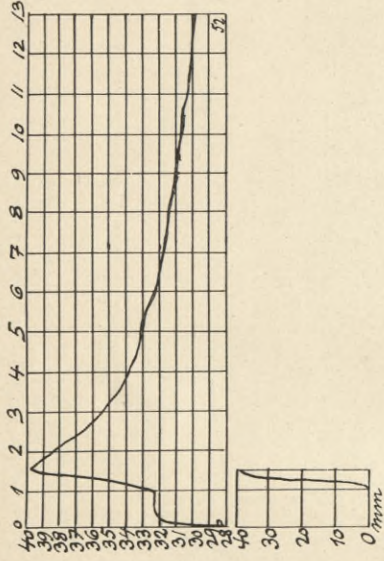
Feuchtes Thermometer

Lufttemperatur

Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz



Zement A.

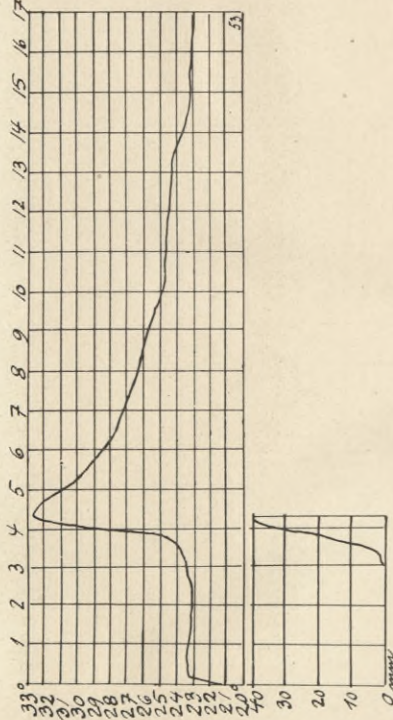


der Luft 30—30.4° C.
 " " im Mittel 30.2° C.
 des Zementes 29.70° C.
 des Wassers 28.95° C.

77—79.5 v. H.
 im Mittel 78.4 v. H.

Temperatur
 Feuchtigkeit
 der Luft

16. August 1906

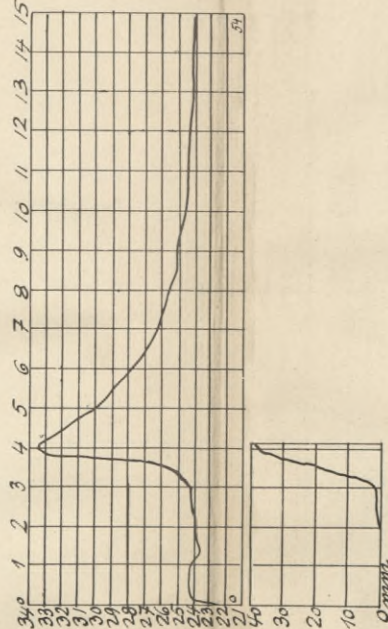


der Luft 21.2—23.4° C.
 " " im Mittel 22.4° C.
 des Zementes 21.55° C.
 des Wassers 20.45° C.

78.5—87 v. H.
 im Mittel 83 v. H.

Temperatur
 Feuchtigkeit
 der Luft

18. September 1906

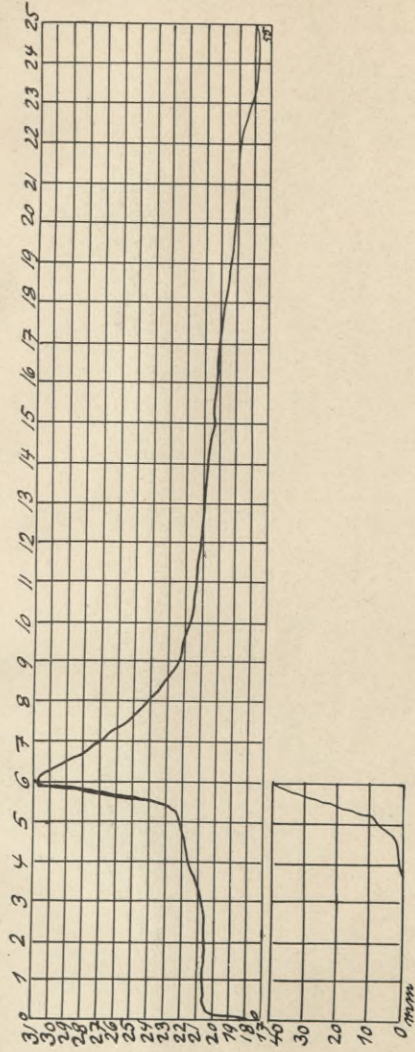


der Luft 21.8—23.8° C.
 " " im Mittel 22.9° C.
 des Zementes 22.85° C.
 des Wassers 21.35° C.

72—79.5 v. H.
 im Mittel 75.3 v. H.

Temperatur
 Feuchtigkeit
 der Luft

16. Oktober 1906

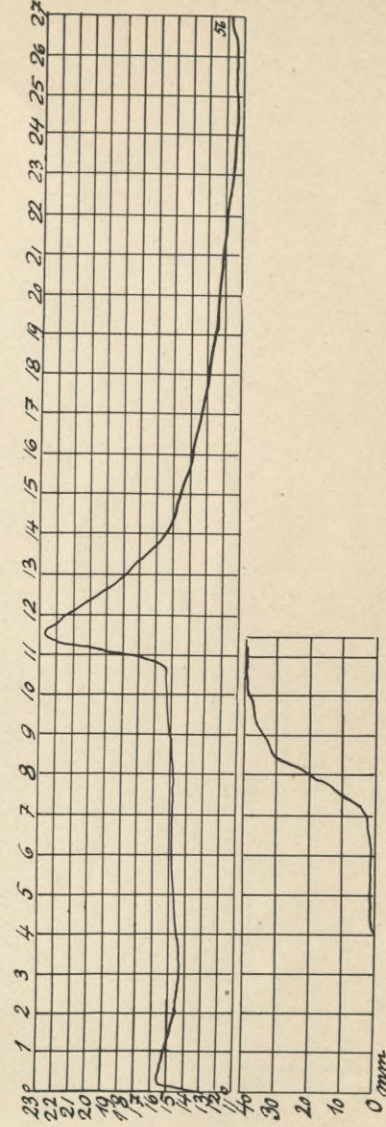


der Luft 18.4—20.9° C.
 " " im Mittel 20° C.
 des Zementes 17.75° C.
 des Wassers 17.60° C.

84.5—92 v. H.
 im Mittel 87.2 v. H.

Temperatur
 Feuchtigkeit
 der Luft

16. November 1906



der Luft 13—14.1° C.
 " " im Mittel 13.7° C.
 des Zementes 13.40° C.
 des Wassers 12.80° C.

88—91.5 v. H.
 im Mittel 89.2 v. H.

Temperatur
 Feuchtigkeit
 der Luft

17. Dezember 1906

Diagramme für den am Ende der Abbindezeit wieder angemachten Mörtel.

Temperatur-Kurve b_3

Kurve des Nadelapparates a_2

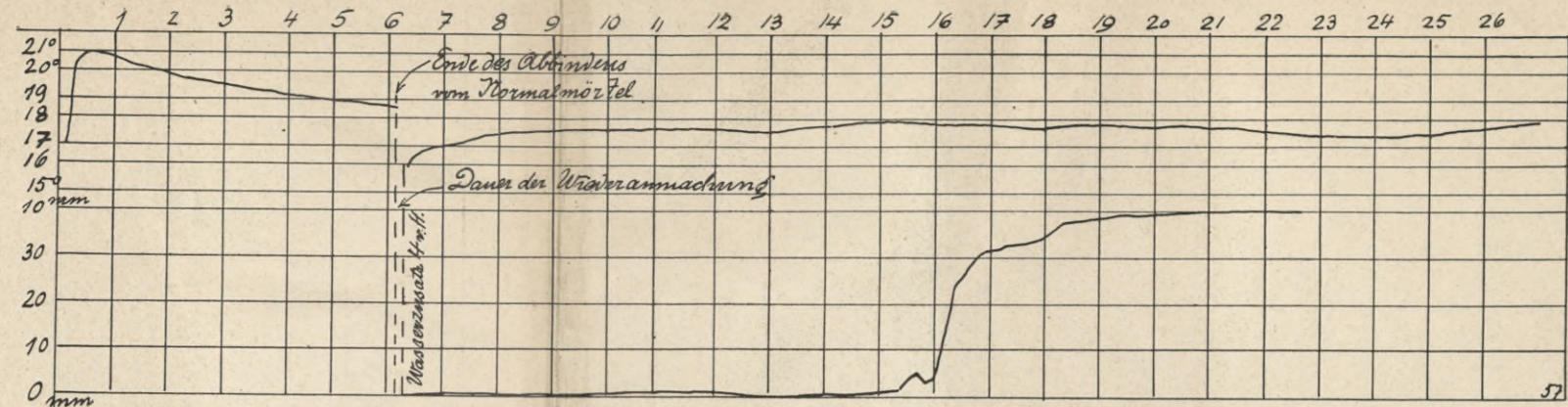


Diagramme für den beim Abbindebeginn wieder angemachten Mörtel.

Temperatur-Kurve b_2

Kurve des Nadelapparates a_2

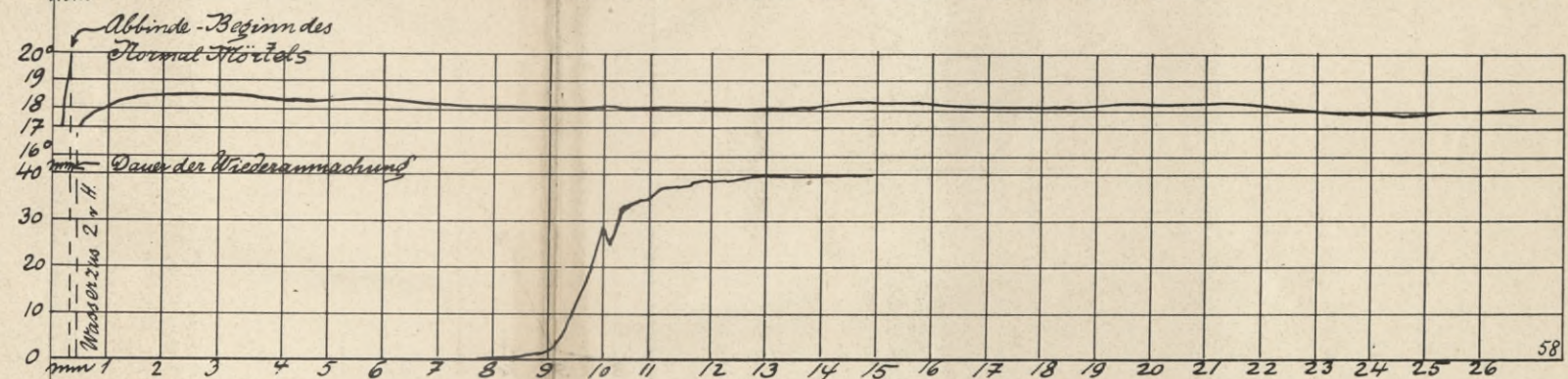
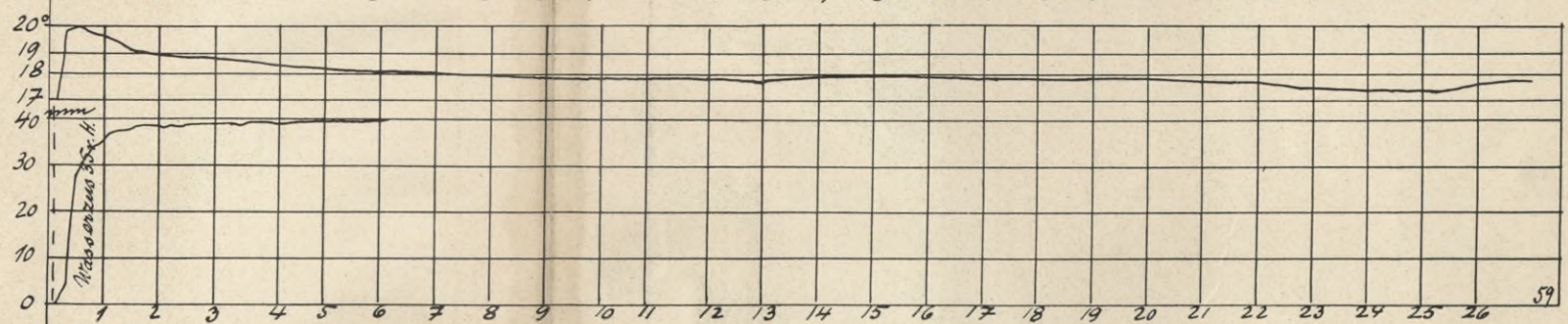


Diagramme für den normalangemachten Mörtel.

Temperatur-Kurve b_1

Kurve des Nadelapparates a_1



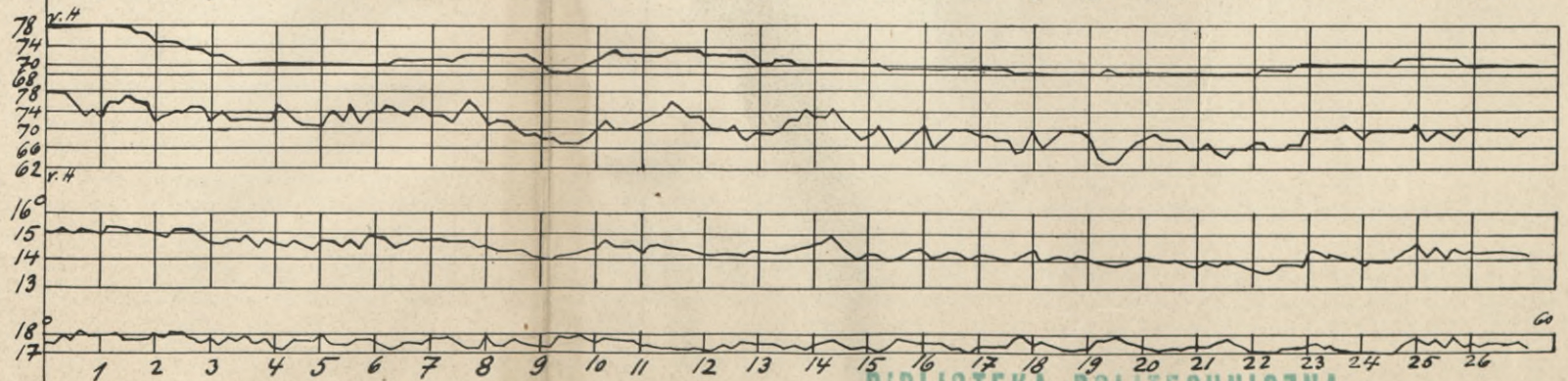
Feuchtigkeit und Temperatur

Spezifische Feuchtigkeit (Haarhygrometer)

Spezifische Feuchtigkeit (Psychrometer-Tafel)

Feuchtes Thermometer

Lufttemperatur



Zeit (in Stunden) nach dem ersten Wasserzusatz

S - 96

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

1809

Kdn 452/57

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297169