

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300102

Über den
elektrischen Widerstand von
nichtbewehrtem Beton
und seine
Einzelbestandtheile.

Von der Technischen Hochschule zu Darmstadt zum
Erlangung der Würde eines Doctor-Ingenieur vorgelegte

Dissertation

von
Dipl.-Ing. WILHELM MÜLLER



Z. v. L.

Über den
elektrischen Widerstand von
nichtbewehrtem Beton
und seinen
Einzelbestandteilen.

Von der Technischen Hochschule zu Darmstadt zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. WILLY MÜLLER
aus Bulmke.



Eingereicht am 13. Dezember 1909.
Mündliche Prüfung am 7. März 1910.

Vorsitzender: Geheimer Hofrat Prof. Dr. Wirtz.
Referent: Geheimer Hofrat Prof. Dr. Schering.
Korreferent: Geheimer Baurat Prof. Berndt.

Berlin 1911
WILHELM ERNST & SOHN.

Die Veröffentlichung dieser Arbeit erscheint als Bericht
in Hef 6 der Versuche des „Deutschen Ausschusses für
Eisenbeton“ im Verlage von Wilhelm Ernst & Sohn in Berlin.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW
III 15720

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Akc. Nr. 3290 / 49

Vorwort.

Bei der großartigen Entwicklung, welche die Zement- und Betonindustrie in den letzten Jahrzehnten durch die Lösung schwieriger technischer Probleme durchgemacht hat, ist naturgemäß die Kenntnis des Einflusses der Elektrizität auf Beton, Mörtel und Zement von hervorragender Bedeutung.

Hierzu gehört auch die Kenntnis des elektrischen Widerstandes des nichtarmierten Betons.

Gerade diese Kenntnis würde seinerzeit deutsche Städte vor den schlechten Erfahrungen geschützt haben, die mit der Verlegung der Schienen ihrer Straßenbahnen auf Beton (Schienenrückleitung des elektrischen Stromes) gemacht wurden, indem hierdurch der Schienenwiderstand gegen Erde beträchtlich vermindert und den vagabundierenden Strömen günstige Gelegenheit zu ihrer Entfaltung gegeben wurde.

Aber nicht nur die Straßenbahnen sind an der Frage des elektrischen Widerstandes von Beton interessiert, sondern auch die ausführenden Baufirmen und nicht zum mindesten der Auftraggeber eines Baues.

Für die Firmen ist die Kenntnis des Widerstandes insofern von prinzipieller Bedeutung, als gerade die großen Betonbauten wie Häuser und Brücken usw. sehr oft durch den Erdschluß der installierten elektrischen Licht- und Kraftleitung mit dem Strome in Berührung kommen. Je geringer nun der Widerstand des Baumaterials ist, desto größer sind die Störungen. Diese Störungen können aber auch schwere mechanische Folgen zeitigen, da der Beton durch die Einwirkung des Stromes unter Umständen rissig wird.

Aus diesen Erwägungen heraus entschloß sich der „Deutsche Ausschuß für Eisenbeton“ namhafte Mittel der Großherzoglichen Materialprüfungsanstalt zu Darmstadt für Versuche zwecks Klärung des Verhaltens von Beton betreffs der Leitung des elektrischen Stromes zu überweisen.

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis der Versuche, die in den Händen des Verfassers lagen.

Es sei mir gestattet, auch hier dem Vorstande der Materialprüfungsanstalt zu Darmstadt, Herrn Geheimen Baurat Professor Berndt, für das

Vertrauen, das er mir durch Ueberweisung dieser Arbeit bezeugte, sowie für sein liebenswürdiges Entgegenkommen während der Dauer der Versuche meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Während die Herstellung der Versuchskörper in der Materialprüfungsanstalt geschah, wurden die Versuche selbst im physikalischen Institut ausgeführt, woselbst mir der Vorstand, Herr Geheimer Hofrat Professor Dr. Schering, ein Laboratorium mit den nötigen Maschinen usw. zur Verfügung stellte, während Herr Geheimer Hofrat Professor Dr. Wirtz die zu den Messungen erforderlichen Instrumente aus dem elektrotechnischen Institut der Technischen Hochschule überwies.

Beiden Herren möchte ich nicht verfehlen, auch an dieser Stelle für ihr überaus freundliches Entgegenkommen mit Rat und Tat meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III
Die verwendeten Baustoffe	1
Vorversuche	3
Herstellung der Versuchskörper	8
Allgemeines über die Versuche	13
Berechnung des Mengenverhältnisses der einzelnen Stoffe für die Betonkörper	20
Der elektrische Widerstand von nichtbewehrtem Beton.	
a) Lagerung in Luft	26
b) Lagerung in feuchtem Sand	32
c) Lagerung in Süßwasser	36
d) Lagerung in Salzwasser	39
e) Erwärmung	39
f) Lagerung mit Goudronanstrich	50
Festigkeitsprüfung des Betons	52
Berechnung des Mengenverhältnisses der einzelnen Stoffe für die Mörtel- und Zementkörper	53
Der elektrische Widerstand von Mörtel und Zement.	
a) Lagerung in Luft	53
b) Lagerung in Süßwasser	58
c) Lagerung in Salzwasser	60
d) Erwärmung	62
Der elektrische Widerstand der einzelnen Rohstoffe.	
Herstellung der Versuchskörper und ihre Messung	65
Zusammenstellung der Ergebnisse	67

Die verwendeten Baustoffe.

Nach den Wünschen des „Deutschen Ausschusses für Eisenbeton“ sollten sich die Versuche über Beton aus Basaltschotter und solchem aus Rheinkies erstrecken.

Der Basaltschotter und Basaltsand wurde von der „Odenwälder Hartstein-Industrie, Darmstadt“ bezogen und zwar aus dem bei Darmstadt gelegenen Roßdörper Bezirk.

Der Rheinsand und Rheinkies kam von Gernsheim am Rhein, während der verwendete Zement Portland-Zement aus der Portland-Zementfabrik Heidelberg-Mannheim war; letzterer wurde in Weisenau bei Mainz hergestellt.

Das bei den folgenden Versuchen für die Herstellung der Versuchskörper zugrunde gelegte Raumgewicht sowohl von Zement wie Sand und Zuschlag, d. h. das Gewicht in Kilogramm pro 1 l, wurde an einem zylindrischen 10 l-Gefäß festgestellt, das einen Durchmesser von 270 mm und eine Höhe von 175 mm hatte. Das Einfüllen geschah durch langsames Abgleiten von der Kelle, welche dabei jeweils in einer Höhe von 175 mm gehalten wurde. Es ergab sich so im Mittel aus 5 Messungen ein Raumgewicht für:

Zement	zu 1,393 kg	}	abgedampft.
Basaltsand	„ 1,589 „		
Basaltschotter	„ 1,274 „		
Rheinsand	„ 1,649 „		
Rheinkies	„ 1,553 „		

Der Basaltsand war vollständig fein zermahlen und zeigte keine Beimengungen von größeren Steinen; sein spezifisches Gewicht war gleich dem des Basaltschotters 2,896.

Der Schotter selbst wurde durch ein Sieb mit quadratischen Löchern und 6 mm Maschenweite gesiebt, wobei der Rückstand mit einer Korngröße von 6—40 mm als Zuschlag verwendet wurde. Die Basaltsteine hatten scharfe und spitze Kanten und Ecken.

Ebenso wurde der Kies gesiebt und auch hierbei nur die Korngröße von 6—40 mm als Zuschlag benutzt, während, entgegen dem Schotter, alle Bestandteile unter 6 mm, also auch das Durchgesiebte, als Sand zur Verwendung kam. Das spezifische Gewicht des Rheinkieses und -sandess wurde zu 2,611 ermittelt.

Der Zement wurde der Normenprobe unterworfen.

Auf einem Siebe von 20 Maschen pro qcm hinterließ er keine steinigen Rückstände.

Die Gewichtsverhältnisse wurden einerseits durch Einlaufenlassen in einen kubischen Behälter von 100 mm Kantenlänge mit Hilfe des Einlaufapparates von Tetmajer ermittelt und andererseits durch Einrütteln bei 6000 Rüttelungen mit Hilfe des Einrüttelapparates von Tetmajer. Dieses geschah in ein zylindrisches Gefäß von 113 mm Durchmesser und 100 mm Höhe. Das Raumbgewicht des Zementes wurde auf diese Weise

eingelaufen zu 1,186 kg,
 eingerüttelt „ 1,845 „

gefunden.

Das spezifische Gewicht wurde mit Hilfe des Schumannschen Volumenometers unter Benutzung von Vierfachchlorkohlenstoff als Füllflüssigkeit ermittelt; es ergab sich für den

ungeglühten Zement zu 3,096,
 geglühten „ „ 3,189.

Der Glühverlust des Zementes betrug 1,23 %.

Sämtliche Ergebnisse stellen Mittelwerte aus je 3 Messungen dar.

Die Abbindeverhältnisse wurden an 2 Versuchskörpern mit dem Vicatschen Nadelapparat geprüft. Während der Versuche war die Temperatur des Versuchsaumes 18,0° C und seine Luftfeuchtigkeit 78,0 %.

Der Zement wurde mit 24 % Wasser zu einem Brei von normaler Steife angemacht. Der Erhärtungsanfang ergab sich nach 3½ Stunden und die Abbindezeit zu 6½ Stunden.

Um die Raumbeständigkeit zu prüfen, wurden aus dem reinen Zement mit einem Wasserzusatz von 24 % Kuchen hergestellt, die, nach den Rändern flach auslaufend, auf Glasplatten ausgebreitet waren. Ein Teil dieser Kuchen erhärtete nur an der Luft, die übrigen erhärteten 24 Stunden an der Luft und danach 27 Tage unter Wasser von durchschnittlich 18,0° C. Diese Kuchen bekamen dabei keine Risse oder Verkrümmungen, so daß der Zement keine Neigung zum Treiben zeigte. Ebenso konnte die mit den Kuchen angestellte Darrprobe, sowie die Kochprobe von Michaelis und die Heintzelsche Kugelprobe als bestanden gelten.

Um die Feinheit der Mahlung festzustellen, wurde der bei 105° C getrocknete Zement mit Hilfe des Siebapparates maschinell gesiebt. Bei 6000 Schüttelungen ergaben sich folgende Rückstände:

Sieb mit Maschen pro qcm	900	2500	4900
Gesamtrückstand auf den Sieben in %	1,4	12,8	35,2
Rückstand zwischen je 2 Sieben in %	11,4	22,4	

Somit gingen 64,8 % des Zementes durch das feinste angewendete Sieb.

Diese Ergebnisse sind Mittelwerte aus 4 Messungen.

Am 26. III. 1909 wurden bei einer Temperatur von 18,0° und einer Luftfeuchtigkeit von ca. 57 % die Probekörper zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit hergestellt.

Die Mörtelproben wurden aus 1 Gewichtsteil Zement und 3 Gewichtsteilen Normalsand aus Freienwalde bei Berlin unter einem Wasserzusatz von 8,75 % (destilliertes Wasser) angemacht. Das Mischen erfolgte mit dem Mörtelmischer Bauart Steinbrück-Schmelzer, das Einschlagen der Formen mit dem Hammerapparat von Böhme normengemäß.

Die Proben erhärteten den ersten Tag, gegen zu schnelle Verdunstung geschützt, an der Luft und die übrige Zeit in Wasser von 18° C. Unmittelbar

nach der Entnahme aus dem Wasser wurden sie geprüft. Ueber die Ergebnisse gibt Tabelle 1 Aufschluß. Es ergibt sich aus 10 Zug- resp. Druckkörpern im Mittel nach

7 Tagen 24,53 kg/qcm resp. 242 kg/qcm,
28 „ 28,94 „ „ 345 „ „

was einem sehr guten Zement entspricht.

Das Verhältnis $\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$ berechnet sich daraus

nach 7 Tagen zu $\frac{1}{9,9}$

„ 28 „ „ $\frac{1}{11,9}$

im Mittel also $\frac{1}{10,9} = 0,0918$.

Tabelle 1.
Zementprüfung.

Mischungs- verhältnis $\frac{\text{Zement}}{\text{Sand}}$ Gewichtsteile	Ver- suchs- Nr.	Zugproben (Normalform) Zerreiquerschnitt = 5 qcm Zugfestigkeit in kg/qcm		Druckproben (Normal- form) Gedrückte Fläche = 50 qcm Druckfestigkeit in kg/qcm		Verhältnis $\frac{\text{Zug}}{\text{Druck}}$ Tage	
		7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage	7	28
		1 : 3	1	24,40	28,35	250	351
	2	25,70	30,20	234	350		
	3	25,90	27,75	240	350		
	4	24,90	26,20	228	344		
	5	24,30	27,60	248	345		
	6	23,60	30,00	254	349		
	7	23,80	31,25	246	352		
	8	22,80	28,60	236	335		
	9	25,00	27,90	232	343		
	10	24,90	31,60	248	329		
	Mittel	24,53	28,94	242	345	$\frac{1}{9,9}$	$\frac{1}{11,9}$

Herstellung der Formen am 26. III. 09.

Luftfeuchtigkeit 57 0/0.
Temperatur 18° C.
Wasserzusatz 8,75 0/0.

Mittleres Raumgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen { Zugformen 2,220 gr/ccm,
Druckformen 2,209 gr/ccm.

$\frac{1}{10,9}$

Vorversuche.

Professor Dr. Lindeck hatte schon im Jahre 1896 in der Elektrotechnischen Zeitschrift als Mitteilungen aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Ermittlungen über Beton- und Zementwiderstände veröffentlicht; seine Mitteilungen sind aber in mancher Beziehung nicht genügend, indem genaue Angaben über die Bestandteile des Betons, das Einstampfen, die Lagerung der Körper usw. nicht gemacht wurden. Und doch sind gerade diese Einzelheiten von größtem Werte. Professor Lindeck hatte wohl nur die Absicht, die ungefähre Größenordnung der Widerstände zu ermitteln¹⁾.

¹⁾ Versuche von Dyckerhoff & Widmann, A.-G. in Cossebaude (1908) (nicht veröffentlicht). Die Versuche erstreckten sich lediglich auf eine angenäherte Bestimmung der Widerstandsänderungen ohne Berücksichtigung der Uebergangs-Widerstände mit Gleichstrom. Die Ergebnisse stimmen im allgemeinen mit den auf Grund der vorliegenden Arbeit ermittelten Gesetzen überein.

Bei den in der Technischen Hochschule zu Darmstadt vorgenommenen Vorversuchen wurde ein Block von derselben Größe und Elektrodenanordnung wie ehemals in der Reichsanstalt benutzt. Dieser kleine Block hatte einen Querschnitt von 10×10 cm und eine Länge von 40 cm. Zu dem Beton mit dem Mischungsverhältnis $1 : 2,5 : 2,5$ wurde Basaltschotter als Zuschlag mit einem Wasserzusatz von ca. 8% genommen. Das Einstampfen geschah in eine Holzform mit einem Stämper von 9×9 cm Fläche und 5 kg Gewicht. Jede Stelle wurde 12 mal d. h. in vierfacher Wiederholung zu je 3 mal gestoßen, indem der Stämper aus einer Höhe von 25 cm herunterfiel.

In den Beton wurden nach dem Stampfen 2 Hauptelektroden etwa 3 cm von den Enden entfernt eingeschlagen. In der Mitte und ca. 10 cm von hier nach beiden Seiten waren je 2 Zwischenelektroden eingesetzt (Abb. 1). Sämtliche Elektroden bestanden aus gelochtem Eisenblech von 1,5 mm Dicke, das noch mit der Walzhaut versehen war. Die Hauptelektroden E_1 und E_2 hatten eine Größe von 8×8 cm Fläche, die Zwischenelektroden $e_1 - e_6$ dagegen eine Breite von 2,5 cm und ragten 8 cm in den Beton hinein.

Die Messungen begannen 6 Tage nach dem Einstampfen, und zwar wurde hierzu Gleichstrom von ca. 0,03 Amp. genommen.

Abb. 1 veranschaulicht das Schaltungs-

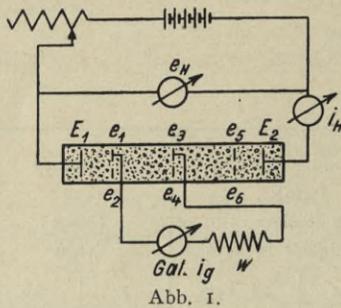


Abb. 1.

einander an $e_1 e_3$, $e_3 e_5$ und $e_1 e_5$ gelegt. Um den Strom, der durch das Galvanometer fließt, in kleinen Grenzen zu halten, wurde dem Instrument ein Widerstand von $99\,000 \Omega$ vorgeschaltet. e_H war ein Voltmeter und i_H ein Milliampere-

meter. Die nach dieser Methode gefundenen Werte waren vollständig einwandfrei, da hierbei die Summe der Widerstände von $e_1 e_3$ und $e_3 e_5$ gleich dem Widerstande $e_1 e_5$ war. Die Messungen ergaben:

Lagerdauer Tage	$e_1 e_3$	$e_3 e_5$	$e_1 e_3 + e_3 e_5$	$e_1 e_5$
6	971	993	1964	1978
Lagerdauer Tage	$e_2 e_4$	$e_4 e_6$	$e_2 e_4 + e_4 e_6$	$e_2 e_6$
7	1155	1047	2202	2218

Nachdem in den folgenden Tagen diese Messungen auf ihre Richtigkeit nochmals geprüft wurden, zeigten sich am zehnten Tage nach Prüfungsbeginn beträchtliche Störungen am Galvanometer, welche weitere Messungen unmöglich machten. Eine nähere Untersuchung führte darauf zu dem Ergebnis, daß der Block selbst wie ein Sekundärelement wirkte, und zwar konnte an den Hauptelektroden eine für den ersten Augenblick des Kurzschließens konstante Stromstärke von $0,000\,003\,98$ Amp. ermittelt werden, welche dann allmählich ab-

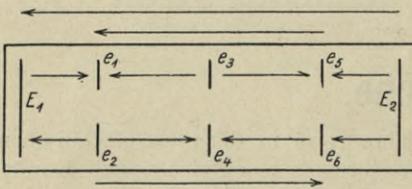


Abb. 2.

nahm. Dieser Polarisationsstrom hatte aber zwischen den einzelnen Elektroden nicht die gleiche Richtung, weswegen sich die Ströme beim Kurzschließen der Hauptelektroden zum Teil aufhoben. Den Verlauf der Ströme im Block gibt obenstehende Skizze zu erkennen (Abb. 2).

Um diese Ströme zu vernichten, wurden die einzelnen Elektroden untereinander mit dicken Kupferdrähten für mehrere Tage verbunden. Da dieses Verfahren ohne Erfolg blieb, lag der Schluß nahe, daß nicht etwa der verwendete Gleichstrom der Erreger der Ströme sei, sondern daß sie von vornherein im

Block auftreten müßten. Eine Untersuchung an einem neugestampften Betonkörper ergab denn auch die Richtigkeit dieser Vermutung.

Es war nun klar, daß wegen der im Laufe der Zeit durch den Gleichstrom eintretenden Verstärkung der Polarisationsströme eine Messung nur mit Wechselstrom erfolgen konnte.

Auf Grund dieser Erkenntnis nahm Verfasser die Messung mittels der gewöhnlichen Telephonbrücke und Induktorium vor, indem einmal Teil $e_1 e_5$ des Blockes und dann $e_1 e_3$ und $e_3 e_5$ als unbekannter Widerstand in die Brückenschaltung gelegt wurde. Hierbei ergaben sich vollständig verschiedene Werte für $e_1 e_5$ und $(e_1 e_3 + e_3 e_5)$, deren Unterschied lediglich auf den Uebergangswiderständen bei e_3 beruhten.

Demzufolge mußte, da die Uebergangswiderstände nicht zu vernachlässigen waren, eine Methode gefunden werden, die diese ausschaltete.

Zu diesem Zwecke wurde die Methode von Matthießen und Hockin umgeändert und zugleich mit Wechselstrom angewendet¹⁾.

Abb. 3 gibt das Schaltungsschema.

Der Normalwiderstand R (Stöpselkasten) ist mit dem Block und der Drahtbrücke zu der Brückenschaltung vereinigt. Das Telephon wird nun zuerst an Zwischenelektrode 1, dann an 2 und endlich an Hauptelektrode 3 gelegt, wobei R stets konstant ist. Da der Beton die im Verhältnis zum Blockquerschnitt kleinen Zwischenelektroden außerordentlich fest umschloß, konnten die eventuell auftretenden Uebergangswiderstände an den Nebenelektroden vernachlässigt werden, wie es sich auch bei einer Messung am ersten Probekblock dadurch zeigte, daß der Widerstand von $e_1 e_5$ gleich demjenigen von $(e_1 e_3 + e_3 e_5)$ war.

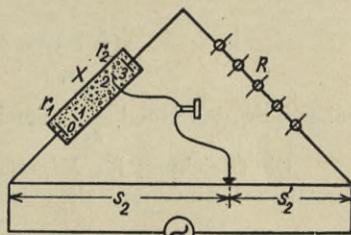


Abb. 3.

Es sei X der reine Betonwiderstand zwischen den Zwischenelektroden 1 und 2, r_1 der Widerstand zwischen der Hauptelektrode 0 und der Zwischenelektrode 1 und r_2 derjenige zwischen der Hauptelektrode 3 und der Zwischenelektrode 2. r_1 resp. r_2 setzt sich zusammen aus dem reinen Betonwiderstand x_1 resp. x_2 des betr. Blockstückes und dem Uebergangswiderstand w_{11} resp. w_{22} an der zugehörigen Hauptelektrode.

Man erhält auf diese Weise die 3 folgenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} r_1 : s_1 &= (R + r_2 + X) : s'_1 & (1) \\ (X + r_1) : s_2 &= (R + r_2) : s'_2 & (2) \\ (r_2 + X + r_1) : s_3 &= R : s'_3 & (3) \end{aligned}$$

Aus der Subtraktion von (3) und (2) ergibt sich:

$$r_2 = R \frac{\frac{s_3}{s'_3} - \frac{s_2}{s'_2}}{1 + \frac{s_2}{s'_2}} = R \frac{s_3 s'_2 - s_2 s'_3}{s'_3 (s'_2 + s_2)} \quad (4)$$

Es ist

$$s_1 + s'_1 = s_2 + s'_2 = s_3 + s'_3 = l \text{ (Meßdrahtlänge).}$$

Also ist

$$r_2 = \frac{R}{s'_3} (s_3 - s_2) \quad (5)$$

¹⁾ Wie Verfasser nachträglich erfuhr, wurde diese Methode schon von Streitz zur Untersuchung chemischer Pulver verwendet. (Voit, Sammlung elektrotechnischer Vorträge, Bd. IV, 1903.)

Aus Gleichung (1) und (2) erhält man unter Einsetzung des Wertes für r_2

$$X = R \frac{\left(\frac{s_2}{s_2'} - \frac{s_1}{s_1'}\right) \left(1 + \frac{s_3}{s_3'}\right)}{\left(1 + \frac{s_2}{s_2'}\right) \left(1 + \frac{s_1}{s_1'}\right)} = \frac{R}{s_3'} (s_2 - s_1) \quad (6)$$

Da

$$(r_1 + X + r_2) = \Sigma = \frac{R}{s_3'} s_3 \quad (7)$$

ist, so ergibt sich

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{R}{s_3'} s_3 - X - r_2 \\ &= \frac{R}{s_3'} s_1 \end{aligned} \quad (8)$$

Diese 3 gefundenen Gleichungen:

$$X = \frac{R}{s_3'} (s_2 - s_1)$$

$$r_1 = \frac{R}{s_3'} s_1$$

$$r_2 = \frac{R}{s_3'} (s_3 - s_2)$$

haben alle das Glied $\frac{R}{s_3'}$ gemeinsam.

Die Gleichung für X gestattet die Berechnung des reinen Betonwiderstandes; gemäß der Annahme, die, wie später zu sehen ist, wahrscheinlich ungenaue Ergebnisse zeitigt, daß nämlich der jeweilige Widerstand pro $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$ an allen Stellen des Blockes gleich ist, erlauben dann die Gleichungen für r_1 und r_2 die Ermittlung der Uebergangswiderstände.

Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß seine Anwendung unmöglich wird, sobald der Beton- oder Uebergangswiderstand sehr groß ist. In diesem Falle ist das Tonminimum im Telephone trotz eines sehr dünnen Meßdrahtes nicht mehr genau wahrnehmbar und muß deshalb ein anderes Verfahren Platz greifen. Als einzige noch anwendbare Messung kann das Elektrometerverfahren mit Wechselstrom gelten.

Für die Vorversuche mit diesem Verfahren stand zuerst ein Elektrometer zur Verfügung, dessen Meßbereich durch Vorschalten einer Kapazität vergrößert

wurde. Die Stromquelle war eine Wechselstrommaschine, welche auf einen Transformator arbeitete. Abb. 4 zeigt die Schaltung nur mit dem Unterschied, daß am Normalwiderstand NW dasselbe Elektrometer lag wie am Block.

Die Stromstärke wurde durch eine Spannungsmessung am induktionsfreien Normalwider-

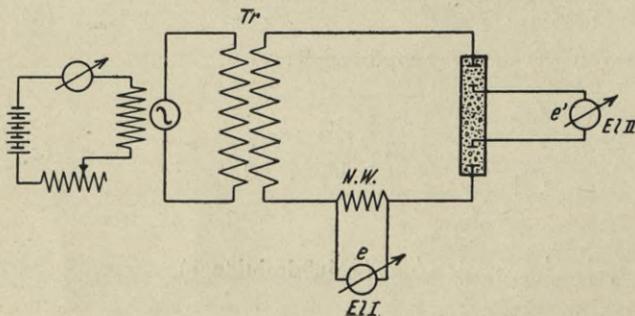


Abb. 4.

stand ermittelt. Diese ergab mit Hilfe der darauf am Block gemessenen Spannung (Zwischenelektroden) den reinen Betonwiderstand. Als Kapazität diente ein Luftkondensator, dessen Plattenabstand mit Hilfe einer Mikrometerschraube verändert werden konnte.

Das Elektrometer, von Carpentier-Paris, hatte idiostatische Schaltung.

Bei den Messungen ergaben sich dieselben Werte wie mit dem oben ausgeführten Brückenverfahren. Nachdem jedoch die Austrocknung des Blockes künstlich beschleunigt war, trat folgende Erscheinung auf:

Wurde vor das Elektrometer eine Luftkapazität zwecks Aenderung des Meßbereiches geschaltet, so zeigte es trotz vorangegangener Eichung in derselben Anordnung andere Spannungswerte, wie wenn es ohne Kapazität an den Block gelegt wurde. Auch ergaben sich wiederum Unterschiede, je nachdem die Elektrometer- und Kondensatorklemme vertauscht wurde (siehe Abb. 5 und 6).

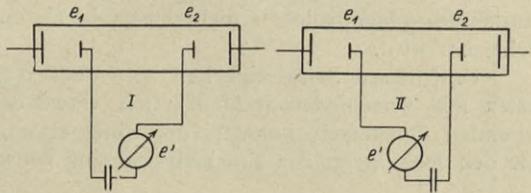


Abb. 5 und 6.

Es ergaben sich auf diese Weise folgende Spannungswerte bei derselben Stromstärke:

	Fall	e' Volt		Fall	e' Volt
Ohne Kapazität	I	45	Mit Kapazität	I	76
	II	45		II	41

Wurden die Blockenden an den Hauptelektroden mit Wasser durchtränkt, so traten die Unterschiede weniger stark hervor:

	Fall	e' Volt	Fall	e' Volt
Ohne Kapazität	I	43,4	I	46,8
	II	43,4	II	46,8
Mit Kapazität	I	58,3	I	63,8
	II	49,1	II	58,2

Sämtliche Versuche wurden nun an einem Normalwiderstand wiederholt, wo sich selbstverständlich dieses abweichende Verhalten nicht zeigte.

Auch die Vertauschung der Maschinenklemmen brachte eine besondere Wirkung hervor:

Kapazität	Lage der Kapazität Fall	Elektrometerauschlag n	Maschinenklemmen vertauscht n'
a	I	4,50	1,30
a	II	1,30	4,60
b	I	6,75	2,75
b	II	2,75	6,80
c	I	9,30	4,55
c	II	4,60	9,20

Bei diesen Messungen wurde die Erregung gleichbleibend erhalten.

Hiernach ergibt sich, daß die Werte für Fall I gleich den Werten für Fall II sind, wenn die Maschinenklemmen vertauscht werden.

Die hier auftretenden Erscheinungen konnten nicht weiter aufgeklärt werden; man dürfte aber wohl nicht fehl gehen, wenn man sie als Ladungserscheinungen auffaßt.

Es möge hier auf eine bei den späteren Versuchen unter dem Kapitel „Erwärmung“ auftretende Eigenschaft der Blöcke hingewiesen werden, wo sich

ähnliches zeigte, das den Gedanken an eine „Uebergangskapazität“ an den Elektroden nahelegt. Der Probekörper wurde demgemäß einer Kapazitätsmessung mit Hilfe der gewöhnlichen Brückenschaltung und einem Vergleichskondensator unterworfen, die aber keine Erfolge zeitigte. Dieses schließt natürlich das Vorhandensein einer solchen nicht aus, da sie in diesem Falle sicherlich nur sehr klein sein wird.

Um diesen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, wurden 2 Elektrometer mit verschiedenem Meßbereich verwendet (Abb. 4). Die hierbei sich ergebenden Messungen konnten als völlig einwandfrei angesehen werden, da sie mit den Messungen des Brückenverfahrens genau übereinstimmten.

Herstellung der Versuchskörper.

Die nunmehr beginnenden endgültigen Versuche fanden vom 17. März 1909 bis zum 30. Oktober desselben Jahres statt.

Dem Programm des „Deutschen Ausschusses für Eisenbeton“ gemäß erfolgte die Einteilung der ganzen Arbeit in hauptsächlich 5 Gruppen:

1. Lagerung an der Luft,
2. „ in feuchtem Sand,
3. „ in Süßwasser,
4. „ in Salzwasser,
5. Erwärmung (künstliche Austrocknung).

Jede dieser 5 Gruppen war für die Mischungsverhältnisse 1:3:3 und 1:4:8 durchzuführen, indem die Mischung einerseits erdfeucht resp. weich, andererseits mit Basaltsand und -schotter resp. Rheinsand und -kies herzustellen war.

Auf Grund der Versuchsergebnisse mußte diese Einteilung aber noch erweitert werden, und zwar kamen Betonkörper in Betracht, die, mit einem Goudronanstrich versehen, vollständig unter Luftabschluß erhärteten.

Wünschenswert war noch die Ermittlung des Widerstandes des bei der Betonbereitung benutzten Mörtels und Zementes, welche ebenfalls bei verschiedener Behandlung, sowie in verschiedener Mischung untersucht wurden. Es kamen hier besonders die 4 Gruppen:

1. Lagerung an der Luft,
2. „ in Süßwasser,
3. „ in Salzwasser,
4. Erwärmung (künstliche Austrocknung),

in Betracht.

Als Ergänzung, dieser sämtlichen Versuche wurde noch der Widerstand der reinen Stoffe, Zement, Basalt- und Rheinsand, im natürlichen Zustande ermittelt.

Die genaue Verteilung der Versuchskörper gibt Tabelle 2 wieder.

Um einen eventuellen Einfluß eines dauernden Stromes auf den Widerstand und die Festigkeit feststellen zu können, wurde neben jedem Meßblock der Luft und Sandlagerung ein entsprechender Vergleichsblock in denselben Abmessungen aber ohne Elektroden hergestellt, wie ebenfalls Tabelle 2 anzeigt. Die Anfertigung von Meß- und Vergleichsblock erfolgte im allgemeinen am gleichen Tage und aus derselben Mischung.

Während bei den Vorversuchen nur kleine Blöcke mit 10×10 cm Querschnitt und 40 cm Länge verwendet wurden, war es für die endgültigen Versuche nötig, zu einer größeren Form überzugehen. Der Grund hierzu lag zum Teil darin, daß die Körper zwecks Untersuchung der Festigkeit in Würfel zersägt, und diese nachher in einer Presse zerdrückt werden mußten. Diese Würfel mußten

Verteilung der Versuchskörper.

Tabelle 2.

Meßblöcke Nr.	Beschaffenheit Beton	Mischungs- verhältnis	Lagerung	Vergleichs- blöcke Nr.
1	erdfeucht Schotter	1 : 3 : 3	Luft	2
3	" Kies	"		4
5	weich Schotter	"		6
7	" Kies	"		8
9	erdfeucht Schotter	1 : 4 : 8		10
11	" Kies	"		12
13	weich Schotter	"		14
15	" Kies	"		16
17	erdfeucht Schotter	1 : 3 : 3	Sand (feucht)	18
19	" Kies	"		20
21	weich Schotter	"		22
23	" Kies	"		24
25	erdfeucht Schotter	1 : 4 : 8		26
27	" Kies	"		28
29	weich Schotter	"		30
31	" Kies	"		32
33	erdfeucht Schotter	1 : 3 : 3	Süßwasser	
34	" Kies	"		
35	weich Schotter	"		
36	" Kies	"		
37	erdfeucht Schotter	1 : 4 : 8		
38	" Kies	"		
39	weich Schotter	"		
40	" Kies	"		
41	erdfeucht Schotter	1 : 3 : 3	Salzwasser (3,6 ^o /oig)	
42	" Kies	"		
43	weich Schotter	"		
44	" Kies	"		
45	erdfeucht Schotter	1 : 4 : 8		
46	" Kies	"		
47	weich Schotter	"		
48	" Kies	"		
49	erdfeucht Schotter	1 : 3 : 3	Erwärmung (bis 100 ^o)	
50	" Kies	"		
51	weich Schotter	"		
52	" Kies	"		
53	erdfeucht Schotter	1 : 4 : 8		
54	" Kies	"		
55	weich Schotter	"		
56	" Kies	"		
57	weich Schotter	1 : 3 : 3	Goudronanstrich	
58	" Kies	"		
59	Zement und Basaltsand	1 : 3	Luft	
60	" " Rheinsand	"		
61	" " Basaltsand	1 : 4		
62	" " Rheinsand	"		
63	Zement und Basaltsand	1 : 3	Süßwasser	
64	" " Rheinsand	"		
65	" " Basaltsand	1 : 4		
66	" " Rheinsand	"		
67	Zement und Basaltsand	1 : 3	Salzwasser (3,6 ^o /oig)	
68	" " Rheinsand	"		
69	" " Basaltsand	1 : 4		
70	" " Rheinsand	"		
71	Zement und Basaltsand	1 : 3	Erwärmung (bis 100 ^o)	
72	" " Rheinsand	"		
73	" " Basaltsand	1 : 4		
74	" " Rheinsand	"		
75	Zement		Luft	
76	"		Süßwasser	
77	"		Salzwasser	
78	"		Erwärmung	
79	Zement			
80	Basaltsand	} Reine Materialien }	feucht,	
81	Rheinsand		unter Druck	

Große Blöcke.

Kleine Blöcke

Hart-
gummi-
form.

sich möglichst der Normalform mit 300 mm Kantenlänge nähern, zumal die durch ungleichmäßige Zusammensetzung des Betons auftretenden Ungenauigkeiten im Ergebnis bei großen Würfeln weniger ins Gewicht fallen als bei kleinen. Außerdem ist die Größe des Querschnittes von Einfluß auf die Meßwerte, indem bei Blöcken mit kleinem Querschnitt die Austrocknung bedeutend schneller vor sich geht; starke Querschnitte und große Betonmassen kommen aber fast ausschließlich in der Praxis vor.

Um die Gewichte der Blöcke wegen der Beförderung in zweckmäßigen Grenzen zu halten, wurde die Größe des Querschnittes auf 20×20 cm festgesetzt. Die Anordnung von 3 Paar Zwischenelektroden konnte jetzt verlassen werden, zumal die mittelsten Elektroden nur eine unnötige Störung des Stromes verursachen würden. Der Abstand der 2 Zwischenelektroden ergab sich zu 50 cm, da 2 Würfel von 20 cm Kantenlänge für die Festigkeitsuntersuchung herauszuschneiden waren. Die unbekanntere Verteilung der Stromfäden im Blockinnern während der Messung erforderte einen möglichst großen Abstand der Zwischenelektroden von den Hauptelektroden, um die Messung an einem Teil zu ermöglichen, wo der Strom den ganzen Querschnitt durchfließt und seine Fäden möglichst parallel sind.

Unter der Berücksichtigung, daß die Hauptelektrodenfläche dem Blockquerschnitt an Größe fast gleich gemacht wurde, konnte der Abstand jeder Zwischenelektrode von der zugehörigen Hauptelektrode auf 15 cm festgesetzt werden. Die ganze Größe der Blöcke ergab sich demgemäß zu 900 mm und ihr Gewicht zu durchschnittlich 90 kg.

Die Herstellung geschah in Holzkästen von der entsprechenden Größe (Abb. 7—9). Zwecks Vermeidung von Wasserverlust waren sie gut geölt. Um einen genauen Abstand der Zwischenelektroden, sowie eine gute Verbindung zwischen ihnen und dem Beton zu ermöglichen, waren in die beiden Seiten-

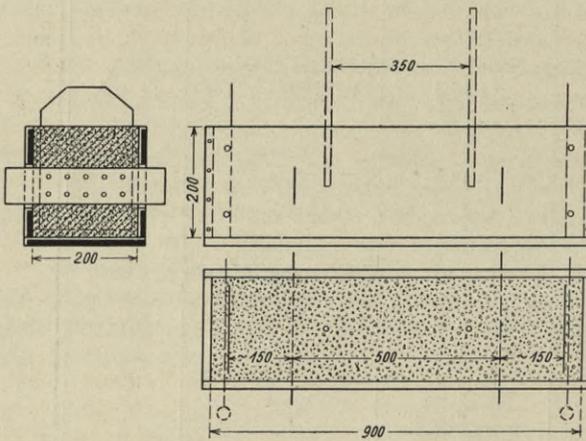


Abb. 7—9.

wände Schlitze gesägt, durch welche die in Abb. 11 abgebildeten Zwischenelektroden gesteckt und mit eingestampft wurden. Die Hauptelektroden wurden ebenfalls eingestampft. Ihre senkrechte

Stellung wurde dadurch erreicht, daß durch den Kasten oben und unten 2 starke Eisendrähte gesteckt wurden, gegen die sich beim Stampfen die Hauptelektroden legten (Abb. 9).

Die Elektroden waren aus Eisenblech von 1,5 mm Stärke, durch Schleifen von ihrer Walzhaut befreit und zwecks besserer Haftung am

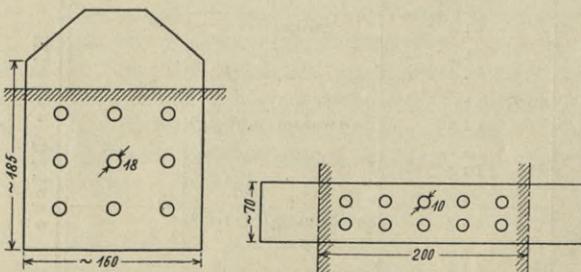


Abb. 10 und 11.

Beton mehrfach durchbohrt. Die Größe der Hauptelektroden betrug ca. 160×185 mm; der Durchmesser der 9 Löcher war 18 mm (Abb. 10). Die Zwischenelektroden

hatten eine Breite von ca. 70 mm und 10 Löcher von 10 mm Durchmesser (Fig. 11). Ein Verbiegen infolge des Stampfens konnte bei ihnen nicht festgestellt werden.

Die Herstellung der Blöcke geschah auf folgende Weise:

Zunächst wurden zwecks Ermittlung des Wasserzusatzes für den „erdfeuchten“ und „weichen“ Zustand Versuche mit den eisernen Normalformen (Würfel mit 300 mm Kantenlänge) gemacht, wobei sich folgende Tabelle über den auf die abgedampfte Mischung bezogenen, notwendigen Wasserzusatz ergab:

Mischungsverhältnis	Art des Betons	Wasserzusatz %
1 : 3 : 3	erdfeucht Schotter	8,80
	weich „	10,40
	erdfeucht Kies	7,10
	weich „	8,10
1 : 4 : 8	erdfeucht Schotter	7,75
	weich „	9,40
	erdfeucht Kies	5,50
	weich „	7,93

Nach Ermittlung dieser Werte konnten die Blöcke hergestellt werden.

Das Mischen und Stampfen des Betons geschah von Hand durch einen geübten Arbeiter der Materialprüfungsanstalt unter ständiger Aufsicht des Verfassers, während das Abwiegen der Bestandteile und des Wassers auf einer Dezimalwaage vom Verfasser selbst besorgt wurde.

Die ganze Herstellung der Körper geschah normengemäß. Das Mischen der Bestandteile für höchstens 2 Blöcke erfolgte mit der Schaufel auf einer Marmorplatte. Zuerst wurden Zement und Sand 5 mal trocken gut durcheinander gemischt, indem beide von einer Stelle der Platte auf eine benachbarte geschaufelt wurden. Hierauf kam der etwas angefeuchtete Zuschlag hinzu und wurde wieder 5 mal gut mit Zement und Sand vermischt. Nachdem allmählich die richtige Wassermenge zugesetzt war, wurde nochmals eine kräftige Mischung vorgenommen, wobei die Masse vor Zugluft und Sonne geschützt war.

Das Stampfen erfolgte so, daß zunächst in den auf einer Sandschicht ruhenden Kasten längs der unteren Kanten Betonmasse vorgelegt und in diese fest eingestampft wurde, um bei dem Block ein Abbröckeln der Ecken tunlichst zu vermeiden. Darauf wurde die erste Schicht bis zur halben Höhe des Kastens (10 cm) eingelegt, mit der Kelle an den Seiten zur Vermeidung von Nestern und Hohlräumen heruntergestochen, die Oberfläche geebnet und der Aufsatzkasten aufgeschraubt. Das darauf erfolgte Stampfen geschah in 2 Reihen gemäß den Ziffern in nebenstehender Abb. 12.

In jeder Reihe waren 8 Stampfstellen, auf die durch freies Herunterfallen des 12 kg schweren Normalstampfers (mit 12×12 cm Fläche) aus 25 cm Höhe je 3 mal gestampft wurde. Nachdem die erste Reihe (1—8) durchgearbeitet war, wurde die zweite (9—16) angefangen. Nach dem fertigen Hingang begann auf dessen letzter Stampfstelle (16) der Rückgang.

Auf diese Weise wurde dann nochmals hin- und zurückgegangen, wodurch im ganzen pro Stelle 12 Schläge, d. h. pro Stampfschicht 192 Schläge erfolgten.

Nachdem die erste Schicht erledigt war, wurden die Elektroden eingesetzt, die Oberfläche aufgeraut, neue Betonmasse eingelegt und wie vorher weiter ver-

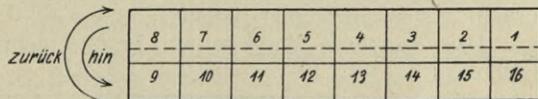


Abb. 12.

fahren. Nach dem Stampfen wurden die Eisendrähte herausgezogen, darauf die Oberfläche des Blockes mit der Betonmasse entsiebttem Mörtel geglättet und mit Nummer und Datum versehen.

Die Körper wurden nach ihrer Fertigstellung 2 Tage in der Form belassen, indem 24 Stunden nach dem Stampfen die Seitenwände aufgeschraubt und am zweiten Tage die Blöcke entformt wurden. Nach der Wägung kamen sie 5 Tage in feuchten Sand, um am siebenten Tage wieder gewogen und zur Prüfung in das physikalische Laboratorium der Hochschule überführt zu werden.

Bei den Blöcken mit Goudronanstrich war eine Größe von $20 \times 20 \times 90$ cm unnötig, da bei ihnen eine Austrocknung nicht in Frage kam. Deshalb wurde hier zu handlicheren Abmessungen gegriffen und den Körpern ein Querschnitt von 10×10 cm und eine Länge von 60 cm gegeben.

Diese Körper wurden ebenfalls in mit Oel getränkten Holzformen hergestellt, jedoch mit dem Unterschied, daß hierbei nur eine Stampfreihe und -Schicht bestand und der Stampfer bei einer Fläche von 9×9 cm ein Gewicht von 9 kg hatte. Die Walzhaut der Hauptelektroden, welche eine Größe von ca. 85×95 mm mit 4 Löchern zu 18 mm Durchmesser hatten, wurde nicht entfernt. Die Zwischenelektroden waren in Form und Größe gleich denen der Mörtelblöcke (Abb. 13 und 14). Sämtliche Elektroden wurden nach dem Stampfen in die noch weiche Masse eingeschlagen.

Am siebenten Tage nach der Herstellung wurden sie entsprechend den großen Betonblöcken aus dem feuchten Sande genommen und gewogen. Nach zweitägigem Abtrocknen an der Luft erhielten sie einen Teeranstrich, über welchen eine dicke Goudronsicht aufgetragen wurde, so daß ein vollständiger Luftabschluß des Betons erwartet werden konnte. Nach 3—4 tägigem Trocknen begann die Prüfung.

In denselben Formen, in denen die letztgenannten Blöcke gestampft waren, wurden auch die Mörtel- und Zementkörper hergestellt.

Da reiner Mörtel und Zement kaum zu Körpern von großem Rauminhalt verwendet wird, konnte auch hier von den großen Formen Abstand genommen werden.

Es handelte sich nun darum, dem Mörtelbrei eine Steife zu geben, welche durch Messen mit geeigneten Apparaten stets wieder erreicht werden konnte. Um das Verfahren, welches bei der Zementuntersuchung angewendet wird, nämlich das Auffinden des für die Normalsteife richtigen Wassergehaltes mittels des Böhmeschen Hammerapparates, wegen seiner Umständlichkeit zu umgehen, wurde der Vicatsche Nadelapparat benutzt. Der hierbei wie beim reinen Zement ermittelte Wasserzusatz ist nun zwar vollständig von dem auf die erstere Art gefundenen verschieden, aber trotzdem läßt sich dieses Verfahren mit Recht anwenden, da stets wieder ein Mörtel mit derselben Steife (in den Tabellen ebenfalls Normalsteife genannt) auf Grund desselben Nadeleindruckes gefunden werden kann. Außerdem hatte diese Steife den Vorteil, daß der Mörtel leicht in die Formen gestrichen werden konnte.

Der ermittelte Wasserzusatz betrug demnach in Prozent der trockenen Mischung:

Basaltsand	1 : 3	19,5 %
	1 : 4	19,9 %
Rheinsand	1 : 3	15,5 %
	1 : 4	16,9 %
Reiner Zement	—	24,0 %

Zur Zeit der Versuche mit Mörtel betrug die Temperatur $21,5^{\circ}$ und die Luftfeuchtigkeit ca. 72% .

Der fertige Mörtel resp. Zementbrei wurde unter Schütteln und Hereinstechen der Kelle in die Masse zwecks Zerstörung etwaiger Luftblasen in die Formen gebracht und die Elektroden darauf eingeschlagen. Eine Hauptelektrode war geschliffen, die andere ungeschliffen. Ueber Größe und Form der Elektroden siehe Abb. 13 und 14. Die weitere Behandlung der Blöcke geschah wie bei den Betonkörpern.

Die reinen Materialien wurden in einer besonderen Hartgummiform, über deren Ausbildung in dem betreffenden Abschnitt das Nähere gesagt ist, untersucht.

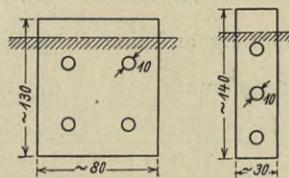


Abb. 13 und 14.

Allgemeines über die Versuche.

Im Hinblick auf eine gleichmäßige Austrocknung der Blöcke, mußte die Forderung nach möglichst gleichmäßiger Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Versuchsraum aufgestellt werden. Leider war diese nicht zu erfüllen; der Grund dafür lag in den örtlichen Verhältnissen, indem der Versuchsraum im Kellergeschoß des physikalischen Institutes unter der vom ansteigenden Garten abfließenden Feuchtigkeit sehr zu leiden hatte. Auf diese Weise machte sich jede Regenzeit sofort ungünstig bemerkbar.

Die Temperaturschwankungen waren wegen der geschützten Lage des Raumes leichter in engen Grenzen zu halten.

Temperatur und Feuchtigkeit wurde täglich 12^h mittags an 2 ca. alle 6 Wochen geeichten Lambrechtschen Polymetern abgelesen und ihre Werte als Kurven in Abhängigkeit vom Datum in Abb. 15 aufgetragen (Tabelle 3). Außerdem wurden zur besseren Uebersicht die Zeiträume für die Messungen der einzelnen Blöcke eingetragen.

Wie schon gesagt, stand eine Wechselstrommaschine mit dem technisch am meisten verwendeten Strome von 50 Perioden zur Verfügung. Seine größte Spannung betrug 120 Volt.

Einen Uebelstand bildeten die manchmal bis zu 2% betragenden Schwankungen in der Umlaufzahl, welche von dem an das Hauptnetz der Hochschule angeschlossenen Antriebsmotor herrührten.

Der niedrig gespannte Wechselstrom wurde in einem Transformator von Ganz & Co., Budapest, System Zipernowsky-Dery-Blatty, mit einem Uebersetzungsverhältnis von $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ auf max. ca. 600 Volt umgeformt.

Der Sekundärkreis bestand nach Abb. 4 aus der Sekundärwicklung des Transformators, dem induktionsfreien Normalwiderstand NW von 100—200 000 Ω und dem Block, an dessen Hauptelektroden der Strom ein- und austrat. Am Normalwiderstand, sowie an den Zwischenelektroden des Blockes lag je ein Elektrometer von Carpentier-Paris in idiostatischer Schaltung; beide hatten verschiedene Meßbereiche. Die Zuleitungsdrähte wurden zur Vermeidung von Kapazität 0,2 mm stark genommen.

Der Abstand der gemeinsamen Teilung (150 cm Länge) zweier Fernrohre von den Spiegeln betrug 2,35 m, so daß das empfindlichere Fernrohr bei 1 cm Ausschlag eine Spannung von 5,92 Volt, das andere für denselben Ausschlag 19,55 Volt angab. Die größte zu messende Spannung betrug bei dem ersten ca. 69 Volt, und beim zweiten ca. 253 Volt bei 128 cm Ausschlag.

Beide Elektrometer wurden ca. alle 6 Wochen neu geeicht, indem sie parallel zu einem Normal-Weston-Voltmeter an die Klemmen des Wechselstromgenerators gelegt wurden.

Es sei noch bemerkt, daß wegen der Feuchtigkeit im Versuchsraume unter den Glaslocken der Instrumente sich ständig ein Gefäß mit Chlorcalcium befand.

Der Gang der Berechnung des Uebergangswiderstandes $w_{\ddot{u}}$ ist folgender:

Während als Werte für den Betonwiderstand die Ergebnisse des Elektrometersverfahrens für einen Strom von 0,10 Amp. verwendet und zwecks Zurückführung auf eine Grundeinheit auf $1 \frac{dm}{dm^2}$ umgerechnet wurden, kamen für die Berechnung von $w_{\ddot{u}}$ die Ergebnisse des Brückenverfahrens in Betracht. Beide Ver-

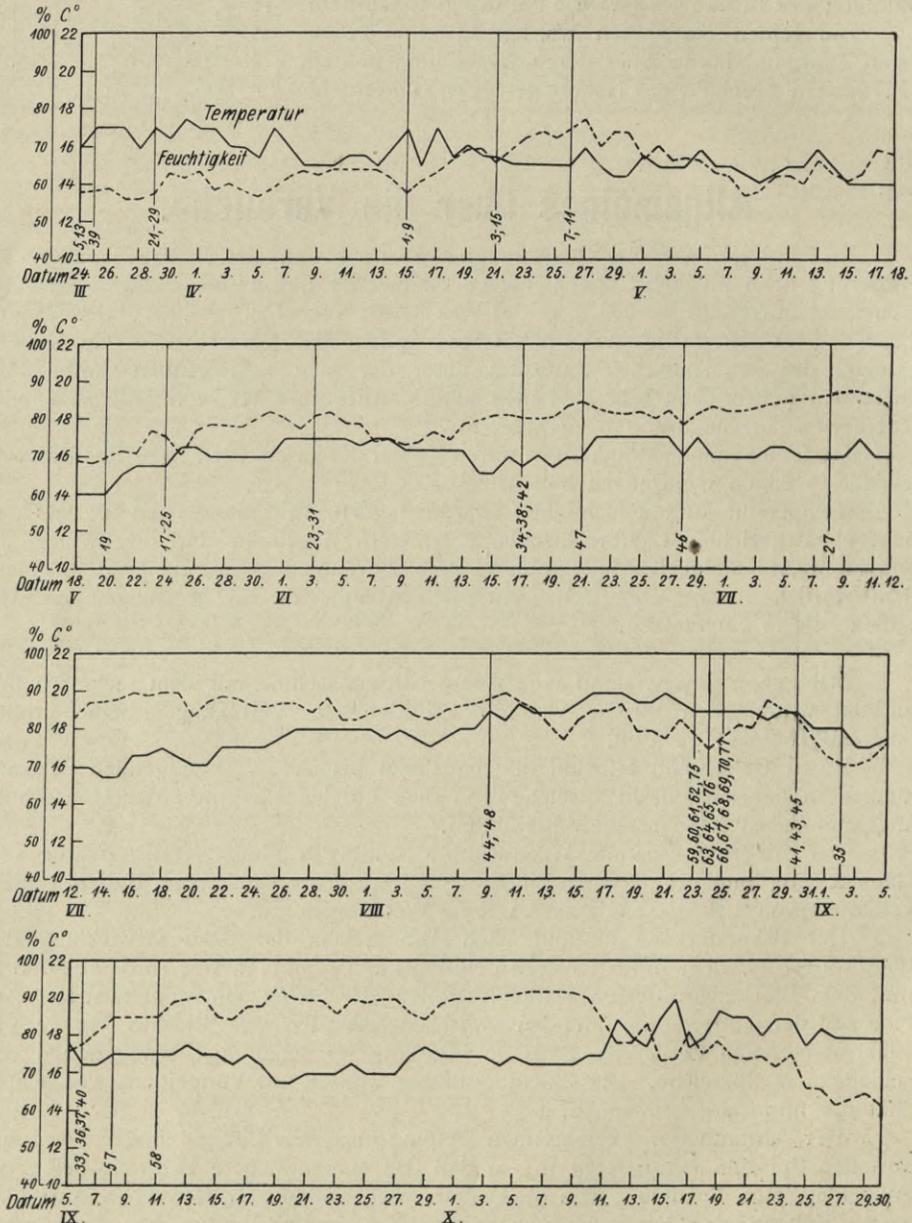


Abb. 15.

fahren wurden fast immer zusammen angewendet, wobei manchmal die Ergebnisse um 1—2 0/0 abwichen. Diese Unterschiede lagen meistens in einem schlechten Tonminimum begründet.

Um überhaupt $w_{\ddot{u}}$ berechnen zu können, mußte die Annahme gemacht werden, daß der Beton gleichmäßig austrocknet und erhärtet. Man erhält durch Umrechnung

Temperatur und Feuchtigkeit im Versuchsraum.
(Gemessen täglich 12h mittags.)

Tabelle 3.

Datum	Temp. °C	Luft-Feucht. %/n	Beginn der Lagerung für Block Nr.	Datum	Temp. °C	Luft-Feucht. %/n	Beginn der Lagerung für Block Nr.	Datum	Temp. °C	Luft-Feucht. %/n	Beginn der Lagerung für Block Nr.
24. III. 09	16,0	57,0	5, 13	19. V. 09	14,0	68,0	19	14. VII. 09	15,5	87,0	
25. III. 09	17,0	58,0	39	20. V. 09	14,0	70,0		15. VII. 09	15,5	88,0	8. IX. 09
26. III. 09	17,0	59,0		21. V. 09	15,0	71,5		16. VII. 09	16,5	90,0	9. IX. 09
27. III. 09	17,0	56,0		22. V. 09	15,5	71,0		17. VII. 09	16,5	89,5	10. IX. 09
28. III. 09	16,0	50,0		23. V. 09	15,5	77,0		18. VII. 09	17,0	90,0	11. IX. 09
29. III. 09	17,0	58,0	21, 29	24. V. 09	15,5	75,0		19. VII. 09	16,5	90,0	12. IX. 09
30. III. 09	16,5	63,0		25. V. 09	16,5	70,0	17, 25	20. VII. 09	16,5	83,0	13. IX. 09
31. III. 09	17,5	62,0		26. V. 09	16,5	77,5		21. VII. 09	17,0	87,5	14. IX. 09
I. IV. 09	17,0	63,5		27. V. 09	16,0	78,0		22. VII. 09	17,0	88,0	15. IX. 09
2. IV. 09	17,0	58,0		28. V. 09	16,0	78,0		23. VII. 09	17,0	88,0	16. IX. 09
3. IV. 09	16,0	60,0		29. V. 09	16,0	80,0		24. VII. 09	17,0	89,0	17. IX. 09
4. IV. 09	16,0	58,0		30. V. 09	16,0	80,0		25. VII. 09	17,0	86,5	18. IX. 09
5. IV. 09	15,5	57,0		31. V. 09	16,0	82,0		26. VII. 09	17,5	87,0	19. IX. 09
6. IV. 09	17,0	59,0		I. VI. 09	17,0	80,0		27. VII. 09	18,0	84,0	20. IX. 09
7. IV. 09	16,0	62,0		2. VI. 09	17,0	77,5		28. VII. 09	18,0	88,5	21. IX. 09
8. IV. 09	15,0	64,0		3. VI. 09	17,0	81,0	23, 31	29. VII. 09	18,0	88,5	22. IX. 09
9. IV. 09	15,0	62,5		4. VI. 09	17,0	82,0		30. VII. 09	18,0	84,5	23. IX. 09
10. IV. 09	15,0	63,5		5. VI. 09	17,0	79,5		31. VII. 09	18,0	82,5	24. IX. 09
11. IV. 09	15,5	64,5		6. VI. 09	16,5	79,0		I. VIII. 09	18,0	85,0	25. IX. 09
12. IV. 09	15,5	64,0		7. VI. 09	17,0	74,0		2. VIII. 09	17,5	85,5	26. IX. 09
13. IV. 09	15,0	64,0		8. VI. 09	17,0	75,0		3. VIII. 09	18,0	86,5	27. IX. 09
14. IV. 09	16,0	61,5		9. VI. 09	16,5	73,0		4. VIII. 09	17,5	86,5	28. IX. 09
15. IV. 09	17,0	58,0	1, 9	10. VI. 09	16,5	74,0		5. VIII. 09	17,0	82,5	29. IX. 09
16. IV. 09	15,0	61,0		11. VI. 09	16,5	77,0		6. VIII. 09	17,5	85,0	30. IX. 09
17. IV. 09	17,0	63,0		12. VI. 09	16,5	74,5		7. VIII. 09	18,0	86,0	I. X. 09
18. IV. 09	15,0	67,5		13. VI. 09	16,5	79,0		8. VIII. 09	18,0	86,5	2. X. 09
19. IV. 09	16,0	69,0		14. VI. 09	15,0	81,0		9. VIII. 09	19,0	88,0	3. X. 09
20. IV. 09	15,5	69,5		15. VI. 09	15,0	81,0		10. VIII. 09	18,5	90,5	4. X. 09
21. IV. 09	15,5	65,5		16. VI. 09	16,0	81,0		11. VIII. 09	19,5	87,5	5. X. 09
22. IV. 09	15,0	69,5		17. VI. 09	15,5	80,0		12. VIII. 09	19,0	80,0	6. X. 09
23. IV. 09	15,0	72,5		18. VI. 09	16,0	80,0		13. VIII. 09	19,0	86,5	7. X. 09
24. IV. 09	15,0	74,0		19. VI. 09	15,5	80,5		14. VIII. 09	19,0	82,0	8. X. 09
25. IV. 09	15,0	72,5		20. VI. 09	16,0	84,5		15. VIII. 09	19,5	83,0	9. X. 09
26. IV. 09	15,0	74,5		21. VI. 09	16,0	84,5		16. VIII. 09	20,0	85,0	10. X. 09
27. IV. 09	16,0	78,0	7, 11	22. VI. 09	17,0	83,0		17. VIII. 09	20,0	84,5	11. X. 09
28. IV. 09	15,0	79,0		23. VI. 09	17,0	82,0		18. VIII. 09	20,0	86,5	12. X. 09
29. IV. 09	14,5	74,5		24. VI. 09	17,0	81,5		19. VIII. 09	20,0	86,5	13. X. 09
30. IV. 09	14,5	74,0		25. VI. 09	17,0	82,0		20. VIII. 09	19,5	89,0	14. X. 09
I. V. 09	15,5	67,0		26. VI. 09	17,0	80,0		21. VIII. 09	20,0	78,0	15. X. 09
2. V. 09	15,0	70,5		27. VI. 09	17,0	82,5		22. VIII. 09	19,5	83,0	16. X. 09
3. V. 09	15,0	66,0		28. VI. 09	16,0	78,5		23. VIII. 09	19,0	79,0	17. X. 09
4. V. 09	15,0	67,5		29. VI. 09	17,0	82,0		24. VIII. 09	19,0	75,0	18. X. 09
5. V. 09	16,0	65,5		30. VI. 09	16,0	83,5		25. VIII. 09	19,0	78,0	19. X. 09
6. V. 09	15,0	63,5		I. VII. 09	16,0	82,0		26. VIII. 09	19,0	81,5	20. X. 09
7. V. 09	15,0	62,0		2. VII. 09	16,0	82,0		27. VIII. 09	19,0	80,5	21. X. 09
8. V. 09	14,5	57,0		3. VII. 09	16,0	83,0		28. VIII. 09	18,5	89,0	22. X. 09
9. V. 09	14,0	58,0		4. VII. 09	16,5	84,0		29. VIII. 09	19,0	85,5	23. X. 09
10. V. 09	14,5	62,5		5. VII. 09	16,5	84,5		30. VIII. 09	19,0	84,5	24. X. 09
11. V. 09	15,0	62,5		6. VII. 09	16,0	85,0		31. VIII. 09	18,0	78,0	25. X. 09
12. V. 09	15,0	60,0		7. VII. 09	16,0	86,0		I. IX. 09	18,0	73,5	26. X. 09
13. V. 09	16,0	67,0		8. VII. 09	16,0	86,5		2. IX. 09	18,0	77,0	27. X. 09
14. V. 09	15,0	63,0		9. VII. 09	16,0	87,0	27	3. IX. 09	17,0	70,5	28. X. 09
15. V. 09	14,0	61,0		10. VII. 09	17,0	87,0		4. IX. 09	17,0	70,5	29. X. 09
16. V. 09	14,0	63,0		11. VII. 09	16,0	86,0		5. IX. 09	17,5	76,5	30. X. 09
17. V. 09	14,0	70,0		12. VII. 09	16,0	83,5		6. IX. 09	16,5	79,0	I. XI. 09
18. V. 09	14,0	69,0		13. VII. 09	16,0	87,5		7. IX. 09	16,5	81,5	2. XI. 09

von X auf das Betonstück r_1 einen der Länge dieses Stückes entsprechenden reinen Betonwiderstand x_1 , während in dem Werte für r_1 $w_{\bar{u}_1}$ enthalten ist. Es ergibt sich also:

$$w_{\bar{u}_1} = r_1 - x_1$$

$$w_{\bar{u}_2} = r_2 - x_2.$$

Der Uebergangswiderstand steht nun im umgekehrten Verhältnis zur Größe der Elektroden; also ist $w_{\bar{u}_1}$ und $w_{\bar{u}_2}$ pro 1 dm² bekannt. Bei gleichartigen Elektroden ergibt $w_{\bar{u}_1}$ und $w_{\bar{u}_2}$ ein mittleres $w_{\bar{u}}$.

Die Untersuchungen erstreckten sich bei den einzelnen Blöcken zuerst auf ihr Verhalten gegenüber dem Strome. Hierbei zeigte sich eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke. Bei der Veränderung der Stromstärke von ca. 0,01–0,30 Amp. ergab sich, daß unterhalb 0,10 Amp. beträchtliche Schwankungen im Widerstande auftraten (Abb. 17, Tabelle 4). Der Grund dürfte in einer ungleichmäßigen Ausbreitung des Stromes in dem betreffenden Block liegen. Auf Abb. 17 sind einige der bezeichnendsten Kurven $X' = f(i)$ aufgetragen, wobei X' der Widerstand des Stückes von 50 cm Länge und 400 qcm Querschnitt ist. Weiter zeigte sich, daß der Widerstand mit wachsender Stromstärke nicht gleich blieb, sondern geradlinig abfiel. Demgemäß wurde bei sämtlichen späteren Messungen in die durch Veränderung von i erhaltene Kurve eine Gerade als mittlere Kurve eingetragen und daraus der Wert für 0,10 Amp. entnommen.

Der Widerstandsabfall nahm nun nicht prozentual mit der Höhe des Widerstandes zu, wie die Kurven für Block Nr. 5 und 13 (Luftlagerung) zeigen, sondern hierfür betrug der Abfall auf je 0,10 Amp. ca. 25 Ω . Bei den Blöcken der Sand- und Wasserlagerung dagegen konnte auf je 0,10 Amp. nur ein Abfall von ca. 17 Ω festgestellt werden.

Die Ursache dieses Abfalles dürfte in der Erwärmung des Betons durch den Strom zu suchen sein, wobei die Blöcke der Sand- und Wasserlagerung wegen ihrer Sättigung in bezug auf den freien Wassergehalt eine geringere Temperaturerhöhung erfahren wie diejenigen der Luftlagerung.

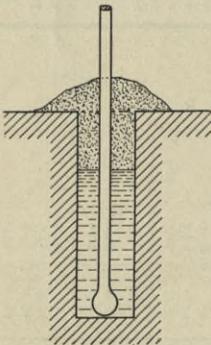


Abb. 16.

Zur näheren Untersuchung dieser Frage wurden Block Nr. 57 und 58 (Goudronanstrich) am Schlusse ihrer Prüfungszeit erwärmt und der Widerstand bei den verschiedenen Temperaturen gemessen (Abb. 18, Tabelle 4). Um diese Erwärmung möglichst gleichmäßig im Block zu gestalten, durfte eine Wärmezufuhr nur vom Strome selbst geschehen. Hierbei war der Goudronanstrich von besonderem Vorteil, indem er eine Abkühlung der Oberfläche gegenüber dem Innern verhinderte. Um die Temperatur jedes Blockes messen zu können, waren beim Stampfen in der Mitte je ein Loch ausgespart, das bis unter die Mittelachse reichte (Abb. 16). In dieses Loch kam ein Thermometer mit $\frac{1}{5}$ Grad-Teilung; darauf wurde es mit Quecksilber $\frac{3}{4}$ voll gefüllt und die obere Oeffnung mit einem dicken Asbeststopfen versehen.

Der durch beide Blöcke geschickte Wechselstrom betrug 0,10 Amp. Die dabei erhaltenen Werte für X , auf 1 $\frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$ reduziert, sind in Tabelle 4 und Abb. 18 verzeichnet.

Es zeigte sich, daß tatsächlich der Widerstand mit der Durchgangsdauer des Stromes abnimmt, und zwar nach einer flachen Kurve. Während aber die Abnahme von X z. B. nach 73 Minuten bei Nr. 58 28,2% betrug, war dieser Wert bei Nr. 57 nur 21,4%, d. h. mit der Dauer des Stromdurchganges nimmt der Widerstand von Basaltbeton (Nr. 57) weniger ab wie der von Kiesbeton (Nr. 58).

In Abb. 19 sind die Kurven $\Delta t = f(T)$ gezeichnet, aus denen ersichtlich ist, daß mit der Dauer des Stromdurchganges T bei Block Nr. 57, also bei

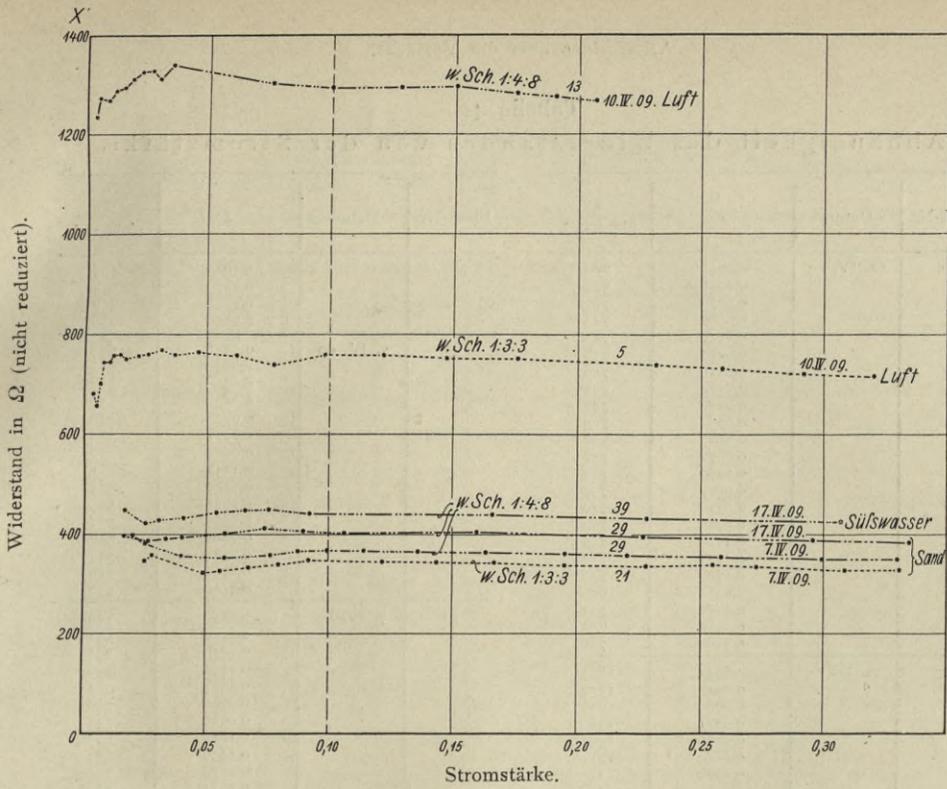


Abb. 17.

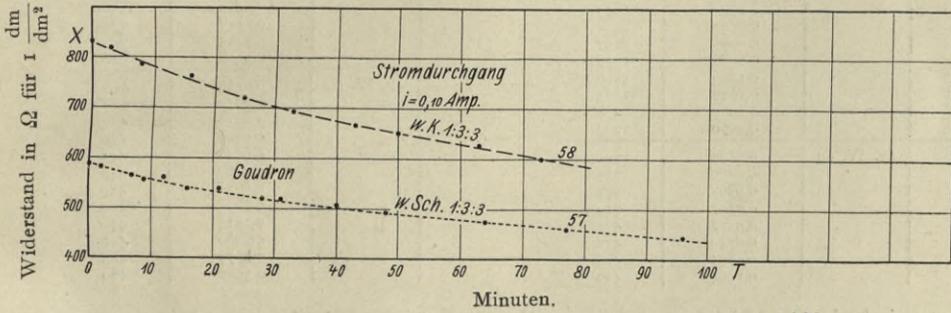


Abb. 18.

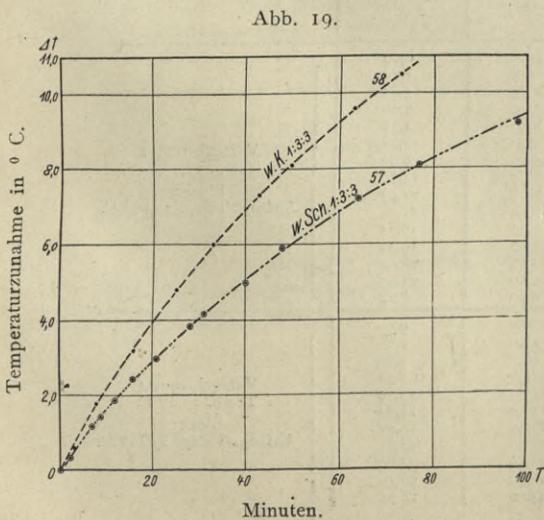


Abb. 19.

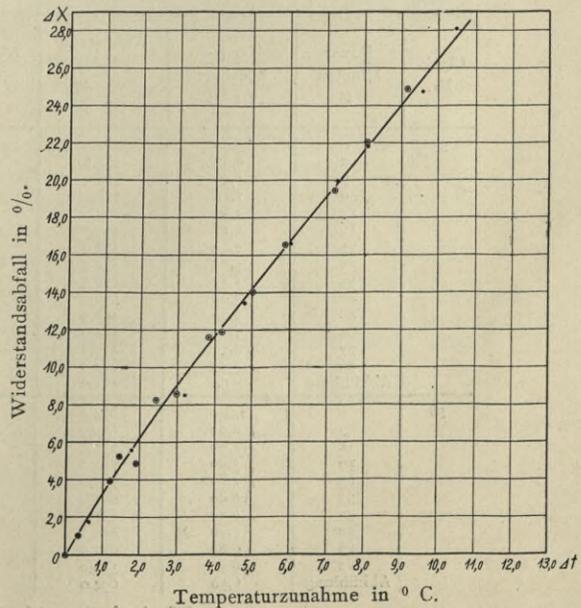


Abb. 20.

Tabelle 4.
Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke.

Block-Nr.	Datum	i	X' nicht red.	Block-Nr.	Datum	i	X' nicht red.				
5	10. IV. 09	0,0041	680	29	7. IV. 09	0,1600	405				
		0,0056	659			0,2270	395				
		0,0070	700			0,2955	387				
		0,0087	743			0,3350	383				
		0,0110	745			0,0198	399				
		0,0124	758			0,0250	383				
		0,0149	758			0,0308	357				
		0,0174	751			0,0578	352				
		0,0225	757			0,0763	358				
		0,0264	760			0,0875	366				
		0,0317	768			0,0992	366				
		0,0371	758			0,1141	367				
		0,0469	765			0,1360	365				
		0,0627	757			0,1632	364				
		0,0773	740			0,1955	363				
		0,0980	760			0,2205	359				
		0,1220	758			0,2582	355				
		0,1475	752			0,2990	350				
		0,1760	752			0,3300	350				
		0,2315	740								
0,2582	732										
0,2920	722										
0,3202	716										
13	10. IV. 09	0,0041	1233	21	7. IV. 09	0,0250	346				
		0,0056	1273			0,0279	358				
		0,0093	1268			0,0440	324				
		0,0123	1290			0,0559	326				
		0,0156	1294			0,0675	334				
		0,0190	1311			0,0796	340				
		0,0229	1326			0,0918	346				
		0,0271	1328			0,1219	345				
		0,0303	1311			0,1436	344				
		0,0352	1340			0,1670	342				
		0,0760	1304			0,1954	339				
		0,0999	1297			0,2281	337				
		0,1280	1297			0,2550	338				
		0,1506	1208			0,2726	335				
		0,1748	1285			0,3085	328				
		0,1903	1278			0,3308	328				
		0,2070	1269								
		29	17. IV. 09			0,0165	399	39	17. IV. 09	0,0166	448
						0,0260	385			0,0250	422
						0,0335	391			0,0310	429
0,0397	393			0,0407	434						
0,0577	401			0,0540	444						
0,0740	412			0,0660	448						
0,0894	406			0,0756	450						
0,1064	402			0,0921	441						
				0,1613	440						
				0,2280	432						
				0,3070	425						
				0,3900	430						

Abhängigkeit des Widerstandes von der Erwärmung bei Stromdurchgang.

Block-Nr.	Dauer Minuten T	Temp.- Zunahme Δt °C	Widerstand $X \Omega$ für $1 \frac{dm}{dm^2}$	Widerstand- abfall Ω	Widerstand- abfall ΔX %		
57	0	0,00	589,0	0,0	0,00	Versuchsraum: Temp. 18,0° C. Block: Anfangs-Temp. 17,20° C.	
	2	0,35	582,5	6,5	1,10		
	7	1,20	566,5	23,5	3,99		
	9	1,45	558,0	31,0	5,26		
	12	1,90	560,0	29,0	4,92		
	16	2,45	540,0	49,0	8,31		
	21	3,00	538,0	51,0	8,66		
	28	3,85	520,5	68,5	11,62		
	31	4,15	518,5	70,5	11,97		
	40	5,00	506,0	83,0	14,09		
	48	5,90	491,5	97,5	16,54		
	64	7,20	474,0	115,0	19,52		
	77	8,10	459,5	129,5	22,00		
	96	9,20	442,0	147,0	24,95		
	Abkühlung	2,60	541,0	48,0	8,14		
58	0	0,00	834,0	0,0	0,00	Versuchsraum: Temp. 17,0° C. Block: Anfangs-Temp. 17,40° C.	
	3	0,60	819,0	15,0	1,80		
	8	1,80	787,3	46,7	5,60		
	16	3,20	763,0	71,0	8,51		
	25	4,80	721,5	112,5	13,49		
	33	6,00	695,0	139,0	16,67		
	43	7,30	667,0	167,0	20,01		
	50	8,10	652,0	182,0	21,81		
	63	9,60	627,0	207,0	24,80		
	73	10,50	599,0	235,0	28,19		
		Abkühlung	6,30	694,0	140,0		16,78

Wechselstromstärke konstant 0,10 Amp.

Tabelle 4a.
Versuchsreihe für Block Nr. 5
am 10. IV. 09.

Normalwiderstand						Block				
Elektrometer		Ab- lenkung	Volt	Normal- W.	Ampere	Elektrometer		Ab- lenkung	Volt	Ω
Nullage						Nullage				
n_0	n_1	n_{cm}	e	R	i	n'_0	n'_1	n'_{cm}	e'	X
97,40	96,84	0,56	16,50	4000	0,00413	13,30	13,60	0,30	2,80	680
97,38	96,43	0,95	22,50		563	13,30	13,77	0,47	3,70	659
97,35	95,85	1,50	28,30		708	13,30	14,07	0,77	4,95	700
97,31	94,97	2,34	35,00		875	13,30	14,50	1,20	6,50	743
97,30	93,50	3,80	44,08		0,01102	13,30	15,20	1,90	8,21	745
97,28	92,42	4,86	49,60		1240	13,30	15,75	2,45	9,39	758
97,25	90,29	6,96	59,60		1490	13,30	16,84	3,54	11,30	758
97,23	87,99	9,34	69,60		1740	13,30	18,06	4,76	13,08	751
97,20	81,80	15,40	90,20		2255	13,30	21,35	8,05	17,07	757
97,18	76,50	20,68	105,50		2648	13,30	24,29	10,99	20,03	760
97,14	68,20	28,94	127,00		3175	13,35	29,18	15,83	24,40	768
97,11	94,48	2,63	37,10	1000	3710	13,40	33,95	20,55	28,10	758
97,10	92,79	4,31	46,90		4690	13,45	46,70	33,25	35,90	765
97,10	89,48	7,62	62,70		6270	13,50	72,15	58,65	47,44	757
97,08	85,61	11,47	77,30		7730	13,52	102,48	88,96	57,16	740
12,90	15,58	2,68	9,80	100	9800	97,02	86,33	10,69	74,55	760
12,87	17,02	4,15	12,20		0,12200	97,00	80,90	16,10	92,40	758
12,85	18,90	6,05	14,75		14750	96,99	74,35	22,64	110,90	752
12,85	21,40	8,55	17,60		17600	96,97	65,90	31,07	132,25	752
12,85	27,20	14,35	23,15		23150	96,93	48,70	48,23	171,10	740
12,87	30,40	17,53	25,82		25820	96,91	40,10	56,81	189,20	732
12,87	34,90	22,03	29,20		29200	96,89	29,10	67,79	210,75	722
12,90	39,30	24,40	32,02		32020	96,88	19,70	77,18	229,20	716

Elektrometer vertauscht

Nach dem Brückenverfahren:

$$\left. \begin{aligned} X &= 733,0 \\ r_1 &= 222,5 \\ r_2 &= 229,5 \\ \Sigma &= 1185,0. \end{aligned} \right\} (X + r_1 + r_2) = 1185,0 \Omega$$

Basaltbeton, die Temperaturzunahme Δt beträchtlich geringer ist wie bei dem Kiesbeton. Der Grund liegt in dem geringeren Widerstand des Basaltbetons. Demgemäß erkennt man, daß der geringere Widerstandsabfall des Basaltbetons gegenüber dem Kiesbeton nur auf der geringeren Temperaturzunahme beruhen kann. Bei der Abkühlung der Blöcke kommt man schließlich wieder auf den Anfangswiderstand zurück (Abb. 19 und 20).

Trägt man die Werte ΔX in Prozent, d. h. die prozentuale Widerstandsabnahme als Funktion der Temperaturzunahme auf, so ergibt sich für beide Blöcke nur eine Kurve, welche in ihrem Anfang etwas gekrümmt, dagegen im weiteren Verlauf geradlinig erscheint (Abb. 20).

Demgemäß ist also die prozentuale Widerstandsabnahme bei derselben beliebigen Temperaturzunahme für Basalt- und Kiesbeton desselben Mischungsverhältnisses gleich.

Die Abweichung einzelner Punkte in Abb. 20 beruht auf Meßfehlern, weil die gleichmäßige Einstellung von 0,10 Amp. aus Mangel an einem geeigneten Regulierwiderstand sehr schwierig war.

Berechnung des Mengenverhältnisses der einzelnen Stoffe für die Betonkörper.

Bei der Berechnung der Betonkörper mußte von der in den Normen festgesetzten Weise abgegangen werden.

In den „Bestimmungen für die Anfertigung und Prüfung von Probekörpern aus Stampfbeton“, wie sie vom „Deutschen Ausschuß für Eisenbeton“ aufgestellt wurden, werden die Raumgewichte der einzelnen Stoffe nicht auf ihren trockenen, sondern auf ihren lagerfeuchten Zustand bezogen. Hierbei kann jedoch das geforderte Mischungsverhältnis nie genau eingehalten werden, und zwar sind die Verschiebungen, welche sich ergeben, um so größer, je größer die Unterschiede im Wassergehalt der einzelnen Stoffe sind.

Um ein möglichst genaues Mischungsverhältnis einhalten zu können, wie es für die elektrischen Messungen unbedingt erforderlich ist, wurden die Raumgewichte von trockenem Sand und Zuschlag durch Abdampfen des betreffenden Raumteile und Einfüllen in ein 10 l-Gefäß von 270 mm Durchmesser und 175 mm Höhe ermittelt. Die Masse glitt dabei von der Kelle auf 175 mm Höhe herab.

Danach betrug das Raumgewicht für:

Zement	1,393 ¹⁾	(unausgeglüht)
Basaltsand	1,589	
Basaltschotter	1,274	
Rheinsand	1,649	
Rheinkies	1,553	

Diese Raumgewichte wurden nun mit den im geforderten Verhältnis stehenden nötigen Mengen in Liter multipliziert (s. Beispiel), wodurch sich das notwendige Trockengewicht der Stoffe und aus ihrer Addition das Gesamtgewicht der trockenen Mischung ergab. Es sei der Berechnungsgang an folgendem Beispiel erläutert:

Durch Abdampfen gefunden

Basaltsand	6,5 ^{0/10}	} Wassergehalt.
Basaltschotter	0,6 „	

Herzustellen war ein Beton

1 : 3 : 3 weich, mit Basaltschotter;

für 2 Blöcke 22 : 66 : 66 Liter

oder 30,64 : 104,90 : 84,20 kg (Trockengewichte).

Demgemäß betrug das Gewicht

des Zementes	30,64 kg mit	— kg Wasser
des Sandes (104,90 + 6,81)	111,71 „ „	6,81 „ „
des Schotters (84,20 + 0,50)	84,70 „ „	0,50 „ „

Sa. 7,31 kg Wasser.

Gewicht der trockenen Mischung

$$(30,64 + 104,90 + 84,20) = 219,74.$$

Gesamter Wasserzusatz bezogen auf Trockengewicht

$$10,4\frac{0}{10} = 22,853 \text{ kg}$$

$$\text{abzüglich} \quad \underline{7,310 \text{ „}}$$

bleiben zuzusetzen 15,543 kg.

Da stets die Mischung in lagerfeuchtem Zustand bereitet wurde, mußte, nachdem durch Abdampfen von 5 kg Sand oder Zuschlag jedesmal der Wassergehalt der einzelnen Stoffe bestimmt war, beim Abwiegen des Bestandteiles stets soviel zugegeben werden, als der Wassergehalt betrug. Im übrigen wurde wie in den Normen verfahren und der im Sand und Schotter befindliche Wassergehalt von dem zuzusetzenden Wasser abgezogen.

Es sei noch bemerkt, daß wie in den Normen auch hier der Zement nicht ausgeglüht wurde.

Die Ergebnisse obiger Rechnungen sind in den Tabellen 5—9 zusammengestellt.

1) Für den Zement wurde das hygroskopische Wasser nicht durch Abdampfen entfernt.

Tabelle 5.

Herstellung der Betonkörper.
Lagerung in Luft.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungsverhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des Anmachens	Wassersatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Entschalung	Gewicht nach Entschalung in kg	Prüfungsbeginn	Endgültiges Gewicht in kg
		Temp. °C	Luftfeucht. %				in %	in kg			in %	in kg				
1	8. IV. 09	17	52	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	11 33 33	15,320 55,430 42,430	5,7 0,8	2,980 0,340	109,870	erdfeucht	8,80	9,660	10. IV. 09	89,350	15. IV. 09	90,150
2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	85,950	"	86,500
3	14. IV. 09	16	61	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 55,830 52,070	2,6 1,6	1,420 0,820	120,980	erdfeucht	7,10	8,680	16. IV. 09	84,750	21. IV. 09	85,200
4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	82,200	"	82,550
5	17. III. 09	18	48	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	"	15,320 55,390 42,430	5,6 0,8	2,940 0,340	109,870	weich	10,40	11,430	19. III. 09	88,000	24. III. 09	88,650
6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88,200	"	88,950
7	19. IV. 09	17	70	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 55,640 52,280	2,3 2,0	1,230 1,050	120,980	weich	8,10	9,790	21. IV. 09	82,650	26. IV. 09	83,350
8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	80,850	"	81,300
9	8. IV. 09	17	52	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	6 24 48	8,360 40,290 61,640	5,7 0,8	2,170 0,490	107,630	erdfeucht	7,75	8,350	10. IV. 09	85,900	15. IV. 09	86,300
10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	85,000	"	85,750
11	19. IV. 09	17	70	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,470 76,030	2,3 2,0	0,890 1,490	122,470	erdfeucht	5,50	6,740	21. IV. 09	81,650	26. IV. 09	82,000
12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	80,600	"	80,950
13	17. III. 09	18	48	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	"	8,360 40,250 61,640	5,6 0,8	2,130 0,490	107,630	weich	9,40	10,120	19. III. 09	88,950	24. III. 09	89,450
14	14. IV. 09	16	61	"	"	8,360 39,040 61,640	4,0 0,8	1,520 0,490	"	"	"	"	16. IV. 09	85,950	21. IV. 09	86,400
15	14. IV. 09	16	61	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,600 75,730	4,0 0,8	1,520 0,490	122,470	weich	7,93	9,720	16. IV. 09	83,700	21. IV. 09	84,100
16	19. IV. 09	17	70	"	"	8,360 40,360 76,030	2,3 2,0	0,890 1,490	"	"	"	"	21. IV. 09	83,300	26. IV. 09	83,950

Tabelle 6.

Herstellung der Betonkörper.
Lagerung in Sand.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungs- verhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wasser-gehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des An- machens	Wasserzusatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Ent- schalung	Gewicht nach Ent- schalung in kg	Prüfungs- beginn	End- gül- tiges Ge- wicht in kg
		Temp. °C	Luft- feucht. o/o				in %	in kg			in %	in kg				
17	17. V. 09	15	92	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	11 33 33	15,320 54,230 42,350	3,4 1,780 0,6 0,250	"	109,870	erdfeucht	8,80	9,660	19. V. 09	89,300	24. V. 09	89,500
18	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	86,400	"	86,550
19	13. V. 09	15	69	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 56,210 51,860	3,3 1,790 1,2 0,620	"	120,980	erdfeucht	7,10	8,680	15. V. 09	82,400	20. V. 09	82,950
20	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	81,600	"	82,050
21	22. III. 09	19	55	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	"	15,320 59,490 42,440	7,7 4,040 0,8 0,340	"	109,870	weich	10,40	11,430	24. III. 09	90,900	29. III. 09	91,100
22	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	87,450	"	87,750
23	27. V. 09	18	73	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 55,220 51,710	1,5 0,810 0,9 0,460	"	120,980	weich	8,10	9,790	29. V. 09	84,000	3. VI. 09	84,500
24	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	81,420	"	82,100
25	17. V. 09	15	92	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	6 24 48	8,360 39,420 61,510	3,4 1,300 0,6 0,360	"	107,630	erdfeucht	7,75	8,350	19. V. 09	86,800	24. V. 09	87,150
26	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	86,400	"	86,400
27	1. VII. 09	16	75	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,040 75,880	1,2 0,470 1,8 1,340	"	122,470	erdfeucht	5,50	6,740	3. VII. 09	82,150	8. VII. 09	82,400
28	13. V. 09	15	69	"	"	8,360 40,880 75,440	3,3 1,310 1,2 0,890	"	"	"	"	"	15. V. 09	81,000	20. V. 09	81,450
29	22. III. 09	19	55	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	"	8,360 41,060 61,640	7,7 2,940 0,8 0,490	"	107,630	weich	9,40	10,120	24. III. 09	91,970	29. III. 09	92,050
30	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	89,250	"	89,400
31	27. V. 09	18	73	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,160 75,220	1,5 0,480 0,9 0,670	"	122,470	weich	7,93	9,720	29. V. 09	83,800	3. VI. 09	84,300
32	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	80,500	"	80,700

Herstellung der Betonkörper.
Lagerung in Süßwasser.

Tabelle 7.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungs- verhältnis in Raumteilen	Menge in 1	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des An- machens	Wasserzusatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Ent- schalung	Gewicht nach Ent- schalung in kg	Prüfungs- beginn	End- gültiges Ge- wicht in kg
		Temp. °C	Luft- feucht, o/o				in %	in kg			in %	in kg				
33	30. VIII. 09	18	82	1 Zement	11	15,320	4,3	2,270	109,870	erdfench	8,80	9,660	1. IX. 09	89,500	6. IX. 09	90,000
				3 Basaltsand		54,720										
				3 Basaltschotter		42,430										
34	10. VI. 09	16	68	1 Zement	"	15,320	0,9	0,470	120,980	erdfench	7,10	8,680	12. VI. 09	84,600	17. VI. 09	84,650
				3 Rheinsand		54,880										
				3 Rheinkies		52,070										
35	26. VIII. 09	19	81	1 Zement	"	15,320	4,2	2,220	109,870	weich	10,40	11,430	28. VIII. 09	89,800	2. IX. 09	90,400
				3 Basaltsand		54,670										
				3 Basaltschotter		42,430										
36	30. VIII. 09	18	82	1 Zement	"	15,320	1,2	0,640	120,980	weich	8,10	9,790	1. IX. 09	86,970	6. IX. 09	87,600
				3 Rheinsand		55,060										
				3 Rheinkies		51,850										
37	30. VIII. 09	18	82	1 Zement	6	8,360	4,3	1,650	107,630	erdfench	7,75	8,350	1. IX. 09	87,700	6. IX. 09	88,200
				4 Basaltsand		39,770										
				8 Basaltschotter		61,640										
38	10. VI. 09	16	68	1 Zement	"	8,360	0,9	0,680	122,470	erdfench	5,50	6,740	12. VI. 09	82,100	17. VI. 09	82,150
				4 Rheinsand		39,910										
				8 Rheinkies		75,760										
39	18. III. 09	18	46	1 Zement	"	8,360	5,3	2,020	107,630	weich	9,40	10,120	20. III. 09	90,500	25. III. 09	90,900
				4 Basaltsand		40,140										
				8 Basaltschotter		61,530										
40	30. VIII. 09	18	82	1 Zement	"	8,360	1,2	0,460	122,470	weich	7,93	9,720	1. IX. 09	85,800	6. IX. 09	86,300
				4 Rheinsand		40,030										
				8 Rheinkies		75,410										

Herstellung der Betonkörper.
Lagerung in Salzwasser.

Tabelle 8.

Block-Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungsverhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des Anmachens	Wassersatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Entschalung	Gewicht nach Entschalung in kg	Prüfungsbeginn	Endgültiges Gewicht in kg		
		Temp. °C	Luftfeucht. %				in %	in kg			in %	in kg						
41	23. VIII. 09	19	67	1 Zement	11	15,320	4,8	2,560	109,870	erdfeucht	8,80	9,660	25. VIII. 09	90,200	30. VIII. 09	90,950		
				3 Basaltsand		55,010											0,7	0,280
				3 Basaltschotter		42,380												
42	10. VI. 09	16	68	1 Zement	"	15,320	0,9	0,470	120,980	erdfeucht	7,10	8,680	12. VI. 09	85,100	17. VI. 09	85,250		
				3 Rheinsand		54,880											1,6	0,820
				3 Rheinkies		52,070												
43	23. VIII. 09	19	67	1 Zement	"	15,320	4,8	2,560	109,870	weich	10,40	11,430	25. VIII. 09	90,800	30. VIII. 09	91,500		
				3 Basaltsand		55,010											0,7	0,280
				3 Basaltschotter		42,380												
44	2. VIII. 09	19	83	1 Zement	"	15,320	3,1	1,730	120,980	weich	8,10	9,790	4. VIII. 09	85,350	9. VIII. 09	86,200		
				3 Rheinsand		56,150											0,8	0,410
				3 Rheinkies		51,660												
45	23. VIII. 09	19	67	1 Zement	6	8,360	4,8	1,870	107,630	erdfeucht	7,75	8,350	25. VIII. 09	87,300	30. VIII. 09	88,100		
				4 Basaltsand		39,990											0,7	0,410
				8 Basaltschotter		61,560												
46	21. VI. 09	18	80	1 Zement	"	8,360	1,2	0,460	122,470	erdfeucht	5,50	6,740	23. VI. 09	82,970	28. VI. 09	83,500		
				4 Rheinsand		40,030											1,1	0,820
				8 Rheinkies		75,360												
47	14. VI. 09	14	84	1 Zement	"	8,360	5,5	2,090	107,630	weich	9,40	10,120	16. VI. 09	90,300	21. VI. 09	90,670		
				4 Basaltsand		40,210											0,6	0,360
				8 Basaltschotter		61,510												
48	2. VIII. 09	19	83	1 Zement	"	8,360	3,1	1,240	122,470	weich	7,93	9,720	4. VIII. 09	84,900	9. VIII. 09	85,600		
				4 Rheinsand		40,810											0,8	0,600
				8 Rheinkies		75,140												

Herstellung der Betonkörper. Erwärmung.

Tabelle 9.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungsverhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des Anmachens	Wassersatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Entschalung	Gewicht nach Entschalung in kg	Prüfungsbeginn	Endgültiges Gewicht in kg
		Temp. °C	Luftfeucht. %				in %	in kg			in %	in kg				
49	22. VII. 09	18	80	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	11 33 33	15,320 55,600 42,496	6,0 0,9	3,150 0,390	109,870	erdfeucht	8,80	9,660	24. VII. 09	88,300	29. VII. 09	88,950
50	24. VI. 09	18	70	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 54,850 51,970	0,8 1,4	0,435 0,718	120,980	erdfeucht	7,10	8,680	26. VI. 09	85,900	1. VII. 09	86,320
51	17. VI. 09	17	70	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	"	15,320 54,810 42,380	4,5 0,7	2,360 0,280	109,870	weich	10,40	11,430	19. VI. 09	89,000	24. VI. 09	89,700
52	8. VII. 09	17	89	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	15,320 54,910 51,810	0,9 1,1	0,490 0,560	120,980	weich	8,10	9,790	10. VII. 09	85,150	15. VII. 09	85,400
53	19. VII. 09	18	92	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	6 24 48	8,360 40,410 61,640	6,0 0,8	2,290 0,490	107,630	erdfeucht	7,75	8,350	21. VII. 09	88,600	26. VII. 09	88,770
54	21. VI. 09	18	80	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,030 75,360	1,2 1,1	0,460 0,820	122,470	erdfeucht	5,50	6,740	23. VI. 09	82,400	28. VI. 09	83,050
55	14. VI. 09	14	84	1 Zement 4 Basaltsand 8 Basaltschotter	"	8,360 40,210 61,510	5,5 0,6	2,090 0,360	107,630	weich	9,40	10,120	16. VI. 09	90,200	21. VI. 09	90,670
56	1. VII. 09	16	75	1 Zement 4 Rheinsand 8 Rheinkies	"	8,360 40,030 75,880	1,2 1,8	0,460 1,340	122,470	weich	7,93	9,720	3. VII. 09	84,700	8. VII. 09	84,950

Blöcke mit Goudronanstrich (kleine Form).

57	26. VIII. 09	19	81	1 Zement 3 Basaltsand 3 Basaltschotter	"	siehe Nr. 35				weich			28. VIII. 09	15,200	2. IX. 09	15,400
58	30. VIII. 09	18	82	1 Zement 3 Rheinsand 3 Rheinkies	"	siehe Nr. 36				weich			1. IX. 09	14,550	6. IX. 09	14,800

Der elektrische Widerstand von nichtbewehrtem Beton.

a) Lagerung in Luft.

Die Ergebnisse der Messungen für die Blöcke der Luftlagerung sind in Tabelle 10 und 11, sowie in Abb. 21—23 als Schaubilder verzeichnet. Es ist der reine Betonwiderstand X für $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$, sowie der Gewichtsverlust Δg des Blockes, d. h. der durch Verdunstung eingetretene Verlust des freien Wassers in kg/dm^3 und der mittlere Uebergangswiderstand w_{ii} pro 1 dm^2 geschliffene Elektrodenfläche als Funktion der Lagerdauer in Tagen aufgetragen. Demgemäß sind alle Angaben (auch in den späteren Abschnitten) auf einen Würfel von 1 dm Kantenlänge bezogen.

Wie die späteren Versuche ergaben, kann jede Kurve für X als eine Resultierende aus 2 Kurven angesehen werden, welche sich einerseits durch die Austrocknung, und andererseits durch die Erhärtung ergeben. Beide Vorgänge haben eine mit der Zeit fortschreitende Erhöhung des Widerstandes zur Folge. Demgemäß besteht die gemessene Kurve aus der Summe der beiden Teilkurven.

Der Anfangswiderstand sämtlicher Blöcke, d. h. der Widerstand am siebenten Tage nach dem Stampfen, liegt zwischen ca. 300 und 500 Ω , und ein eigentlicher Unterschied ergibt sich für die verschiedenen Betonarten nicht.

Gemäß der großen anfänglichen Wasserabnahme Δg durch Verdunsten und chemische Bindung in den ersten 14 Tagen trat auch eine lebhaftere Zunahme von X ein, die zum großen Teil durch die gerade auch in den ersten Tagen besonders erfolgte Erhärtung vergrößert wurde.

Nach den ersten 2 Wochen stieg der Gesamtwasserverlust weniger und blieb nach ca. 60 Tagen fast ganz auf gleicher Höhe, d. h. die Austrocknung erreichte fast ihr Ende, das noch vorhandene Wasser wurde beim Erhärten chemisch gebunden. Diesem Umstand gemäß war in der Zeit vom 14. bis zum 60. Tage die Widerstandszunahme auch geringer und verkleinerte sich mit dem fast gänzlichen Aufhören der Austrocknung noch mehr, um schließlich in diejenige Kurve überzugehen, welche nur der Erhärtung des Betons entsprach. Die Widerstandskurven zeigen einen Verlauf, welcher an eine Parabel erinnert.

Erst nachdem die anfängliche starke Verdunstung des überschüssigen Wassers beendet und die Bestandteile in ein gewisses Gleichgewicht gekommen waren, ergaben sich Unterschiede im Widerstand der einzelnen Betonarten.

Betrachtet man die Ergebnisse hinsichtlich des Mischungsverhältnisses, so findet man, daß der Beton 1 : 4 : 8 einen bedeutend höheren Widerstand erreicht, wie die Mischung 1 : 3 : 3. Die Aufeinanderfolge der Körper ist folgende, wobei mit dem größten Widerstand begonnen ist:

Nr. 11:	erdfeucht, Kies ¹⁾ .	1 : 4 : 8
„ 15:	weich „ . . .	„
„ 9:	erdfeucht, Schotter . . .	„
„ 13:	weich „ . . .	„
„ 3:	erdfeucht, Kies . . .	1 : 3 : 3
„ 7:	weich „ . . .	„
„ 1:	erdfeucht, Schotter . . .	„
„ 5:	weich „ . . .	„

Es zeigt sich aber auch, daß für ein bestimmtes Mischungsverhältnis Kies einen größeren Widerstand liefert als Schotter.

¹⁾ Unter „Kies“ und „Kiesbeton“ ist im folgenden stets „Rheinkies“ und „Rheinkiesbeton“, unter „Schotter“ und „Schotterbeton“ stets „Basalt“ und „Basaltschotterbeton“ verstanden.

Während Block Nr. 1 und 5 fast denselben Widerstand zeigen, macht sich bei Nr. 3 und 7 ein etwas größerer Unterschied bemerkbar, welcher bei Nr. 9

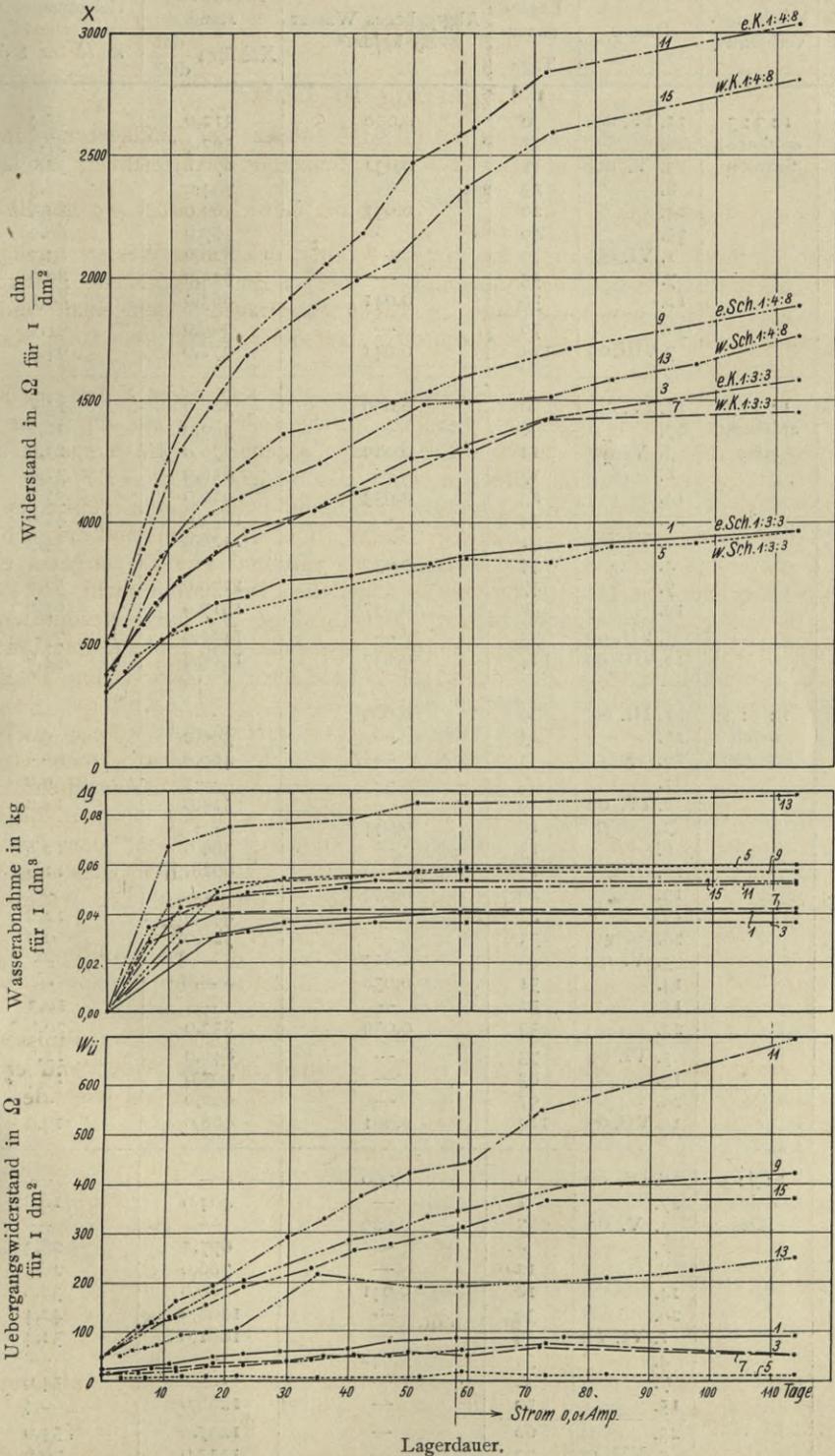


Abb. 21—23.

Beton: Lagerung in Luft.

Tabelle 10.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X\Omega$ für 1 $\frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$	Uebergangswiderstand w_{ii} Ω für 1 dm ²
1	1 : 3 : 3 erdfeucht Schotter	15. IV. 09	0	0,000	312,0	25,4
		26.	11	—	562,4	37,9
		3. V. 09	18	0,032	676,8	52,0
		8.	23	—	704,0	58,3
		14.	29	0,037	764,0	64,5
		25.	40	—	787,0	66,9
		1. VI. 09	47	—	820,0	83,3
		7.	53	—	835,0	86,0
		12.	58	0,041	863,0	89,1
		30.	76	—	909,0	91,3
		7.VIII.09	114	0,041	971,0	94,0
3	1 : 3 : 3 erdfeucht Kies	21. IV. 09	0	0,000	388,0	15,8
		27.	6	—	589,0	18,2
		3. V. 09	12	0,029	776,0	23,0
		8.	17	—	856,0	32,8
		14.	23	0,033	966,0	35,2
		25.	34	—	1052,0	45,0
		1. VI. 09	41	—	1126,0	54,7
		4.	44	0,037	—	—
		7.	47	—	1179,0	52,8
		19.	59	0,037	1317,0	65,6
		3. VII. 09	73	—	1431,0	77,8
		13.VIII.09	114	0,037	1589,0	54,6
		5	1 : 3 : 3 weich Schotter	24. III. 09	0	0,000
27.	3			—	396,2	9,0
29.	5			—	460,0	—
31.	7			—	—	9,0
2. IV. 09	9			—	524,0	14,2
3.	10			0,044	—	—
6.	13			—	569,0	12,8
10.	17			—	602,0	11,6
13.	20			0,053	—	—
15.	22			—	644,0	12,8
28.	35			—	720,0	9,0
3. V. 09	40			0,055	—	—
14.	51			0,058	—	—
15.	52			—	—	10,3
22.	59			0,059	853,0	20,6
5. VI. 09	73			—	840,0	12,8
15.	83			—	905,0	15,4
29.	97			—	920,0	—
16.VII.09	114			0,061	968,0	14,2
7	1 : 3 : 3 weich Kies	26. IV. 09	0	0,000	—	—
		27.	1	—	404,0	16,7
		3. V. 09	7	0,029	—	—
		4.	8	—	677,5	28,3
		8.	12	—	766,0	28,3
		14.	18	0,041	880,0	36,0
		26.	30	—	1008,0	42,4
		1. VI. 09	36	—	1081,0	51,4
		4.	39	0,042	—	—
		7.	42	—	—	54,0
		15.	50	—	1268,0	60,4
		25.	60	—	1297,0	54,0
		7. VII. 09	72	—	1423,0	70,6
		18.VIII.09	114	0,043	1452,0	52,6

Beton: Lagerung in Luft.

Tabelle 11.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X \Omega$ für 1 $\frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$	Uebergangswiderstand $w \Omega$ für 1 dm ²
9	1 : 4 : 8 erdfeucht Schotter	15. IV. 09	0	0,000	338,2	50,3
		26.	11	—	934,0	132,0
		3. V. 09	18	0,049	1158,0	182,8
		8.	23	—	1250,0	207,4
		14.	29	0,055	1368,0	—
		25.	40	—	1426,0	285,7
		1. VI. 09	47	—	1497,0	300,5
		7.	53	—	1540,0	337,7
		12.	58	0,058	1596,0	346,0
		30.	76	—	1717,0	399,3
		7. VIII. 09	114	0,058	1890,0	424,0
11	1 : 4 : 8 erdfeucht Kies	26. IV. 09	0	0,000	—	—
		27.	1	—	545,5	59,6
		3. V. 09	7	0,035	—	—
		4.	8	—	1157,0	121,6
		8.	12	—	1383,0	165,6
		14.	18	0,047	1635,0	197,2
		26.	30	—	1920,0	293,8
		1. VI. 09	36	—	2060,0	332,6
		4.	39	0,051	—	—
		7.	42	—	2183,0	378,0
		15.	50	—	2476,0	424,0
		25.	60	—	2620,0	446,2
		7. VII. 09	72	—	2877,0	552,0
		18. VIII. 09	114	0,053	3040,0	695,0
13	1 : 4 : 8 weich Schotter	24. III. 09	0	0,000	—	—
		27.	3	—	583,0	53,6
		29.	5	—	717,0	65,2
		31.	7	—	796,5	70,5
		2. IV. 09	9	—	866,0	77,0
		3.	10	0,068	—	—
		6.	13	—	964,5	87,4
		10.	17	—	1040,0	101,7
		13.	20	0,076	—	—
		15.	22	—	1108,0	109,6
		28.	35	—	1243,0	219,3
		3. V. 09	40	0,079	—	—
		14.	51	0,086	—	—
		15.	52	—	1481,0	192,0
		22.	59	0,086	1492,0	194,6
		5. VI. 09	73	—	1520,0	—
		15.	83	—	1594,0	211,5
		29.	97	—	1651,0	227,1
16. VII. 09	114	0,089	1769,0	253,1		
15	1 : 4 : 8 weich Kies	21. IV. 09	0	0,000	512,0	50,3
		27.	6	—	896,0	114,7
		3. V. 09	12	0,043	1300,0	131,4
		8.	17	—	1472,0	158,1
		14.	23	0,049	1686,0	194,4
		25.	34	—	1881,0	231,1
		1. VI. 09	41	—	1990,0	265,7
		4.	44	0,054	—	—
		7.	47	—	2071,0	279,4
		19.	59	0,054	2375,0	313,4
		3. VII. 09	73	—	2600,0	368,4
		13. VIII. 09	114	0,054	2816,0	372,1

und 13 resp. Nr. 11 und 16 am stärksten hervortritt. Es folgt daraus, daß ein merklicher Unterschied im Betonwiderstand für die erdfeuchte und weiche Art nur für das Mischungsverhältnis 1:4:8 in Erscheinung tritt, d. h. für eine Mischung, die mager ist und im Verhältnis zum Zuschlag wenig Sand enthält.

Für denselben Beton hat die erdfeuchte Art einen größeren Widerstand wie die weiche.

Es ergeben sich also folgende Resultate:

1. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist der Betonwiderstand.
2. Für jedes Mischungsverhältnis hat der Kiesbeton einen größeren Widerstand wie der Schotterbeton.
3. Für dasselbe Mischungsverhältnis und den gleichen Zuschlag besitzt der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Widerstand wie der weich gestampfte; dieser Unterschied ist um so größer, je magerer die Mischung ist und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält.
4. Der Betonwiderstand dürfte im umgekehrten Verhältnis stehen zu dem Mischungsverhältnis Zement:(Sand + Zuschlag).

Die Gründe für die unter 1.—3. aufgeführten Eigenschaften sind leicht zu erkennen.

Je größer die Menge der Zuschläge, um so poröser ist der Beton; deshalb nahmen die Blöcke 1:4:8 mehr an Gewicht (Wasser) ab, als die in Art und Beschaffenheit jeweils entsprechenden Blöcke des Betons 1:3:3, wie die Schaubilder für Δg zeigen. Aus demselben Grunde hat der Beton 1:4:8 einen größeren Widerstand wie 1:3:3. Vermöge seiner spitzen und scharfen Kanten verbindet sich der Schotterbeton viel besser zu einem gleichmäßigen Ganzen, weswegen er ein besseres Leitvermögen wie Kiesbeton haben dürfte. Der weiche Beton ist mit bedeutend mehr Wasser angemacht, wie der erdfeuchte. Infolge der überschüssigen Flüssigkeit kommt eine innigere Berührung der Zuschläge mit dem Sand und Zement leichter zustande; beide Bestandteile umhüllen die Steine vollständiger, wodurch sich weniger Poren ausbilden können. Der dichtere Beton hat dann naturgemäß einen geringeren Widerstand.

Was nun den Uebergangswiderstand w_u pro 1 dm² betrifft, so ist folgendes zu sagen:

Ein Uebergangswiderstand ist auch bei vollständig blanken Eisenelektroden vorhanden; er kommt dadurch zustande, daß der Strom von dem guten Leiter Eisen auf den verhältnismäßig, bei größerer Austrocknung an und für sich schlechten Leiter Beton übertreten muß.

Der Uebergangswiderstand nimmt mit der Lagerdauer zu. Diese Erscheinung beruht darauf, daß einmal die Feuchtigkeit, welche zuerst eine Brücke zwischen Elektrode und Beton darstellt, allmählich durch die Verdunstung und den chemischen Vorgang des Erhärtens ausscheidet, und andererseits der Stoff, auf welchen der Strom übertreten muß, seinen Widerstand erhöht. Durch diese letztere Eigenschaft wird der Unterschied in den Widerständen des Eisens und des Betons dauernd größer.

Infolge des fast geradlinigen Verlaufes der Kurven war die Austrocknung nur von geringem Einfluß auf den Uebergangswiderstand.

Der Uebergangswiderstand, welcher zu Beginn der Lagerung bei sämtlichen Blöcken zwischen 0 und 50 Ω für 1 dm² betrug, vergrößerte sich später zum Teil recht bedeutend, und zwar wurde er für das Mischungsverhältnis 1:4:8 am größten. Für dieselbe Mischung besaß die weiche Art das größere Leitvermögen. Die Zuschläge waren in der Weise von Bedeutung, als für dasselbe Verhältnis und dieselbe Art des Anmachens im allgemeinen der Kies ein höheres w_u erzeugte wie der Schotter.

Die Reihenfolge der Blöcke ergibt nach der Größe von w_u geordnet folgende Tabelle:

Nr. 11	: erdfeucht, Kies	. . .	1 : 4 : 8
„ 9	: „ Schotter	. . .	„
„ 15	: weich, Kies	. . .	„
„ 13	: „ Schotter	. . .	„
„ 1	: erdfeucht, Schotter	. . .	1 : 3 : 3
„ 3	: „ Kies	. . .	„
„ 7	: weich, Kies	. . .	„
„ 5	: „ Schotter	. . .	„

Demgemäß folgt das Ergebnis:

1. Je magerer die Mischung, und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist der Uebergangswiderstand.
2. Für dasselbe Mischungsverhältnis und dieselbe Art des Anmachens besitzt der Kiesbeton im allgemeinen einen größeren Uebergangswiderstand wie der Schotterbeton.
3. Für jedes Mischungsverhältnis hat der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Uebergangswiderstand wie der weich gestampfte; dieser Unterschied ist im allgemeinen um so größer, je magerer die Mischung ist, und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält.

Im wesentlichen stimmen also die Folgerungen mit denjenigen des Betonwiderstandes überein, was um so natürlicher ist, da der Uebergangswiderstand zum größten Teil von dem veränderlichen Betonwiderstand abhängt.

In den w_u -Kurven ergeben bei sämtlichen Messungen mit Beton und Mörtel einzelne Punkte sogar eine Widerstandsabnahme gegen vorhergehende Punkte. Dieses kann zum Teil an der Berechnungsweise liegen, indem, wie schon früher erwähnt, eine gleichmäßige Austrocknung und Erhärtung des ganzen Blockes angenommen wurde. Da diese Eigentümlichkeit auch bei Blöcken vorliegt, bei denen der Widerstand X an den betreffenden Tagen eine regelmäßige, der Kurve entsprechende Zunahme zeigt, und bei denen während der Brückenmessung im Telephon stets ein vorzügliches Tonminimum wahrzunehmen war, also nur eindeutige Ergebnisse ohne Meßfehler vorliegen, so kann der Grund nur in einem ungleichmäßigen Austrocknen und Erhärten zu suchen sein, falls nicht irgend welche Störungen in der Ausbreitung des Stromes vorlagen.

Am 58. Tage nach dem Prüfungsbeginn wurden die Blöcke an die elektrische Hauptleitung des physikalischen Institutes (140 Volt) angeschlossen, um einen gleichbleibenden Strom durchzuschicken. Dieser Strom konnte gemäß der zur Verfügung stehenden geringen Spannung nur auf 0,01 Amp. eingestellt werden, da für die sämtlichen Blöcke der Luft- und Sandlagerung mit ihren innerhalb weiter Grenzen auseinanderliegenden Widerständen der gleiche Strom verwendet werden mußte. Der Strom wurde jeden Abend wegen der Möglichkeit eines Kurzschlusses und der damit verbundenen Feuergefahr infolge der örtlichen Verhältnisse ausgeschaltet, um am andern Morgen wieder durchgeschickt zu werden. Die tägliche Durchgangsdauer betrug 12 Stunden.

Es bestand hierbei die Absicht, zu untersuchen, welchen Einfluß der elektrische Strom auf die Leitfähigkeit des Betons ausübt.

Wie die X - und w_u -Kurven zeigen, ist ein Gleichstrom von 0,01 Amp. innerhalb 8 Wochen von keinem sichtbaren Einfluß auf den Beton- und Uebergangswiderstand.

Bei sämtlichen Blöcken waren die Hauptelektroden (positiver und negativer Pol) vollständig blank geblieben.

Um die Blöcke während dieser Zeit auf ihren Widerstand hin untersuchen zu können, mußten natürlich zwischen dem Abschalten vom Gleichstromkreis und dem Beginn der Messung wegen der notwendigen Abkühlung mehrere Stunden vergehen.

Inwiefern die Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen des Raumes von Einfluß auf den Widerstand sind, möge z. B. an Block Nr. 7 und 13 dargetan werden.

Die Messung des Blockes Nr. 7, weich, Schotter, 1:3:3, lieferte am 30. Tage, d. h. am 26. V. 09 einen Punkt der X -Kurve, welcher tiefer liegt, als nach dem seitherigen Verlauf der Kurve erwartet werden konnte. Der Grund liegt offenbar darin, daß in den Tagen vor dem 26. V. 09 eine geringere Feuchtigkeit geherrscht hatte, welche durch ihre nunmehr erfolgende Vergrößerung ein langsames Austrocknen im Gefolge haben mußte. Die Feuchtigkeit blieb dann auf ziemlich gleicher Höhe von ca. 80%, bis sie plötzlich gegen Mitte Juni einen Abfall um ca. 10% erlitt, welcher unbedingt eine stärkere Wasserverdunstung mit sich bringen mußte. Dieses drückt sich in dem großen Sprung des Wertes für X am 50. Tage der Lagerdauer, d. h. am 15. VI. 09 aus. Die darauf folgende Erhöhung der Feuchtigkeit mußte naturgemäß wieder ein Zurückbleiben der Widerstandsänderung zur Folge haben, die denn auch nach 60 Tagen am 25. VI. 09 gemessen wurde.

Analog sind die Messungen für Block Nr. 13, weich, Schotter, 1:4:8, aufzufassen. Besonders fällt hier der große Sprung am 52. Tage, d. h. am 15. V. 09 auf, der in der Feuchtigkeitsabnahme bis auf 57% und der dadurch bedingten stärkeren Austrocknung seinen Grund hatte. Nach dem 15. V. 09 nahm die Feuchtigkeit wieder zu und erreichte gegen den 5. VI. 09 ihren Höchstwert von 82%. Dieses bewirkte denn auch nur eine ganz geringe Widerstandserhöhung; während sie vorher in 17 Tagen mit geringerer Feuchtigkeit (vom 28. IV. bis 15. V. 09) 238 Ω oder 19,1% betrug, war sie in den darauf folgenden 21 Tagen mit höherer Feuchtigkeit (vom 15. V. bis 5. VI. 09) nur 39 Ω oder 2,6%.

Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur ist schon in einem früheren Abschnitt besprochen worden. Eine Temperaturerhöhung kann aber nur sehr langsam in einem Block von 20 \times 20 cm Querschnitt vor sich gehen, so daß eine genaue Nachprüfung unmöglich ist.

b) Lagerung in feuchtem Sand.

Für die Lagerung in feuchtem Sand waren die Blöcke Nr. 17—32 vorgesehen, deren einer Teil als Vergleichsblöcke für die späteren Druckversuche diente. Die Blöcke waren vollständig in Sand eingebettet (Kisten). Der Sand wurde leicht mit Wasser begossen, sobald sich eine trockene Schicht an der Oberfläche bildete. Um die Notwendigkeit einer zu oft stattfindenden Anfeuchtung zu verhindern, wodurch sich zu viel Wasser auf dem Boden der Kisten angesammelt hätte, wurde die Sandoberfläche stets in festgeklopftem Zustande erhalten. Zur Messung wurden die Blöcke herausgenommen, gut gereinigt, und zwecks Isolation auf Glas gestellt.

In Tabelle 12 und Abb. 24—26 sind die Werte enthalten, welche sich auf die Sandlagerung beziehen.

Es mußte hier ein positives und negatives Δg eingeführt werden, weil manche Blöcke zu Beginn ihrer Lagerung Feuchtigkeit abgaben ($-\Delta g$) und erst später wieder eine Zunahme erreichten, wobei aber bei einigen der Anfangszustand nicht einmal wieder erreicht wurde. Der Grund dürfte wohl darin liegen, daß die erste Sandlagerung nach dem Entschalen zu feucht war und demnach die Körper für die erste Zeit einen Ueberschuß an Feuchtigkeit besaßen, der sich dann in dem weniger nassen Sande des Prüfungsraumes wieder ausglich.

Die Widerstandsänderung der Körper ist, wie die X -Kurven zeigen, naturgemäß vollständig verschieden von derjenigen der Luftlagerung. Hier kann von einer Austrocknung nicht die Rede sein wie dort, sondern es findet eine allmähliche Wasserentziehung aus dem Sande statt, die sich mit dem Wasserbedarf bei dem chemischen Vorgang des Erhärtens decken dürfte.

Der Widerstand nimmt demgemäß nur allmählich zu; die erhaltenen Kurven entsprechen den im vorigen Abschnitt erwähnten Kurven für die Erhärtung. Der

Anfangswiderstand der Blöcke liegt zwischen 200 und 600 Ω , worin sich ein Unterschied von denen der Luftlagerung ergibt; dieses ist die natürliche Folge

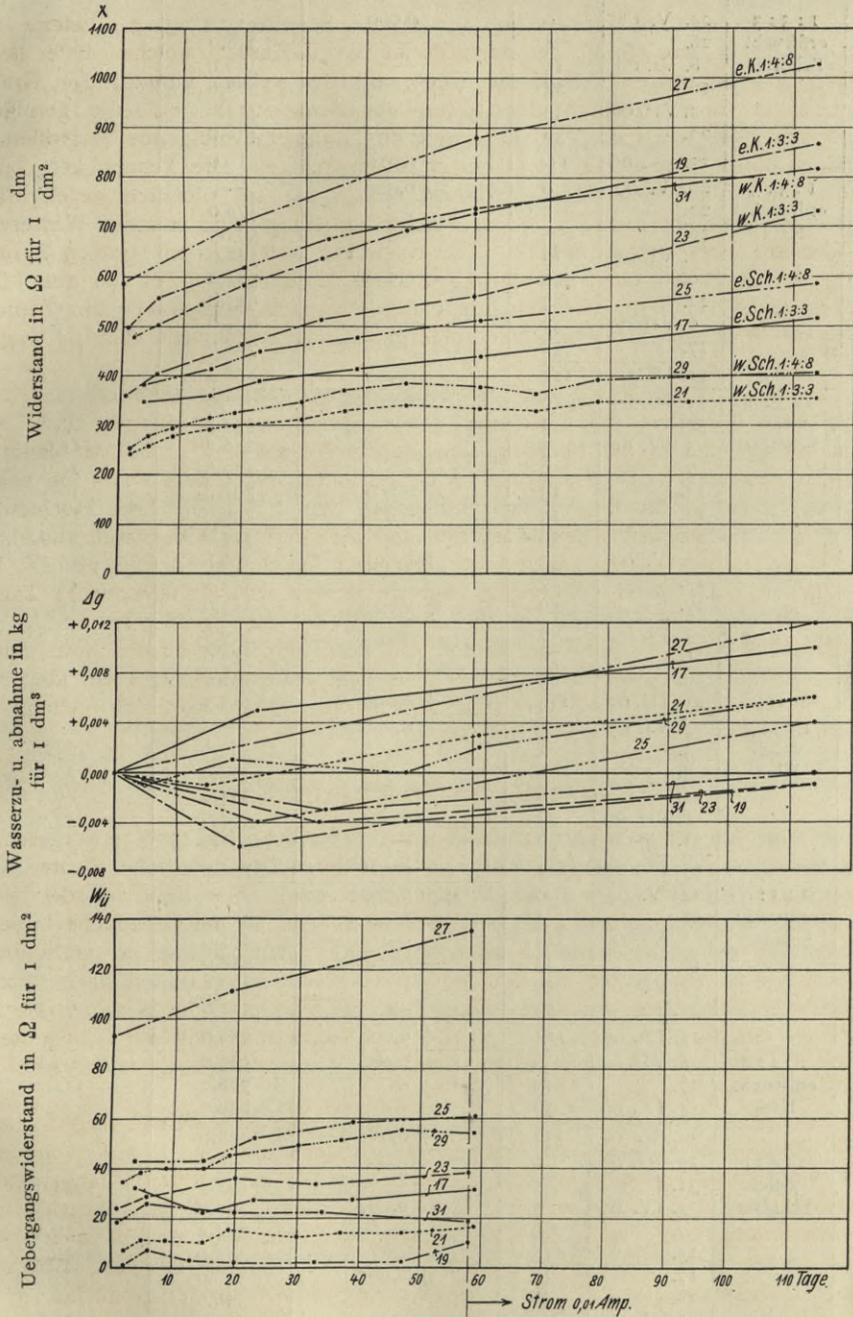


Abb. 24—26.

des Stampfens von Hand, aber auch die erste Sandlagerung, sowie die Undichtigkeiten der Formkästen können hieran teilhaben. Die größten Unterschiede in den Anfangswiderständen der jeweils gleichen Betonblöcke der verschiedenen Lagerungsgruppen betragen im Höchsthalle etwa 29%, und im Mindesthülle etwa

Beton: Lagerung in Sand.

Tabelle 12.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Aufgenommenes und abgegebenes Wasser $\pm \Delta g$ kg/dm ³	Betonwiderstand $X \Omega$ für 1 $\frac{dm}{dm^2}$	Uebergangswiderstand $w_u \Omega$ für 1 dm ²
17	1:3:3 erdfeucht Schotter	24. V. 09	0	0,000	—	—
		28.	4	—	348,0	32,7
		8. VI. 09	15	—	360,0	22,6
		16.	23	+ 0,005	388,6	27,6
		2. VII. 09	39	—	414,0	27,6
		22.	59	—	438,0	31,4
		15. IX. 09	114	+ 0,010	516,0	—
19	1:3:3 erdfeucht Kies	20. V. 09	0	0,000	—	—
		22.	2	—	479,0	1,3
		26.	6	—	503,5	7,7
		2. VI. 09	13	—	542,0	3,8
		9.	20	- 0,006	583,0	2,6
		22.	33	—	635,0	2,6
		6. VII. 09	47	- 0,004	694,0	2,6
		17.	58	—	728,0	10,2
		11. IX. 09	114	- 0,001	866,0	—
21	1:3:3 weich Schotter	29. III. 09	0	0,000	—	—
		31.	2	—	241,5	7,7
		3. IV. 09	5	—	258,3	11,6
		7.	9	—	277,6	11,6
		13.	15	- 00,01	291,0	10,3
		17.	19	—	298,0	15,6
		28.	30	—	311,0	12,9
		5. V. 09	37	+ 0,001	329,6	14,2
		15.	47	—	342,5	14,2
		27.	59	+ 0,003	334,0	16,6
		5. VI. 09	68	—	329,6	—
		15.	78	—	349,0	—
		30.	93	—	348,0	—
21. VII. 09	114	+ 0,006	355,3	—		
23	1:3:3 weich Kies	3. VI. 09	0	0,000	—	—
		4.	1	—	360,0	24,2
		9.	6	—	404,0	29,0
		23.	26	—	464,0	26,3
		6. VII. 09	33	- 0,004	514,0	33,9
		31.	58	—	561,0	38,7
		25. IX. 09	114	- 0,001	732,0	—
25	1:4:8 erdfeucht Schotter	24. V. 09	0	0,000	—	—
		28.	4	—	384,0	43,2
		8. VI. 09	15	—	414,0	43,2
		16.	23	- 0,004	448,0	52,3
		2. VII. 09	39	—	477,5	58,8
		22.	59	—	512,0	61,3
		15. IX. 09	114	+ 0,004	589,0	—
27	1:4:8 erdfeucht Kies	8. VII. 09	0	0,000	585,0	93,1
		27.	19	—	708,0	111,2
		4. IX. 09	58	—	880,0	135,9
		30. X. 09	114	+ 0,012	1026,0	—
29	1:4:8 weich Schotter	29. III. 09	0	0,000	—	—
		31.	2	—	253,5	34,9
		3. IV. 09	5	- 0,001	276,7	38,8
		7.	9	—	294,4	40,1
		13.	15	—	315,0	40,1
		17.	19	+ 0,001	326,0	45,3
		28.	30	—	346,0	49,2
		5. V. 09	37	—	370,0	51,8
		15.	47	0,000	385,3	55,7
		27.	59	+ 0,002	378,4	54,3
		5. VI. 09	68	—	365,5	—
		15.	78	—	392,0	—
		30.	93	—	398,7	—
21. VII. 09	114	+ 0,006	407,0	—		
31	1:4:8 weich Kies	3. VI. 09	0	0,000	—	—
		4.	1	—	498,5	18,7
		9.	6	—	556,0	26,1
		23.	20	—	617,5	22,4
		7. VII. 09	34	- 0,003	675,5	22,5
		31.	58	—	736,0	18,8
		25. IX. 09	114	0,000	816,0	—

12⁰/₀ vom Mittelwert. Es zeigte sich, daß der Höchstwert von 29⁰/₀ für den Beton „erdfeucht, Kies, beider Mischungsverhältnisse“ bestand, während für Beton „weich, Schotter, 1 : 3 : 3“ am leichtesten eine gleichmäßige Betonmasse hergestellt werden konnte, da für ihn der Mindestwert von 12⁰/₀ bestand.

Zusammenstellung der Anfangswerte von X und w_u für Blöcke.

Nr.	Lagerdauer Tage	$X \Omega$ für 1 $\frac{dm}{dm^2}$	$w_u \Omega$ für 1 dm^2
15	0	512,0	50,3
31	1	498,5	18,7
40	1	446,5	34,5
48	0	401,0	28,6

Größter Unterschied vom Mittelwert:

$$\begin{aligned} \text{für } X &\approx 13,7\% \\ \text{„ } w_u &\approx 43,3\% \end{aligned}$$

Es könnte demgemäß als ein Fehler erscheinen, aus den nach langer Lagerdauer erhaltenen Ergebnissen eine Gesetzmäßigkeit herzuleiten. Demgegenüber ist jedoch folgendes einzuwenden:

Die Ableitung einer Gesetzmäßigkeit aus Ergebnissen einer kurzen Lagerdauer ist selbstverständlich unzulässig, weil der Zustand, in welchem sich die Blöcke hinsichtlich des Wassergehaltes usw. befinden, zu veränderlich ist. Erst nachdem ein gewisses Gleichgewicht in der Austrocknung eingetreten ist, findet die Verschiebung hinsichtlich der Widerstandszunahme statt, indem sich die Blöcke nach einer vollkommenen und auch leicht erklärlichen Gesetzmäßigkeit ordnen.

Daß Blöcke von gleicher Art und bei völlig gleicher Lagerung fast dieselbe Widerstandszunahme aufweisen, hat Lindeck bei seinen ersten Untersuchungen gezeigt.

Bei der allmählichen Erhöhung des Widerstandes erreicht, wie bei der Luftlagerung, der Beton „erdfeucht, Kies, 1 : 4 : 8“ den höchsten, „weich, Schotter, 1 : 3 : 3“ den geringsten Widerstand, aber innerhalb dieser Grenzen ist die Verteilung vollständig anders. Es findet hier eine Hauptgruppierung der Blöcke nach der Art des Zuschlages statt. Die Widerstände, ihrer Größe nach geordnet, ergeben folgende Blockreihe:

Nr. 27: erdfeucht, Kies	. .	1 : 4 : 8
„ 19: „ „	. .	1 : 3 : 3
„ 31: weich „	. .	1 : 4 : 8
„ 23: „ „	. .	1 : 3 : 3
„ 25: erdfeucht, Schotter	. .	1 : 4 : 8
„ 17: „ „	. .	1 : 3 : 3
„ 29: weich „	. .	1 : 4 : 8
„ 21: „ „	. .	1 : 3 : 3

Es zeigt bei sonst gleichen Blöcken das Mischungsverhältnis 1 : 4 : 8 stets einen größeren Widerstandwert wie 1 : 3 : 3.

Demgemäß lassen sich folgende Sätze aufstellen:

1. Je magerer die Mischung, und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist bei dem gleichen Zuschlagsstoffe und derselben Art des Anmachens der Widerstand.
2. Der Kiesbeton hat einen größeren Widerstand wie der Schotterbeton.
3. Für denselben Zuschlag besitzt der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Widerstand wie der weich gestampfte.

Was die Uebergangswiderstände w_{ii} anbetrifft, so gibt sich hier keine Gesetzmäßigkeit kund. Der Grund mag daran liegen, daß die Anfangswiderstände, wie sie durch den Zufall beim Stampfen entstehen, wegen der geringen Zunahme von X und der stets vorhandenen Feuchtigkeitsbrücke ihre Größe nur wenig ändern. Im allgemeinen sind die Uebergangswiderstände für die mageren Mischungen mit wenig Sandgehalt am größten.

Die Größe der Widerstände pro dm^2 blieb stets in geringen Grenzen.

Zur Begründung der unter 1. und 3. angeführten Tatsachen dürfte auf Früheres verwiesen werden können. Für 2. dürfte der Grund maßgebend sein, wonach der Schotter wegen seiner rauheren Oberfläche leichter und mehr Wasser aufnehmen kann wie der Kies.

Vom 59. Tage ab seit Prüfungsbeginn wurde Gleichstrom von 0,01 Amp. durch die Blöcke geschickt (vergl. Luftlagerung). Zu diesem Zwecke mußten die Sandkästen auf Isolationsmaterial (in Oel gekochte Backsteine mit Dachpappe und Glas) gestellt werden.

Um die Zwischenelektroden herum wurden, ohne diese zu berühren, U-förmig gebogene Bleche in den Sand gesteckt, um diesen von den Elektroden fern zu halten und ein Uebertreten des Stromes in ihn zu verhindern. Um die Hauptelektroden als Zuführungspole wurde der Sand bis auf ca. 2 cm entfernt, so daß auch hier der Strom nicht abgeleitet werden konnte.

Die Isolation der Kästen erwies sich wegen des herrschenden Erdschlusses als ungenügend, so daß der Strom nur sehr schwierig auf genau 0,01 Amp. eingestellt werden konnte.

Die Ergebnisse aus dem Stromdurchgang sind auch hier negativ, wie die X -Kurven zeigen. Die w_{ii} -Kurven wurden über den 59. Tag hinaus nicht aufgezeichnet, da es sich am Ende der Untersuchung zeigte, daß die positive Elektrode des Gleichstromes durch die chemische Zersetzung des Wassers (Sauerstoffbildung) stets etwas angerostet war, so daß ein mittleres w_{ii} nicht mehr berechnet werden konnte.

Es erübrigt sich hier noch auf die Polarisationsströme in den Blöcken einzugehen. Diese erreichten während der Zeit des dauernden Gleichstromdurchganges eine ziemlich beträchtliche Größe.

Am 3. VI. 09 ergab nach Abschaltung vom Gleichstromnetz durch Messung mit einem Milliamperemeter:

Nr. 5: weich, Schotter, 1:3:3	0,0006 Amp.	} 12 Tage Stromdurchgang
„ 13: „ „ 1:4:8	0,0006 „	
„ 21: „ „ 1:3:3	0,0022 „	
„ 29: „ „ 1:4:8	0,0014 „	

Die Stromstärken waren bis zum 3. VII. 09 gestiegen, und es zeigte:

Nr. 5: 0,0006 Amp.	} 42 Tage Stromdurchgang
„ 13: 0,0013 „	
„ 21: 0,0030 „	
„ 29: 0,0022 „	

Diese Ströme wurden dann mit der Zeitdauer des Kurzschließens kleiner.

Block 5 und 13 gehörten der Luftlagerung an.

c) Lagerung in Süßwasser.

Die Ergebnisse für die Blöcke, die im Süßwasser erhärteten, sind in Tabelle 13 und Abb. 27—29 niedergelegt.

Für die Messung wurde jeder Block aus seinem Blechbehälter herausgenommen, um an der Luft gut abtrocknen zu können. Zur Erzielung einer vollständig trockenen Oberfläche wurde diese noch mit einem Tuche abgewischt. 2 Stunden nach dem Herausnehmen erfolgte die Messung, wobei der Block noch auf Isolierstoffe (Glas und Dachpappe) gelegt wurde.

Die Messungen selbst zeigen ein ähnliches Ergebnis wie bei der Sandlagerung. Der flachere Verlauf der X -Kurven kann nur von dem in den Poren verbliebenen Wasser herrühren. Die Kurven lassen auch hier erkennen, daß der

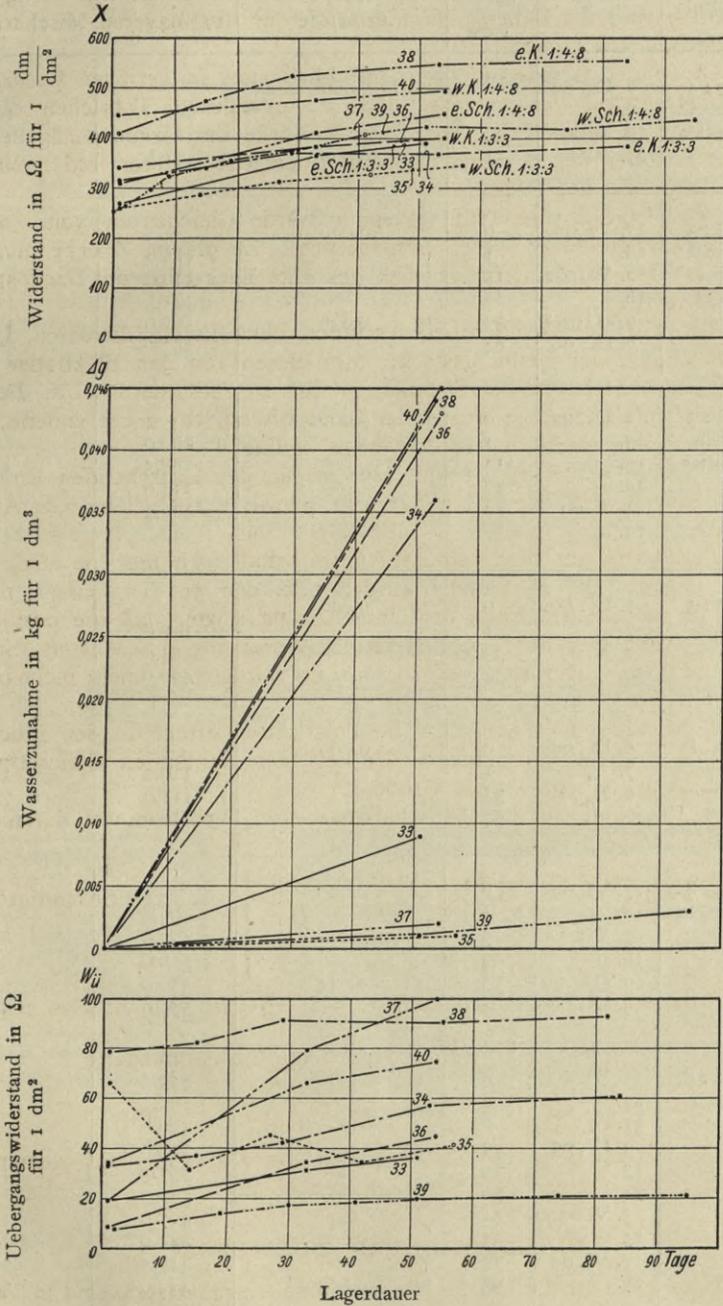


Abb. 27—29.

Beton des Mischungsverhältnisses 1 : 4 : 8 (Nr. 37—40) einen bedeutend größeren Widerstand besitzt. Jedoch kann hier von einem proportionalen Verhältnis in bezug auf die Mischung nicht die Rede sein. Eine gesetzmäßige Gruppierung hinsichtlich des Zuschlages und der Art des Anmachens konnte wahrscheinlich wegen des in den Poren verbliebenen Wassers nicht festgestellt werden.

Beton: Lagerung in Süßwasser. Tabelle 13.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Aufgenommenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X\Omega$ für 1 dm ²	Uebergangswiderstand $w\Omega$ für 1 dm ²
33	1 : 3 : 3 erdfeucht Schotter	6. IX. 09	0	0,000	—	—
		7.	1	—	268,0	19,4
		9. X. 09	33	—	365,0	31,5
		27.	51	0,009	391,5	36,2
34	1 : 3 : 3 erdfeucht Kies	17. VI. 09	0	0,000	—	—
		18.	1	—	315,0	33,4
		2. VII. 09	15	—	340,0	37,2
		16.	29	—	371,5	42,3
		9. VIII. 09	53	0,036	369,0	57,7
		9. IX. 09	84	—	383,0	60,5
35	1 : 3 : 3 weich Schotter	2. IX. 09	0	0,000	—	—
		3.	1	—	260,0	68,2
		16.	14	—	288,5	30,6
		29.	27	—	314,0	45,4
		14. X. 09	42	—	326,5	34,8
		29.	57	0,001	347,0	41,4
36	1 : 3 : 3 weich Kies	6. IX. 09	0	0,000	—	—
		7.	1	—	341,8	9,1
		9. X. 09	33	—	384,0	34,8
		30.	54	0,043	400,0	45,0
37	1 : 4 : 8 erdfeucht Schotter	6. IX. 09	0	0,000	—	—
		7.	1	—	310,2	19,9
		9. X. 09	33	—	411,0	79,6
		30.	54	0,002	450,0	100,0
38	1 : 4 : 8 erdfeucht Kies	17. VI. 09	0	0,000	—	—
		18.	1	—	409,0	79,0
		2. VII. 09	15	—	475,0	82,6
		16.	29	—	526,0	91,7
		9. VIII. 09	53	0,044	550,0	90,6
		9. IX. 09	84	—	555,0	93,0
39	1 : 4 : 8 weich Schotter	25. III. 09	0	0,000	253,5	—
		27.	2	—	265,5	8,1
		31.	6	—	299,0	—
		3. IV. 09	9	—	323,0	—
		13.	19	—	355,5	14,2
		24.	30	—	376,0	17,7
		5. V. 09	41	—	407,0	18,8
		15.	51	0,001	424,0	20,1
		7. VI. 09	74	—	417,5	21,2
		28.	95	0,003	439,0	21,3
		40	1 : 4 : 8 weich Kies	6. IX. 09	0	0,000
7.	1			—	446,5	34,5
9. X. 09	33			—	477,5	66,4
30.	54			0,045	495,0	75,0

Das aufgenommene Wasser Δg , welches auch keinen Anhalt für die Größe der Widerstandsänderung liefert, konnte leider nicht öfter gemessen werden.

Die Uebergangswiderstände der einzelnen Blöcke änderten sich unregelmäßig; im allgemeinen aber haben die Blöcke 1 : 4 : 8 ein größeres w_{ii} , ebenso wie Kies einen höheren Uebergangswiderstand gegenüber Schotter erzeugt.

d) Lagerung in Salzwasser.

Das für die Lagerung benötigte Salzwasser sollte gemäß dem Programm die Konzentration des Meereswassers (3,6 ‰) haben. Es wurde hierzu Viehsalz verwendet. Beim Auswechseln der Blöcke wurde das Wasser stets erneuert.

Die Ergebnisse dieser Messungen (Tabelle 14, S. 40, und Abb. 30—32, S. 41) sind mit denen für Süßwasserlagerung fast gleichbedeutend. Nur eine bezeichnende Eigenschaft der Blöcke zeigte sich in dem bei manchen zu Anfang, bei andern erst später erfolgten plötzlichen Sinken des Widerstandes. Dieses geschah bis zu einem Mindestwert, um nachher wieder in ein Anwachsen überzugehen.

Die Ursache kann nur in dem Salzgehalt des Wassers liegen.

Gemäß den Kurven für X tritt die Widerstandsabnahme zuerst bei den Blöcken mit größtem Widerstand (Nr. 41, 45, 46, 48) auf, während diejenigen mit dem größten Leitvermögen (Nr. 43 und 47) keine solche erkennen lassen. Der Grund kann nur in der größeren Porosität der ersteren liegen, während bei den Blöcken Nr. 42 und 44 das Salzwasser den Beton langsamer durchdringt.

Nach dem Sinken des Widerstandes tritt infolge der weiteren Erhärtung des Körpers eine Zunahme ein.

Gleiches ist von den Uebergangswiderständen zu sagen.

e) Erwärmung.

Um die Blöcke der Erwärmung unterziehen zu können, verfertigte Verfasser den auf Abb. 33—36 abgebildeten elektrischen Ofen.

Abb. 33.

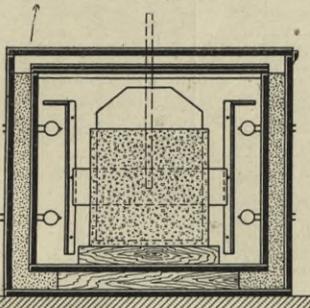


Abb. 34.

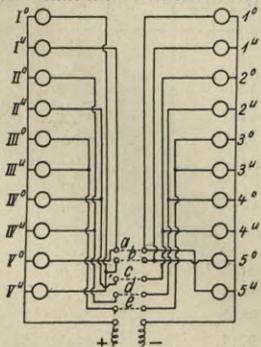
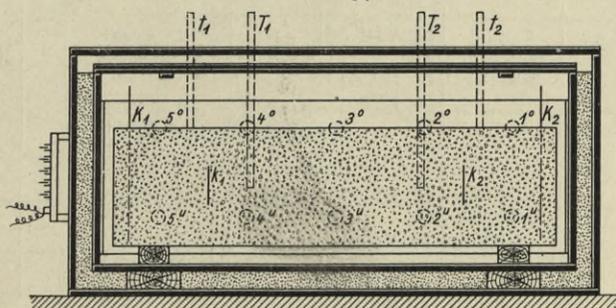


Abb. 36.

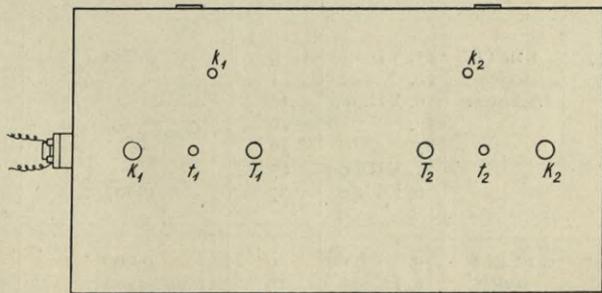


Abb. 35.

Beton: Lagerung in Salzwasser.

Tabelle 14.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Aufgenommenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X\Omega$ für 1 $\frac{dm}{dm^2}$	Übergangswiderstand $w\Omega$ für 1 dm ²
41	1 : 3 : 3 erdfeucht Schotter	30. VIII. 09	0	0,000	—	—
		31.	1	—	356,5	27,2
		16. IX. 09	17	—	296,7	16,1
		29.	30	—	309,0	28,6
		14. X. 09	45	—	329,5	27,4
		27.	58	0,012	327,0	31,0
42	1 : 3 : 3 erdfeucht Kies	17. VI. 09	0	0,000	—	—
		18.	1	—	266,3	—
		3. VII. 09	16	—	281,5	21,6
		17.	30	—	300,0	22,8
		27.	40	—	300,0	26,6
		25. VIII. 09	69	—	344,0	25,3
2. IX. 09	77	0,035	320,0	29,1		
43	1 : 3 : 3 weich Schotter	30. VIII. 09	0	0,000	—	—
		31.	1	—	201,7	26,4
		16. IX. 09	17	—	251,0	33,1
		29.	30	—	266,3	35,7
		14. X. 09	45	—	273,5	58,2
		27.	58	0,004	292,5	38,3
44	1 : 3 : 3 weich Kies	9. VIII. 09	0	0,000	271,0	26,5
		6. IX. 09	28	—	328,0	40,5
		22.	44	—	351,0	55,6
		11. X. 09	63	0,014	268,0	68,2
		23.	75	0,014	366,0	59,4
45	1 : 4 : 8 erdfeucht Schotter	30. VIII. 09	0	0,000	—	—
		31.	1	—	300,8	17,6
		18. IX. 09	19	—	244,7	2,6
		9. X. 09	40	—	264,8	14,9
		27.	58	0,011	263,3	17,5
46	1 : 4 : 8 erdfeucht Kies	28. VI. 09	0	0,000	—	—
		29.	1	—	410,5	68,9
		10. VII. 09	12	—	300,7	31,1
		17.	19	—	281,5	33,6
		11. VIII. 09	44	—	188,8	38,7
		11. IX. 09	75	0,026	296,0	27,4
47	1 : 4 : 8 weich Schotter	21. VI. 09	0	0,000	—	—
		22.	1	—	200,0	—
		6. VII. 09	15	—	234,0	24,8
		17.	26	—	253,5	28,5
		27.	36	—	264,0	29,7
		25. VIII. 09	65	—	287,0	32,2
		6. IX. 09	77	0,007	316,8	33,4
48	1 : 4 : 8 weich Kies	9. VIII. 09	0	0,000	401,0	28,6
		6. IX. 09	28	—	288,0	37,2
		22.	44	—	268,0	34,6
		11. X. 09	63	0,022	257,5	42,5
		23.	75	0,022	276,8	24,6

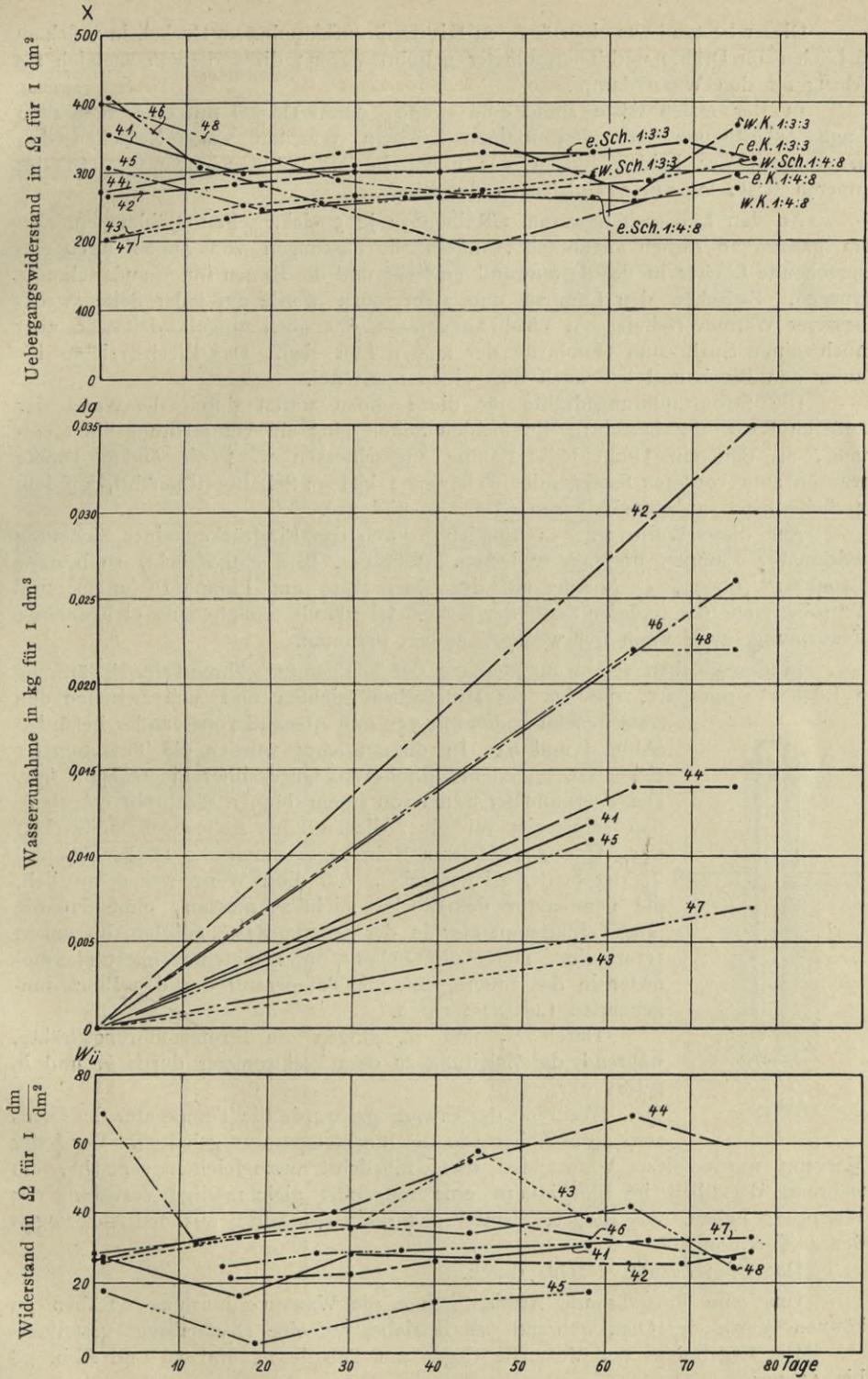


Abb. 30—32.

Dieser bestand aus einer äußeren Kiste mit aufklappbarem Deckel, in welchem 8 Löcher für Drähte und Thermometer gebohrt waren; diese dienten zugleich als Abzug für den Wasserdampf.

In der ersten Kiste stand eine zweite, deren Deckel mit einer doppelten Lage Asbestpappe und den nötigen Löchern versehen war. Zwischen den Wandungen der beiden Kisten war Flugasche als Wärmeschutzmasse. In der inneren Kiste lag auf 2 Holzleisten der Block.

An den Längsseiten waren 2 Reihen zu je 5 elektrischen Glühlampen, also im ganzen 20 Birnen angebracht, indem die Fassungen von außen durch entsprechende Löcher in der Kistenwand gesteckt und die Birnen innen aufgeschraubt wurden. Zwischen den Lampen und dem Block wurde auf jeder Seite zwecks besserer Wärmeverteilung ein Blech angebracht, das oben umgebördelt war, aber noch einen Spalt zum Durchtritt der heißen Luft ließ. Das Blech reichte bis unter den Block und ließ auch dort einen Spalt frei.

Die Stromzuführungsdrähte für die Lampen waren durch die Wand der äußeren Kiste durchgeführt. Zu beiden Seiten ging ein Hauptleitungsdraht entlang, an den ein Draht jeder Lampe angeschlossen war; die andern Drähte wurden zum vorderen Kistenende nach einem kleinen Schaltbrett geführt, auf dem 5 Sicherungen angebracht waren (Abb. 34 und 35).

Auf diese Weise war es möglich, durch das Eindrücken einer Sicherung jedesmal 4 Lampen brennen zu lassen. Wurde z. B. a eingedrückt, so brannte Lampe 1^o (oben), 5^u (unten) auf der einen Seite und Lampe I^u (unten) und V^o (oben) auf der anderen Seite der Kiste. Hierdurch erfolgte eine gleichmäßige Erwärmung, auch wenn nur wenige Lampen brannten.

In den Blöcken waren zur Messung der Temperatur während der Erwärmung 2 Löcher ausgespart, die bis zur Mittelachse reichten und sich zwischen den Zwischenelektroden mit 350 mm Abstand voneinander befanden (Abb. 8 und 9). In diese Löcher wurden die Thermometer eingesetzt, nachdem vorher etwas Quecksilber hineingefüllt war. Die Thermometer waren von einem dünnen Blechrohr umgeben, daß seinerseits mit einer dicken Lage Asbestwolle umwickelt war (Abb. 37). Dieses Rohr ragte durch die Löcher T_1 und T_2 der beiden Kisten deckel. Auf diese Weise war es möglich, die Temperatur des Blockes leicht zu messen, ohne daß die höhere Lufttemperatur in der inneren Kiste falsche Ablesungen verursachte. Durch die Löcher t_1 und t_2 ragten 2 weitere Thermometer in das Innere, um die Temperatur der den Block umgebenden Luft zu messen.

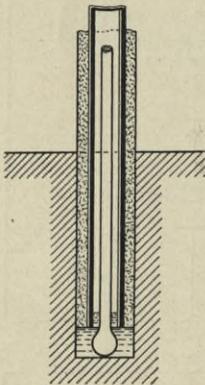


Abb. 37.

Durch K_1 und K_2 gingen die Stromzuführungsdrähte, während die Zuleitung zu dem Elektrometer durch k_1 und k_2 gelegt war.

Während der Erwärmung wurde die Temperatur des Ofens stets etwas höher wie die Blocktemperatur gehalten. Vor jeder Messung wurde dieser Unterschied dann möglichst auszugleichen versucht, um während derselben im Blockinnern eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Wärme zu haben. Als Blocktemperatur galt dann das Mittel aus den Ablesungen der 4 Thermometer.

Der Ofen brannte Nachts durch.

Um eine fortwährende Aufsicht über die Wasserverdunstung ausüben zu können, wurde der Ofen während des Betriebes auf eine Dezimalwaage gestellt.

Die Ergebnisse der Versuche liegen auf Tabelle 15 und 16 und Abb. 38 bis 43 vor.

Zunächst ist auf Tafel 38 und 39 die Abhängigkeit der Temperatur t , sowie der Wasserabnahme Δg von der Zeitdauer T der Erwärmung in Kurven aufgetragen, und zwar von $\Delta g = f(T)$ nur derjenige Teil, welcher auf den ersten Tag (ca.

Beton: Erwärmung (100°C).

Tabelle 15.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Dauer T Stdn.	Temp. $t^{\circ}\text{C}$	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X \Omega$ für $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$
53	1 : 4 : 8 erdfeucht Schotter	0	18	0,000	312,2
		2	50	0,005	208,0
		4	71	0,019	238,5
		7	87	0,038	304,0
		9	100	0,058	341,7
		11	konst.	0,072	504,5
		24		0,115	9 175
		28		0,129	40 150
		34		0,142	277 300
		49		0,159	3 992 000
		55		0,161	3 487 000
				konst.	
		54	1 : 4 : 8 erdfeucht Kies	0	17
2	47			0,005	412,0
4	64			0,011	407,5
6,5	79			0,021	522,5
8,5	88			0,028	656,0
10,5	100			0,039	915,0
24	konst.			0,075	141 200
28				0,081	180 000
35				0,086	1 252 000
47,5				0,099	1 544 000
55				0,104	1 611 000
				konst.	
55	1 : 4 : 8 weich Schotter			0	17
		2	40	0,005	160,7
		5	55	0,012	171,0
		7	70	0,027	198,3
		9	85	0,043	240,0
		11	100	0,050	251,2
		23	konst.	0,100	610,0
		26		0,111	985,0
		30		0,126	1 720
		34		0,136	3 590
		47		0,164	72 100
		53		1,172	301 000
		77		0,173	1 152 000
		97		konst.	2 023 000
		104			1 745 000
		108			1 824 000
121			1 207 000		
131			1 258 000		
145			2 640 000		
56	1 : 4 : 8 weich Kies	0	16	0,000	478,5
		2	45	0,004	309,6
		4	64	0,014	346,0
		7	80	0,032	488,0
		9	90	0,041	599,5
		11	100	0,052	836,5
		28	konst.	0,098	20 900
		31		0,105	97 400
		35		0,111	514 500
		51		0,126	1 931 500
		55		0,129	1 281 500
		konst.			

Beton: Erwärmung (100°C).

Tabelle 16.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Dauer T Stdn.	Temp. $t^{\circ}\text{C}$	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm ³	Betonwiderstand $X \Omega$ für $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$
49	1:3:3 erdfeucht Schotter	0	18	0,000	305,0
		2	47	0,004	184,0
		4	61	0,011	176,8
		7	80	0,019	183,9
		9	100	0,033	170,3
		11	konst.	0,049	224,0
		24		0,095	1 360,0
		34		0,120	5 850,0
		47		0,144	7 835,0
50	1:3:3 erdfeucht Kies	0	16	0,000	424,0
		2	41	0,004	260,9
		4	60	0,007	224,0
		6	70	0,011	236,0
		9	100	0,025	264,0
		11,5	konst.	0,042	415,5
		24		0,077	1 280,0
		28		0,085	40 750
		32		0,092	97 990
		35		0,095	187 650
		50		0,014	1 356 000
		55		0,117	1 537 000
		83		konst.	1 695 000
		116,5			1 508 000
		51	1:3:3 weich Schotter	0	23
2	42			0,004	168,0
4	57			0,008	155,9
7	74			0,021	168,0
9	68			0,028	154,4
11	98			0,039	156,9
12,5	100			0,048	180,7
24	konst.			0,086	528,0
28				0,096	723,0
32				0,109	1 256,0
35				0,113	1 909
49				0,142	22 500
55				0,153	74 735
72				0,169	1 259 000
92				konst.	4 150 000
101,5					3 110 000
118					3 250 000
139,5			4 825 000		
150,5			3 320 000		
164			5 823 000		
174,5			5 350 000		
52	1:3:3 weich Kies	0	17	0,000	312,0
		2	50	0,007	188,0
		4	68	0,014	184,9
		7	90	0,032	220,0
		9	100	0,046	261,5
		11	konst.	0,058	400,0
		24		0,097	7 320
		28		0,107	20 900
		34		0,121	113 200
		49,5		0,139	1 586 000
		54,5		0,140	1 405 000
		74		konst.	2 160 000

13 Stunden entfällt. Außerdem sind in den Δg -Kurven die Punkte hervorgehoben, bei denen eine Temperatur von 100° erreicht wurde.

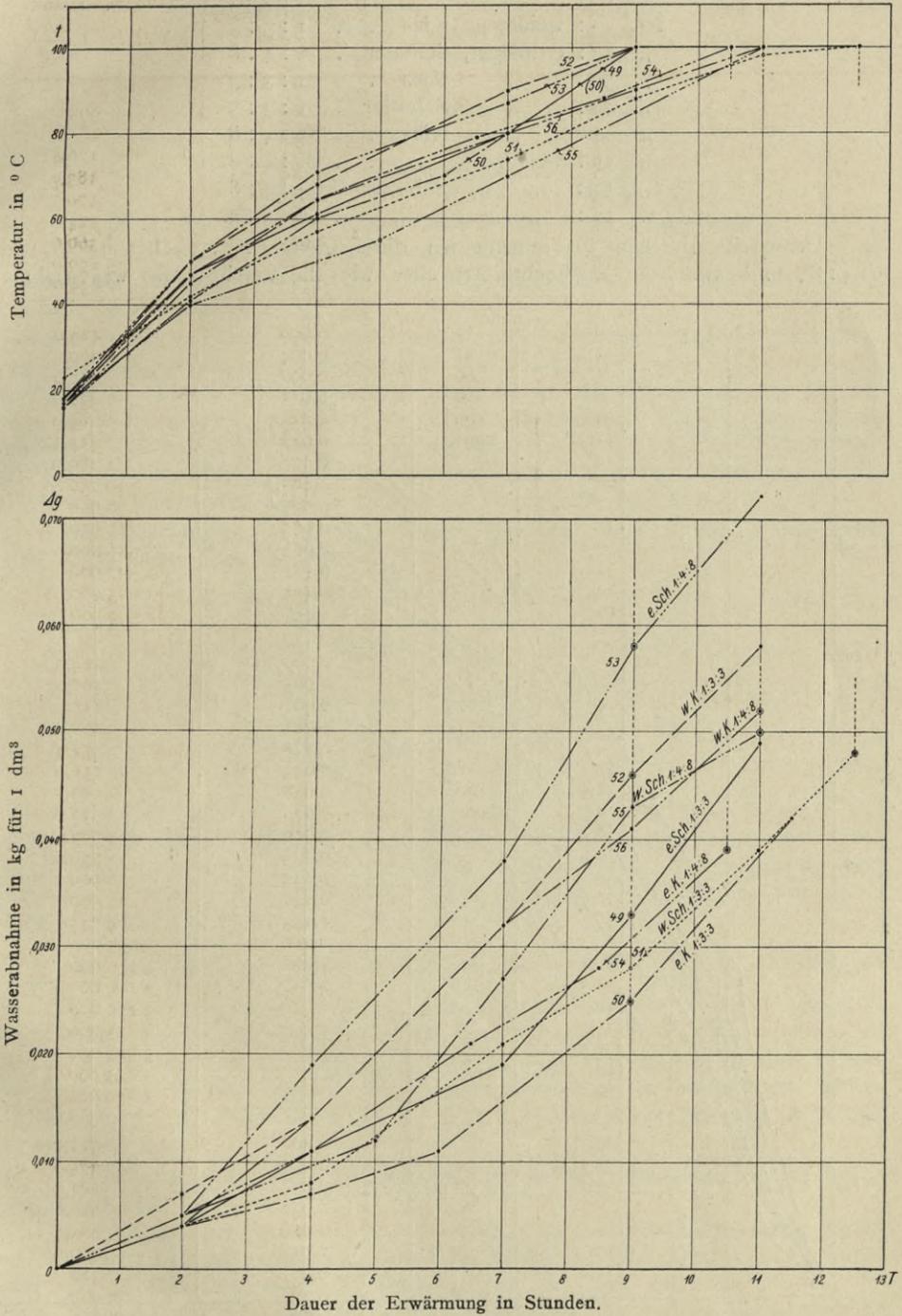


Abb. 38 und 39.

Die t -Kurven mußten notwendig einen untereinander abweichenden Verlauf nehmen, da eine für sämtliche Blöcke gleiche Einstellung nur unvollkommen zu

bewerkstelligen war. Aber die Zeiten, innerhalb welcher die Temperatur von 100° erreicht wurde, lassen doch eine ziemliche Gesetzmäßigkeit erkennen. Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Blöcke 100° erreichten, ist folgende:

Nr. 52:	weich,	Kies . .	1 : 3 : 3
„ 53:	erdfeucht,	Schotter .	1 : 4 : 8
„ 50:	„	Kies . .	1 : 3 : 3
„ 49:	„	Schotter .	1 : 3 : 3
„ 54:	„	Kies . .	1 : 4 : 8
„ 56:	weich,	„ . .	1 : 4 : 8
„ 55:	„	Schotter .	1 : 4 : 8
„ 51:	„	„ . .	1 : 3 : 3

Demnach erreichen im allgemeinen die Körper 1 : 3 : 3 eher 100° wie 1 : 4 : 8, und zwar die erdfeuchte Art eher wie die weiche, was wegen ihres

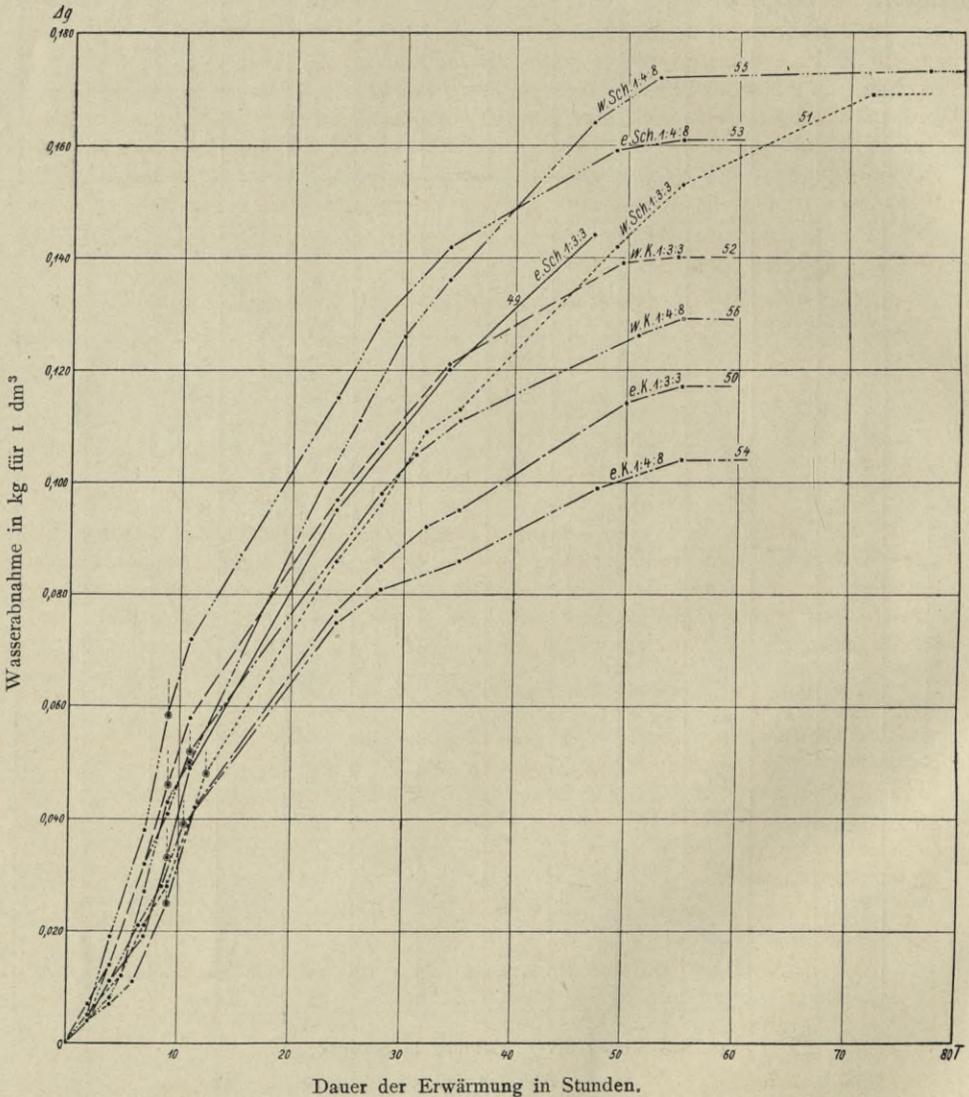


Abb. 40.

dichteren Gefüges und dem dadurch entstehenden größeren Wärmeleitvermögen resp. wegen des geringeren Wassergehaltes erklärlich ist.

Anders ist dagegen die Wasserabnahme bis zu diesem Zeitpunkt. Hier gestaltet sich die Reihenfolge folgendermaßen:

Nr. 53:	erdfeucht,	Schotter	. . .	1 : 4 : 8
„ 56:	weich,	Kies	. . .	1 : 4 : 8
„ 55:	„	Schotter	. . .	1 : 4 : 8
„ 51:	„	„	. . .	1 : 3 : 3
„ 52:	„	Kies	. . .	1 : 3 : 3
„ 54:	erdfeucht,	„	. . .	1 : 4 : 8
„ 49:	„	Schotter	. . .	1 : 3 : 3
„ 50:	„	Kies	. . .	1 : 3 : 3.

Hiernach erscheint die Wasserabnahme für 1 : 3 : 3 langsamer vor sich zu gehen, wie für 1 : 4 : 8, und zwar ebenso für die weiche Art langsamer als für die erdfeuchte. Es würde dieses dem Vorhergesagten über die Temperaturzunahme vollständig entsprechen.

Auf Abb. 40 sind dieselben Kurven in einem kleineren Maßstabe verzeichnet, um die weitere Wasserabnahme während der konstanten Temperatur von 100° C erkennen zu können. Die Δg -Kurven ändern nach den Temperaturpunkten 100° ihre Richtung, indem von nun an die ausgeschiedenen Wassermengen für die gleichen Zeiträume kleiner und kleiner werden, bis die Kurven schließlich in einen gleichbleibenden Wert Δg allmählich übergehen. In diesem Augenblick ist das Wasser im Innern des Körpers gänzlich in Dampfform übergegangen.

Die Reihenfolge, in der Δg seinen Höchstwert erreicht, ergibt sich gemäß den Schaubildern folgendermaßen:

Nr. 55:	weich,	Schotter	. . .	1 : 4 : 8
„ 51:	„	„	. . .	1 : 3 : 3
„ 53:	erdfeucht,	„	. . .	1 : 4 : 8
„ 49:	„	„	. . .	1 : 3 : 3
„ 52:	weich,	Kies	. . .	1 : 3 : 3
„ 56:	„	„	. . .	1 : 4 : 8
„ 50:	erdfeucht,	„	. . .	1 : 3 : 3
„ 54:	„	„	. . .	1 : 4 : 8.

Man erkennt hier eine Scheidung zwischen den Zuschlägen Schotter und Kies, indem bei dem ersteren die gänzliche Wasserverdampfung eher eintritt, wie bei dem letzteren. Für dieselben Zuschläge wird dieses bei der weichen Art eher erreicht wie bei der erdfeuchten Art. Die Dauer der Verdampfung war durchschnittlich nach 55 Stunden seit Erwärmungsbeginn beendet.

Auf Abb. 41 sind die Meßergebnisse für X pro $1 \frac{dm}{dm^2}$ in Abhängigkeit von der Erwärmungsdauer T bis zum Beginn der Temperatur 100° graphisch dargestellt. Die Ergebnisse für X gelten nur so lange für $i = 0,10$ Amp., als diese Stromstärke bei der gegebenen größten Spannung erreicht werden konnte. Die möglichen Fehler sind für die höheren Werte um so belangloser, da die Schwankungen der Werte für X bei $i < 0,10$ Amp. mit dem Wachsen verhältnismäßig abnehmen.

Das Charakteristische an den X -Kurven ist die Widerstandsabnahme zu Beginn der Erwärmung.

Die Schaubilder sind auch wieder ähnlich wie bei der Luftlagerung als Ergebnis zweier Kurven aufzufassen, und zwar heben sich die „Austrocknungskurve“ und die „Erwärmungskurve“ des Widerstandes zum Teil auf. Zu Beginn, wo eine Wasserverdunstung fast nur an der Oberfläche eintrat, der Block aber bis ins Innere erwärmt war, überwog die „Erwärmungskurve“. Sämtliche Blöcke hielten sich dann eine geraume Zeit auf dem Mindestwert von X , um alsdann vermöge des Ueberwiegens der „Austrocknungskurve“ in ein Anwachsen von X überzugehen.

Die Reihenfolge der Blöcke nach der Größe des Widerstandes zu Beginn der Temperatur 100° ist folgende:

- Nr. 54: erdfeucht, Kies . . . 1 : 4 : 8
- „ 56: weich, „ . . . 1 : 4 : 8
- „ 53: erdfeucht, Schotter . 1 : 4 : 8
- „ 50: „ Kies . . . 1 : 3 : 3
- „ 52: weich, „ . . . 1 : 3 : 3
- „ 55: „ Schotter . . . 1 : 4 : 8
- „ 49: erdfeucht, „ . . . 1 : 3 : 3
- „ 51: weich, „ . . . 1 : 3 : 3.

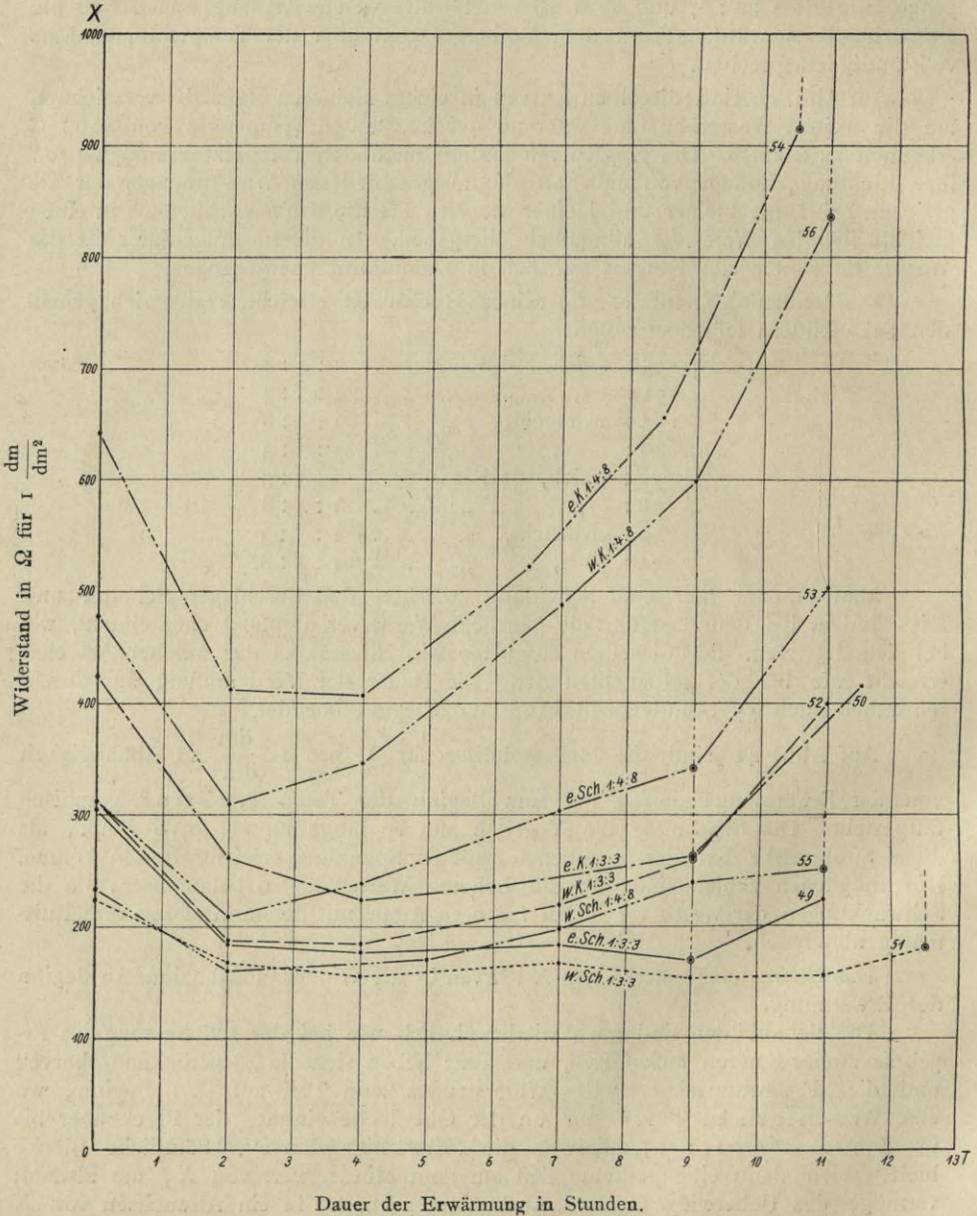


Abb. 41.

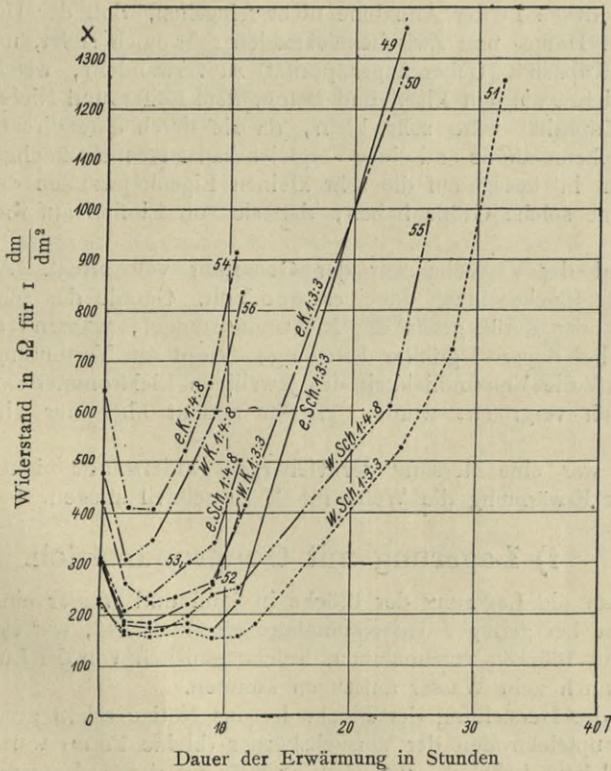
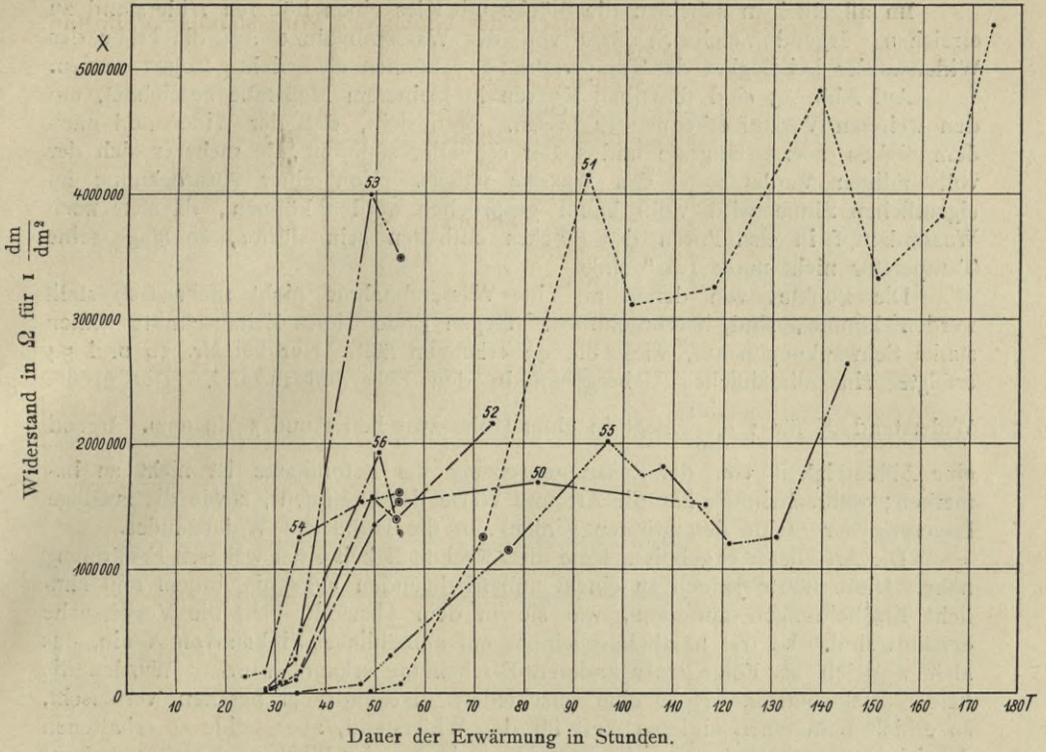


Abb. 42 und 43.

Im allgemeinen scheinen die Blöcke mit Kies einen höheren Widerstand zu erreichen. Irgend welche Schlüsse von der Wasserabnahme auf die Höhe des Widerstandes bei Beginn der Temperatur 100° können also nicht gezogen werden.

Auf Abb. 43 sind dieselben Kurven in kleinerem Maßstabe gezeichnet, um den weiteren Verlauf erkennen zu lassen. Man sieht, daß der Widerstand nach dem Sinken zuerst langsam und später schneller zunimmt, je mehr er sich der vollständigen Verdampfung des Wassers nähert. Von einer Austrocknung im eigentlichen Sinne wird wohl kaum gesprochen werden können, da stets noch Wasserdampf in den Poren des Blockes enthalten sein dürfte, so lange seine Temperatur nicht unter 100° sinkt.

Die Punkte, von denen an eine Wasserabnahme nicht mehr festgestellt werden konnte, sind hervorgehoben. Gegen Ende dieses Zeitabschnittes traten starke Schwankungen auf, wie Abb. 42 erkennen läßt. Nur bei Nr. 50 und 54 erfolgte ein allmähliches Uebergehen in den Beharrungszustand. Der größte Widerstand X für $1 \frac{dm}{dm^2}$ liegt in einer Höhe zwischen 1 und 5 Megohm. Irgend eine Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Betonmasse ist nicht zu bemerken; wahrscheinlich hat die Art und Weise des Stampfens, sowie die zufällige Lagerung der Steine den größten Einfluß auf die Höhe des Widerstandes.

Die Art dieser Ergebnisse legte die Zweckmäßigkeit einer weiteren Erwärmung nahe. Diese führte jedoch zu einem unbefriedigenden Ergebnis, indem nun ähnliche Erscheinungen auftraten, wie sie in dem Abschnitt über die Vorversuche erwähnt sind. Es trat nämlich scheinbar ein allmähliches Sinken von X ein, das aber sogleich als Folge einer anderen Erscheinung erkannt wurde. Wurden die beiden Elektrometer, welche eine verschiedene Eigenkapazität besaßen, vertauscht, so erhielt man einen anderen Wert für den Widerstand, aber beide so erhaltenen X wichen um so stärker voneinander ab, je länger der Block noch weiter erwärmt wurde. Man dürfte in der Annahme nicht fehlgehen, daß der Uebergangswiderstand an den Haupt- und Zwischenelektroden sehr hoch steigt, um sich schließlich in eine Kapazität (Uebergangskapazität) zu verwandeln, welche also an der Trennungsschicht zwischen Eisen und Beton, dem Leiter und Nichtleiter, entsteht.

Diese Kapazität wäre sehr klein, da sie durch eine direkte Messung mit Hilfe der Brückenmethode und einer Vergleichskapazität nicht nachgewiesen werden konnte. Aber in bezug auf die sehr kleinen Eigenkapazitäten der Elektrometer könnte sie eine solche Größe haben, daß sie von Einfluß auf ihre Empfindlichkeit wäre.

Während der Versuche war der Generator voll erregt. An den Hauptelektroden des Blockes lagen dabei ca. 600 Volt. Gerade das scheinbare Sinken von X , d. h. das Zurückgehen der Elektrometernadel, während die Stromstärke gleich blieb bei dauernd größter Erregung, lassen die Vermutung berechtigt erscheinen, daß die Empfindlichkeit des jeweiligen Elektrometers verringert, d. h. der Meßbereich vergrößert wurde. Hierfür kommt aber nur eine Kapazität in Betracht.

Leider war eine Messung der Uebergangswiderstände nicht möglich, weil nach längerer Erwärmung die Werte für X zu schnell stiegen.

f) Lagerung mit Goudronanstrich.

Nachdem die Lagerung der Blöcke in Sand und Wasser eine stetige Widerstandszunahme bei geringer Wasseraufnahme erkennen ließ, war es wünschenswert, Messungen mit Blöcken vorzunehmen, welche gänzlich von der Luft abgeschlossen waren, aber auch kein Wasser aufsaugen konnten.

Ueber die Herstellung der Blöcke ist das Nötige schon gesagt worden.

Die Hauptelektroden der Versuchskörper (kleine Form) waren ungeschliffen, also mit Walzhaut behaftet, um den Einfluß auf den Uebergangswiderstand erkennen zu lassen.

Es sei gleich von vornherein bemerkt, daß der mittlere Uebergangswiderstand pro dm^2 der beiden Blöcke Nr. 57 und 58 (1:3:3, weich, Schotter resp. Kies)

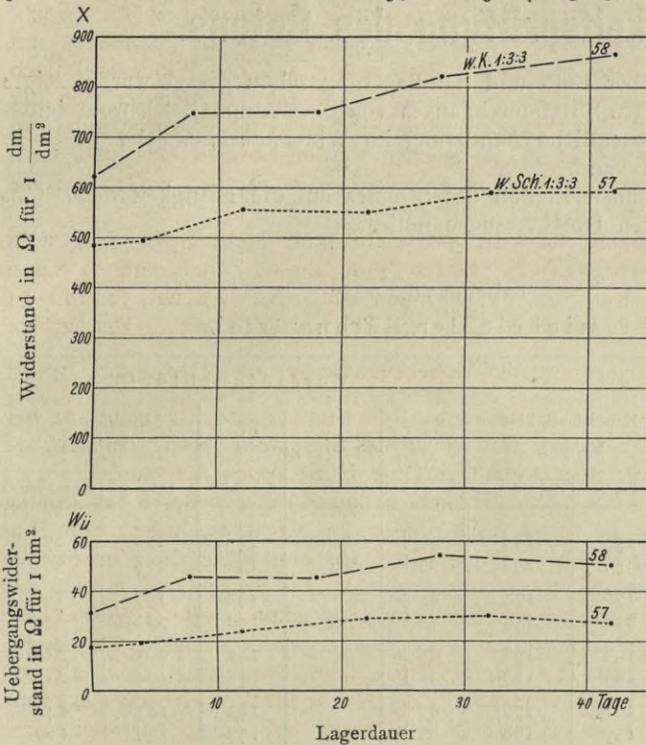


Abb. 44 und 45.

keinen größeren Betrag zeigte, als wie er bisher bei den früheren Blöcken berechnet wurde.

Die X-Kurven (Tabelle 17 und Abb. 44 und 45) hatten auch hier die Neigung zu steigen, und zwar in dem gleichen Maße wie bei den Blöcken der Sand- und Süßwasserlagerung, trotzdem die ständige Wägung weder eine Feuchtigkeitszunahme noch abnahme ergab. Das Anwachsen des Widerstandes beruhte hier auch lediglich auf dem Erhärten.

Die entsprechenden Blöcke der Sandlagerung sind Nr. 21 und 23, diejenigen der Süßwasserlagerung Nr. 35 und 36.

Die Unregelmäßigkeit der Widerstands-

zunahme, welche bei beiden Blöcken in gleicher Weise auftrat, kann nur eine Einwirkung der Temperaturerniedrigung sein, die z. B. zwischen dem 12. und 20. September 2^0 C betrug.

Tabelle 17.

Beton: Blöcke mit Goudronanstrich.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Abgegebenes Wasser kg/dm^3	Betonwiderstand $X \Omega$ für 1 $\frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$	Uebergangswiderstand $Wü \Omega$ für 1 dm^2
57	1:3:3 weich Schotter	8. IX. 09	0	0	485,0	17,8
		12.	4	"	493,5	19,1
		20.	12	"	556,5	23,9
		30.	22	"	551,0	28,1
		10. X. 09	32	"	590,0	29,1
		20.	42	"	594,5	26,3
58	1:3:3 weich Kies	11. IX. 09	0	0	623,5	31,4
		19.	8	"	746,0	45,6
		29.	18	"	750,0	44,9
		9. X. 09	28	"	821,5	53,8
		23.	42	"	866,0	49,6

Die Hauptelektroden beider Blöcke waren ungeschliffen, d. h. mit Walzhaut behaftet.

Festigkeitsprüfung des Betons.

Wie im Abschnitt über Luft- und Sandlagerung schon gesagt wurde, zeigte sich während des dauernden Stromdurchganges von 0,01 Amp. Gleichstrom innerhalb 8 Wochen keine wesentliche Aenderung im Widerstand, welche als Folge hiervon betrachtet werden kann.

Um möglichenfalls einen Einfluß des Stromes auf die Festigkeit des Betons erkennen zu können, waren Druckversuche nötig.

Tabelle 18.
Druckfestigkeit der Betonwürfel.

Meßblöcke					Vergleichsblöcke				
Würfel Nr.	Lagerung	Alter Tage	Druckfestigkeit kg/qcm		Würfel Nr.	Lagerung	Alter Tage	Druckfestigkeit kg/qcm	
			Risse	Zerstörung				Risse	Zerstörung
1	Luft	142	256	256	2	Luft	142	270	278
1 ⊥		142	256	256	2 ⊥		142	268	268
3		142	176	198	4		142	197	197
3 ⊥		142	238	249	4 ⊥		142	222	227
5		142	198	198	6		142	205	212
5 ⊥		142	188	188	6 ⊥		142	204	218
7		142	161	176	8		142	143	144
7 ⊥		142	157	198	8 ⊥		142	139	160
9		142	148	153	10		142	163	168
9 ⊥		142	145	146	10 ⊥		142	159	166
11		142	132	134	12		142	136	136
11 ⊥		142	140	144	12 ⊥		142	139	139
13		142	122	137	14		142	125	143
13 ⊥		142	116	118	14 ⊥		142	122	122
15		142	103	127	16		142	108	112
15 ⊥	142	131	151	16 ⊥	142	106	108		
17	Sand (feucht)	210	233	244	18	Sand (feucht)	210	212	229
17 ⊥		210	234	247	18 ⊥		210	211	220
19		214	248	259	20		214	227	234
19 ⊥		214	236	242	20 ⊥		214	228	246
21		142	222	230	22		142	221	225
21 ⊥		142	210	232	22 ⊥		142	215	218
23		200	182	190	24		200	157	160
23 ⊥		200	162	177	24 ⊥		200	157	177
25		210	151	151	26		210	134	134
25 ⊥		210	145	155	26 ⊥		210	135	137
27		214	144	144	28		214	101	104
27 ⊥		214	82	107	28 ⊥		214	100	120
29		142	103	130	30		142	120	128
29 ⊥		142	120	120	30 ⊥		142	112	116
31		200	121	125	32		200	105	108
31 ⊥	200	123	133	32 ⊥	200	100	105		

|| bedeutet Druck parallel in Stampfrichtung.

⊥ „ „ senkrecht, Stampfrichtung auf die Seitenflächen.

Es wurden demgemäß aus den Versuchs- und Vergleichsblöcken, von denen letztere stromlos geblieben waren, in der Materialprüfungsanstalt auf einer Gattersäge je 2 Würfel von 20 cm Kantenlänge gesägt. Beide Würfel bildeten das mittelste Stück eines jeden Blockes. Es wurden diese Stücke gewählt, weil bei ihnen die Stampfarbeit eine möglichst gleiche Wirkung ausgeübt hatte, indem die Betonmasse infolge der elastischen Wirkung gleichmäßig nach beiden Seiten ausweichen konnte und nicht durch die Querwand des Formkastens daran gehindert war.

Diese Würfel wurden darauf entsprechend den späteren Druckflächen mit Zementmörtel 1:1 abgeglichen, um dann wieder in Luft resp. Sand bis zum Versuchstage zu lagern.

Am Versuchstage, bei einem Teil der 142., bei dem Rest der ca. 210. Tag nach dem Stampfen, wurden die Seitenflächen geweißt, um beim Druckversuch die feinen Haarrisse besser erkennen zu können. Hiernach wurde die mittlere Druckfläche ermittelt, indem der Querschnitt längs der Höhe des Würfels an 3 Stellen (unten, in der Mitte und oben) mit der Schublehre gemessen und daraus das Mittel berechnet wurde.

Das Zerdrücken erfolgte auf einer geeichten Presse von Amsler, Laffon & Sohn und zwar so, daß ein Würfel eines jeden Blockes auf der Stampf- und Bodenfläche, d. h. in (||) der Stampfrichtung, der andere dagegen auf den beiden Seitenflächen des ehemaligen Blockes, d. h. senkrecht (⊥) zur Stampfrichtung, gedrückt wurde. Die dritte Möglichkeit, den Druck senkrecht zur Stampfrichtung auf die Schnittflächen wirken zu lassen, blieb also außer Betracht.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 niedergelegt; die Druckfestigkeiten für die Ribbildung, sowie Zerstörung sind in kg/qcm angegeben.

Es ist daraus ersichtlich, daß auch hier ein Einfluß des Stromes nicht stattgefunden hat.

Berechnung des Mengenverhältnisses der einzelnen Stoffe für die Mörtel- und Zementkörper.

Die Berechnungsweise geschah in analoger Weise wie bei dem Beton. Demnach sind auch die Tabellen 19 und 20 nach denselben Gesichtspunkten aufgestellt. Als Normalsteife wurde der Zustand genommen, für welchen der große Stempel des Vicatschen Nadelapparates bis auf 6 mm einsank.

Die Elektroden wurden nach dem Einfüllen des Breies eingeschlagen; die eine der Hauptelektroden war geschliffen, die andere ungeschliffen. Im übrigen sei auf den betr. Abschnitt der Betonkörper verwiesen.

Der elektrische Widerstand von Mörtel und Zement.

a) Lagerung in Luft.

Der Widerstand von Mörtel und Zement liegt im Anfangszustand der Erhärtung auf einer sehr niedrigen Stufe, ca. 100—200 Ω für 1 $\frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$ (Tabelle 21 und Abb. 46—48). Diese Tatsache ist schon von vornherein zu vermuten, da der Mörtel und Zement, abgesehen von einigen Luftbläschen, welche beim Einfüllen des Breies in die Formen zustande kommen, eine fast vollständig homogene Masse bildet. Es läßt sich dies in besonderem Maße von dem reinen Zement sagen.

Herstellung der Zement-Mörtelkörper.
Lagerung in Luft.

Tabelle 19.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungsverhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des Anmachens	Wasserzusatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Entschalung	Gewicht nach Entschalung in kg	Prüfungsbeginn	Endgültiges Gewicht in kg
		Temp. °C	Luftfeucht. %				in %	in kg			in %	in kg				
59	16. VIII. 09	22	72	1 Zement 3 Basaltsand	2	2,790 9,840	3,3	0,310	12,320	Normalkonsistenz	19,50	2,410	17. VIII. 09	12,370	23. VIII. 09	12,480
60	"	"	"	1 Zement 3 Rheinsand	6	2,790 10,120	2,3	0,230	12,680	"	15,50	1,970	"	12,020	"	12,200
61	"	"	"	1 Zement 4 Basaltsand	2	2,790 13,130	3,3	0,410	15,500	"	19,90	3,080	"	12,600	"	12,750
62	"	"	"	1 Zement 4 Rheinsand	"	2,790 13,490	2,3	0,300	15,980	"	16,90	2,700	"	11,900	"	12,050

Lagerung in Süßwasser.

63	17. VIII. 09	21	92	1 Zement 3 Basaltsand	2	2,790 9,770	2,5	0,240	12,320	Normalkonsistenz	19,50	2,410	18. VIII. 09	12,650	24. VIII. 09	12,800
64	"	"	"	1 Zement 3 Rheinsand	"	2,790 10,140	2,2	0,220	12,680	"	15,50	1,970	"	12,420	"	12,600
65	"	"	"	1 Zement 4 Basaltsand	2	2,790 13,030	2,5	0,320	15,500	"	19,90	3,080	"	12,970	"	13,100
66	18. VIII. 09	20	"	1 Zement 4 Rheinsand	"	2,790 13,420	1,7	0,230	15,980	"	16,90	2,700	19. VIII. 09	12,550	25. VIII. 09	12,720

Lagerung in Salzwasser (3,6 ‰).

67	18. VIII. 09	20	92	1 Zement 3 Basaltsand	2	2,790 9,740	2,1	0,200	12,320	Normalkonsistenz	19,50	2,410	19. VIII. 09	13,350	25. VIII. 09	13,520
68	"	"	"	1 Zement 3 Rheinsand	"	2,790 10,070	1,7	0,170	12,680	"	15,50	1,970	"	12,400	"	12,500
69	"	"	"	1 Zement 4 Basaltsand	2	2,790 12,990	2,1	0,270	15,500	"	19,90	3,080	"	12,850	"	12,970
70	"	"	"	1 Zement 4 Rheinsand	"	2,790 13,420	1,7	0,230	15,980	"	16,90	2,700	"	12,650	"	12,720

Herstellung der Zement-Mörtelkörper.
Erwärmung (bis 100°).

Tabelle 20.

Block Nr.	Datum des Stampfens	Zementraum		Mischungsverhältnis in Raumteilen	Menge in l	Gewicht (feucht) in kg	Wassergehalt der Materialien		Gewicht der trockenen Mischung in kg	Art des Anmachens	Wasserzusatz bez. auf trock. Mischung		Datum der Entschalung	Gewicht nach Entschalung in kg	Prüfungsbeginn	Endgültiges Gewicht in kg	
		Temp. °C	Luftfeucht. %				in %	in kg			in %	in kg					
71	19. VIII. 09	20	78	1 Zement 3 Basaltsand	2 6	2,790 9,820	3,0	0,290	12,320	Normalkonsistenz	19,50	2,410	20. VIII. 09	13,050	26. VIII. 09	13,150	
72	"	"	"	1 Zement 3 Rheinsand	"	2,790 10,140	2,5	0,250	12,680	"	15,50	1,970	"	12,500	"	12,570	
73	"	"	"	1 Zement 4 Basaltsand	2 8	2,790 13,090	3,0	0,380	15,500	"	19,90	3,080	"	12,900	"	13,070	
74	"	"	"	1 Zement 4 Rheinsand	"	2,790 13,520	2,5	0,330	15,980	"	16,90	2,700	"	12,750	"	12,900	
Zementkörper.																	
75	16. VIII. 09	22	72	1 Zement	10	13,930				Normalkonsistenz	24,00	3,340	17. VIII. 09	13,120	23. VIII. 09	13,400	Luft
76	17. VIII. 09	21	92	"	"	"				"	"	"	18. VIII. 09	13,180	24. VIII. 09	13,520	Süßwasser
77	18. VIII. 09	20	92	"	"	"				"	"	"	19. VIII. 09	13,050	25. VIII. 09	13,270	Salzwasser
78	19. VIII. 09	20	78	"	"	"				"	"	"	20. VIII. 09	13,530	26. VIII. 09	13,850	Erwärmung

Lagerung in Luft.
Zementmörtel.

Tabelle 21.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm ³	Mörtelwiderstand $X\Omega$ für 1 $\frac{dm}{dm^2}$	Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_1}$ Ω für 1 dm ²	Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_2}$ Ω für 1 dm ²
59	1 : 3 Basaltsand	23. VIII. 09	0	0,000	—	—	—
			1	—	132,4	9,1	4,0
			8	0,055	262,2	15,6	21,4
		4. IX. 09	12	0,068	343,0	29,3	21,4
			16	0,080	415,0	31,2	22,1
			21	0,085	462,0	27,3	20,1
			26	0,092	530,0	26,0	11,4
			30	0,087	556,5	34,4	16,7
			56	0,100	727,5	48,7	21,4
60	1 : 3 Rheinsand	23. VIII. 09	0	0,000	—	—	—
			1	—	154,8	0	4,7
			8	0,047	343,0	"	23,4
		4. IX. 09	12	0,067	450,0	"	20,8
			16	0,072	557,0	"	18,1
			21	0,075	626,5	"	13,4
			26	0,075	732,0	"	24,1
			30	0,077	755,0	"	20,8
			56	0,077	990,0	"	24,1
61	1 : 4 Basaltsand	23. VIII. 09	0	0,000	—	—	—
			1	—	113,9	0	8,5
			8	0,083	312,2	"	44,0
		4. IX. 09	12	0,100	443,0	"	46,8
			16	0,112	560,0	"	46,1
			21	0,121	633,0	"	52,5
			26	0,130	738,5	"	58,9
			30	0,133	784,0	"	51,9
			56	0,147	1060,0	"	77,4
62	1 : 4 Rheinsand	23. VIII. 09	0	0,000	—	—	—
			1	—	109,3	0	3,2
			8	0,072	328,0	"	15,6
		4. IX. 09	12	0,097	686,0	"	31,2
			16	0,117	944,5	"	18,5
			21	0,117	1024,0	"	10,4
			26	0,122	1252,0	"	24,7
			30	0,122	1333,0	"	13,0
			56	0,126	1858,0	"	

Zement.

75	reiner Zement	23. VIII. 09	0	0,000	—	—	—
			1	—	200,2	7,5	14,0
			8	0,030	239,0	9,8	11,7
		4. IX. 09	12	0,025	257,3	22,5	10,9
			16	0,025	276,7	23,2	11,7
			21	0,025	285,8	22,5	11,7
			26	0,022	319,3	24,8	16,4
			30	0,025	325,4	25,5	14,8
			56	0,025	366,2	45,0	16,4

 $w_{\bar{u}_1}$ ist der Uebergangswiderstand an der geschliffenen Hauptelektrode. $w_{\bar{u}_2}$ ist der Uebergangswiderstand an der ungeschliffenen Hauptelektrode (mit Walzhaut).

Dieser hatte zu Beginn den höchsten Widerstand von etwa 200Ω , da seine Normalsteife einem bedeutend festeren Zustand entspricht, wie diejenige der Mörtelarten; dagegen nahm sein Widerstand verhältnismäßig wenig zu, so daß er von dem Widerstand der Mörtelarten weit überflügelt wurde.

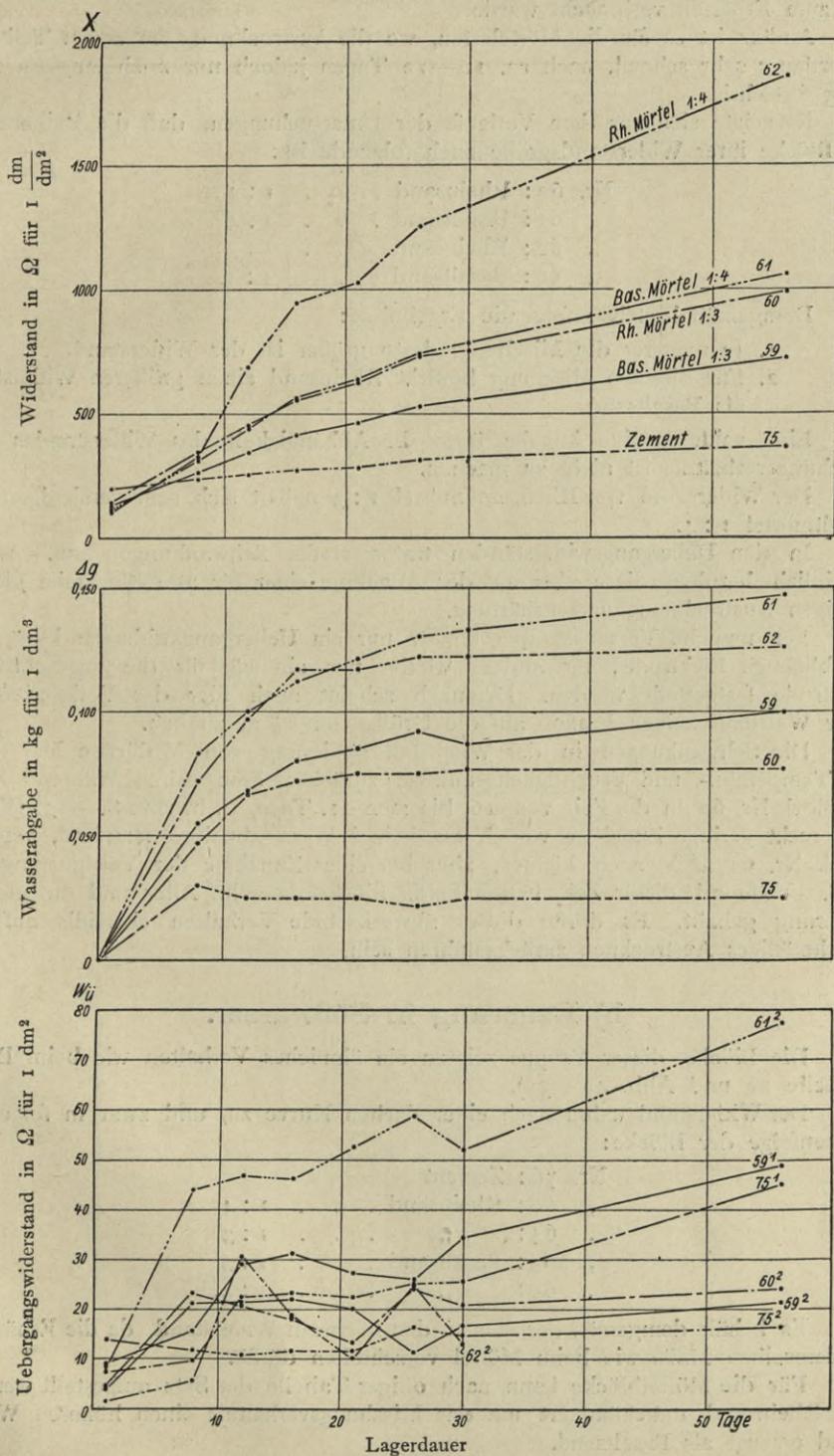


Abb. 46—48.

Die Widerstandskurven sind auch hier Resultierende von „Austrocknungs- und Erhärtungskurven“.

Gemäß der Δg -Werte hörte die Austrocknung bei Zement (Nr. 75) nach den ersten 10 Tagen seit Prüfungsbeginn auf, indem die noch vorhandene Feuchtigkeit zum Erhärten verbraucht wurde.

Anders ist es für die Mörtelarten, wo die Austrocknung im ersten Teil der Lagerdauer sehr schnell, nach ca. 10—12 Tagen jedoch nur noch langsam aber stetig fortschritt.

Es zeigte sich aus dem Verlaufe der Untersuchungen, daß die Reihenfolge der Blöcke ihrer Widerstandsgröße nach folgende ist:

Nr. 62: Rheinsand . . .	1 : 4
„ 61: Basaltsand . . .	1 : 4
„ 60; Rheinsand . . .	1 : 3
„ 59: Basaltsand . . .	1 : 3.

Demgemäß bestehen folgende Ergebnisse:

1. Je magerer die Mischung, desto größer ist der Widerstand.
2. Für dieselbe Mischung bewirkt Rheinsand einen größeren Widerstand als Basaltsand.

Eine zahlenmäßige Angabe über die Abhängigkeit des Widerstandes vom Mischungsverhältnis ist nicht zu machen.

Der Widerstand von Rheinsandmörtel 1 : 3 nähert sich sehr demjenigen von Basaltmörtel 1 : 4.

In den Uebergangswiderständen traten starke Schwankungen auf. Wahrscheinlich beruhen diese aber auf der Annahme einer für alle Blockteile gleichmäßigen Austrocknung und Erhärtung.

Für manche Versuchskörper konnte nur ein Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_1}$ der geschliffenen Elektrode, für andere wieder nur ein $w_{\bar{u}_2}$ für die ungeschliffene Elektrode festgestellt werden. Demnach scheint auch hier das Vorhandensein einer Walzhaut keinen Einfluß auf die Größe von $w_{\bar{u}}$ auszuüben.

Die Schwankungen in der Widerstandsänderung von X dürften hier nicht auf Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse zurückzuführen sein. Während z. B. für Block Nr. 62 in der Zeit vom 16. bis zum 21. Tage, d. h. vom 8.—13. IX. 09 eine recht geringe Zunahme von X bei keiner Wasserabnahme stattfand, war für Block Nr. 61 ΔX auch kleiner, aber bei einer Zunahme der Verdunstung um 8 0/0. Während dieser Zeit hatten beide Blöcke dasselbe Alter und die gleiche Lagerung gehabt. Es dürfte dieses abwechselnde Verhalten ebenfalls auf ungleichmäßiges Austrocknen zurückzuführen sein.

b) Lagerung in Süßwasser.

Die Blöcke dieser Gruppe zeigten ein ähnliches Verhalten wie beim Beton (Tabelle 22 und Abb. 49—51).

Der Widerstand nahm nach einer flachen Kurve zu, und zwar in folgender Reihenfolge der Blöcke:

Nr. 76: Zement	
„ 66: Rheinsand . . .	1 : 4
„ 64: „ . . .	1 : 3
„ 63: Basaltsand . . .	1 : 3
„ 65: „ . . .	1 : 4.

Es behält demgemäß der Zement den höchsten Widerstand, da die Erhärtung in demselben Maße wie beim Mörtel vorschreiten dürfte.

Für die Mörtelblöcke kann nach obiger Tabelle der Satz aufgestellt werden, daß Rheinsand unbekümmert um das Mischungsverhältnis einen höheren Widerstand erzeugt als Basaltsand.

Lagerung in Süßwasser.

Tabelle 22.

Zementmörtel.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Aufgenommenes Wasser Δg kg/dm ³	Mörtelwiderstand $X \Omega$ für 1 $\frac{dm}{dm^2}$	Uebergangswiderstand $w_{ij} \Omega$ für 1 dm ²	Uebergangswiderstand $w_{ij} \Omega$ für 1 dm ²	
63	1 : 3 Basaltsand	24. VIII. 09	0	0,000	103,9	2,2	1,5	
			10. IX. 09	17	0,005	163,8	3,6	5,8
			24.	31	0,010	176,0	2,9	8,0
			18. X. 09	55	0,012	193,5	7,2	8,8
64	1 : 3 Rheinsand	24. VIII. 09	0	0,000	111,0	1,5	3,7	
			10. IX. 09	17	0,000	170,5	6,8	9,7
			24.	31	0,010	191,7	7,6	11,2
			18. X. 09	55	0,013	214,4	10,6	13,5
65	1 : 4 Basaltsand	24. VIII. 09	0	0,000	93,6	0,7	1,5	
			10. IX. 09	17	0,000	153,0	2,2	4,4
			24.	31	0,005	171,6	2,2	5,9
			18. X. 09	55	0,005	190,4	2,2	4,4
66	1 : 4 Rheinsand	25. VIII. 09	0	0,000	118,8	0,0	0	
			10. IX. 09	16	0,000	211,3	0,7	"
			24.	30	0,005	241,5	2,1	"
			18. X. 09	54	0,005	276,8	4,8	"

Zement.

76	Reiner Zement	24. VIII. 09	0	0,000	182,0	2,3	11,8	
			10. IX. 09	17	0,002	240,8	3,1	1,5
			24.	31	0,002	262,4	7,7	4,4
			18. X. 09	55	0,008	290,2	13,8	21,5

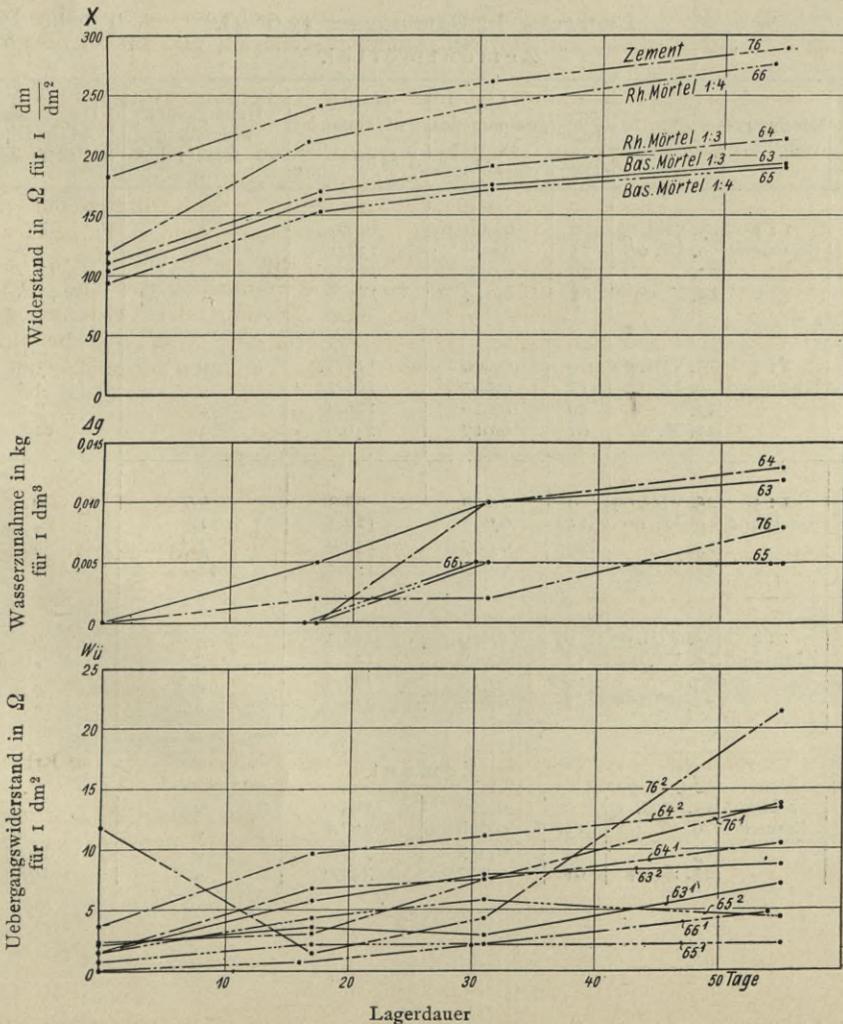


Abb. 49—51.

Das aufgenommene Wasser Δg kg/dm³ nahm bei den einzelnen Versuchskörpern sehr unregelmäßig zu.

Die Uebergangswiderstände verliefen hier viel normaler wie bei der Luftlagerung. Das starke Sinken von $w_{\bar{u}_2}$ für den Zementblock Nr. 76 kann seinen Grund nur darin haben, daß Feuchtigkeit durch die Poren zwischen die betr. Hauptelektrode und die Zementmasse gedrungen war.

Ein gewisser Unterschied zwischen $w_{\bar{u}_1}$ und $w_{\bar{u}_2}$ ergibt sich erst mit der Zeit, indem die ungeschliffenen Hauptelektroden einen etwas größeren Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_2}$ erkennen lassen. Im allgemeinen bleibt aber $w_{\bar{u}}$ in sehr mäßigen Grenzen.

c) Lagerung in Salzwasser.

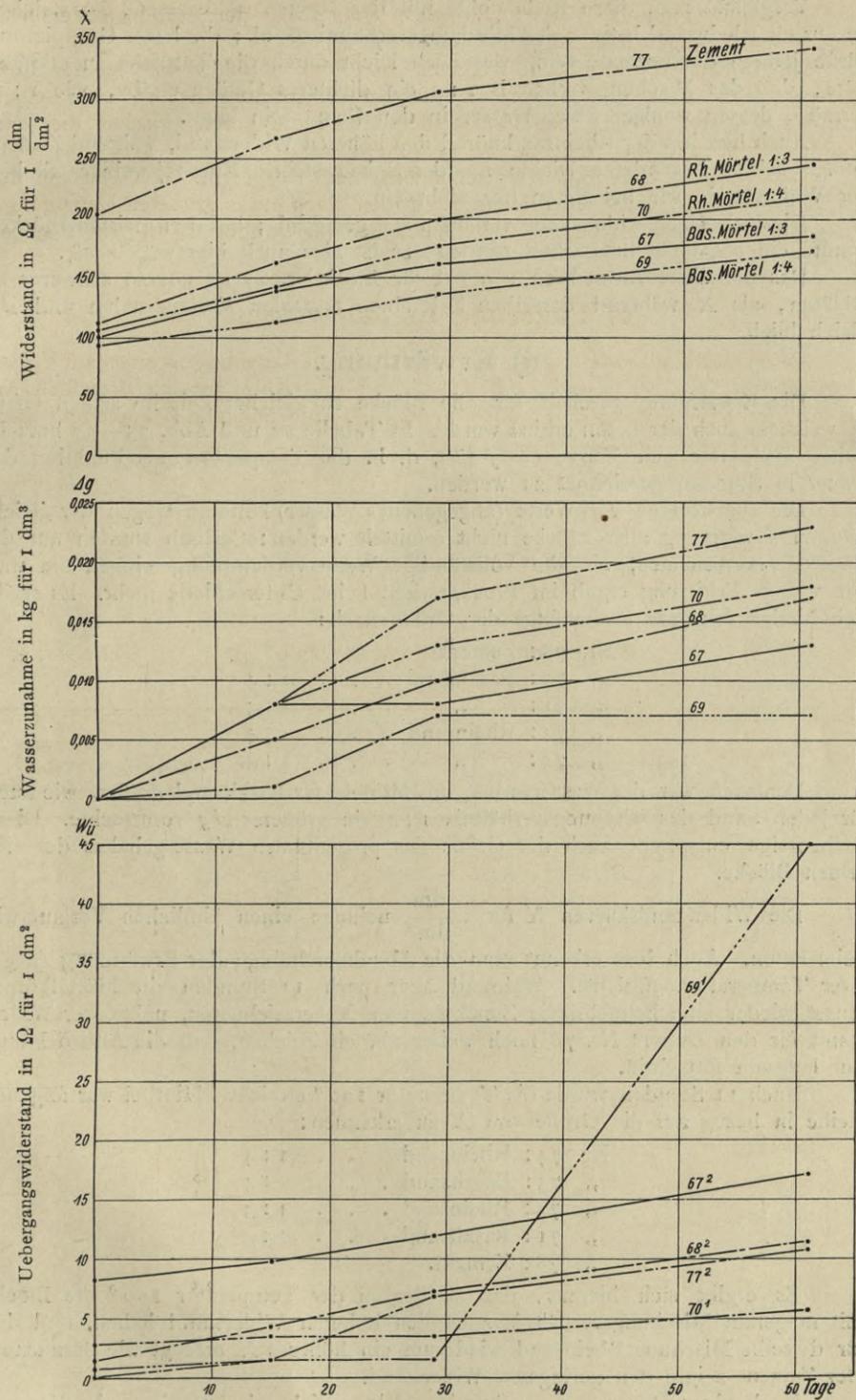
Die Widerstandsänderungen, welche sich für die Lagerung in einer 3,6 %igen Viehsalzlösung ergaben, sind nach Tabelle 23 und Abb. 52—54 derselben Art wie bei der Süßwasserlagerung; auch findet sich eine ähnliche Gruppierung nach der Größe ihres Widerstandes:

Nr. 77:	Zement	
„ 68:	Rheinsand	1 : 3
„ 70:	„	1 : 4
„ 67:	Basaltsand	1 : 3
„ 69:	„	1 : 4.

Lagerung in Salzwasser (3,6 %).
Zementmörtel.

Tabelle 23.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Datum	Lagerdauer Tage	Aufgenommenes Wasser Δg kg/dm ³	Mörtelwiderstand $X \Omega$ für $1 \frac{dm}{dm^2}$	Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_1} \Omega$ für $1 dm^2$	Uebergangswiderstand $w_{\bar{u}_2} \Omega$ für $1 dm^2$
67	1 : 3 Basaltsand	25. VIII. 09	0	0,000	100,0	0	8,3
		9. IX. 09	15	0,008	138,2	„	9,8
		23.	29	0,008	161,6	„	12,0
		25. X. 09	61	0,013	186,8	„	17,2
68	1 : 3 Rheinsand	25. VIII. 09	0	0,000	111,2	0	1,4
		9. IX. 09	15	0,005	162,7	„	4,3
		23.	29	0,010	198,8	„	7,2
		25. X. 09	61	0,017	246,0	„	11,5
69	1 : 4 Basaltsand	25. VIII. 09	0	0,000	92,3	0,7	0
		9. IX. 09	15	0,001	112,3	1,5	„
		23.	29	0,007	136,0	1,5	„
		25. X. 09	61	0,007	173,2	45,1	„
70	1 : 4 Rheinsand	25. VIII. 09	0	0,000	105,4	2,8	0
		9. IX. 09	15	0,008	142,2	3,5	„
		23.	29	0,013	177,5	3,5	„
		25. X. 09	61	0,018	218,0	5,7	„
Zement.							
77	reiner Zement	25. VIII. 09	0	0,000	203,0	0	0,0
		9. IX. 09	15	0,008	267,2	„	1,5
		23.	29	0,017	307,0	„	6,9
		25. X. 09	61	0,023	344,0	„	10,8



Lagerdauer
Abb. 52—54.

Vergleicht man diese Reihenfolge mit der vorigen (Süßwasser), so weichen sie nur für Rheinsand betreffs des Mischungsverhältnisses ab; die letzte Gruppierung dürfte jedoch die normale sein, was auch leicht durch die Tatsache zu erklären wäre, daß das Mischungsverhältnis 1:3 ein dichteres Gefüge ergibt, wie 1:4, vermöge dessen weniger freies Wasser in den Poren sein kann.

Auch hier hat der Rheinsandmörtel den höheren Widerstand, während Zement infolge seiner besonderen Dichte an der Spitze steht. Ein zeitweiliges Sinken der Widerstände wie bei Beton trat nicht ein.

Die Uebergangswiderstände verlaufen fast geradlinig; bei den meisten Blöcken konnte ein $w_{ü_1}$ nicht beobachtet werden; es ist also auch hier $w_{ü_2} > w_{ü_1}$.

Das plötzliche Anwachsen von $w_{ü_1}$ für Block Nr. 69 ist um so schwerer zu erklären, als X während derselben Zeit einen normalen Verlauf nahm und Δg gleich blieb.

d) Erwärmung.

Die Erwärmung geschah für alle Blöcke zu gleicher Zeit im selben Ofen, in welchem auch der Beton erhitzt wurde. In Tabelle 24 und Abb. 55—57 braucht daher auch nur eine Kurve $t = f(T)$, d. h. die Temperatur als Funktion der Dauer in Stunden gezeichnet zu werden.

Die zugehörigen Δg -Werte (abgegebenes Wasser) konnten wegen der gleichzeitigen Erwärmung aller Blöcke nicht ermittelt werden; deshalb wurden nur die Endwerte verzeichnet, als die vollständige Wasserverdampfung eingetreten war. Die weitere Erhitzung ergab im Blockgewicht keine Unterschiede mehr. Es ergibt sich hierbei folgende Reihenfolge der Größe nach:

Nr. 78: Zement	
„ 73: Basaltsand . . .	1:4
„ 71: „ . . .	1:3
„ 74: Rheinsand . . .	1:4
„ 72: „ . . .	1:3.

Demnach war der Wasserverlust des Mörtels für Basaltsand größer, wie auch für jeden Sand das Mischungsverhältnis 1:4 ein größeres Δg verursachte. Diese Reihenfolge entspricht auch der Größe des prozentualen Wassergehaltes der einzelnen Blöcke.

Die Widerstandskurven X für $1 \frac{dm}{dm^2}$ nehmen einen ähnlichen Verlauf wie beim Beton. Auch hier erkennt man die Abnahme infolge der Erwärmung (negativer Temperaturkoeffizient). Während aber nach 11 Stunden die Mörtelkörper längst wieder eine beträchtliche Zunahme von X verzeichneten, nahm der Widerstand für den Zement Nr. 78 noch weiter ab, ein Zeichen, daß die Austrocknung nur langsam fortschritt.

Nach 11 Stunden wurde die Temperatur 100^0 erreicht. Hierbei war folgende Reihe in bezug auf die Größe von X zu erkennen:

Nr. 74: Rheinsand . . .	1:4
„ 73: Basaltsand . . .	1:4
„ 72: Rheinsand . . .	1:3
„ 71: Basaltsand . . .	1:3
„ 78: Zement.	

Es ergibt sich hieraus, daß zu Beginn der Temperatur 100^0 die Blöcke mit magerem Mischungsverhältnis auch den höheren Widerstand haben, und daß für dieselbe Mischung Rheinsand wiederum ein höheres X erzeugt wie Basaltsand. Der Zement zeigte den geringsten Widerstand.

Nach einer Dauer von 30 Stunden stellten sich mit Ausnahme des Zementblockes Schwankungen in den X -Werten ein. Mit 130,5 Stunden wurde die Erwärmung eingestellt, da sich dieselben Erscheinungen wie beim Beton, scheinbare allmähliche Verkleinerung von X , zeigten.

Erwärmung (bis 100°).

Tabelle 24.

Zementmörtel.

Block Nr.	Mischungsverhältnis	Dauer T Stdn.	Temp. t ° C	Abgegebenes Wasser Δg kg/dm³	Widerstand X Ω für 1 dm²
71	1:3 Basaltsand	0	21	0,000	142,5
		2	47	—	94,8
		4	60	—	85,0
		7	75	—	118,7
		9	88	—	129,1
		11	100	—	162,7
		25,5	konst.	—	1 340
		33	—	—	87 450
		57,5	—	—	238 900
		82,5	—	—	578 000
		105,5	—	—	768 000
		130,5	—	—	1 090 500
					0,267
72	1:3 Rheinsand	0	21	0,000	144,0
		2	47	—	92,0
		4	60	—	85,4
		7	75	—	111,0
		9	88	—	124,3
		11	100	—	168,8
		25,5	konst.	—	4 400
		33	—	—	507 000
		58	—	—	163 100
		82,5	—	—	334 800
		105,5	—	—	410 000
		130,5	—	—	747 000
					0,195
73	1:4 Basaltsand	0	21	0,000	130,0
		2	47	—	90,7
		4	60	—	94,8
		7	75	—	137,9
		9	88	—	180,0
		11	100	—	224,0
		26,5	konst.	—	3 635
		33	—	—	351 300
		58	—	—	208 800
		82,5	—	—	381 000
		105,5	—	—	667 000
		130,5	—	—	1 030 000
					0,287
74	1:4 Rheinsand	0	21	0,000	116,8
		2	47	—	70,0
		4	60	—	86,7
		7	75	—	129,0
		9	88	—	170,7
		11	100	—	254,0
		25,5	konst.	—	71 000
		33	—	—	—
		58	—	—	94 500
		82,5	—	—	232 500
		105,5	—	—	314 700
		130,5	—	—	526 000
					0,229
Zement.					
78	Reiner Zement	0	21	0,000	167,0
		2	47	—	100,0
		4	60	—	77,7
		7	75	—	71,2
		9	88	—	65,6
		11	100	—	62,3
		26,5	konst.	—	122,1
		33	—	—	206,3
		57,5	—	—	47 700
		82,5	—	—	1 114 500
		105,5	—	—	1 908 000
130,5	—	—	2 448 000		
			0,308		

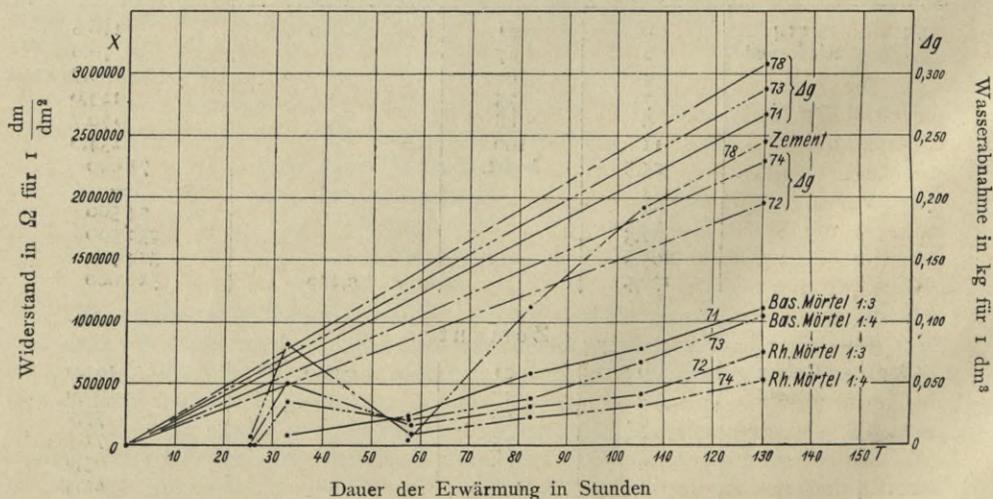
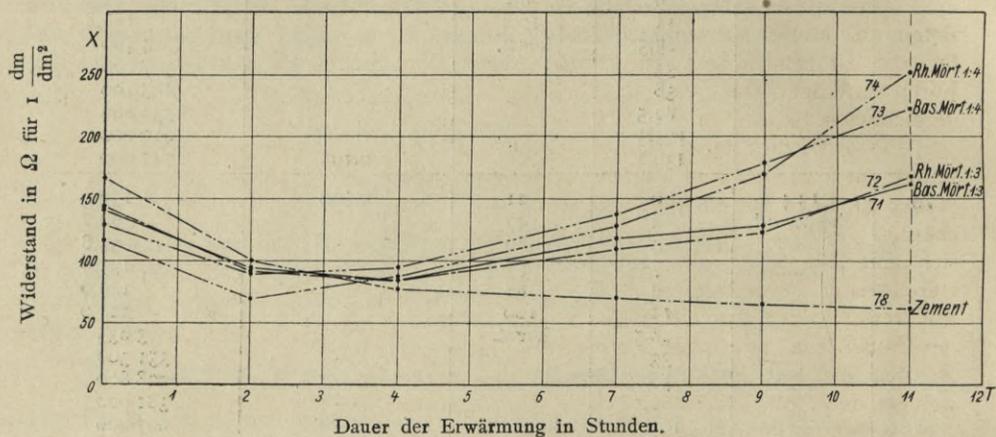
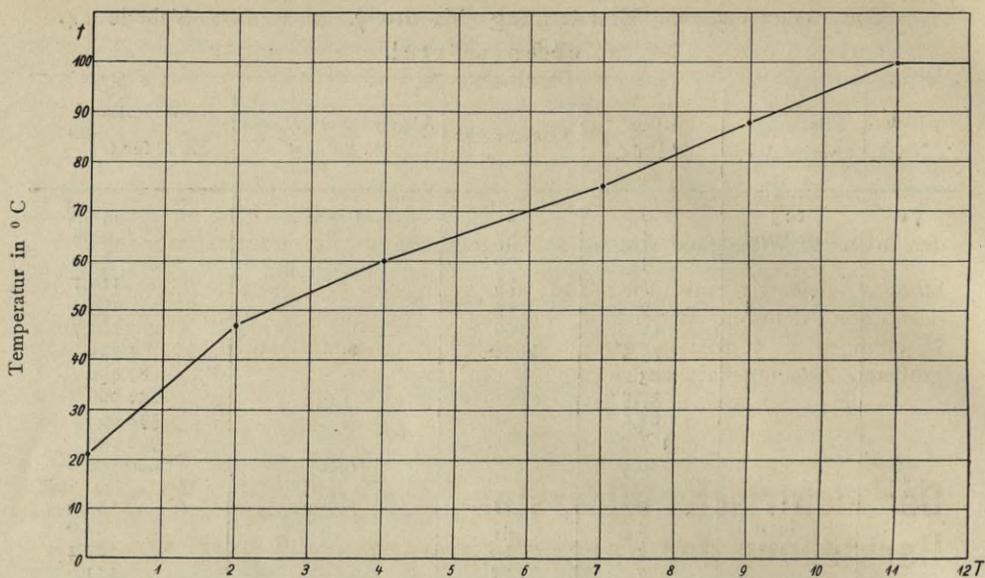


Abb. 55-57.

Die Reihenfolge der Blöcke nach der Größe des Endwiderstandes ergab:

Nr. 78:	Zement		
„ 71:	Basaltsand . . .	1 : 3	
„ 73:	„ . . .	1 : 4	
„ 72:	Rheinsand . . .	1 : 3	
„ 74:	„ . . .	1 : 4.	

Demgemäß erreichte der reine Zement bei der größten Wasserverdunstung den höchsten Widerstand von ca. 2,5 Megohm für $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$, während von den Mörtelblöcken diejenigen mit Rheinsand den geringsten Wasserverlust aufwiesen und dazu den kleinsten Widerstand lieferten. Für dieselbe Sandart standen die Mischungen 1 : 3 trotz geringerer Feuchtigkeitsabnahme über 1 : 4, was auf den größeren Zementgehalt zurückzuführen sein dürfte.

Der elektrische Widerstand der einzelnen Rohstoffe. Herstellung der Versuchskörper und ihre Messung.

Um zu erkennen, welche Größen die Widerstände der einzelnen für den Beton und Mörtel verwendeten Stoffe besitzen, war es nötig, eine geeignete Form für die Untersuchungen zu konstruieren. Diese Form verfertigte Verf. nach der in Abb. 58 und 59 gezeichneten Skizze.

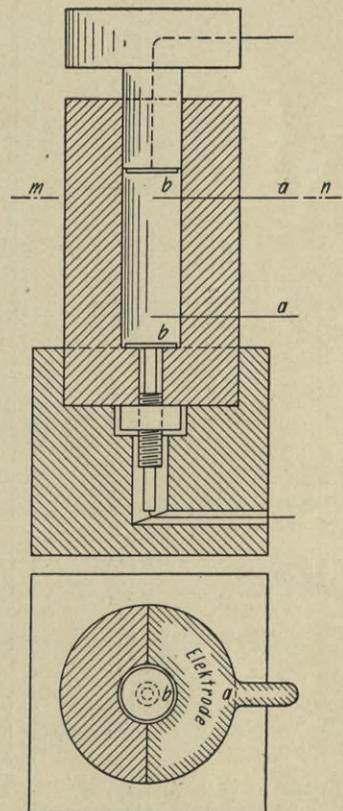
In ein Stück einer starken, runden Ebonitstange wurde zur späteren Aufnahme des betreffenden Stoffes ein Loch mit einem Durchmesser von 25 mm gebohrt. Auf dem Boden des Hohlzylinders befand sich eine Hauptelektrode *b* aus Messing von 24 mm Durchmesser. Diese Elektrode war mit einem Messingstift verlötet, der durch den Boden ging, und von der Außenseite mit einer Mutter verschraubt war. An den Stift war der Stromzuführungsdraht gelötet, welcher den Holzklötz, in den die Form eingelassen war, seitwärts durchsetzte. Die andere Hauptelektrode *b* war auf einem Holzstempel aufgeschraubt; ihr Zuführungsdraht verließ den Stempel auch seitwärts.

Die Zwischenelektroden *a* waren als Messingbleche ausgebildet, die im Abstände von 25 mm voneinander in die Wand des Hartgummizylinders eingelassen wurden.

Vermöge dieser ganzen Anordnung war es möglich, die Stoffe unter Druck zu setzen, indem der Apparat zwischen die Backen einer Schraubzwinde geklemmt wurde. Diese Notwendigkeit stellte sich später heraus.

Die besondere Ausbildung der Zwischenelektroden gewährte eine gute Berührung von Messing mit der Probemasse und hinderte diese beim Pressen nicht an seiner Bewegung.

Im Verlaufe der Untersuchungen stellte sich heraus, daß ein so regelmäßiges Einfüllen, wie es zur Erreichung guter Ergebnisse nötig war, auch trotz



Schnitt m-n

Abb. 58 und 59.

Siebens mit einem feinen Sieb nur sehr schlecht erzielt werden konnte. Demzufolge wurde die Probemasse einem gewissen Druck unterworfen, und zwar wurde dabei nach folgender Regel verfahren:

Der Zylinder wurde bis oben mit Material voll gefüllt, das durch ein Sieb mit 1 mm Maschenweite gesiebt war, um die größeren Bestandteile des Sandes und Zementes fernzuhalten. Darauf wurde der Stempel von Hand so weit wie möglich eingepreßt. Hierauf wurde die Schraubenzwinge angesetzt und jeder Stoff für jeden Versuch um denselben Betrag zusammengedrückt. Das Eindrücken des Stempels betrug für Zement und Basaltsand stets 4 mm, für Rheinsand 1 mm. Ein Nachgeben der Zylinderwand fand wegen ihrer Stärke nicht statt, wie die Kontrollmessungen ergaben.

Der reine, pulverförmige Stoff, Zement, Basalt- und Rheinsand, wurde mit einem verschiedenen Wassergehalt angerührt, der allmählich bei 1,4% anfangend bis 20,0% stieg. Von ca. 13% bei Zement und Basaltsand und 16% bei Rheinsand waren die Stoffe für den betr. Druck vollständig gesättigt.

Diese Punkte zeigen die Kurven der Abb. 60 ($X \Omega$ für $1 \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2}$ als Funktion des Wassergehaltes g in %) an, wobei die zugehörigen Werte auf Tabelle 25 verzeichnet sind. Während nämlich zuerst mit zunehmendem Wassergehalt X fällt,

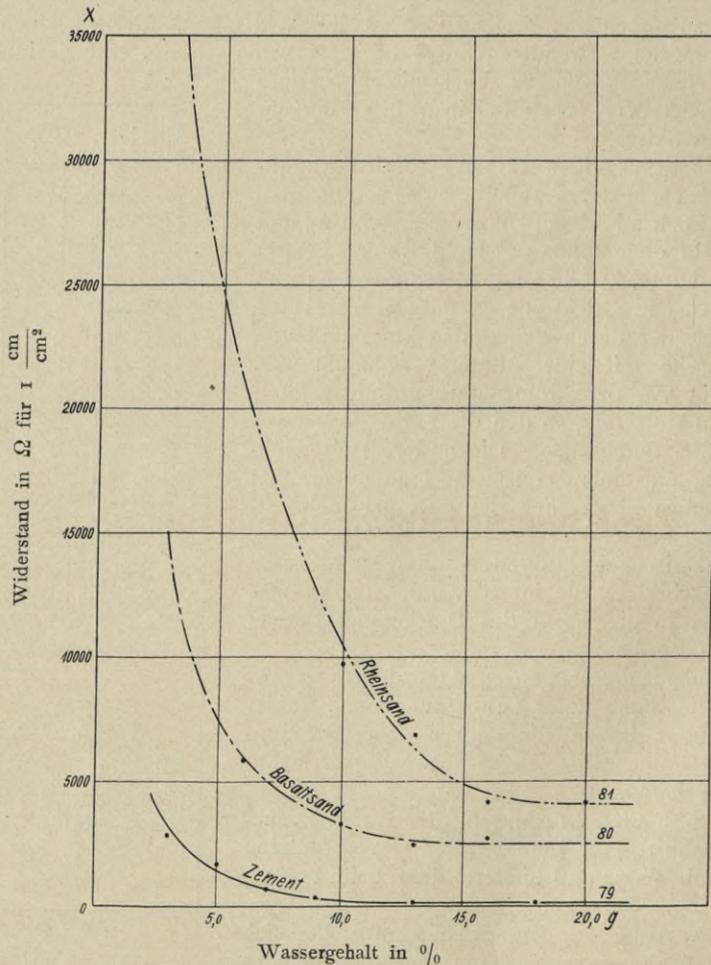


Abb. 60.

hört dieses in dem Augenblick auf, wo die Sättigung mit Wasser erreicht ist; es ist dieses auch leicht erklärlich, da das überschüssige Wasser durch die Fuge zwischen Stempel und Rohr herausgepreßt wird.

Die erhaltenen Werte zeigen, daß der Zement (Nr. 79) den geringsten und Rheinsand (Nr. 81) den höchsten Widerstand besitzt, wobei ersterer auch das dichteste Gefüge hatte. Die Widerstandsänderungen vollziehen sich ungefähr nach Kurven, welche an gleichseitige Hyperbeln erinnern.

Eine Messung der Zuschläge, Schotter und Kies, versagte, da ihre Widerstände von der Lagerung der einzelnen Steine abhängen.

Tabelle 25.
Reine Materialien.

Nr.	Art	Wassergehalt in % des Trockengewichtes	Widerstand
		g	$X \Omega$ für $1 \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2}$
79	Zement	3,0	2 812
		5,0	1 662
		7,0	643,0
		9,0	350,0
		13,0	127,0
		18,0	130,9
80	Basaltsand	1,4	101 000?
		3,0	13 130
		6,0	5 850
		10,0	3 302
		13,0	2 458
		16,0	2 710
81	Rheinsand	1,4	59 300
		3,0	33 400
		6,0	22 230
		10,0	9 710
		13,0	6 880
		16,0	4 140
		20,0	4 125

Zusammenstellung der Ergebnisse.

Um eine bessere Uebersicht über die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu gewinnen, mögen sie hier noch einmal im Zusammenhang aufgeführt werden:

I. Allgemeine Eigenschaften der Blöcke:

1. Die Blöcke wirken wie ein Element; die entstehenden Polarisationsströme können zwischen den einzelnen Elektroden verschiedene Richtung haben.
2. Für $i > 0,10$ Amp. tritt mit steigender Stromstärke ein Widerstandsabfall ein.
3. Mit steigender Temperatur nimmt der Widerstand ab; Beton und Mörtel haben also einen negativen Temperaturkoeffizienten wie Elektrolyte.
4. Die prozentuale Widerstandsabnahme ist bei derselben beliebigen Temperaturzunahme für Basalt- und Kiesbeton desselben Mischungsverhältnisses gleich.
5. Der Material- und Uebergangswiderstand nimmt mit der Austrocknung und Erhärtung zu.

Beton¹⁾.

II. Luftlagerung:

1. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist der Betonwiderstand.
2. Für jedes Mischungsverhältnis hat der Kiesbeton einen größeren Widerstand als der Schotterbeton.
3. Für dasselbe Mischungsverhältnis und den gleichen Zuschlag besitzt der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Widerstand als der weich gestampfte; dieser Unterschied ist um so größer, je magerer die Mischung ist, und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält.
4. Der Betonwiderstand dürfte im umgekehrten Verhältnis stehen zu dem Mischungsverhältnis Zement: (Sand + Zuschlag).
5. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist der Uebergangswiderstand.
6. Für dasselbe Mischungsverhältnis und dieselbe Art des Anmachens besitzt der Kiesbeton im allgemeinen einen größeren Uebergangswiderstand als der Schotterbeton.
7. Für jedes Mischungsverhältnis hat der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Uebergangswiderstand als der weich gestampfte; dieser Unterschied ist im allgemeinen um so größer, je magerer die Mischung ist, und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält.
8. Ein dauernder Gleichstrom von 0,01 Amp. hat innerhalb 8 Wochen keinen Einfluß auf den Beton- und Uebergangswiderstand.

III. Sandlagerung:

1. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist bei dem gleichen Zuschlagsstoffe und derselben Art des Anmachens der Widerstand.
2. Der Kiesbeton hat einen größeren Widerstand wie der Schotterbeton.
3. Für denselben Zuschlag besitzt der erdfeucht gestampfte Beton einen größeren Widerstand wie der weich gestampfte.
4. Die Uebergangswiderstände zeigen keine Gesetzmäßigkeit; im allgemeinen sind sie für die mageren Mischungen mit wenig Sandgehalt am größten.
5. Ein dauernder Gleichstrom von 0,01 Amp. hat innerhalb 8 Wochen keinen Einfluß auf den Betonwiderstand; der Uebergangswiderstand des positiven Poles nimmt dagegen wegen Rostansatzes etwas zu.

IV. Süßwasserlagerung:

1. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist der Betonwiderstand.
2. Je magerer die Mischung und je weniger Sand sie im Verhältnis zum Zuschlag enthält, desto größer ist im allgemeinen der Uebergangswiderstand.
3. Der Kiesbeton erreicht im allgemeinen einen größeren Uebergangswiderstand wie der Schotterbeton.

V. Salzwasserlagerung:

1. Betreffs der Größe des Beton- und Uebergangswiderstandes findet keine Gesetzmäßigkeit statt.

VI. Erwärmung:

1. Der Betonwiderstand liegt bei völliger Wasserverdampfung zwischen 1 und 5 Megohm. für $1 \frac{dm}{dm^2}$; eine Gesetzmäßigkeit findet nicht statt.

¹⁾ Unter „Kiesbeton“ ist stets „Rheinkiesbeton“, unter „Schotterbeton“ stets „Basaltschotterbeton“ zu verstehen.

VII. Goudronanstrich :

1. Die Walzhaut übt auf den Uebergangswiderstand keinen Einfluß aus.

Mörtel und Zement.

VIII. Luftlagerung :

1. Je magerer die Mischung, desto größer ist der Widerstand.
2. Für dieselbe Mischung bewirkt Rheinsand einen größeren Widerstand wie Basaltsand.
3. Die Walzhaut hat auf den Uebergangswiderstand keinen Einfluß.

IX. Süßwasserlagerung :

1. Rheinsandmörtel hat einen höheren Widerstand wie Basaltsandmörtel.
2. Die Walzhaut ergibt einen größeren Uebergangswiderstand.

X. Salzwasserlagerung :

1. Rheinsandmörtel hat einen höheren Widerstand wie Basaltsandmörtel.
2. Für denselben Sand ergibt die fettere Mischung einen größeren Widerstand wie die magere.
3. Die Walzhaut ergibt einen größeren Uebergangswiderstand.

XI. Erwärmung :

1. Reiner Zement erreicht den größten Widerstand (2—3 Megohm für $1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}$).
2. Für denselben Sand erreicht die fettere Mischung einen höheren Widerstand wie die magere.
3. Rheinsand liefert einen geringeren Widerstand wie Basaltsand.

XII. Reine Stoffe :

1. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt der Widerstand ungefähr nach einer gleichseitigen Hyperbel ab.
2. Der Zement besitzt den geringsten, der Rheinsand den höchsten Widerstand.

Nach diesen Versuchen erscheinen für sich betrachtet die Widerstandsgrößen im allgemeinen als verhältnismäßig geringe Werte; nur nach einer künstlichen Austrocknung können Beton, Mörtel und Zement als Isolatoren angesehen werden.

Was die Uebergangswiderstände anbetrifft, so halten sie sich nur in sehr niedrigen Grenzen; hierbei ist jedoch zu beachten, daß die gefundenen Werte lediglich für Eisen gelten, welches in möglichst inniger Berührung mit dem Beton steht.

...the

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

Lebenslauf.

Ich, Willy Müller, wurde am 7. April 1883 zu Bulmke bei Gelsenkirchen geboren. Nach dem Besuche des Realgymnasiums zu Schalke bei Gelsenkirchen, wo ich die Reife für Prima erlangte, legte ich mein Abiturientenexamen am Königl. Realgymnasium zu Wiesbaden ab. Meine Studien im Maschinenbaufach betrieb ich an der Technischen Hochschule zu Darmstadt und unterzog mich auch hier dem Diplom-Vor- und Hauptexamen; letzteres erfolgte Mai 1908. In den folgenden Jahren widmete ich mich der Abfassung der vorliegenden Dissertation.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

15720

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

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300102