



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300746

Heft 13.

Versuche über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit von Beton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West im Jahre 1911. Bericht erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 15 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,60 M.

Heft 14.

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

Mit 144 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4 M.

Heft 15.

Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton. Ausgeführt in der Großh. Materialprüfungs-Anstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1911. Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geh. Baurat, Vorstand der Materialprüfungs-Anstalt, Professor **Dr. K. Wirtz**, Geh. Hofrat, unter Mitwirkung von Privatdozent **Dr. Jug. E. Preuß**.

Mit 214 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 16.

Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von **Dr. Jug. C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 114 Textabbildungen und 14 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 17.

Versuche mit Stampfbeton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West in den Jahren 1905 bis 1910. Bericht erstattet von Geheimem Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor, und Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 71 Textabbildungen und 64 Tabellen.

1912.

Geheftet Preis 9,60 M.

Heft 18.

Die Beziehung zwischen Formänderung und Biegemoment bei Eisenbetonbalken (abgeleitet aus den bis Ende 1911 durchgeführten Versuchen). Bericht erstattet von Professor **Dr. Jug. E. Mörsch**.

Mit 12 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,20 M.

Heft 19.

Prüfung von Balken zu Kontrollversuchen. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von **Dr. Jug. C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt, und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 26 Textabbildungen und 10 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 2,40 M.

xxx
233



Heft 20.

Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte.

DRITTER TEIL. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 bis 1912. Bericht erstattet von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit **188** Textabbildungen und **29** Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis **10,60 M.**

Heft 21.

Untersuchungen über den Einfluß der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisenbeton-Säulen.

Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West im Jahre 1912. Bericht erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit **44** Textabbildungen und **64** Tabellen.

1912.

Geheftet Preis **6 M.**

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

VERSUCHE ÜBER DEN EINFLUSS DER ELEKTRIZITÄT AUF EISENBETON

AUSGEFÜHRT IN DER
GROSSHERZOGLICHEN MATERIALPRÜFUNGS-ANSTALT
AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZU
DARMSTADT
IN DEN JAHREN 1909 BIS 1911

BERICHT ERSTATTET VON

PROFESSOR O. BERNDT
GEHEIMER BAURAT
VORSTAND DER MATERIALPRÜFUNGS-ANSTALT

PROFESSOR DR. K. WIRTZ
GEHEIMER HOFRAT

UNTER MITWIRKUNG VON
PRIVATDOZENT Dr.-Ing. E. PREUSS

MIT 215 TEXTABBILDUNGEN

BERLIN 1912
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

DRUCKER AUSGABE FÜR KRANSTON

VERSTÜCHE

BEI DER



III - 307235

PROFESSOR O. BONDE

Alle Rechte vorbehalten.

DRUCK

IN ALTENBURG

BEI DER

PROFESSOR O. BONDE

DRUCK

IN ALTENBURG

DRUCK

IN ALTENBURG

DRUCK

DRUCK

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

BPK-B-248/2013

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Bericht über die Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton	I
I. Versuche über elektrolytische Zersetzungen des bewehrten Betons	I
A. Arbeitsplan	I
B. Herstellung der Probekörper	4
C. Versuchsausführung	7
D. Versuchsergebnisse	8
I. Vorversuche	8
II. Hauptversuche	27
III. Versuche zur Feststellung der Ursache Rißbildung	73
II. Versuche über die Wirkung von Blitzschlägen und blitzschlagähnlichen Entladungen auf Eisenbeton	96
A. Laboratoriumsversuche	96
B. Versuche an einem Bauwerk	107
III. Versuche über den Einfluß des elektrischen Stromes auf das Haftvermögen	108

Bericht

über die

Versuche über den Einfluss der Elektrizität auf Eisenbeton.

Ausgeführt in der Großh. Materialprüfungs-Anstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1911.

Einleitung.

Die Versuche bezweckten die Feststellung des Einflusses der elektrolytischen Wirkung von Gleichstrom auf Eisenbeton und auf das Haftvermögen zwischen Beton und Eisen, sowie die Feststellung der Wirkung von Blitzschlägen und blitzschlagähnlichen Entladungen auf Eisenbeton. Der Arbeitsplan wurde von der Materialprüfungsanstalt Darmstadt unter Mitwirkung der Firmen Dyckerhoff & Widmann, Aktiengesellschaft in Biebrich a. Rh., vertreten durch Regierungsbaumeister Gehler, und Hüser & Co. in Oberkassel, Siegkreis, entworfen und in den Sitzungen des Arbeitsausschusses zu Heidelberg am 24. April 1909 und zu Berlin am 18. Juni 1909 beraten. Der große Ausschuß bewilligte in seiner Sitzung zu Berlin am 19. Juni 1909 die Mittel zur Ausführung der Versuche.

Zur Zeit der Aufstellung des Arbeitsplanes lagen keine hinreichenden Ergebnisse früherer Versuche in dieser Richtung vor, auf die ein Arbeitsplan für die in Aussicht genommenen Versuche hätte aufgebaut werden können. Es wurden daher von der Materialprüfungsanstalt Darmstadt schon vor der endgültigen Aufstellung des Arbeitsplanes und der Bewilligung der Geldmittel orientierende Vorversuche ausgeführt. Diese Versuche wurden in der Zeit vom Juli 1908 bis Juni 1909 angestellt. Ihre Ergebnisse wurden zum größten Teile gemäß den Beschlüssen des Ausschusses in den nachstehenden Bericht aufgenommen.

I. Versuche über elektrolytische Zersetzungen des bewehrten Betons.

A. Arbeitsplan.

Nach dem Beschluß des Arbeitsausschusses waren die Versuche an würfelförmigen Probekörpern von 30 cm Kantenlänge auszuführen. Der Beton sollte im Raumteilmischungs-Verhältnis 1 : 3 : 3 unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies hergestellt und erdfeucht bzw. weich angemacht werden. Als Elektroden sollten die in den Abb. 1 bis 5 dargestellten Elektrodenformen I, II, III, IV und V verwendet werden. Diese Formen waren in folgender Absicht gewählt.

Bei den Formen I und II sollte ein Gleichstrom von mehreren Ampere durch das einbetonierte Eisen geschickt und dabei festgestellt werden, ob etwa ein Teil des Stromes den eisernen Leiter verließ und als vagabundierender Strom irgendwelchen Einfluß auf das Eisen und den Beton ausübte. Bei den Probekörpern mit den Elektrodenformen III, IV und V sollte ein Gleichstrom von nur etwa $\frac{1}{10}$ Amp. von der einen Elektrode durch den Beton hindurch zu der anderen Elektrode geleitet und die Wirkung dieses Stromes festgestellt werden. In diesen Fällen bildete also der Beton einen Teil des Stromkreises.

Bei der Versuchsausführung erwiesen sich einige Abweichungen von dem beschlossenen Arbeitsplan als zweckmäßig, und zwar wurde aus weiter unten angegebenen Gründen von der Ausführung einiger Probekörper Abstand genommen. Ferner wurden auch weitere nicht in dem Arbeitsplan enthaltene Probekörper und Versuche ausgeführt.

Unter Berücksichtigung des eben Gesagten ergibt sich folgende Zusammenstellung der tatsächlich ausgeführten und untersuchten Probekörper:

Uebersicht über die Probekörper.

I. Vorversuche.

	Probekörper Nr.
A. Vagabundierender Strom. (Elektrodenform I und II)	22 bis 25
B. Probekörper, bei denen der Beton einen Teil des Stromkreises bildet. (Elektrodenformen III, IV und V.)	
a) Beschleunigte Versuche mit starkem Strom (bis etwa 15 Amp.)	13, 15, 18, 20, 26, 27
b) Normale Versuche mit 0,1 Amp. Stromstärke.	
1. Zuschläge: Basaltsand und Basaltschotter. Beton erdfeucht; Mischung 1:3:3	30, 34, 31, 35, 32, 38, 39, 33, 37, 40
2. Zuschläge: Rheinsand und Rheinkies. Beton weich; Mischung 1:4:8	45, 46, 47, 48

II. Hauptversuche.

	Elektrodenform	Probekörper Nr.
A. Vagabundierender Strom. (Elektrodenformen I und II.)		
a) Luftlagerung:		
Beton erdfeucht	I	99, 100
b) Sandlagerung:		
Beton erdfeucht	I	95
c) Süßwasserlagerung:		
Beton erdfeucht	II	110
d) Salzwasserlagerung:		
Beton erdfeucht	II	112, 123

II. Hauptversuche (Fortsetzung).

	Elektroden- form	Probekörper Nr.	
B. Probekörper, bei denen der Beton einen Teil des Stromkreises bildet. (Elektrodenformen III, IV und V.)			
a) Luftlagerung:			
Beton erdfeucht	} III IV	65, 66 41, 57	
Beton weich		III IV	73, 74 49, 51
b) Sandlagerung:			
Beton erdfeucht	} III IV	67, 68 42, 58	
Beton weich		III IV	75, 76 50, 52
c) Süßwasserlagerung:			
Beton erdfeucht	} III IV V	69, 70 43, 62 36, 85	
Beton weich		III IV V	77, 78 53, 55 63, 90
d) Salzwasserlagerung:			
Beton erdfeucht	} III IV V	71, 125 44, 127 60, 129	
e) Kalkwasserlagerung:			
Beton erdfeucht	} III IV V	72, 126 80, 128 61, 130	
Beton weich		III IV V	79, 133 81, 134 64, 135

III. Versuche zur Feststellung der Ursache der Rissbildung.

	Probekörper Nr.
A. Würfel von 15 cm Kantenlänge	1 bis 13
B. Prismen von 15 · 15 · 30 cm Kantenlänge (Doppelwürfel).	01 bis 07
C. Würfel von 30 cm Kantenlänge	069, 073, 074
D. Würfel für Druckluftversuche	21, 22, 071

B. Herstellung der Probekörper.

Zuschläge. Mit Ausnahme einiger für die Vorversuche hergestellter Probekörper, bei denen als Zuschläge Basaltsand und Basaltschotter benutzt wurden, sind alle Probekörper aus Zement der Portland-Cement-Werke Heidelberg und Mannheim, A.-G., und aus Rheinsand und Rheinkies hergestellt worden. Der Rheinsand und Rheinkies stammte aus der Nähe von Gernsheim. Die Korngröße des Kieses lag zwischen 7 und 25 mm, die Korngröße des Sandes unter 7 mm. Das Raumgewicht des Rheinsandes betrug 1,65 kg/l, das Raumgewicht des Rheinkieses 1,55 kg/l.

Zement. Der Zement ergab bei der Normenprüfung folgende Werte:

Raumgewicht: eingelaufen	1,186 kg/l
eingerüttelt.	1,845 kg/l
Spezifisches Gewicht: ungeglüht.	3,096
geglüht	3,189
Glühverlust	1,23 %
Abbindeverhältnisse:	
Wasserzusatz	24 %
Abbindebeginn nach	3 $\frac{1}{2}$ Std.
Abbindezeit	6 $\frac{1}{4}$ Std.

Die Kuchenprobe bei Luft- und Wasserlagerung, sowie die Koch-, Darr- und Kugelprobe wurden bestanden.

Auf dem 900-Maschensiebe betrug der Siebrückstand 1,4 %₀, auf dem 4900-Maschensiebe der gesamte Rückstand 35,2 %₀, so daß also 64,8 %₀ des Zementes durch das 4900-Maschensieb gingen.

Die gesamte für die Hauptversuche verwendete Zementmenge entstammte einem Brande.

Die Mörtelfestigkeit wurde zu verschiedenen Zeiten geprüft, um event. Aenderungen festzustellen. Für die Festigkeitsproben wurde der Mörtel mit 8 $\frac{1}{2}$ %₀ Wasser angemacht. 24 Stunden nach der Herstellung wiesen die Zugproben ein Raumgewicht von 2,28, die Druckproben ein Raumgewicht von 2,24 auf. Die erhaltenen Festigkeitswerte sind in nachstehender Tabelle angegeben:

Prüfungs- Datum	Probenalter 7 Tage			Probenalter 28 Tage			Probenalter 90 Tage		
	Zug- festig- keit kg/qcm	Druck- festig- keit kg/qcm	Zug Druck	Zug- festig- keit kg/qcm	Druck- festig- keit kg/qcm	Zug- Druck	Zug- festig- keit kg/qcm	Druck- festig- keit kg/qcm	Zug Druck
13. 5. 09	—	—	—	28,45	360	$\frac{1}{12,7}$	32,12	418	$\frac{1}{13,0}$
6. 8. 09	23,25	248	$\frac{1}{10,6}$	27,68	346	$\frac{1}{12,5}$	—	—	—
23. 9. 10	25,26	251	$\frac{1}{9,95}$	31,35	337	$\frac{1}{10,75}$	—	—	—

Mischungsverhältnis. Mit Ausnahme der Gruppen IA, IBa und IBb 2 der Vorversuche, bei der das Mischungsverhältnis 1 : 2 : 4 bzw. 1 : 4 : 8 ist, betrug das Raumteilmischungsverhältnis 1 : 3 : 3. Der Beton wurde sowohl erdfeucht wie weich angemacht. Der Wasserzusatz bezogen auf das absolut trockene Material betrug 6,8 bzw. 8,5 Gewichtsprozente.

Elektroden. Für die Elektroden wurden die in den Abb. 1 bis 5 dargestellten Formen I, II, III, IV und V gewählt. Die Elektrodenform I (Abb. 1) bestand aus einer Spirale von blankem Eisendraht von 6 mm Durchmesser und 3,6 m Länge. Der Durchmesser der Spirale betrug zwischen 80 und 200 mm. Bei der Elektrodenform II (Abb. 2) war gleicher Eisendraht von 6 mm Durchmesser und 5,2 m Länge zu zickzackförmigen Windungen geformt. Die eine Elektrode der Form III (Abb. 3) bestand aus einem 2"-Gasrohr von 125 mm Länge. Das Rohr hatte eine größere Anzahl von Bohrungen, um eine gute Verbindung des Betons auf der Außen- und Innenseite des Rohres zu gewährleisten. Die zweite Elektrode bestand aus einer quadratischen Eisenblechplatte von 150 mm Kantenlänge. Zwecks guter Verbindung des Betons auf beiden Seiten der Platte hatte diese ebenfalls eine Anzahl Bohrungen. Die Platte bestand aus 2 mm dickem Schwarzblech, dessen Walzunder vor dem Einbringen der Platte in den Beton abgeschliffen war. An beide Elektroden wurden Zuleitungsdrähte angelötet. Um eine Zersetzung der Lötstellen zu verhindern, wurden diese gut durch Wachs und Paraffin isoliert. Desgleichen wurden die Zuleitungsdrähte durch ein übergestreiftes paraffiniertes Papprohr, das innen mit Paraffin ausgegossen wurde, isoliert. Die Schaltung der Probekörper erfolgte so, daß sowohl die Rohr-Elektrode wie auch die Platten-Elektrode jeweils die Anode bzw. Kathode bildeten.

Bei der Elektrodenform IV (Abb. 4) wurden zwei quadratische Blechplatten-Elektroden von 150 mm Kantenlänge im Abstände von 180 mm einander gegenüber einbetoniert. Die Ausbildung dieser Elektroden entspricht genau der Ausbildung der Platten-Elektroden bei Form III.

Bei Form V (Abb. 5) enthielt der Probekörper in seiner Mitte eine Rohr-Elektrode, die in gleicher Weise wie bei der Form III ausgebildet war. Der Probekörper wurde in einem Behälter in Süßwasser, Salzwasser bzw. Kalkwasser gelagert. In diese Flüssigkeiten wurde die zweite Platten-Elektrode getaucht. Die Schaltung erfolgte in der Weise, daß entweder die im Beton befindliche Rohr-Elektrode als Anode und die in der Flüssigkeit befindliche Platten-Elektrode als Kathode oder die Elektrode im Beton als Kathode und die Elektrode in der Flüssigkeit als Anode diente.

Stampfarbeit. Das Einstampfen des Betons in die gußeisernen Würfelformen geschah so weit als möglich nach den Laboratoriums-Vorschriften des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Wo die eingelegten Elektroden am normalen Stampfen hinderlich waren, wurden die ausgefallenen Stampfstöße nach Möglichkeit durch Stöße mit kleineren Hilfsstampfern (Rundeisen, Flacheisen) ersetzt.

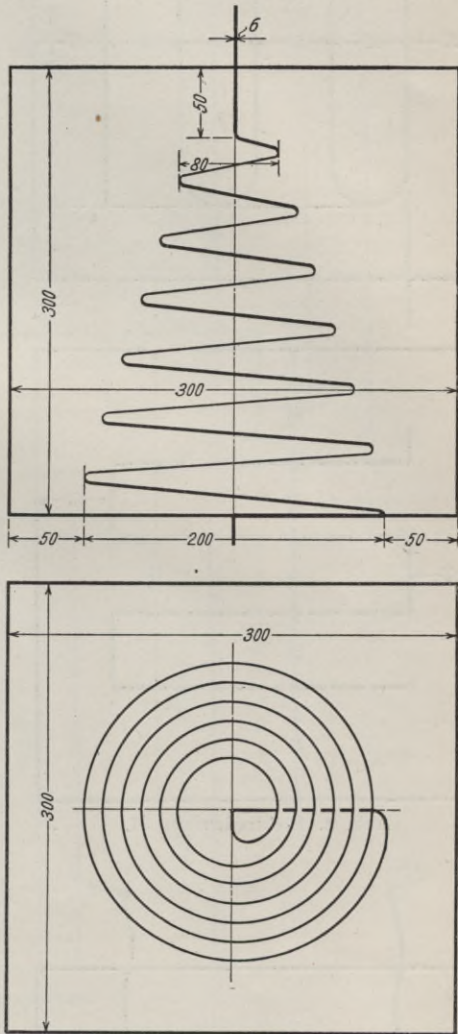


Abb. 1. Elektrodenform I.

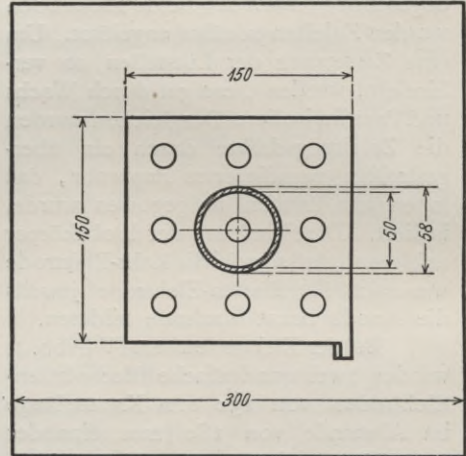
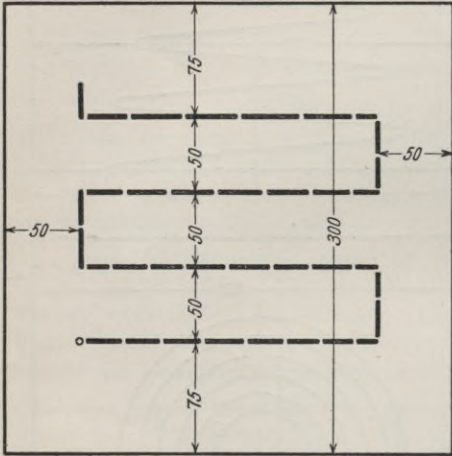
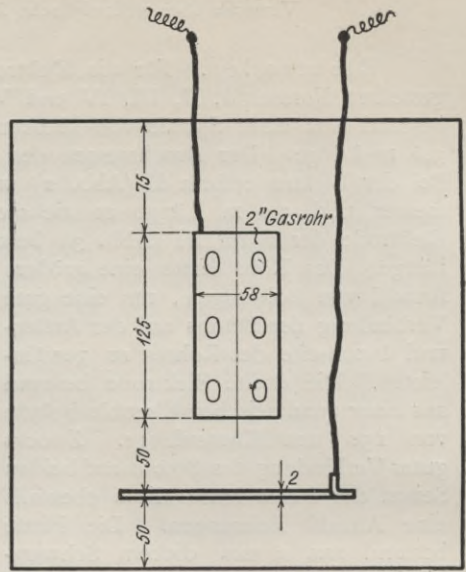
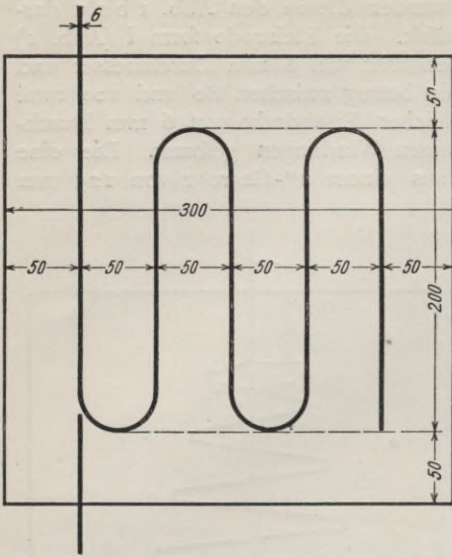


Abb. 2. Elektrodenform II.

Abb. 3. Elektrodenform III.

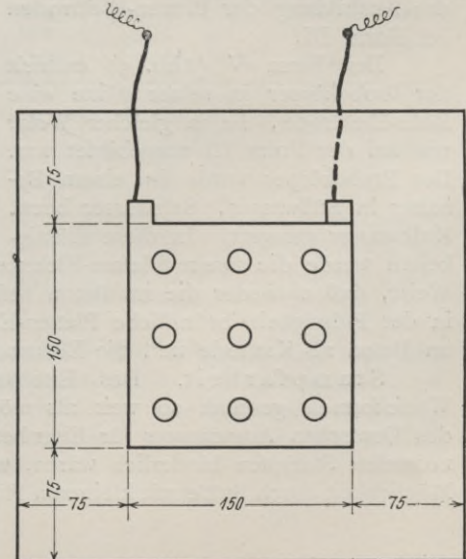
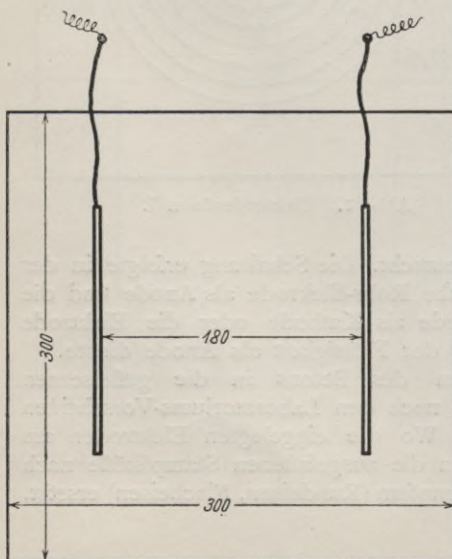


Abb. 4. Elektrodenform IV.

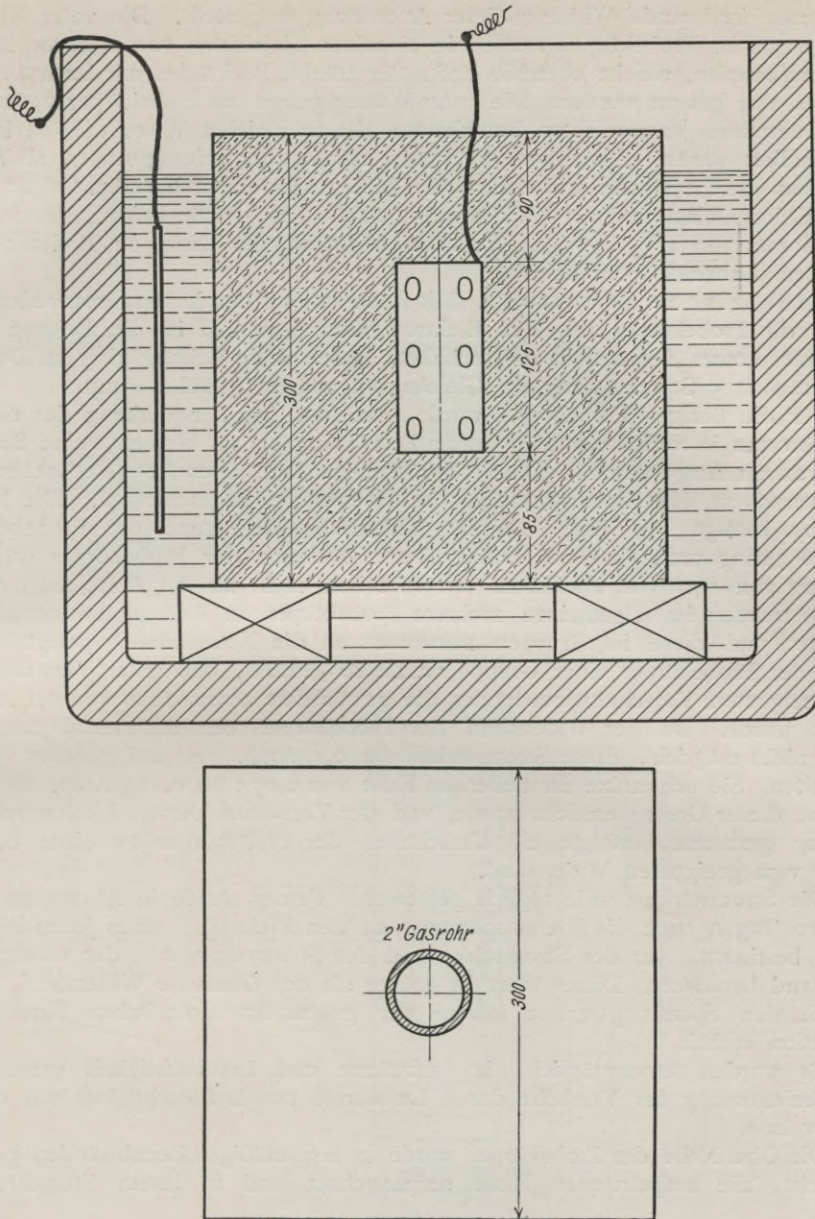


Abb. 5. Elektrodenform V.

C. Versuchsausführung.

Lagerung. Die Probekörper lagerten nach der Entformung bis zum Alter von 28 Tagen unter feuchtem Sand und wurden nicht vor dem 29. Tage unter Strom genommen. Während der im Alter von 29 Tagen beginnenden Durchleitung des elektrischen Stromes lagerten die Probekörper planmäßig an der Luft, unter feuchtem Sand, in Süßwasser, Salzwasser oder Kalkwasser. Die an der Luft gelagerten Körper wurden auf 4 ölgetränkte halbe Backsteine gestellt, auf deren obere Fläche ein dachförmiges, ölgetränktes Stück Dachpappe und darüber eine 5 mm starke Glasplatte gelegt war. Durch mehrmalige Stromprüfung wurde die

vollkommen isolierende Wirkung dieser Anordnung festgestellt. Die unter Rheinsand gelagerten Probekörper wurden in einzelnen Holzkisten von entsprechender Größe aufbewahrt, welche ebenfalls auf 4 ölgetränkte Backsteine mit Dachpappen- und Glasbelag gesetzt wurden. Die unter Wasser gelagerten Probekörper befanden sich in einzelnen wasserdichten Betonkasten, die in gleicher Weise wie die Holzkisten isoliert waren. Als Süßwasser wurde Darmstädter Leitungswasser, als Salzwasser das gleiche Wasser mit einem dem Meerwasser entsprechenden Gehalt von 3,6 ‰ Chlornatrium und als Kalkwasser ebenfalls das gleiche Leitungswasser mit einem Zusatz von 1 ‰ (bezogen auf den abgedampften Kalk) zu Breikalk abgelöschtem Lahnkalk verwendet.

Elektrische Schaltung. Mit Rücksicht auf den hohen Stromverbrauch wurden die Probekörper mit der Elektrodenform I und II in die Leitung des Werkstättenmotors der Anstalt eingeschaltet. Durch diese Leitung ging im Durchschnitt täglich 5 Stunden lang ein Gleichstrom von im Mittel 8 Amp.

Für die übrigen Probekörper wurde, um die Art der Wirkung des elektrischen Stromes in verhältnismäßig kurzer Zeit erkennen zu können, eine Stromstärke von 0,1 Amp. gewählt. Die Probekörper wurden während der Beobachtungszeit dauernd an das Gleichstromnetz der Hochschule angeschlossen. Die Netzspannung beträgt 140 Volt. Da der elektrische Widerstand der Probekörper meist so gering war, daß bei unmittelbarem Anlegen der Probekörper an die Spannung von 140 Volt ein Strom von erheblich mehr als 0,1 Amp. aufgetreten wäre, so wurden im allgemeinen mehrere Probekörper in Reihen hintereinander geschaltet und diese in Gruppen zusammen an die Netzspannung gelegt. Die Anzahl der Probekörper einer Gruppe wurde so gewählt, daß unter Verwendung eines geeigneten Vorschaltwiderstandes die gewünschte Stromstärke von 0,1 Amp. erreicht wurde. Da der Widerstand der Probekörper sich andauernd änderte, war es nicht möglich, diese Stromstärke von 0,1 Amp. stets auf gleicher Höhe zu erhalten. Sie schwankte im äußersten Falle von 0,075 bis 0,125 Amp. Sobald die Nähe dieser Grenze erreicht wurde, und der Vorschaltwiderstand keine weitere Regelung gestattete, erfolgte ein Umschalten der Probekörper zu einer neuen Gruppe vom geeigneten Widerstand.

Die Stromstärke wurde täglich gemessen. Ferner wurde in Abständen von 8 bis 10 Tagen auch die Klemmspannung an den Elektroden eines jeden Probekörpers bestimmt. Aus der Stromstärke und der Spannung wurde der scheinbare Widerstand berechnet. Dieser Wert ist größer als der Ohmsche Widerstand, weil er noch den Spannungsverlust infolge der genelektromotorischen Kraft der Polarisation enthält.

Es wurden ferner täglich die Luftwärme und Luftfeuchtigkeit gemessen. Eine Beeinflussung der Versuche durch Luftwärme und Luftfeuchtigkeit war nicht nachzuweisen.

Die Oberfläche der Probekörper wurde in regelmäßigen Zeitabständen genau untersucht, die aufgetretenen Risse aufgezeichnet und in ihrem Fortschreiten verfolgt.

D. Versuchsergebnisse.

I. Vorversuche.

A. Vagabundierender Strom.

Probekörper Nr. 22 bis 25.

Der Beton dieser Probekörper war unter Verwendung von Basalt und Basaltschotter im Mischungsverhältnis 1 : 2 : 4 weich angemacht. Der Probekörper Nr. 24 hatte die Elektrodenform I (Eisendrahtspirale), die übrigen Probekörper die Elektrodenform II (Zickzackeisendraht). Die Probekörper lagen vom 5. Februar 1909

bis 14. Juni 1911, also etwa 28 Monate im Stromkreise des Werkstättenmotors (vgl. S. 8). Die Probekörper Nr. 22, 23 und 24 waren unter feuchtem Sand, der Probekörper Nr. 25 an der Luft gelagert.

Die Probekörper zeigten nach Beendigung des Versuches keinerlei Risse auf der Oberfläche. Sie wurden mit einem Hammer auseinandergeschlagen. Es ergab sich dabei, daß mit Ausnahme von Nr. 24 der Eisendraht in allen Probekörpern vollkommen blank war. Der Beton in der Nähe des Eisendrahtes zeigte nicht die geringste Verfärbung, nur auf der untersten Spirale des Probekörpers Nr. 24 waren einige kleine unwesentliche Rostflecken sichtbar.

B. Probekörper, bei denen der Beton einen Teil des Stromkreises bildet.

a) Beschleunigte Versuche mit starkem Strom.

Probekörper Nr. 13, 15, 18, 20, 26 und 27.

Alle Probekörper dieser Gruppe waren unter Verwendung von Basaltsand und Basaltschotter im Mischungsverhältnis 1 : 2 : 4 aus weichem Beton hergestellt.

Probekörper Nr. 13 (Abb. 6¹⁾ u. 7). Der Probekörper Nr. 13 besaß die Elektrodenform IV²⁾. Er war am 6. August 1908 hergestellt und wurde am 29. Juni 1909, also im Alter von nahezu 11 Monaten, nachdem er bis dahin

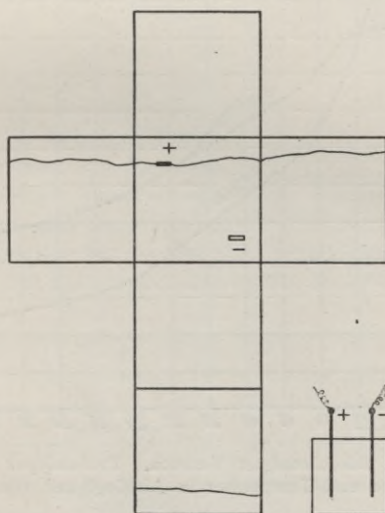


Abb. 6. Probekörper Nr. 13.
Versuchsdauer: 84 Tage. Luftlagerung.

ohne Strombeanspruchung im Freien an der Luft gelegen hatte, bei Lagerung an der Luft an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Der Beton war dabei entsprechend der derzeitigen Witterung feucht. Die Stromstärke nahm während des Versuches allmählich zu, wie nachstehende Uebersicht zeigt:

¹⁾ Abb. 6 und die entsprechenden Abbildungen für die übrigen Probekörper zeigen die Ribbildungen während des Versuches. Die Abbildung ist so zu verstehen, daß die Seitenflächen des Probekörpers aufgeklappt sind, so daß ein Kreuz entsteht. Den Mittelpunkt dieses Kreuzes bildet die obere Fläche des Probekörpers, während die untere Fläche im Anschluß an die eine Seitenfläche dargestellt ist. In dieses Abbildungsschema sind die aufgetretenen Risse eingezeichnet.

²⁾ Die Elektrodenform ist schematisch bei allen Probekörpern stets in der unteren rechten Ecke derjenigen Abbildung dargestellt, welche die Ribbildung des betreffenden Probekörpers zeigt.

Zeit	Stromstärke
	Ampere
Versuchsbeginn	0,84
1 Stunde nach Versuchsbeginn .	1,08
2 Stunden „ „	1,40
4 „ „ „	2,06
5 $\frac{1}{2}$ „ „ „	2,38

5 $\frac{1}{2}$ Stunden nach dem Versuchsbeginn war die Wärme des Probekörpers auf etwa 80 bis 90° C gestiegen. Darauf wurde der Strom unterbrochen. Es wurde auf der oberen Seite des Probekörpers ein 8 cm tiefes Loch gebohrt. In dieses Loch wurde Quecksilber gefüllt, um die Wärme des Probekörpers bei

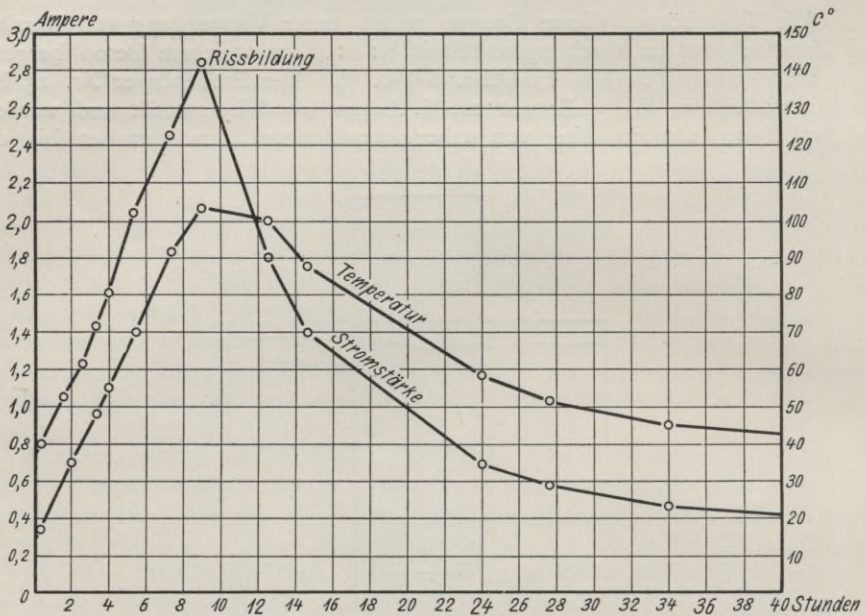


Abb. 7. Beschleunigter Versuch. Probekörper Nr. 13.
Stromstärke und Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit.

späteren Versuchen durch Eintauchen eines Thermometers in das Quecksilber messen zu können. Der Probekörper wurde dann nochmals an 140 Volt gelegt und die Stromstärke und Wärme gemessen. Dabei wurden die in Abb. 7 schaubildlich dargestellten Werte beobachtet. Zunächst nahm die Stromstärke innerhalb von etwa 9 Stunden von 0,8 Amp. zu bis auf 2,85 Amp. Bei dieser Stromstärke trat Rißbildung ein. Danach nahm die Stromstärke zunächst schnell und weiterhin langsamer ab, und zwar im Verlauf von etwa 5 Tagen auf 0,43 Amp. Der Probekörper lag dann noch 83 Tage dauernd an der Spannung von 140 Volt. Zufolge der durch die Stromwirkung eintretenden Vergrößerung der Risse und zufolge der fortschreitenden Austrocknung des Betons wurde der elektrische Widerstand nach und nach größer. Die Stromstärke nahm daher während dieser Zeit allmählich ab und betrug nach 83 Tagen nur noch 0,064 Amp. Die Risse, welche, wie Abb. 6 erkennen läßt, in der Ebene der positiven Platten-Elektrode aufgetreten waren, hatten sich während der Versuchsdauer so stark vergrößert, daß der Probekörper sich in der Ebene der positiven Elektrode leicht

auftrennen ließ. Die Temperatur des Probekörpers stieg bei Beginn des Versuches entsprechend der anwachsenden Stromstärke an und erreichte ihren Höchstwert von 104° etwa gleichzeitig mit dem Wert der größten Stromstärke. Mit abnehmender Stromstärke nahm dann auch wieder die Temperatur des Probekörpers ab.

Probekörper Nr. 15 (Abb. 8 u. 9). Der Probekörper Nr. 15 hatte die Elektrodenform IV. Er war am 6. August 1908 hergestellt, wurde am 7. Juli 1909, also im Alter von etwa 11 Monaten, nachdem er zuvor an der Luft im Freien gelagert hatte, in einen Behälter mit 3,6prozentigem Salzwasser gebracht und an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Der Probekörper Nr. 15 besaß in gleicher Weise wie der Probekörper Nr. 13 auf der oberen Seite eine Bohrung zur Aufnahme von Quecksilber für Temperaturmessungen.

Zu Beginn des Versuches betrug die Stromstärke 7,5 Amp. Die Stromstärke stieg innerhalb von 3 Stunden erst langsam und dann schneller bis auf den Höchstwert von 9,5 Amp. an. Bei dieser Stromstärke trat Ribbildung in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ein; auch stiegen kleine Gasbläschen sowohl in der Nähe der positiven wie auch der negativen Elektrode auf. Während bei dem Probekörper Nr. 13 die Stromstärke dauernd abnahm, behielt sie bei dem Probekörper Nr. 15 dauernd den Wert von 5,2 Amp. Der Unterschied bei beiden Probekörpern dürfte sich daraus erklären, daß bei dem an der Luft gelagerten Probekörper Nr. 13 bei der Vergrößerung der Risse und bei der weiteren Austrocknung des Betons der elektrische Widerstand größer und damit

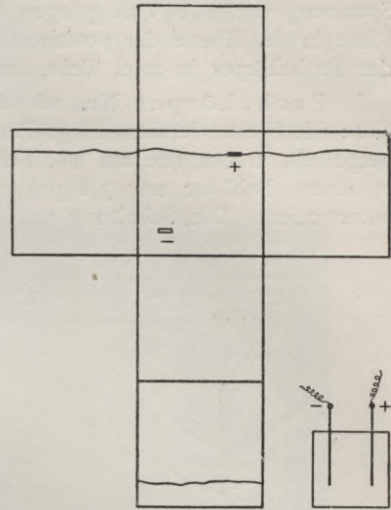


Abb. 8. Probekörper Nr. 15.
Versuchsdauer: 2 Tage, Salzwasserlagerung.
Risse nach 3 Stunden.

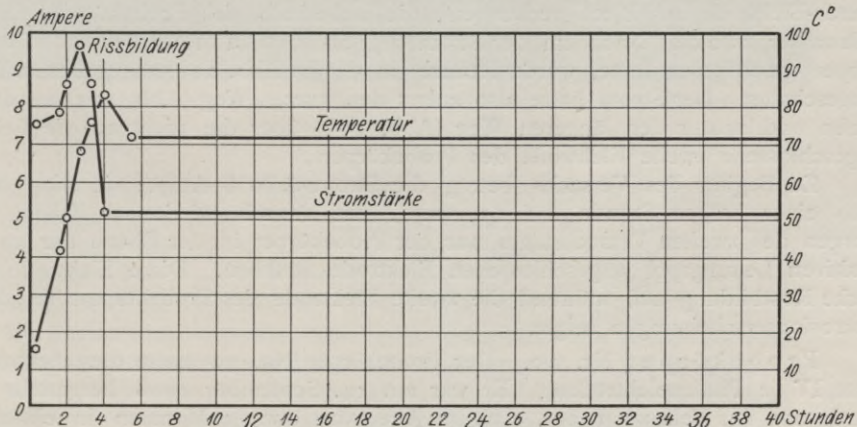


Abb. 9. Beschleunigter Versuch. Probekörper Nr. 15.
Stromstärke und Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit.

die Stromstärke kleiner wurde. Bei dem in Salzwasser gelagerten Probekörper Nr. 15 trat dagegen infolge des dauernd feuchten Zustandes des Betons bei Vergrößerung der Risse keine Vergrößerung des Leitungswiderstandes und damit keine Verringerung der Stromstärke auf, da das in die Risse eintretende Salzwasser einen guten Leiter bildete.

Entsprechend der bei Beginn des Versuches zunehmenden Stromstärke nahm auch die Temperatur des Probekörpers mit wachsender Stromstärke zu bis auf 83° und zwar trat der Höchstwert der Temperatur von 83° zeitlich etwas später ein, als der Höchstwert der Stromstärke. Nachdem die Stromstärke den gleichbleibenden Wert von 5,2 Amp. dauernd beibehielt, blieb auch die Temperatur dauernd auf derselben Höhe von etwa 72° .

Die Aenderungen der Stromstärke und Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit sind in Abb. 9 dargestellt. Nachdem der Probekörper 2 Tage lang an der Spannung von 140 Volt gelegen hatte, wurde der Versuch abgebrochen, da die Risse in der Ebene der positiven Platten-Elektrode sich so vergrößert hatten, daß der Probekörper in zwei Teile zerfallen war.

Probekörper Nr. 18 (Abb. 10a u. 10b). Der Probekörper Nr. 18 hatte die Elektrodenform IV (2 Plattenelektroden). Er war am 14. September 1908 hergestellt und wurde am 11. Februar 1909, also im Alter von etwa 5 Monaten in einen Behälter mit 3,6 prozentigem Salzwasser gebracht und dem Versuch unterworfen. Die Schaltung war folgende. Der positive Pol des Leitungsnetzes

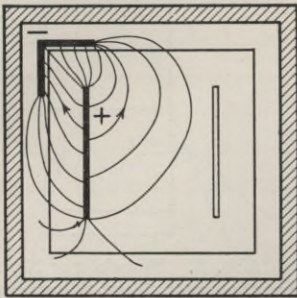


Abb. 10a.

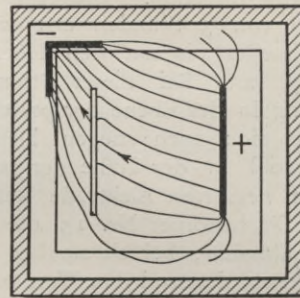


Abb. 10b.

von 140 Volt wurde an die eine Platten-Elektrode des Probekörpers gelegt (Abb. 10a). Der negative Pol der Leitung war mit einer winkelförmig gebogenen Tauch-Elektrode aus Blech verbunden, die außerhalb des Probekörpers in das Salzwasser tauchte. Nachdem der Strom $2\frac{1}{2}$ Stunden in dieser Weise den Betonkörper durchflossen hatte, wurde letzterer in der in Abb. 10b angegebenen Weise umgeschaltet. Der Strom hatte also zuerst den kurzen Weg (Abb. 10a) zu durchlaufen und später den längeren Weg (Abb. 10b) über die nicht an die Leitung angeschlossene zweite Elektrode des Probekörpers.

Zu Beginn des Versuchs betrug die Stromstärke 8 Amp.; sie stieg innerhalb einer halben Stunde auf 15 Amp., um danach wieder zu fallen. Am Morgen des zweiten Versuchstages war der Probekörper in der Ebene der an den positiven Leitungspol angeschlossenen Elektrode zerfallen. Diese Elektrode wies starke Rostbildung auf, während die zweite Elektrode des Probekörpers fast keine Korrosionserscheinungen zeigte.

Probekörper Nr. 20. Der Probekörper No. 20 hatte die Elektrodenform IV (2 Plattenelektroden). Er war am 14. September 1908 hergestellt und wurde am 11. Februar 1909, also im Alter von etwa 5 Monaten in einen Behälter unter Salzwasser gebracht. Die Schaltung war folgende: Der positive Pol des Leitungsnetzes von 140 Volt wurde an die eine Platten-Elektrode des Probekörpers gelegt, während die zweite Elektrode des Probekörpers frei blieb. Den negativen Pol bildete eine in das Salzwasser hineingehängte Tauch-Elektrode.

Bei Beginn des Versuches betrug die Stromstärke 1,5 Amp.; sie stieg innerhalb 18 Stunden bis auf 4,5 Amp., um danach wieder langsam zu fallen. Am dritten Versuchstage war der Zuleitungsdraht zu der Elektrode des Probekörpers an der Eintrittsstelle in den Beton infolge der elektrolytischen Wirkung durch-

gefressen, da bei den Vorversuchen diese Zuleitungsdrähte noch nicht isoliert waren. Der positive Leitungspol wurde nun an die zweite, bisher freigebliebene Platten-Elektrode des Probekörpers gelegt, während der negative Leitungspol wiederum an einer in Salzwasser hängenden Tauch-Elektrode lag. Die Stromstärke betrug 3,5 Amp. Nach neuntägiger Versuchsdauer war auch der Zuleitungsdraht zu der zweiten Elektrode infolge der elektrolytischen Wirkung durchgefressen. Der Probekörper zeigte auf der oberen Seite und einer Seitenfläche in der Ebene der beiden Platten-Elektroden Anrisse. Er wurde mit einem Hammer zerschlagen, wobei sich zeigte, daß das untere Ende der einen Platten-Elektrode auf einer Breite von etwa 1 cm zerfressen war. Der Beton in der Nähe der beiden Platten-Elektroden war braun angelaufen und erwies sich bei dem Versuche, ihn mit einem Taschenmesser zu schneiden, als vollkommen hart.

Probekörper Nr. 26 (Abb. 11). Der Probekörper Nr. 26 besaß die Elektrodenform IV (2 Platten-Elektroden). Er war am 24. September 1908 her-

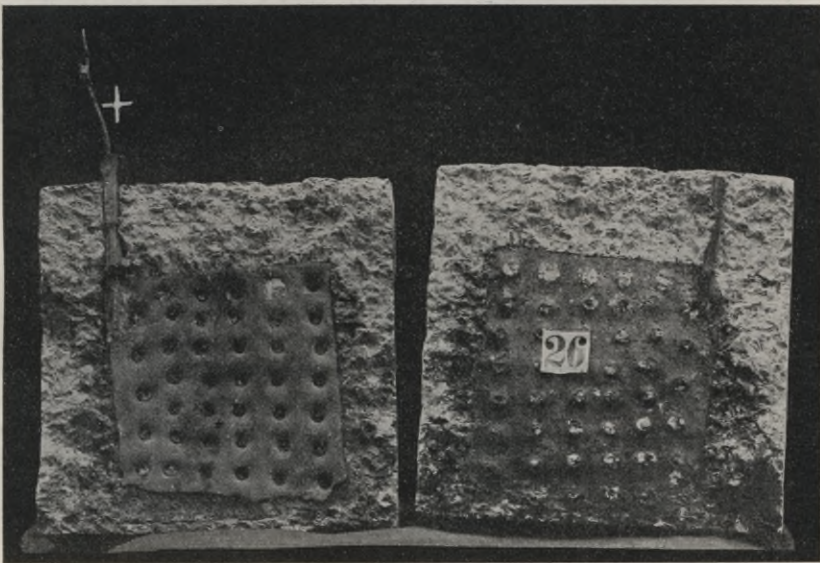


Abb. 11.

gestellt und wurde am 9. Februar 1909, also im Alter von etwa $4\frac{1}{2}$ Monaten unter Salzwasser gebracht. Die Schaltung geschah in der Weise, daß der positive Pol der Leitung von 70 Volt an die eine Platten-Elektrode des Probekörpers gelegt wurde. Die zweite Platten-Elektrode des Probekörpers blieb frei. Der negative Leitungspol lag an einer in das Salzwasser gehängten Tauch-Elektrode.

Zu Beginn des Versuches betrug die Stromstärke 3,5 Amp. Die Stromstärke stieg allmählich an und zwar innerhalb einer Stunde bis auf 6 Amp., um danach während der ganzen Versuchsdauer auf gleicher Höhe zu bleiben. Nach 24 stündiger Versuchsdauer zeigte der Probekörper noch keine Risse. Nach 48 stündiger Versuchsdauer wurde auf der einen Seitenfläche des Probekörpers ein Riss in der Ebene der am positiven Leitungspol liegenden Platten-Elektrode bemerkt. Der Versuch wurde beendet und der Probekörper mit einem Meißel in der Ebene der eben genannten Elektrode aufgetrennt.

Das untere Ende der mit dem positiven Leitungspol in Verbindung gewesenen Elektrode war stark angefressen und der Beton unterhalb des unteren Endes dieser Elektrode gelb und an den Seiten der Elektrode braun gefärbt. Die Erklärung hierfür dürfte in folgendem zu suchen sein. Durch die Sauerstoff-

Ausscheidung ist auf dem Eisen schwarzes Eisenoxyd aufgetreten. Das zersetzte Chlornatrium hat mit der gelösten Eisen-Elektrode gelbes Eisenchlorid gebildet. Dieses Eisenchlorid sinkt durch seine Schwere nach unten; hierbei findet es im Beton freien Kalk und wird zu Eisenoxyd.

Probekörper Nr. 27 (Abb. 12). Der Probekörper Nr. 27 besaß die Elektrodenform IV (2 Platten-Elektroden). Der Probekörper war am 24. September

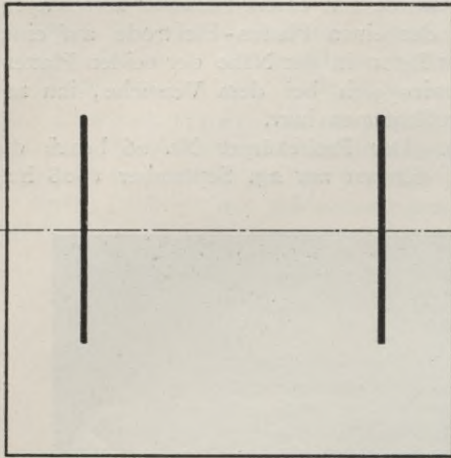


Abb. 12. Aufsicht auf den Probekörper.

1908 hergestellt. Vom 23. Dezember 1908 bis zum 7. Februar 1909 wurde durch den Probekörper, während er unter Salzwasser lagerte, ein Strom geschickt, der zwischen 0,06 und 0,27 Amp. schwankte. Dabei bildete die eine Platten-Elektrode die Anode, die zweite Platten-Elektrode die Kathode. Am 7. Februar 1909, also im Alter von etwa $4\frac{1}{2}$ Monaten, erfolgte eine Umschaltung. Die eine Platten-Elektrode blieb wie zuvor mit dem negativen Leitungspol verbunden, der positive Leitungspol wurde jedoch von der zweiten Platten-Elektrode getrennt und an eine außerhalb des Probekörpers in der Lagerungsflüssigkeit (Salzwasser) hängende Tauch-Elektrode gelegt. Die Stromstärke betrug dabei zunächst 0,27 Amp. und

nahm allmählich bis auf 0,20 Amp. ab. 57 Tage nach der obigen Umschaltung wurde der Versuch abgebrochen und der Probekörper nach Abb. 12 in der punktierten Linie senkrecht zur Ebene seiner Platten-Elektroden durchgesägt. Die Schnittfläche des Betons erwies sich als vollkommen hart. Nachdem der Beton vom Eisen abgeschlagen war, zeigte sich infolge von Eisenoxymbildung eine braune Färbung in unmittelbarer Nähe des Eisenbleches, das bei der ersten Schaltungsart die Anode gebildet hatte.

b) Normale Versuche mit 0,1 Ampere Stromstärke.

1. Zuschläge: Basaltsand und Basaltsehötter.

Die Probekörper dieser Gruppe wurden unter Verwendung von Basaltsand und Basaltsehötter im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 aus erdfeuchtem Beton hergestellt.

aa) Luftlagerung.

Probekörper Nr. 30 u. 34.

Probekörper Nr. 30 (Abb. 13 u. 14). Der Probekörper Nr. 30 hatte die Elektroden IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 150 Ohm und nahm dann infolge des Austrocknens des Probekörpers zuerst langsam und dann immer schneller zu. Am 63. Tage¹⁾ trat Ribbildung in der Ebene der positiven Platten-Elektrode auf. Der Versuch wurde bis zu 77 Tagen fortgesetzt. Bis dahin hatten sich die in Abb. 13 dargestellten Risse von etwa 3 mm Breite ausgebildet. Infolge der Ribbildung war an der oberen Kante ein Stück des Betons losgelöst, sodaß die in Abb. 13 schraffierte Bruchfläche entstand.

¹⁾ Die Angabe der Versuchsdauer in Tagen ist stets vom Tage der Einschaltung in den Stromkreis ab gerechnet.

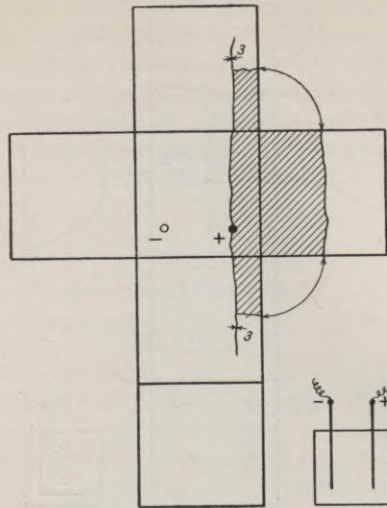


Abb. 13. Probekörper Nr. 30.

Versuchsdauer: 77 Tage.

Luftlagerung. Risse nach Beendigung des Versuches aufgenommen.

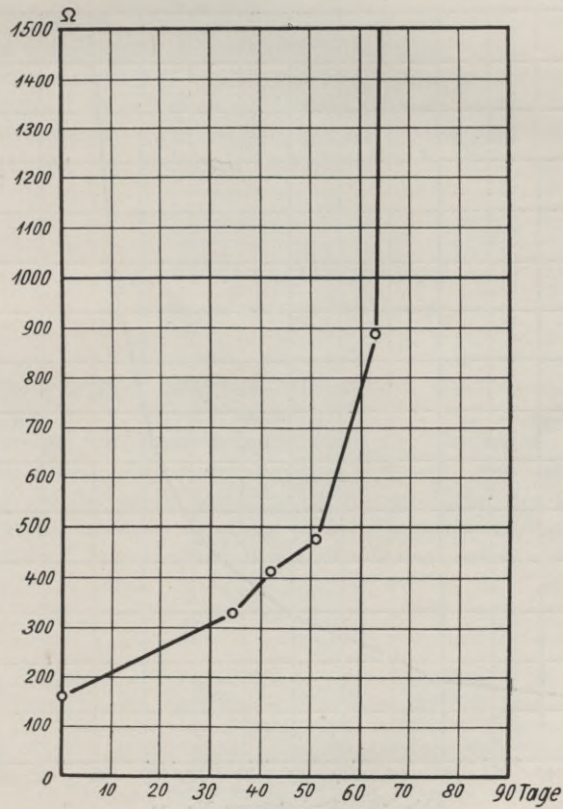


Abb. 14. Probekörper Nr. 30.

Versuchsdauer: 77 Tage.

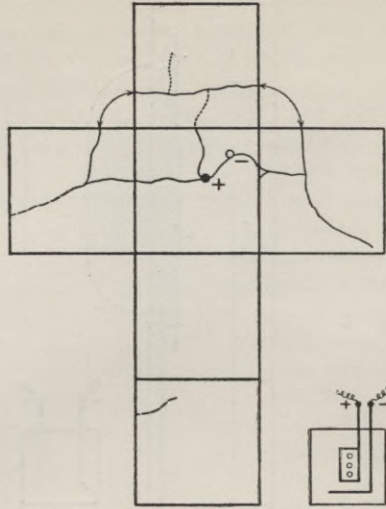


Abb. 15. Probekörper Nr. 34.
 Versuchsdauer: 193 Tage. Luftlagerung.
 — Risse nach 76 Tagen.
 - - - " " 116 "
 " " 182 "

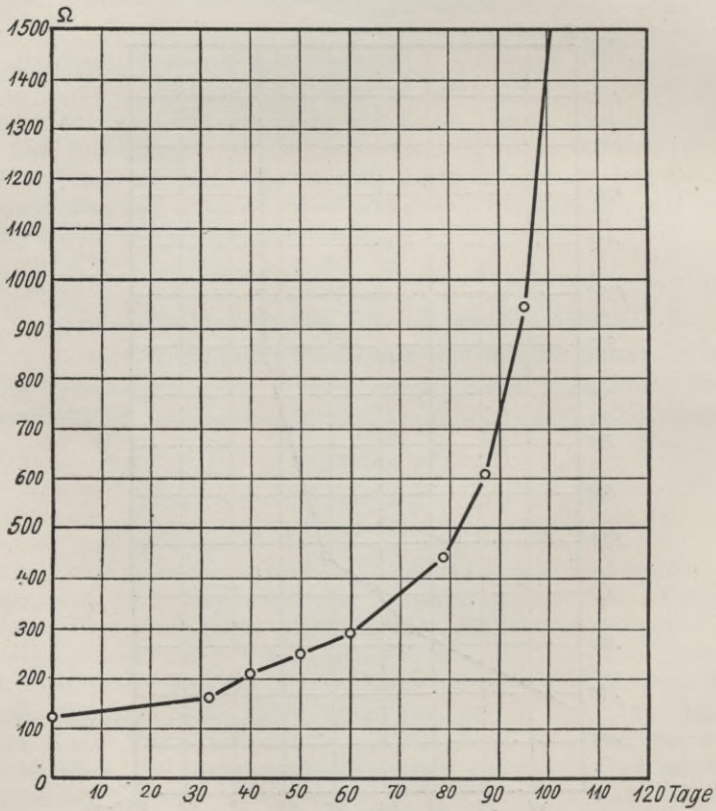


Abb. 16. Probekörper Nr. 34.
 Versuchsdauer: 193 Tage.
 Max. Widerstand = 48600 Ω nach 180 Tagen.

Probekörper Nr. 34 (Abb. 15 u. 16). Der Probekörper Nr. 34 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Auch bei diesem Probekörper nahm der elektrische Widerstand zuerst langsam und dann schneller bis auf über 1000 Ohm zu. Nach 180 Tagen betrug der Widerstand 48600 Ohm. Risse traten nach 76 Tagen auf. Die Risse nahmen bei weiterer Versuchsdauer an Zahl und Größe zu. Entsprechend der Form der Elektrode hatten sich auf der oberen Seite des Probekörpers radiale und auf den Seitenflächen einige vertikale und horizontale Risse ausgebildet.

bb) Sandlagerung.

Probekörper Nr. 31 u. 35.

Probekörper Nr. 31 (Abb. 17 u. 18). Der Probekörper Nr. 31 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand nahm zuerst allmählich von 180 Ohm an zu. Am 79. Tage wurden die ersten Risse beobachtet. Etwa 10 Tage später trat eine dauernde sehr starke Zunahme des Widerstandes ein. 118 Tage nach Versuchsbeginn betrug der Widerstand 1500 Ohm. Die Risse hatten sich auf den Seitenflächen und der unteren Fläche des Probekörpers in der Anode ausgebildet. Ferner war der zwischen der Anode und der benachbarten Außenfläche liegende Beton quer durchgebrochen. Die Breite der Risse betrug bei Beendigung des Versuchs nach 120 Tagen etwa 3 bis 5 mm¹⁾.

Probekörper Nr. 35 (Abb. 19 u. 20). Der Probekörper Nr. 35 hatte die Elektrodenform III. Der elektrische Widerstand nahm bis zum Eintritt der Ribbildung nach 76 tägiger Versuchsdauer zunächst von 120 Ohm bis 200 Ohm sehr langsam und später nach Eintritt der Ribbildung etwas schneller bis auf 390 Ohm zu. Der stärkste Rib von 6 mm Breite war in der Mitte einer Seitenfläche des Probekörpers in der Ebene senkrecht zur Längsachse der Rohrelektrode aufgetreten. Ferner hatten sich einige kleinere Risse auf den Seitenflächen parallel zur Längsachse des Rohres ausgebildet.

cc) Süßwasserlagerung.

Probekörper Nr. 32, 38 u. 39.

Probekörper Nr. 32 (Abb. 21 — 23). Der Probekörper Nr. 32 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand nahm bis zum Eintritt der Risse nach 78 tägiger Versuchsdauer zunächst langsam und danach etwas schneller zu. Während der ganzen Versuchsdauer stieg der Widerstand von 120 Ohm auf mehr als 600 Ohm. Die Risse bildeten sich auf der unteren Fläche des Probekörpers und auf der einen Seitenfläche in der Ebene der positiven Platten-Elektrode aus, sowie in dem zwischen dieser Elektrode und der benachbarten Außenfläche liegenden Beton. Die Breite der Risse betrug nach 250 Tagen Versuchsdauer bis zu 2 mm.

¹⁾ Die Breite der Risse an den durch Pfeile bezeichneten Stellen ist in allen diesbezüglichen Abbildungen folgendermaßen angegeben. Es bedeutet die Zahl über dem Bruchstrich die Rissbreite in mm. Die Zahl unter dem Bruchstrich bedeutet den Versuchstag, an dem diese Rissbreite festgestellt wurde. 5/120 bedeutet z. B., daß 120 Tage nach Versuchsbeginn die Ribbreite an der betr. Stelle 5 mm betrug. Eine über dem Bruchstrich stehende 0 (Null) bedeutet, daß der Rib so fein war (Haarrib), daß seine Breite nicht gemessen werden konnte.

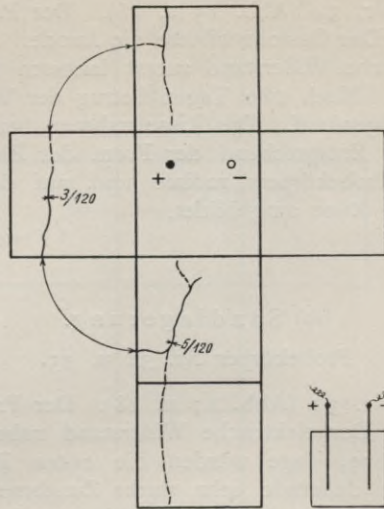


Abb. 17. Probekörper Nr. 31.
 Versuchsdauer: 121 Tage. Sandlagerung.
 — Risse nach 78 Tagen.
 - - - - - " " 120 "

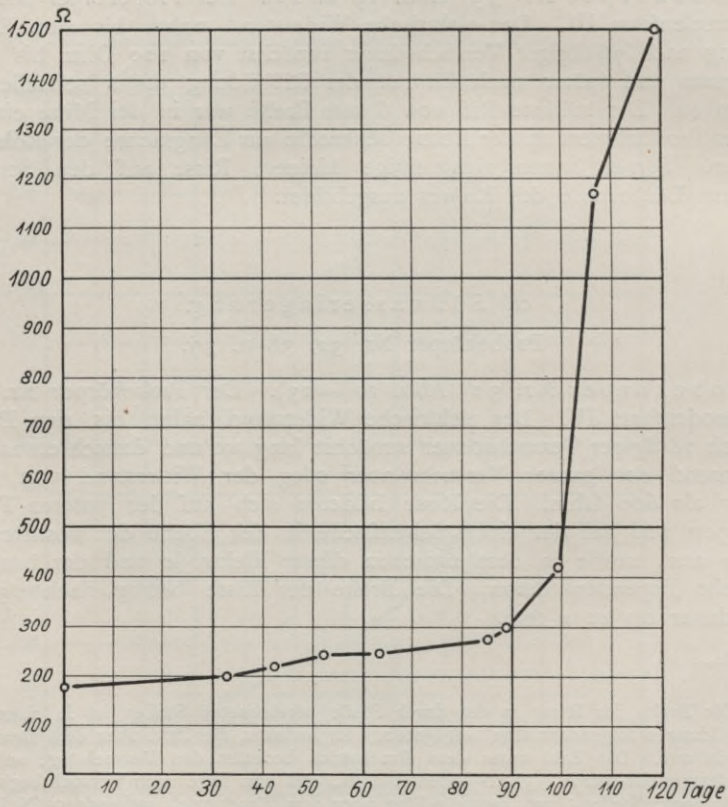


Abb. 18. Probekörper Nr. 31.
 Versuchsdauer: 121 Tage.

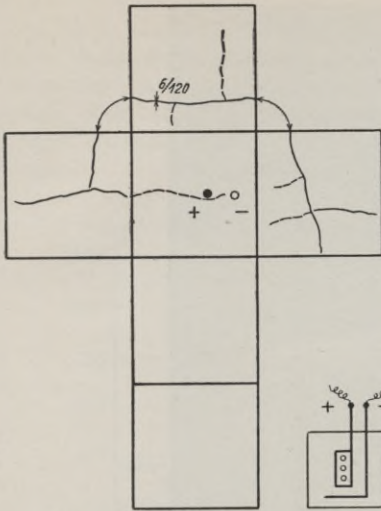


Abb. 19. Probekörper Nr. 35.
 Versuchsdauer: 120 Tage. Sandlagerung.
 — Risse nach 76 Tagen.
 - - - - - " " 120 "

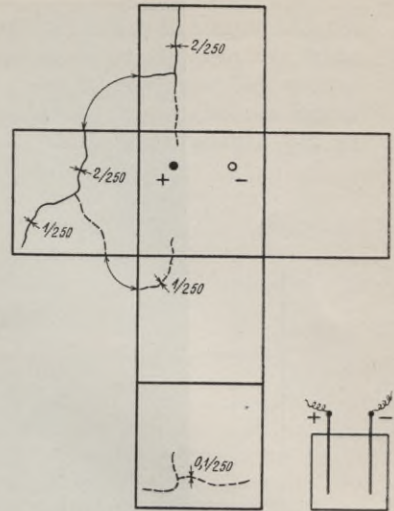


Abb. 21. Probekörper Nr. 32.
 Versuchsdauer: 250 Tage. Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 78 Tagen.
 - - - - - " " 120 "

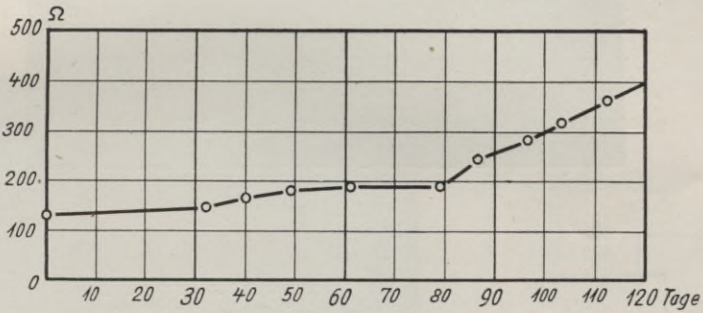


Abb. 20. Probekörper Nr. 35. Versuchsdauer: 120 Tage.

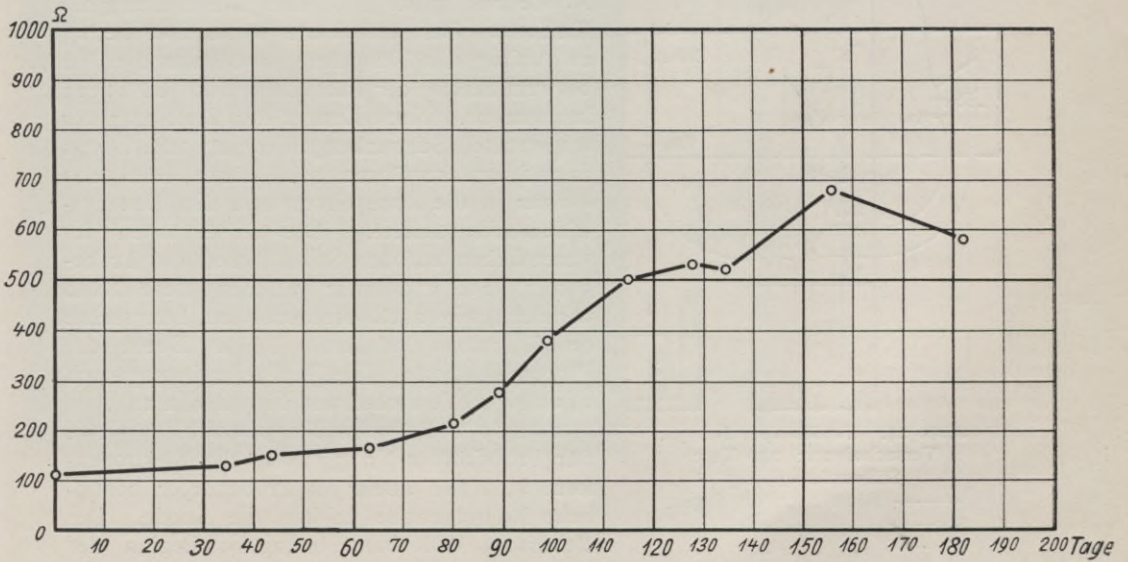


Abb. 22. Probekörper Nr. 32. Versuchsdauer: 250 Tage.

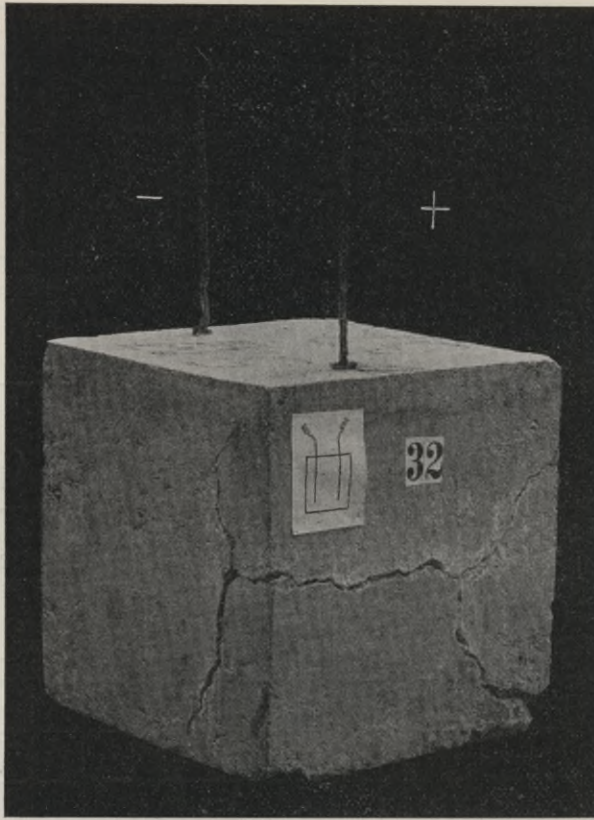


Abb. 23.

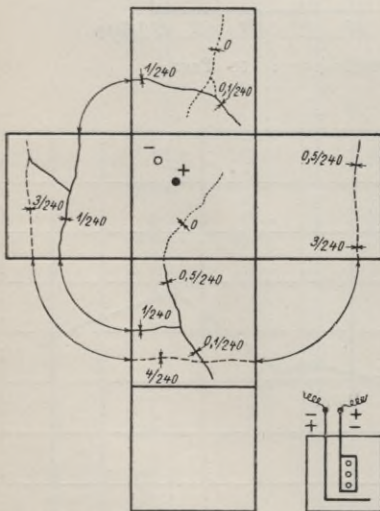


Abb. 24. Probekörper Nr. 38.
 Versuchsdauer: 240 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 68 Tagen.
 - - - " " 106 " "
 ····· " " 249 " "

Probekörper Nr. 38 (Abb. 24—26). Der Probekörper Nr. 38 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete zunächst die Anode und später nach einer Umschaltung die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 70 Ohm und nahm bis zum Eintritt der Rißbildung nach 68 Tagen langsam zu. Nach Eintritt der Risse war der Widerstand Schwankungen unterworfen, was darauf zurückzuführen sein dürfte, daß das Wasser in die Risse eintrat und den Leitungswiderstand änderte. Die Risse traten im wesentlichen auf den Seitenflächen des Probekörpers auf und zwar verliefen diese Risse parallel, wie auch senkrecht zur Längsachse des Gasrohres und ferner in der Ebene der Platten-Elektrode. Die Rißbreite betrug nach 240 tägiger Versuchsdauer bis zu 4 mm.

Probekörper Nr. 39 (Abb. 27—29). Der Probekörper Nr. 39 hatte die Elektrodenform V. Die allein im Probekörper befindliche Rohrelektrode bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des

Versuches 100 Ohm und nahm etwas schneller zu als bei Probekörper Nr. 38. Risse traten bei einer Versuchsdauer von 106 Tagen ein. Nach Eintritt der Risse nahm der Widerstand ab, was auf Eindringen des Wassers zurückzuführen sein dürfte. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen und der Unterfläche des Probekörpers ausgebildet; ihre Breite betrug nach 240 tägiger Versuchsdauer bis zu 7 mm.

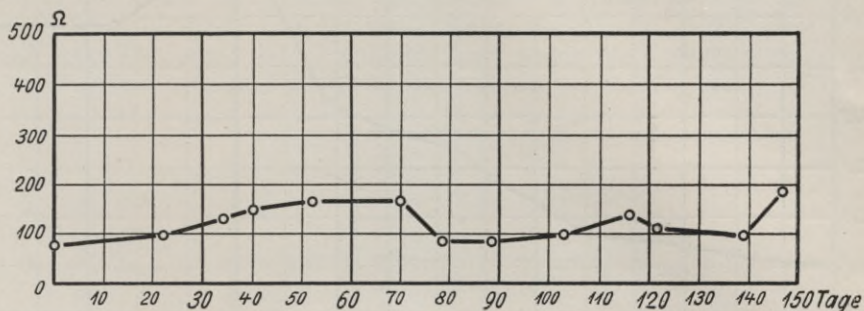


Abb. 25. Probekörper Nr. 38. Versuchsdauer: 240 Tage.

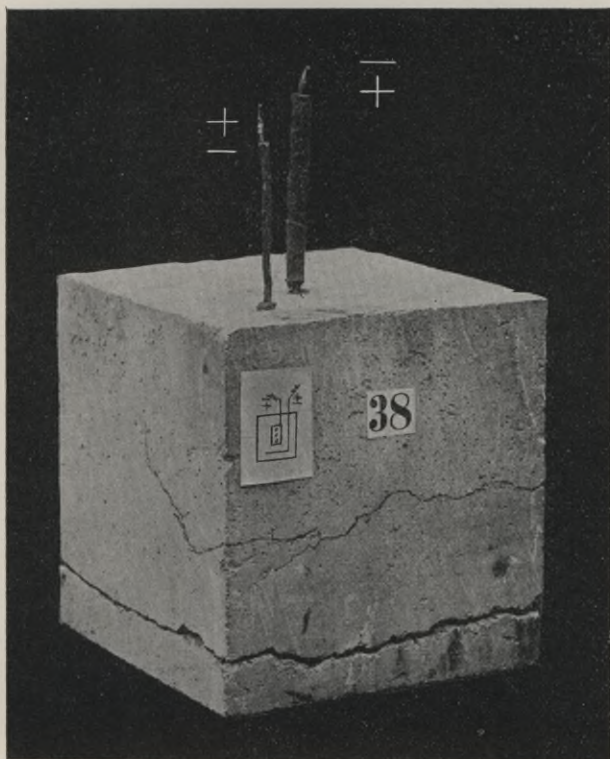


Abb. 26.

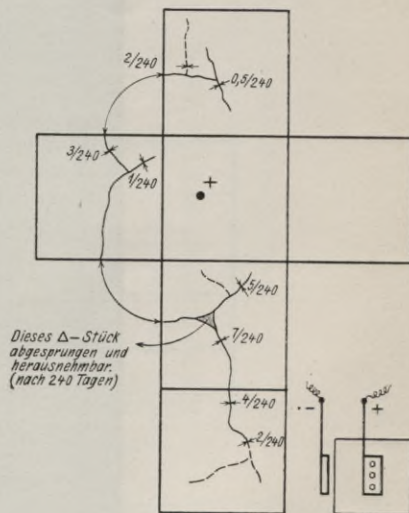


Abb. 27. Probekörper Nr. 39.
 Versuchsdauer: 240 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 106 Tagen.
 - - - - - " " 240 "

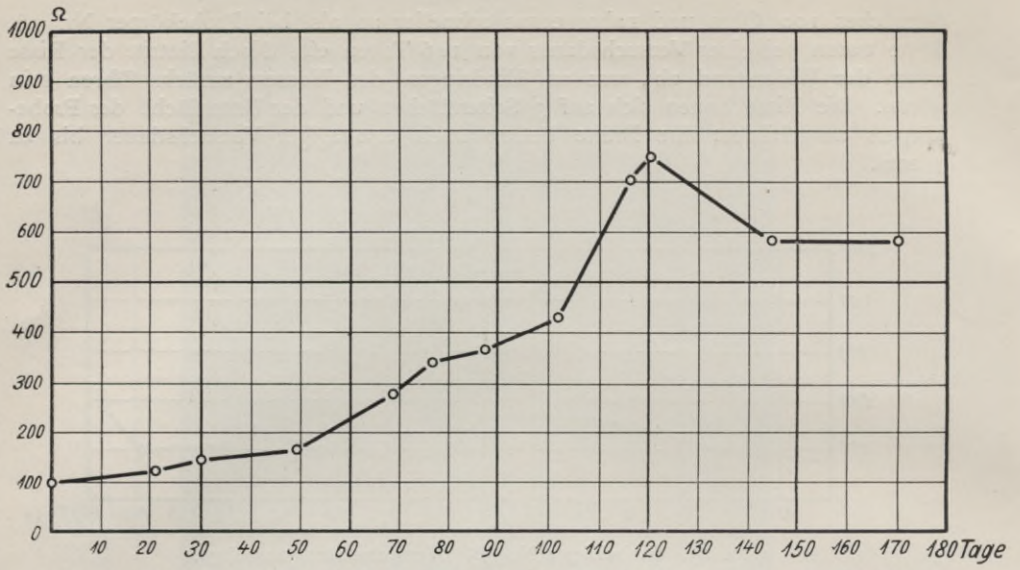


Abb. 28. Probekörper Nr. 39.
Versuchsdauer: 240 Tage.

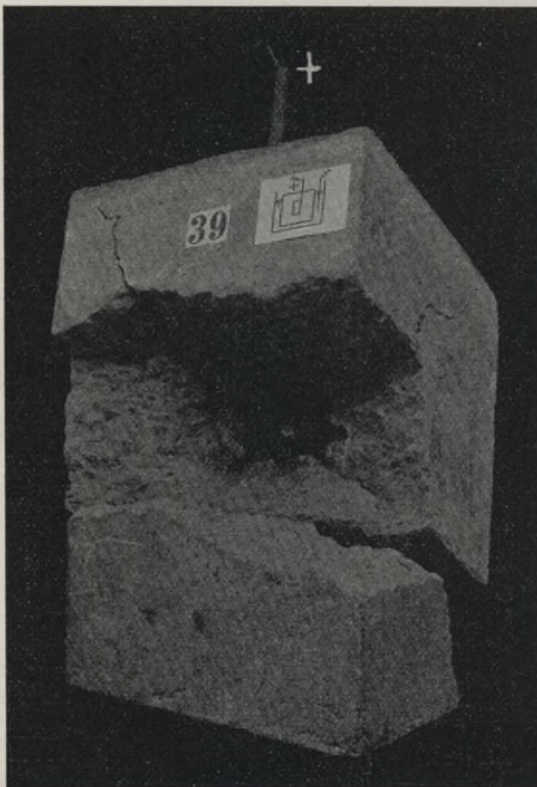


Abb. 29.

dd) Salzwasserlagerung.

Probekörper Nr. 33, 37 u. 40.

Probekörper Nr. 33 (Abb. 30 u. 31). Der Probekörper Nr. 33 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand lag während der gesamten Versuchsdauer von 150 Tagen etwa zwischen 80 und 100 Ohm. Nach 78 Tagen wurden die in Abb. 30 dargestellten Risse beobachtet. Sie lagen auf den Seitenflächen in der Ebene der positiven Platten-Elektrode, sowie in dem Betonstück zwischen dieser Elektrode und der benachbarten Seitenfläche. Neue Risse traten bis zum 150. Tage nicht auf. An diesem Tage wurde der Versuch abgebrochen, weil die Zuleitung zu den Elektroden durch Korrosion zerstört war.

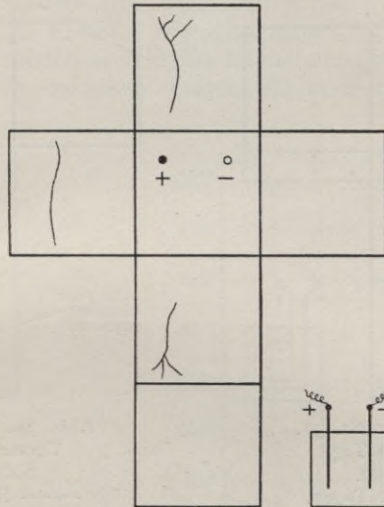


Abb. 30. Probekörper Nr. 33.
Versuchsdauer: 150 Tage.
Salzwasserlagerung.
Risse nach 78 Tagen.

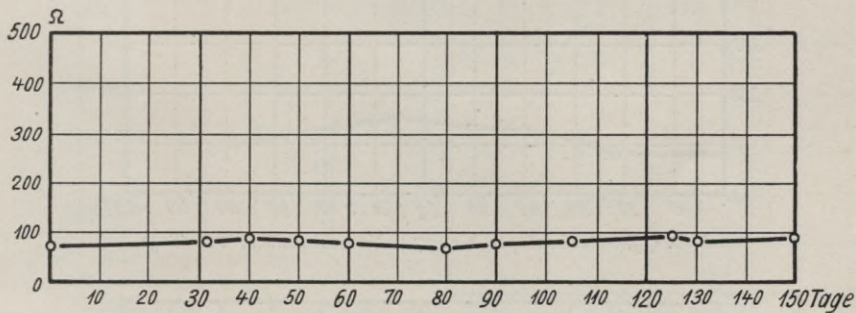


Abb. 31. Probekörper Nr. 33. Versuchsdauer: 150 Tage.

Probekörper Nr. 37 (Abb. 32 u. 33). Der Probekörper Nr. 37 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand lag etwa zwischen 80 u. 150 Ohm und nahm zunächst bis zum Eintritt der Ribfbildung etwas zu, um danach wieder zu fallen. Die ersten Risse wurden nach 72 Tagen beobachtet. Kleinere Risse traten auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers auf, größere Risse auf 2 Seitenflächen. Die Risse hatten nach 108 Tagen eine Breite von 1,5 mm. Aus den Rissen der einen Seitenfläche trat eine braune (rostige) Flüssigkeit aus, die den Beton entsprechend färbte.

Probekörper Nr. 40 (Abb. 34 u. 35). Der Probekörper Nr. 40 hatte die Elektrodenform V. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand stieg während der Versuchsdauer von 110 Tagen von 80 Ohm auf etwa 100 Ohm an. Die ersten Risse wurden nach 74 Tagen beobachtet. Nach 108 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 3 mm angenommen. Die Risse lagen auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers, sowie auf 2 Seitenflächen. Aus dem Risse auf der unteren Seite war eine grünliche Flüssigkeit ausgetreten.

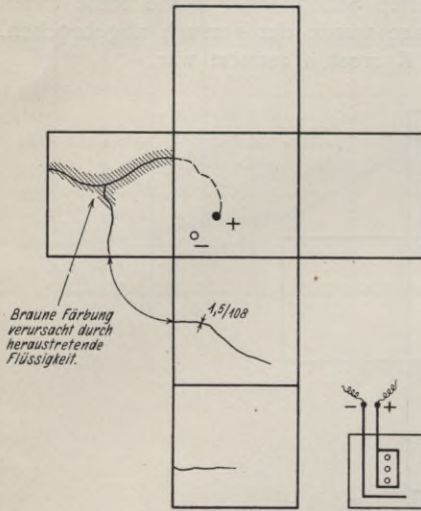


Abb. 32. Probekörper Nr. 37.
Versuchsdauer: 110 Tag.
Salzwasserlagerung.
—— Risse nach 72 Tagen.
- - - - " " 108 "

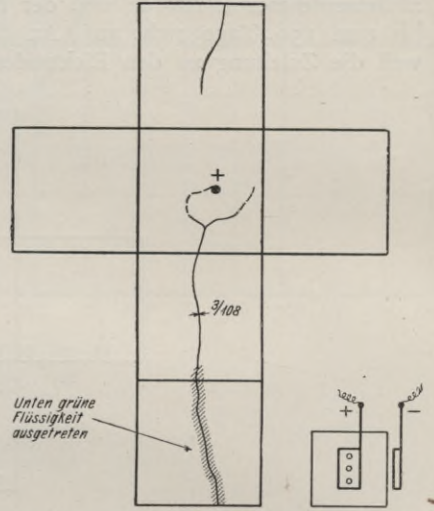


Abb. 34. Probekörper Nr. 40.
Versuchsdauer 110 Tage.
Salzwasserlagerung.
—— Risse nach 74 Tagen.
- - - - " " 108 "

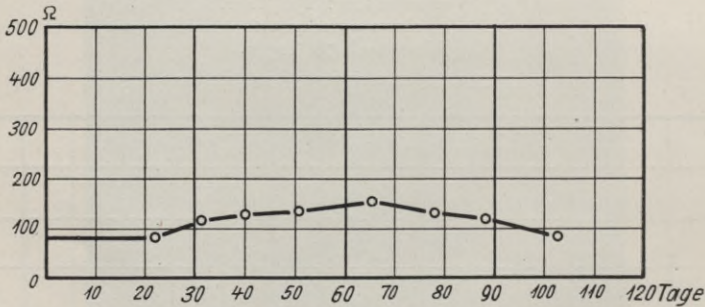


Abb. 33. Probekörper Nr. 37. Versuchsdauer: 110 Tage.

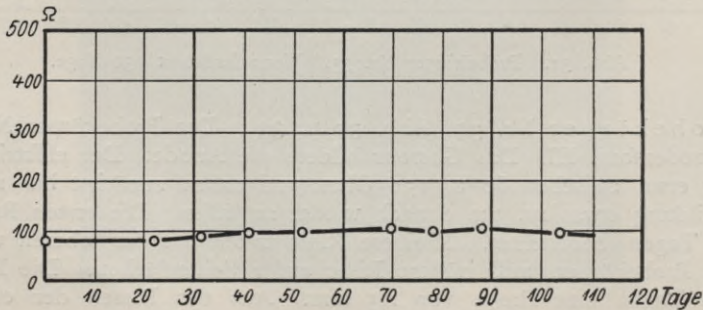


Abb. 35. Probekörper Nr. 40. Versuchsdauer: 110 Tage.

2. Zuschläge: Rheinsand und Rheinkies.

Probekörper Nr. 45 bis 48.

Die Probekörper dieser Gruppe wurden unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies im Mischungsverhältnis 1 : 4 : 8 aus weichem Beton hergestellt.

Probekörper Nr. 45 (Abb. 36 u. 37). Der Probekörper No. 45 hatte die Elektrodenform IV und war während des Versuches an der Luft gelagert. Der elektrische Widerstand stieg entsprechend dem Austrocknen des Probekörpers von etwa 215 Ohm während der Versuchsdauer von 236 Tagen allmählich auf 57 000 Ohm an. Durch das Auftreten der Risse wurde der elektrische Widerstand nicht beeinflusst. Die ersten Risse traten nach 45 Tagen auf. Nach 60 Tagen hatten die Risse teilweise schon eine Breite von 1 mm erreicht, nach 236 Tagen betrug die Rißbreite bis zu 2 mm. Die Risse lagen auf den Seitenflächen und der unteren Fläche des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode, sowie in dem Betonstück zwischen dieser Elektrode und der benachbarten Seitenfläche.

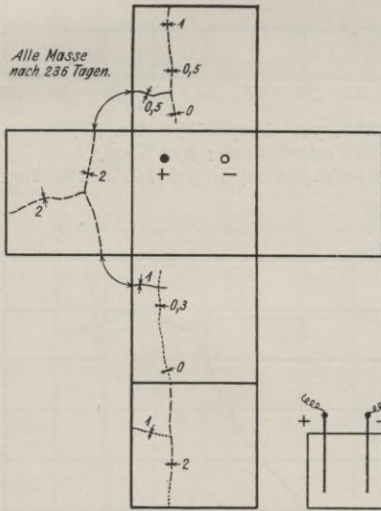


Abb. 36. Probekörper Nr. 45.
 Versuchsdauer: 236 Tage.
 Luftlagerung.
 — Risse nach 60 Tagen.
 - - - - - " " 76 "
 " " 220 "

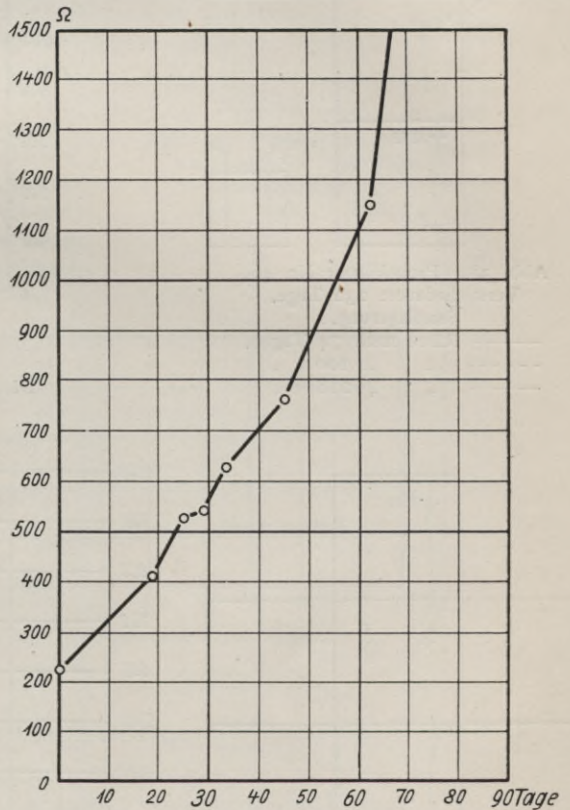


Abb. 37. Probekörper Nr. 45.
 Versuchsdauer: 236 Tage.

Probekörper Nr. 46 (Abb. 38 u. 39). Der Probekörper Nr. 46 hatte die Elektrodenform IV und war während des Versuches unter feuchtem Sand gelagert. Der elektrische Widerstand stieg in 160 Tagen von etwa 140 Ohm bis auf 10 500 Ohm an. Die ersten Risse wurden nach 74 Tagen beobachtet. Nach 232 Tagen betrug die Rißbreite bis zu 3 mm. Die Risse hatten sich in gleicher Weise wie bei dem vorstehenden Probekörper No. 45 ausgebildet.

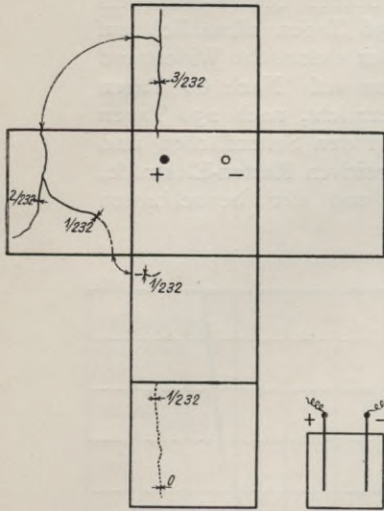


Abb. 38. Probekörper Nr. 46.
 Versuchsdauer: 232 Tage.
 Sandlagerung.
 — Risse nach 74 Tagen.
 - - - " " 100 " "
 " " 218 " "

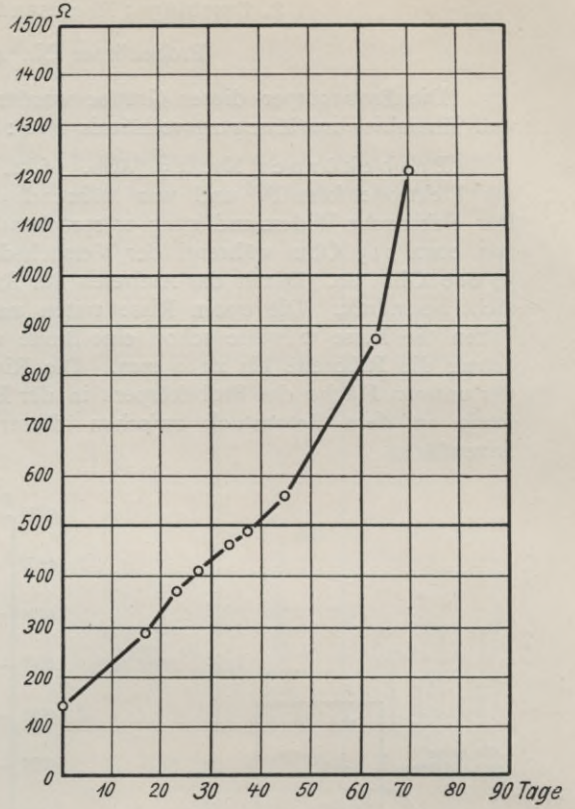


Abb. 39. Probekörper Nr. 46.
 Versuchsdauer: 232 Tage.
 Die Kurve steigt bis auf 10500 Ω (in 160 Tagen).

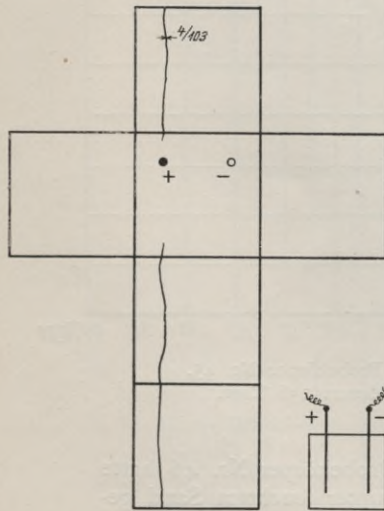


Abb. 40. Probekörper Nr. 47.
 Versuchsdauer: 103 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 Risse nach 67 Tagen.

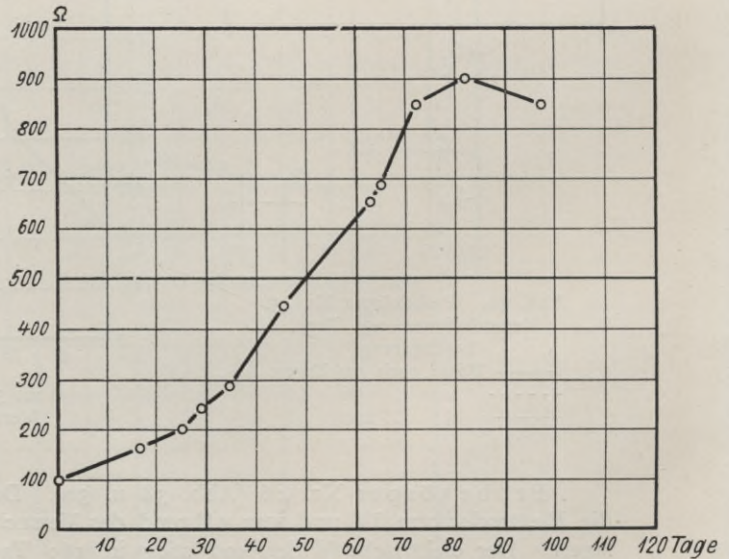


Abb. 41. Probekörper Nr. 47.
 Versuchsdauer: 103 Tage.

Probekörper Nr. 47 (Abb. 40 u. 41). Der Probekörper Nr. 47 hatte die Elektrodenform IV und war während des Versuches unter Süßwasser gelagert. Der elektrische Widerstand stieg in den ersten 82 Tagen von 100 Ohm bis auf 900 Ohm, um danach wieder etwas abzunehmen. Die ersten Risse wurden nach 67 Tagen beobachtet. Nach 103 Tagen betrug die Rißbreite bis zu 4 mm. Die Risse hatten sich auf den Seitenflächen und der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet.

Probekörper Nr. 48 (Abb. 42 u. 43). Der Probekörper Nr. 48 hatte die Elektrodenform IV und war während des Versuchs unter Salzwasser gelagert. Der elektrische Widerstand war während der Versuchsdauer annähernd gleichgroß und schwankte nur zwischen etwa 80 und 130 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 72 Tagen beobachtet. Die Risse lagen auf der einen Seitenfläche in der Ebene der positiven Platten-Elektrode, sowie besonders in dem Betonstück zwischen dieser Elektrode und der benachbarten Seitenfläche. Auf der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode hatte an einer Stelle eine grünliche Salzbildung stattgefunden.

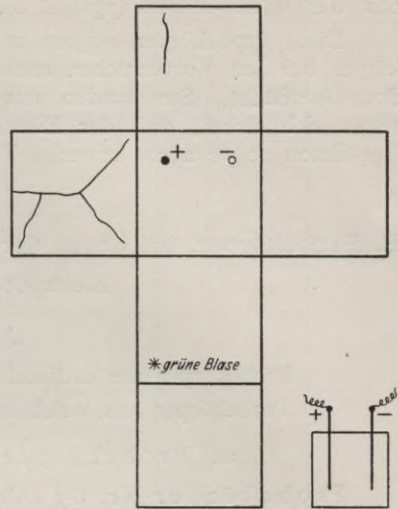


Abb. 42. Probekörper Nr. 48.
Versuchsdauer: 198 Tage.
Salzwasserlagerung.
Risse nach 72 Tagen.

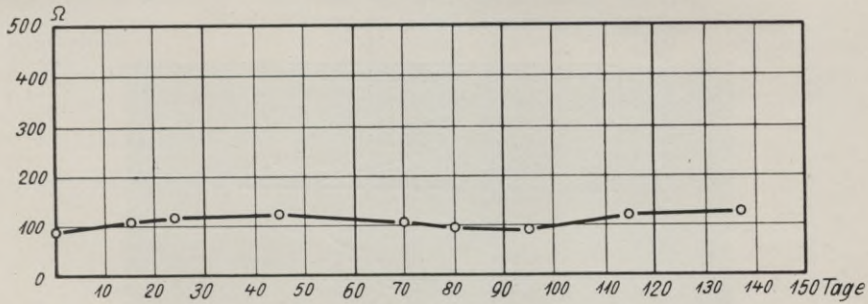


Abb. 43. Probekörper Nr. 48. Versuchsdauer: 198 Tage.

II. Hauptversuche.

Wie schon früher bemerkt, sind alle Probekörper für die Hauptversuche aus Beton im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies hergestellt.

A. Vagabundierender Strom.

Elektrodenform I und II.

Probekörper Nr. 95, 99, 100, 110, 112 und 123.

Der Beton dieser Probekörper war erdfeucht angemacht worden. Die Probekörper Nr. 95, 99 und 100 besaßen die Elektrodenform I (Eisendraht-Spirale) und die Probekörper Nr. 110, 112 und 123 die Elektrodenform II (Zickzack-eisendraht). Die Probekörper Nr. 99 und 100 wurden an der Luft, der Probe-

körper Nr. 95 unter feuchtem Sand, der Probekörper Nr. 110 unter Süßwasser und die Probekörper Nr. 112 und 123 unter Salzwasser gelagert. Die Probekörper lagen vom Juli 1909 bis Juli 1911 also rund 2 Jahre im Stromkreise des Werkstätten-Motors (vgl. S. 8).

Diese Probekörper zeigten in gleicher Weise wie die entsprechenden Probekörper bei den Vorversuchen nach Beendigung des Versuchs keinerlei Risse auf der Oberfläche. Sie wurden mit einem Hammer auseinander geschlagen. Es ergab sich dabei, daß der Eisendraht in allen Fällen vollkommen blank war. Der Beton zeigte auch keinerlei Veränderungen, er war nicht mürbe geworden.

B. Probekörper, bei denen der Beton einen Teil des Stromkreises bildet.

Elektrodenform III, IV und V.

a) Luftlagerung.

Probekörper aus erdfeuchtem Beton: Nr. 65, 66, 41 und 57.

Probekörper aus weichem Beton: Nr. 73, 74, 49 und 51.

aa) Probekörper aus erdfeuchtem Beton.

Probekörper Nr. 65 (Abb. 44 bis 46). Der Probekörper Nr. 65 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand nahm von 200 Ohm bei Beginn des Versuches allmählich zu und erreichte nach 390 Tagen den Wert von 14000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach

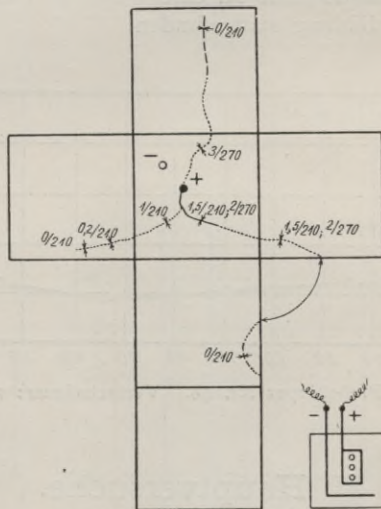


Abb. 44. Probekörper Nr. 65.

Versuchsdauer: 510 Tage.

Luftlagerung.

..... Risse nach 92 Tagen.
 - - - - - " " 210 "
 ————— " " 270 "

92 Tagen in radialer Richtung auf der Oberseite des Probekörpers beobachtet. Nach 270 Tagen betrug die Rißbreite bis zu 3 mm. Entsprechend der Gasrohr-Anode hatten sich die Risse strahlenförmig auf der Oberseite und im Anschluß daran ungefähr parallel zur Längsachse des Gasrohrs auf den Seitenflächen des Probekörpers ausgebildet.

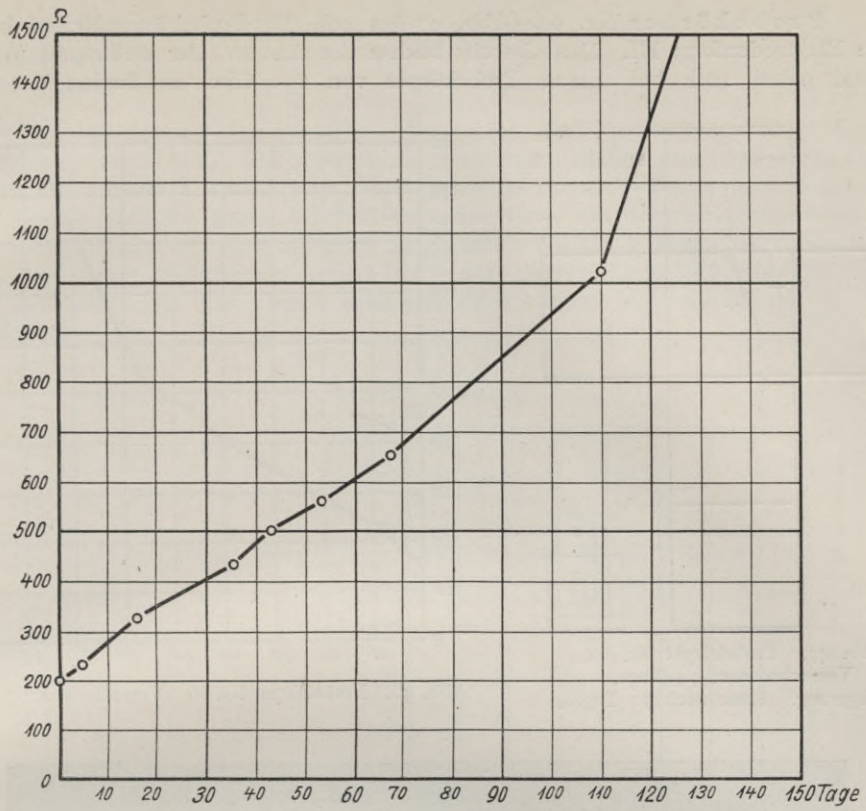


Abb. 45. Probekörper Nr. 65. Versuchsdauer: 510 Tage.
Größter Widerst. = 14 000 Ω nach 390 Tagen.

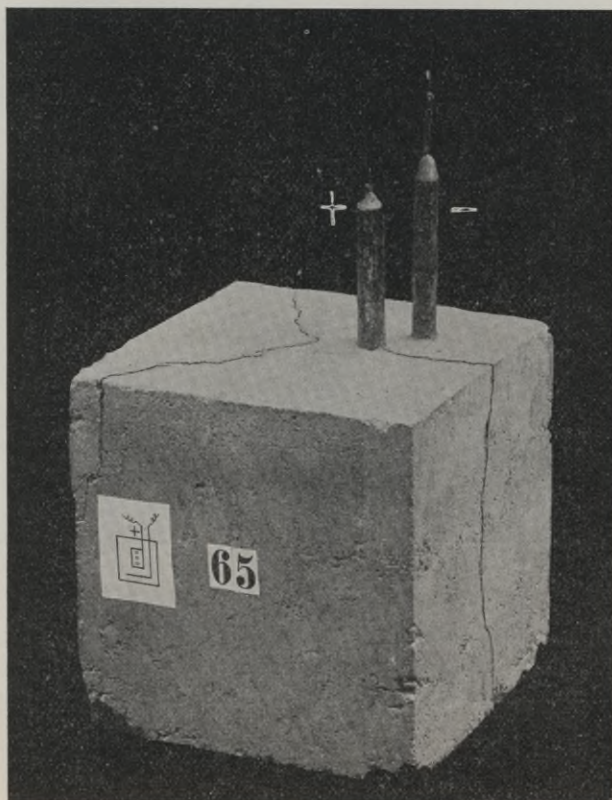


Abb. 46.

Probekörper Nr. 66 (Abb. 47 bis 49). Der Probekörper Nr. 66 besaß die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand nahm auch bei diesem Probekörper von 150 Ohm zu Beginn des Ver-

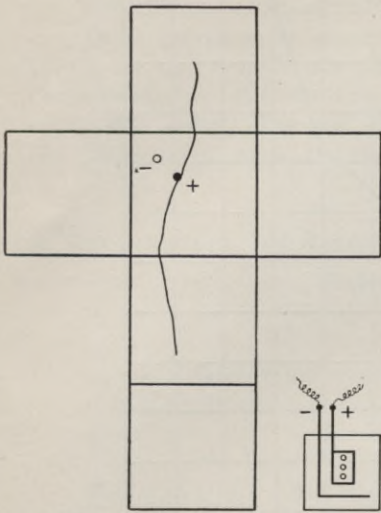


Abb. 47. Probekörper Nr. 66.
Versuchsdauer: 74 Tage.
Luftlagerung. Risse nach 70 Tagen.

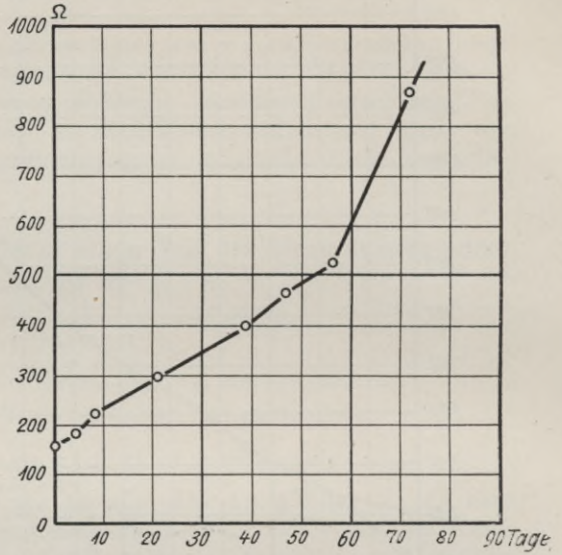


Abb. 48. Probekörper Nr. 66. Versuchsdauer: 74 Tage.

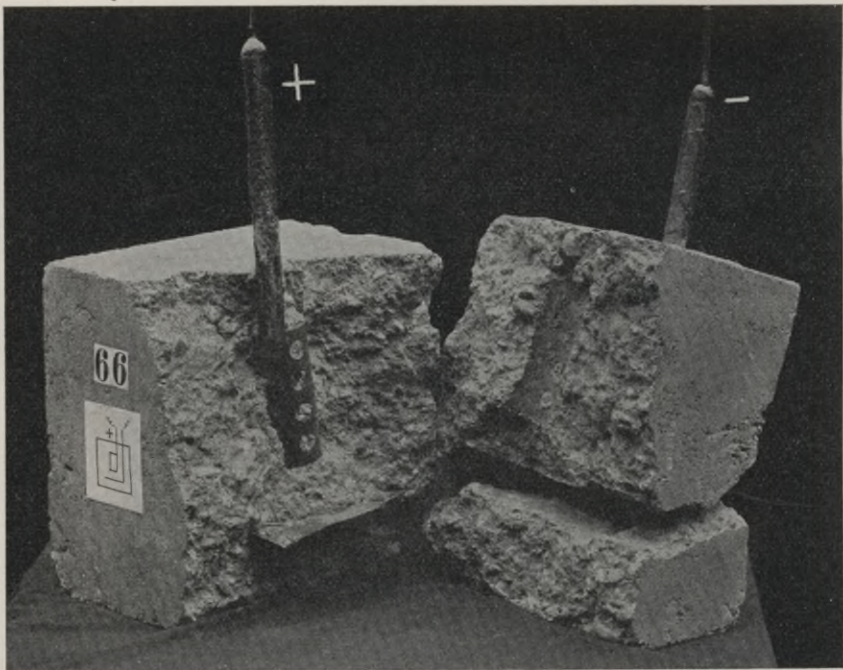


Abb. 49.

suches allmählich zu. Die ersten Risse wurden nach 56 Tagen beobachtet. Nach 70 Tagen war auf der oberen Seite des Probekörpers ein radialer Riß vorhanden, der sich bis auf 2 Seitenflächen des Probekörpers fortpflanzte. Nach 74 Tagen

wurde der Probekörper zerschlagen, um festzustellen, wieweit etwa Rostbildung an den Elektroden vorhanden war. Es wurde eine schwache Rostbildung an der Anode festgestellt.

Probekörper Nr. 41 (Abb. 50 u. 51). Der Probekörper Nr. 41 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand nahm von 170 Ohm bei Beginn des Versuches allmählich zu und erreichte nach 98 Tagen den Wert von 4300 Ohm. Nach 68 Tagen wurden die ersten Risse auf der der Anode benachbarten Seitenfläche des Probekörpers festgestellt. Nach 98 Tagen waren weitere Risse auf dieser Seitenfläche vorhanden, sowie ferner Risse auf einer zweiten Seitenfläche und auf der oberen Seite des Probekörpers und zwar in der Ebene der Anode.

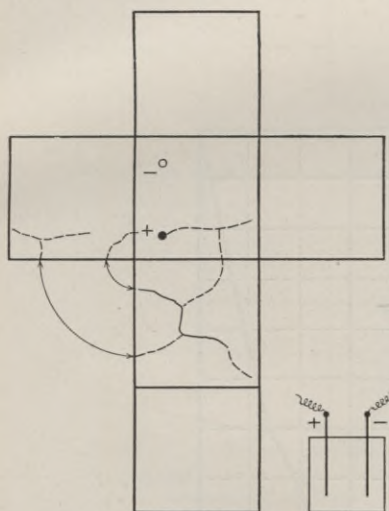


Abb. 50. Probekörper Nr. 41.
 Versuchsdauer: 181 Tage.
 Luftlagerung.
 — Risse nach 68 Tagen.
 - - - - - " " 98 " "

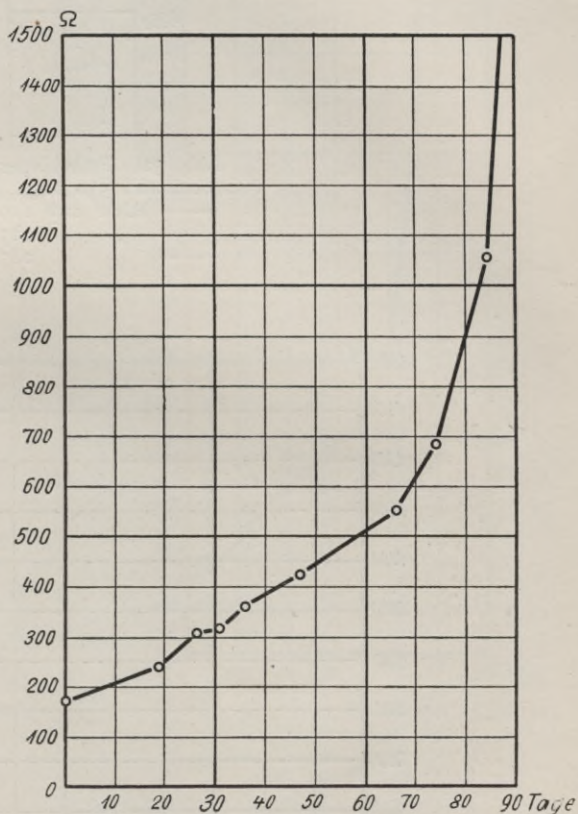


Abb. 51. Probekörper Nr. 41, Versuchsdauer: 181 Tage.
 Größter Widerst. = 4300 Ω nach 98 Tagen.

Probekörper Nr. 57 (Abb. 52 u. 53). Der Probekörper Nr. 57 hatte die Elektrodenform IV. Auch bei diesem Probekörper nahm der elektrische Widerstand von 150 Ohm bei Beginn des Versuches allmählich zu und erreichte nach 330 Tagen den Wert von 24000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 110 Tagen festgestellt und zwar auf der oberen Seite des Probekörpers. Nach 285 Tagen waren weitere Risse an den eben angegebenen Stellen aufgetreten. Die Rißbreite betrug zu dieser Zeit bis zu 1,5 mm.

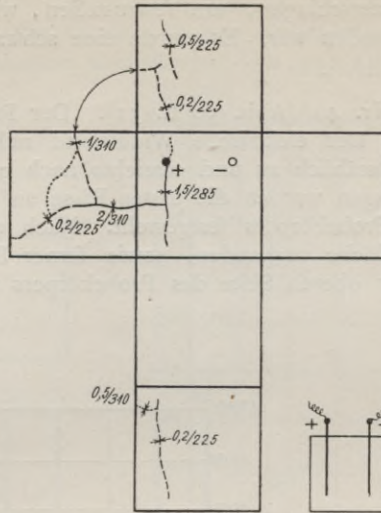


Abb. 52. Probekörper Nr. 57.
 Versuchsdauer: 530 Tage. Luftlagerung.
 — Risse nach 110 Tagen.
 - - - " " 225 "
 " " 285 "

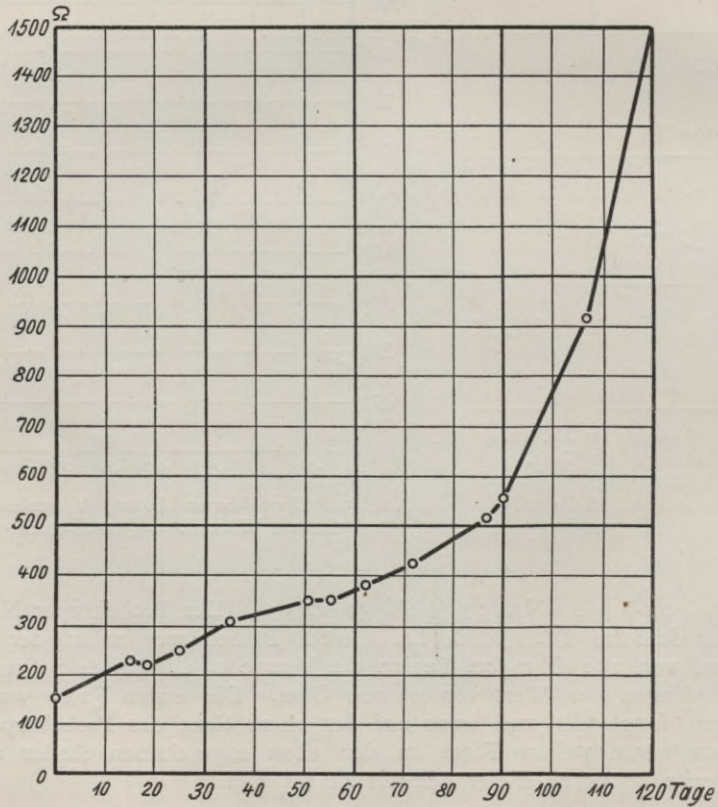


Abb. 53. Probekörper Nr. 57. Versuchsdauer: 530 Tage.
 Größter Widerst. = 24 000 Ω nach 330 Tagen.

bb) Probekörper aus weichem Beton.

Probekörper Nr. 73 (Abb. 54 u. 55). Der Probekörper Nr. 73 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 140 Ohm und nahm allmählich zu. Nach 200 Tagen betrug er 28 000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 52 Tagen festgestellt. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der plattenförmigen Anode ausgebildet. Nach 82 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm.

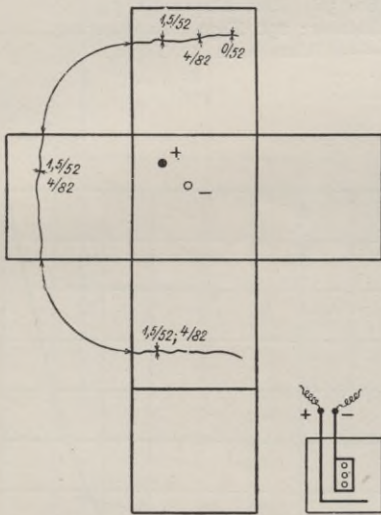


Abb. 54. Probekörper Nr. 73.
Versuchsdauer: 250 Tage. Luftlagerung.
Risse nach 52 Tagen.

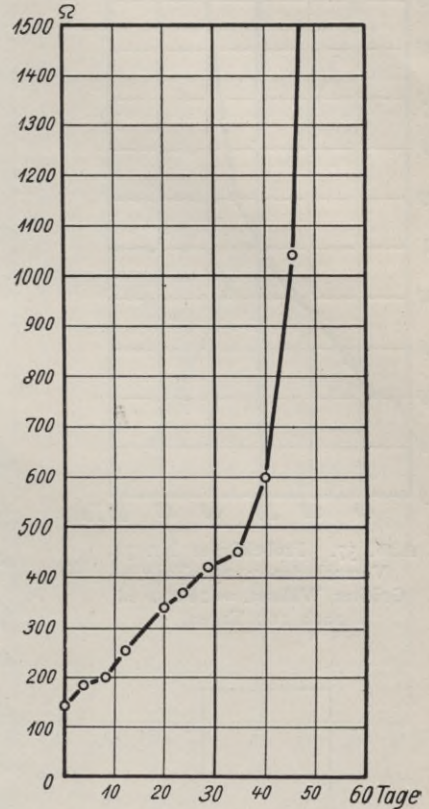


Abb. 55. Probekörper Nr. 73.
Versuchsdauer: 250 Tage.
Größter Widerst. = 28 000 Ω
nach 200 Tagen.

Probekörper Nr. 74 (Abb. 56 u. 57). Der Probekörper Nr. 74 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 140 Ohm und nahm ständig zu. Nach 160 Tagen betrug er 28 000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 52 Tagen beobachtet. Später traten weitere Risse auf. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der plattenförmigen Anode ausgebildet, sowie auf der unteren Seite des Probekörpers, welche strahlenförmige Risse zeigte.

Probekörper Nr. 49 (Abb. 58 u. 59). Der Probekörper Nr. 49 besaß die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 140 Ohm und nahm allmählich zu. Nach 370 Tagen betrug er 45 000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 158 Tagen auf der der positiven Platten-Elektrode benachbarten Seitenfläche des Probekörpers beobachtet. Nach 290 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 0,5 mm angenommen.

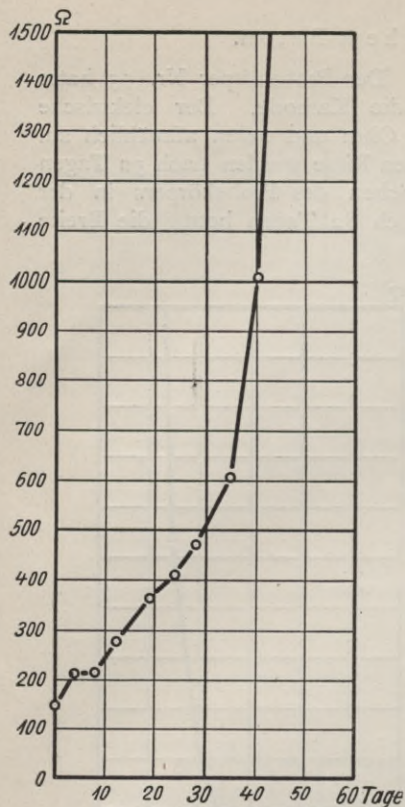


Abb. 57. Probekörper Nr. 74.
Versuchsdauer: 250 Tage.
Größter Widerst. = 28000 Ω
nach 160 Tagen.

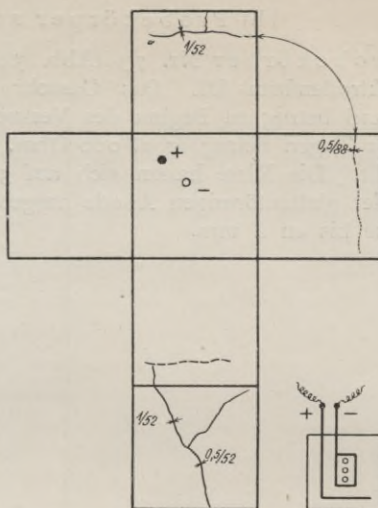


Abb. 56. Probekörper Nr. 74.
Versuchsdauer: 250 Tage. Luftlagerung.
— Risse nach 52 Tagen.
- - - " " 88 " "
..... " " 136 "

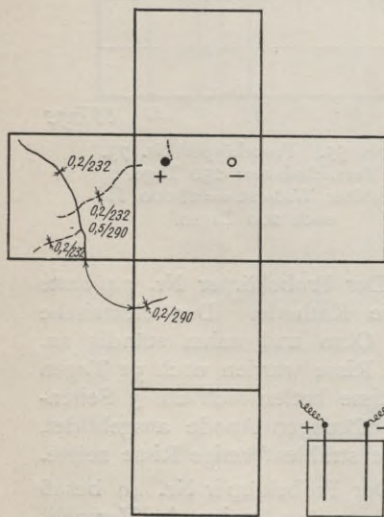


Abb. 58. Probekörper Nr. 49.
Versuchsdauer: 540 Tage. Luftlagerung.
— Risse nach 158 Tagen.
- - - " " 232 "
..... " " 290 "

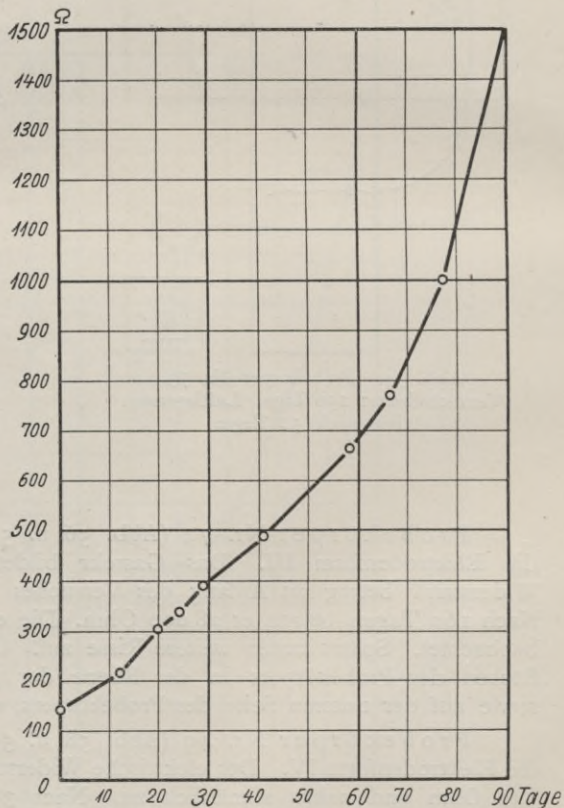


Abb. 59. Probekörper Nr. 49. Versuchsdauer: 540 Tage.
Größter Widerst. = 45000 Ω nach 370 Tagen.
Erster Riß bei 9500 Ω.

Probekörper Nr. 51 (Abb. 60 u. 61). Der Probekörper Nr. 51 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 145 Ohm und nahm allmählich zu. Nach 340 Tagen betrug er 65000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 98 Tagen auf der der positiven Platten-Elektrode benachbarten Seitenfläche des Probekörpers beobachtet. Nach 290 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 0,3 mm angenommen.

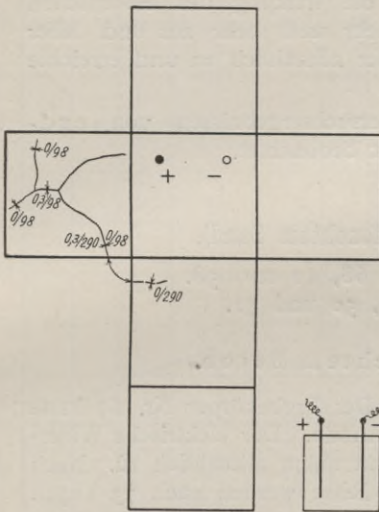


Abb. 60. Probekörper Nr. 51.
 Versuchsdauer: 540 Tage.
 Luftlagerung.
 — Risse nach 98 Tagen.
 - - - - - " " 290 "

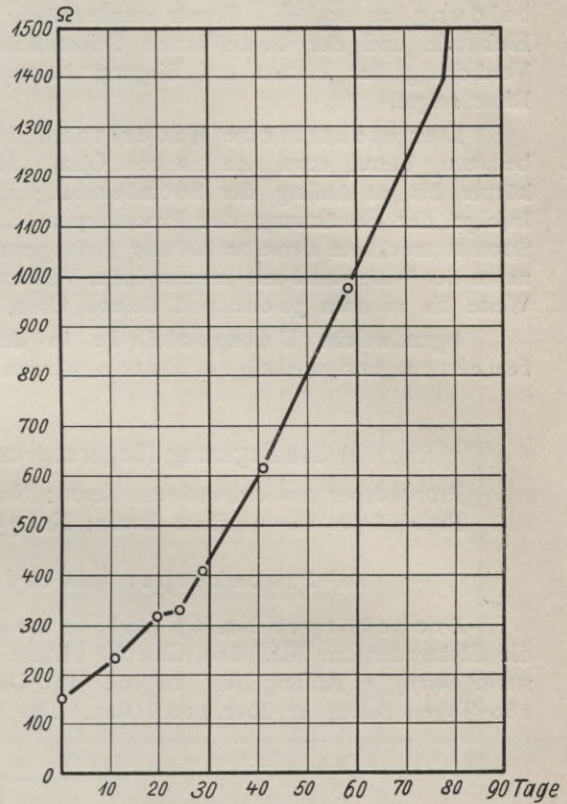


Abb. 61. Probekörper Nr. 51. Versuchsdauer: 540 Tage.
 Größter Widerst. = 65000 Ω nach 340 Tagen.

Zusammenfassung.

Bei den an der Luft gelagerten Probekörpern traten bei einer Strombeanspruchung von 0,1 Amp. die ersten Risse nach einer Stromwirkung von rund 50 bis 110 Tagen auf.

Bei der Elektrodenform III war die Art der Ribbildung davon abhängig, ob das Gasrohr die Anode und die Platten-Elektrode die Kathode bildete oder ob die Schaltung in umgekehrter Weise geschah. In dem ersten Falle traten infolge der Rostbildung und der dadurch bedingten Verdickung¹⁾ des die Anode bildenden Gasrohres auf der oberen Seite des Probekörpers radiale Risse auf, die sich auf den Seitenflächen als Risse fortpflanzten, welche parallel zu der Längsachse des Gasrohres verliefen. Bildete jedoch die Platten-Elektrode die Anode, so traten auf den Seitenflächen des Probekörpers Risse in der Ebene

¹⁾ Es wird später nachgewiesen werden, daß die Risse auf die Sauerstoffentwicklung an der Anode und auf die dadurch bedingte Rostbildung und Verdickung der letzteren zurückzuführen sind.

dieser Elektrode auf, weil durch die Verdickung der Platten infolge der Rostbildung das zwischen dieser Elektrode und der unteren Fläche des Probekörpers liegende Betonstück abgesprengt wurde.

Bei der Elektrodenform IV traten die Risse auf der oberen und unteren Seite, sowie auf den Seitenflächen des Probekörpers stets in der Ebene der positiven Platten-Elektrode auf. Auch hier ist der Grund für die Ribbildung in der Verdickung der Platten infolge der Rostbildung zu suchen. Ferner wurde häufig das zwischen der positiven Platten-Elektrode und der benachbarten Seitenfläche liegende Betonstück infolge der Verdickung der Platten auf Biegung beansprucht, so daß es strahlenförmige Risse zeigte.

Der elektrische Widerstand der Probekörper zu Anfang der Strombelastung betrug etwa 140 bis 200 Ohm. Hierbei sei bemerkt, daß die Probekörper bis zu Anfang der Strombelastung unter feuchtem Sand gelagert waren. Infolge der Erwärmung des Probekörpers durch die Wirkung des elektrischen Stromes trocknete derselbe bei der Luftlagerung mehr und mehr aus und daher nahm der Widerstand mit zunehmender Versuchsdauer allmählich zu und erreichte Werte bis zu etwa 30 000 und 60 000 Ohm.

Irgendwelche Unterschiede in den Versuchsergebnissen von erdfeuchtem und weichem Beton wurden nicht beobachtet.

b) Sandlagerung (Lagerung unter feuchtem Sand).

Probekörper aus erdfeuchtem Beton: Nr. 67, 68, 42 und 58.

Probekörper aus weichem Beton: Nr. 75, 76, 50 und 52.

aa) Probekörper aus erdfeuchtem Beton.

Probekörper Nr. 67 (Abb. 62 bis 64). Der Probekörper Nr. 67 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 150 Ohm und nahm allmählich zu. Nach 180 Tagen betrug er über 1000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 73 Tagen

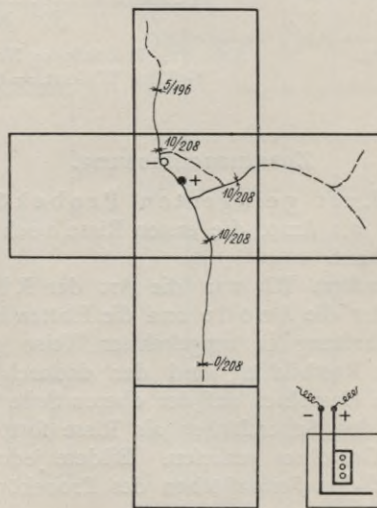


Abb. 62. Probekörper Nr. 67.
Versuchsdauer: 208 Tage. Sandlagerung.
— Risse nach 73 Tagen.
- - - " " 196 "

beobachtet. Nach 208 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 10 mm angenommen. Die Risse hatten sich als radiale Risse auf der oberen Seite des Probekörpers ausgebildet, welche sich auf 3 Seitenflächen als Risse fortpflanzten, die etwa parallel zur Längsrichtung des Gasrohres verliefen.

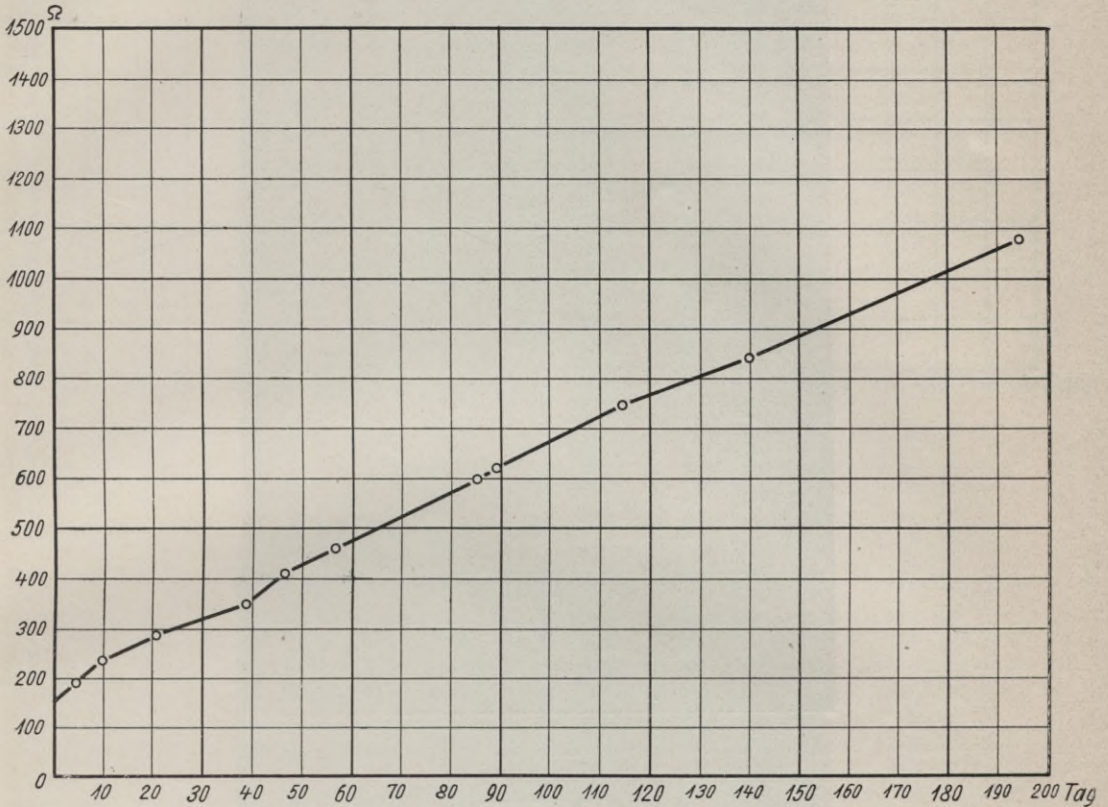


Abb. 63. Probekörper Nr. 67. Versuchsdauer: 208 Tage.

Probekörper Nr. 68 (Abb. 65 bis 67). Der Probekörper Nr. 68 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 140 Ohm und nahm allmählich zu. Nach 180 Tagen betrug er 800 Ohm. Die ersten Risse traten nach 92 Tagen auf. Nach 208 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 10 mm erreicht. Die Risse hatten sich in gleicher Weise wie bei dem vorstehenden Probekörper Nr. 67 ausgebildet, d. h. als radiale Risse auf der oberen Seite des Probekörpers und als parallel zur Gasrohrachse verlaufende Längsrisse auf den Seitenflächen.

Probekörper Nr. 42 (Abb. 68 u. 69). Der Probekörper Nr. 42 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 159 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 80 Tagen betrug er etwa 700 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 68 Tagen beobachtet. Nach 106 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 3,5 mm angenommen. Die Risse verliefen auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers, sowie auf 2 Seitenflächen in der Ebene der positiven Platten-Elektrode. Ferner war das zwischen dieser Elektrode und der benachbarten Seitenfläche liegende Betonstück infolge der Biegebungsbeanspruchung durch die bei der Rostbildung dicker gewordene Elektrode durchgebrochen.

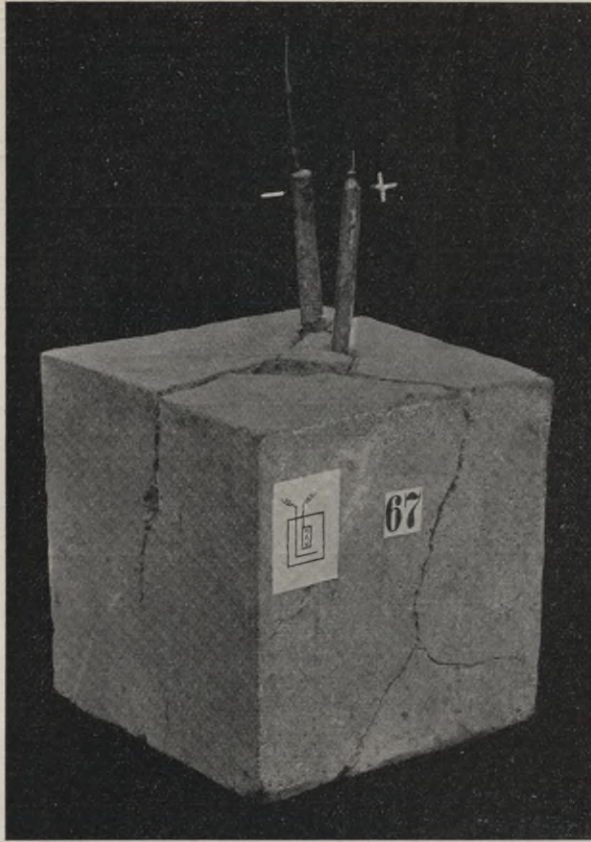


Abb. 64.

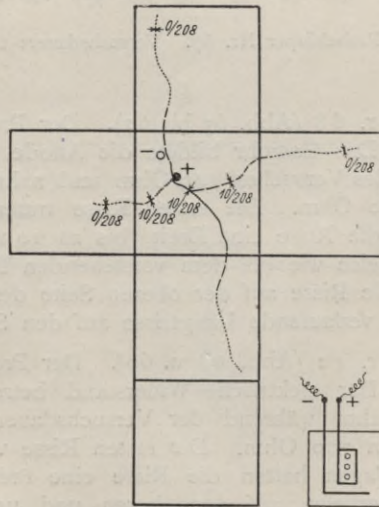


Abb. 65. Probekörper Nr. 68.
 Versuchsdauer: 208 Tage. Sandlagerung.
 — Risse nach 92 Tagen.
 - - - " " 196 "
 " " 208 "

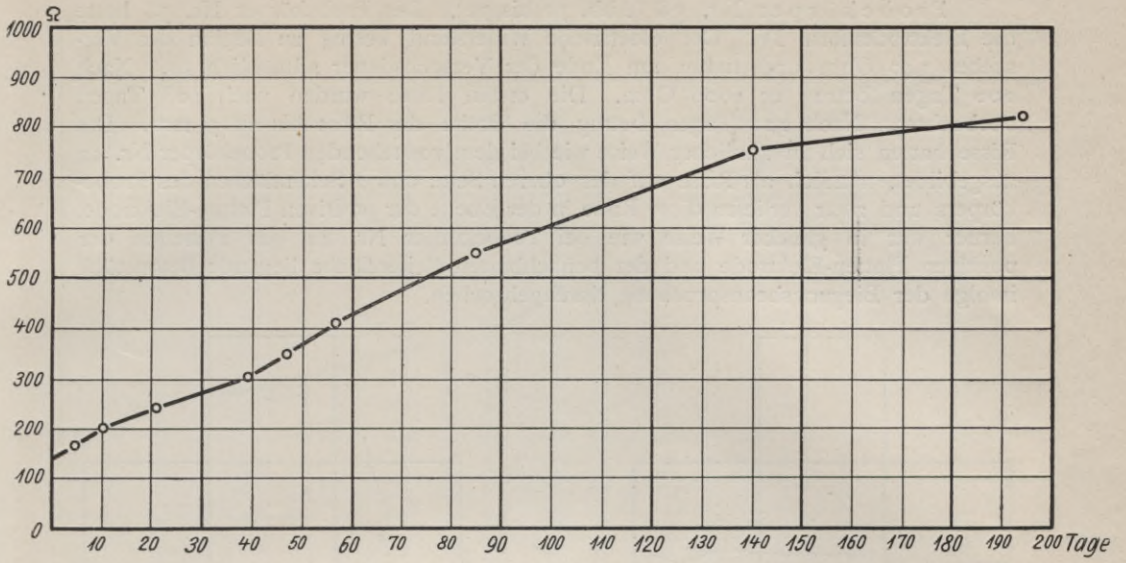


Abb. 66. Probekörper Nr. 68. Versuchsdauer: 208 Tage.

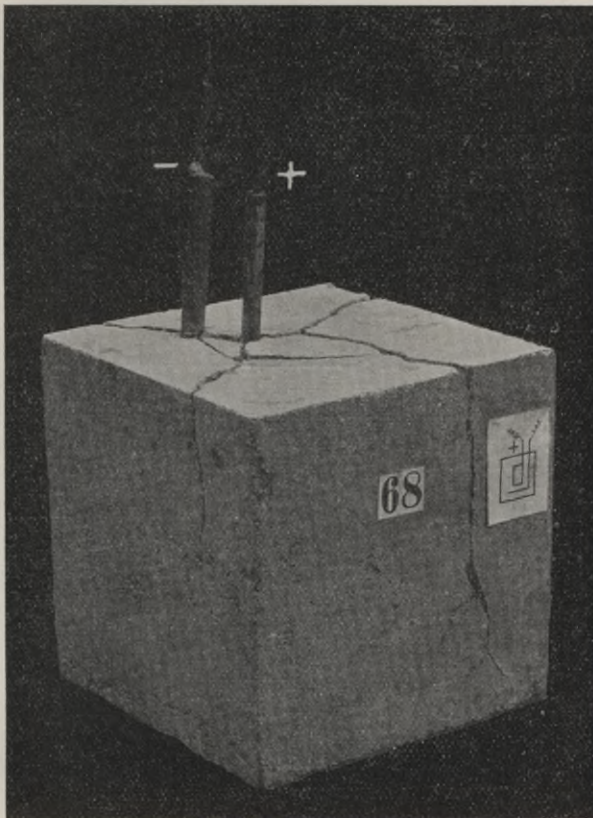


Abb. 67.

Probekörper Nr. 58 (Abb. 70 bis 72). Der Probekörper Nr. 58 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 140 Ohm und nahm am Ende der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 200 Tagen betrug er 1000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 108 Tagen beobachtet. Nach 222 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 3 mm. Die Risse hatten sich in ähnlicher Weise wie bei dem vorstehenden Probekörper Nr. 42 ausgebildet, nämlich als Risse auf der oberen Seite und 2 Seitenflächen des Probekörpers und zwar verliefen diese Risse in der Ebene der positiven Platten-Elektrode. Ferner war in gleicher Weise wie bei Probekörper Nr. 42 das zwischen der positiven Platten-Elektrode und der benachbarten Seitenfläche liegende Betonstück infolge der Biegungsbeanspruchung durchgebrochen.

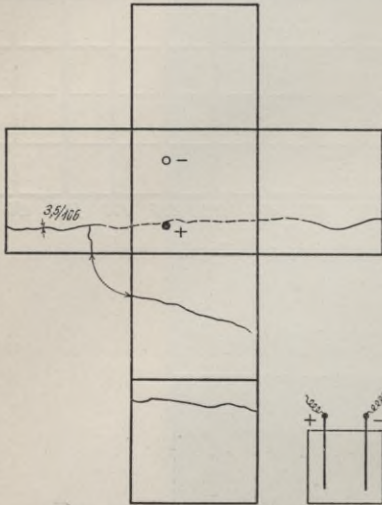


Abb. 68. Probekörper Nr. 42.
Versuchsdauer: 106 Tage. Sandlagerung.
— Risse nach 68 Tagen.
- - - " " 106 "

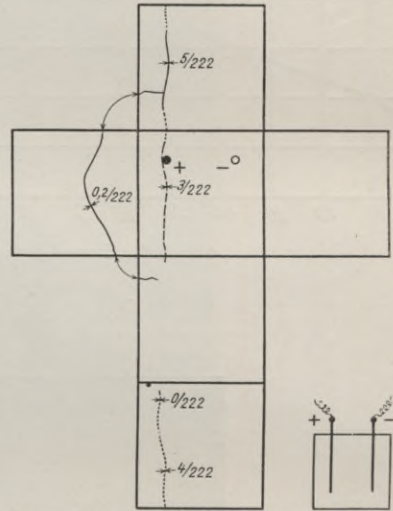


Abb. 70. Probekörper Nr. 58.
Versuchsdauer: 222 Tage. Sandlagerung.
— Risse nach 108 Tagen.
- - - " " 210 "
..... " " 222 "

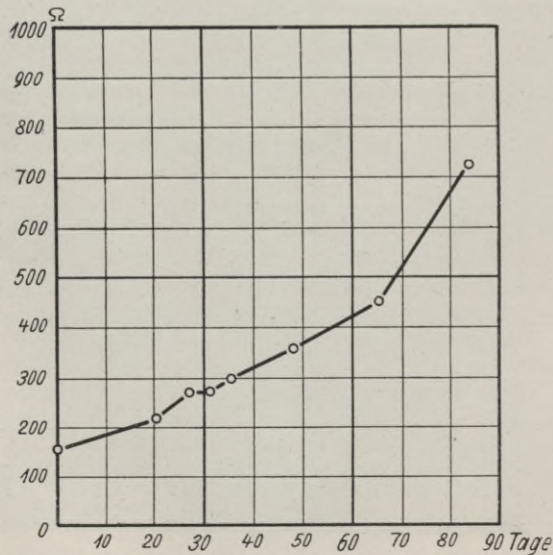


Abb. 69. Probekörper Nr. 42. Versuchsdauer: 106 Tage.

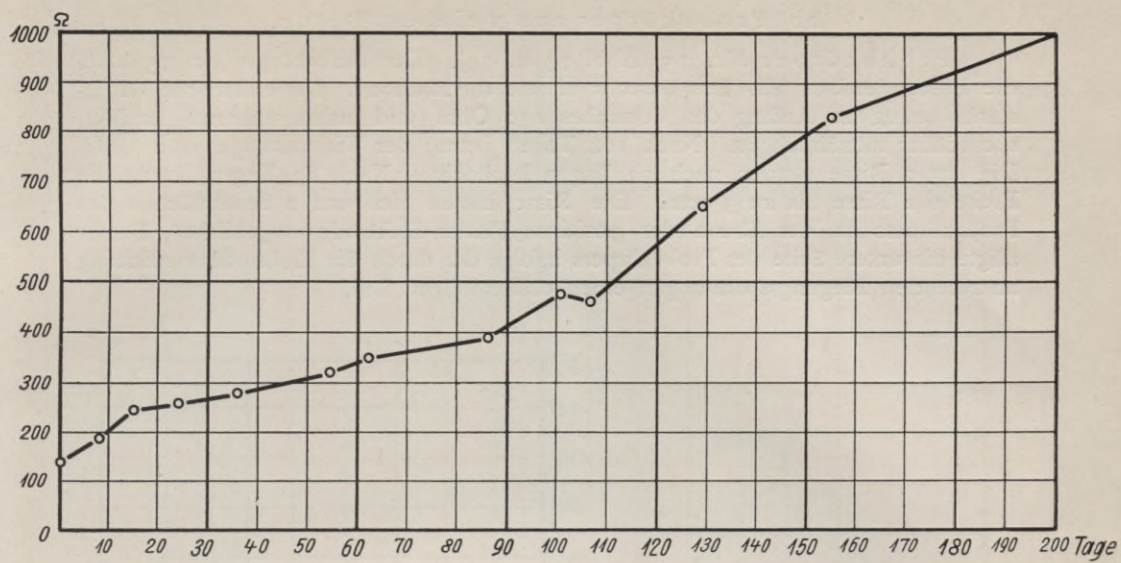


Abb. 71. Probekörper Nr. 58. Versuchsdauer: 222 Tage.

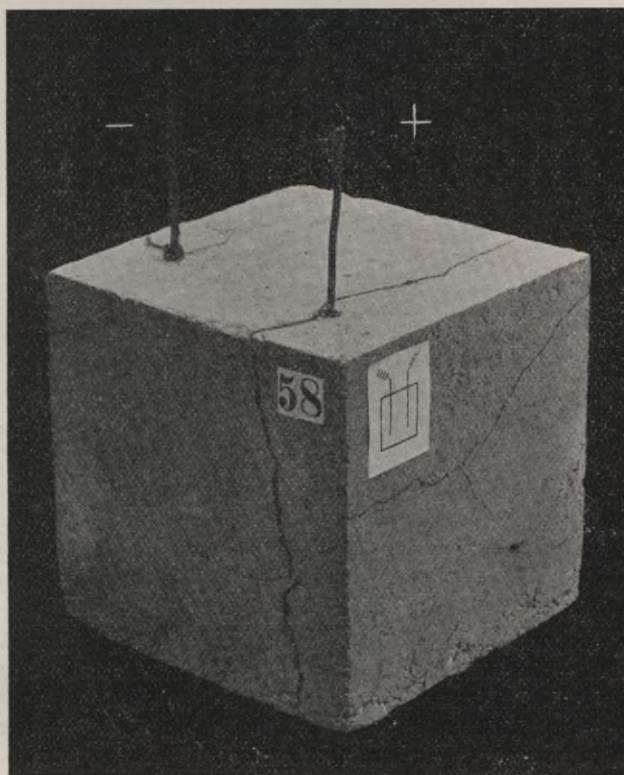


Abb. 72.

bb) Probekörper aus weichem Beton.

Probekörper Nr. 75 (Abb. 73 u. 74). Der Probekörper Nr. 75 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 130 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 164 Tagen betrug der Widerstand 21000 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 52 Tagen beobachtet. Nach 83 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 3 mm. Die Risse hatten sich auf 2 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Ferner zeigte die untere Seite des Probekörpers infolge der durch die Elektrodenverdickung auftretenden Biegunngsspannungen einen dreistrahligen Riß.

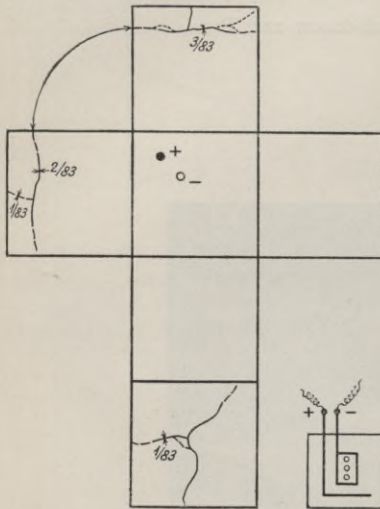


Abb. 73. Probekörper Nr. 75.
Versuchsdauer: 250 Tage. Sandlagerung.
— Haarriß nach 52 Tagen.
- - - Risse " 83 "
..... " " 166 "

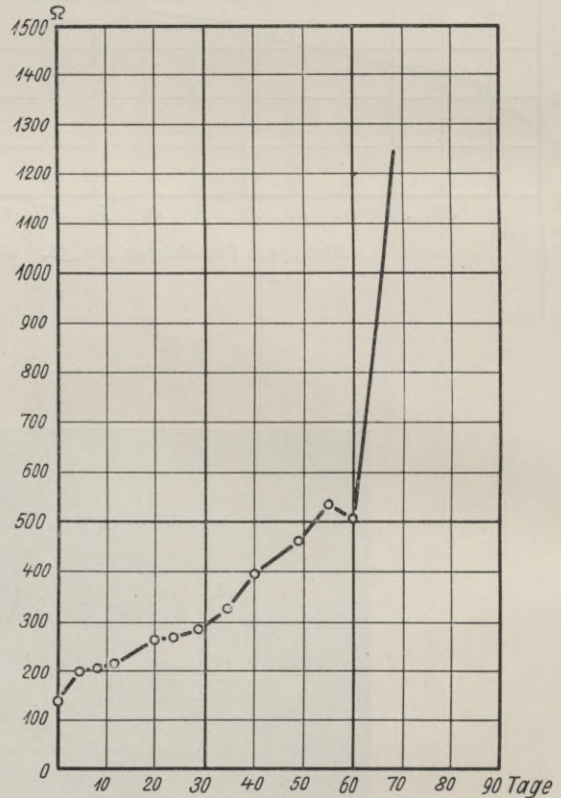


Abb. 74. Probekörper Nr. 75. Versuchsdauer 250 Tage.
Größter Widerst. = 21000 Ω nach 164 Tagen.

Probekörper Nr. 76 (Abb. 75 u. 76). Der Probekörper Nr. 76 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 180 Ohm, nahm während der Versuchsdauer allmählich zu und erreichte nach 200 Tagen den Wert von 15400 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 52 Tagen beobachtet. Nach 83 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 1 mm. Die Risse hatten sich in gleicher Weise wie bei dem vorstehenden Probekörper Nr. 75 auf 2 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet und ferner war auf der unteren Seite des Probekörpers infolge der durch die Elektrodenverdickung auftretenden Biegunngsspannungen ein strahlenförmiger Riß aufgetreten.

Probekörper Nr. 50 (Abb. 77 u. 78). Der Probekörper Nr. 50 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Ver-

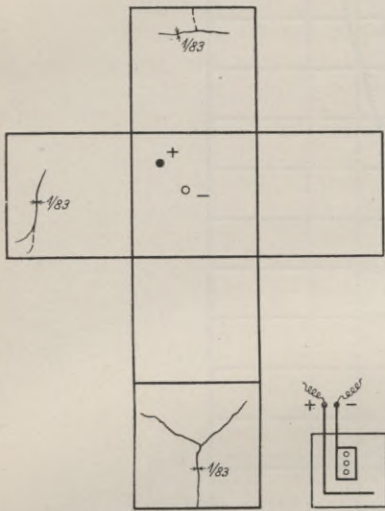


Abb. 75. Probekörper Nr. 76.
 Versuchsdauer: 250 Tage. Sandlagerung.
 — Risse nach 52 Tagen.
 - - - - - " " 83 " "

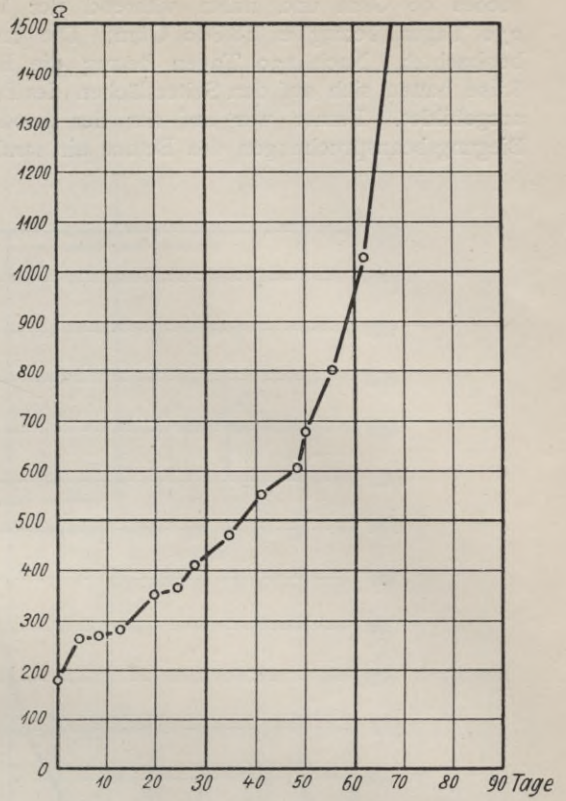


Abb. 76. Probekörper Nr. 76. Versuchsdauer 250 Tage.
 Größter Widerst. = 15400 Ω nach 200 Tagen.

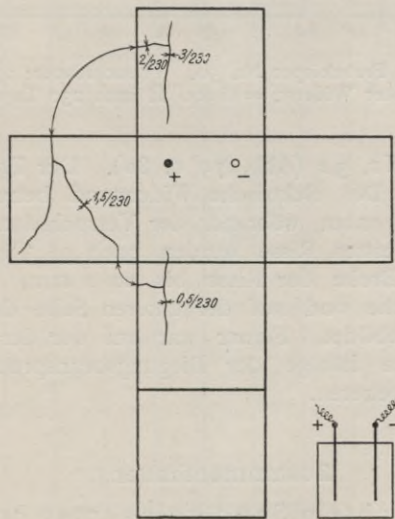


Abb. 77. Probekörper Nr. 50.
 Versuchsdauer: 230 Tage.
 Sandlagerung.
 Risse nach 88 Tagen.

suches 90 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 230 Tagen betrug er 18 800 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 88 Tagen beobachtet. Nach 230 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 3 mm. Die Risse hatten sich auf den Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner war auf der der Anode parallelen Seitenfläche infolge der Biegebungsbeanspruchungen des Betons ein strahlenförmiger Riß aufgetreten.

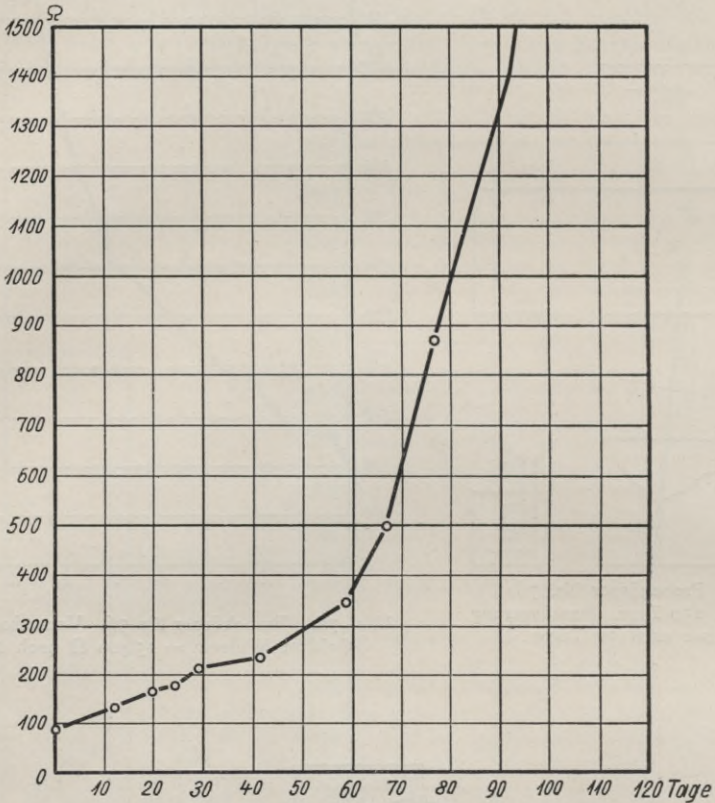


Abb. 78. Probekörper Nr. 50. Versuchsdauer: 230 Tage.
Größter Widerst. = 18 800 Ω nach 230 Tagen.

Probekörper Nr. 52 (Abb. 79 u. 80). Der Probekörper Nr. 52 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 120 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich bis auf 12 000 Ohm zu. Die ersten Risse wurden nach 98 Tagen beobachtet. Nach 228 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm. Die Risse hatten sich auf der einen Seitenfläche und auf der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner war auf der der Anode parallelen und benachbarten Seitenfläche infolge der Biegebungsbeanspruchung des Betons ein strahlenförmiger Riß aufgetreten.

Zusammenfassung.

Bei den unter feuchtem Sand gelagerten Probekörpern traten die ersten Risse bei einer Strombeanspruchung von $\frac{1}{10}$ Amp. nach rund 50 bis 110 Tagen ein. Ein Unterschied in dem Verhalten des erdfeucht und weich angemachten Betons war hierbei nicht festzustellen.

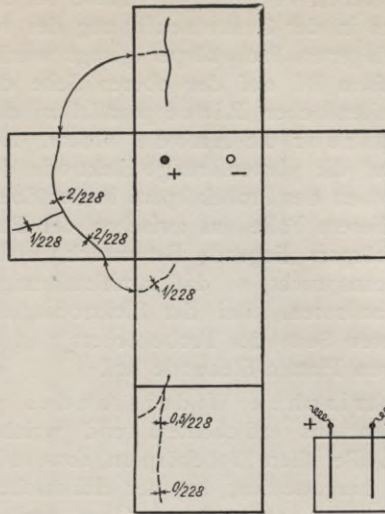


Abb. 79. Probekörper Nr. 52.
 Versuchsdauer: 228 Tage. Sandlagerung.
 — Risse nach 98 Tagen.
 - - - - - " " 216 "

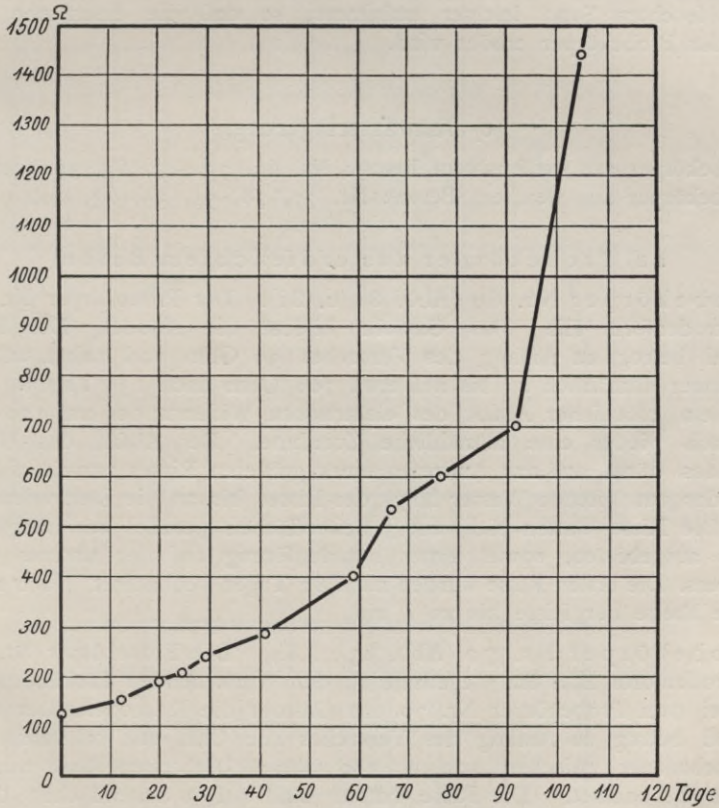


Abb. 80. Probekörper Nr. 52. Versuchsdauer: 228 Tage.
 Größter Widerst. = 12000 Ω bei Beendigung des Versuches.

Hinsichtlich der örtlichen Verteilung der Risse bei den Elektrodenformen III und IV gilt dasselbe, was in der Zusammenfassung des vorstehenden Abschnittes über die an der Luft gelagerten Probekörper gesagt worden ist. Es traten auch hier bei der Elektrodenform III auf der oberen Seite des Probekörpers radiale Risse und auf den Seitenflächen Risse parallel zu der Längsachse des Gasrohres auf, wenn das Gasrohr die Anode bildete. Bildete jedoch das Gasrohr die Kathode und die plattenförmige Elektrode die Anode, so traten die Risse auf den Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der Platten-Elektrode auf. Ferner wurde in diesem Falle das zwischen der Platten-Elektrode und der unteren Seite des Probekörpers liegende Betonstück infolge der Verdickung der Elektrode auf Biegung beansprucht, so daß strahlenförmige Risse auf der unteren Seite des Probekörpers auftraten. Bei der Elektrodenform IV traten die Risse auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers und auf seinen Seitenflächen in der Ebene der positiven Platten-Elektrode auf.

Betreffs des elektrischen Widerstandes wurde ein wesentlicher Unterschied zwischen den aus erdfeuchtem und weichem Beton hergestellten Probekörpern beobachtet. Bei allen Probekörpern, sowohl bei den aus erdfeuchtem, wie aus weichem Beton hergestellten, lag der elektrische Widerstand zu Anfang des Versuches zwischen etwa 100 und 200 Ohm und stieg bei längerer Versuchsdauer an. Bei den aus erdfeuchtem Beton hergestellten Probekörpern betrug jedoch der elektrische Widerstand nach einer Versuchsdauer von 200 Tagen etwa nur 800 bis 1100 Ohm, während er in der etwa gleichen Zeit bei den aus weichem Beton hergestellten Probekörpern Werte von etwa 12 000 bis 20 000 Ohm erreichte. Der Grund dürfte darin zu suchen sein, daß der erdfeucht angemachte Beton etwas poröser ist und das Wasser aus dem ihn umgebenden feuchten Sand leichter aufnimmt, so daß die elektrische Leitungsfähigkeit der Probekörper erhöht wird.

e) Süßwasserlagerung.

Probekörper aus erdfeuchtem Beton: Nr. 69, 70, 43, 62, 36 und 85.

Probekörper aus weichem Beton: Nr. 77, 78, 53, 55, 63, und 90.

aa) Probekörper aus erdfeuchtem Beton.

Probekörper Nr. 69 (Abb. 81 u. 82). Der Probekörper Nr. 69 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 90 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu bis auf etwa 700 Ohm nach 135 Tagen. Zu dieser Zeit trat ein plötzlicher Abfall des elektrischen Widerstandes auf 120 Ohm ein und danach wieder eine allmähliche Zunahme. Der Abfall des elektrischen Widerstandes dürfte auf das Auftreten eines größeren Risses zurückzuführen sein, wodurch das gut leitende Wasser längs des Risses bis an die Elektroden gelangen konnte. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen parallel zur Längsachse des Gasrohres ausgebildet, sowie ferner strahlenförmig auf der unteren Seite des Probekörpers. Die ersten Risse wurden nach 82 Tagen beobachtet. Nach 196 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm.

Probekörper Nr. 70 (Abb. 83 u. 84). Der Probekörper Nr. 70 hatte die Elektrodenform III. Im Gegensatz zu dem vorstehenden Probekörper Nr. 69 bildete bei dem Probekörper Nr. 70 das Gasrohr die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und schwankte während der Versuchsdauer zwischen 100 u. 180 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 53 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Nach 83 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm.

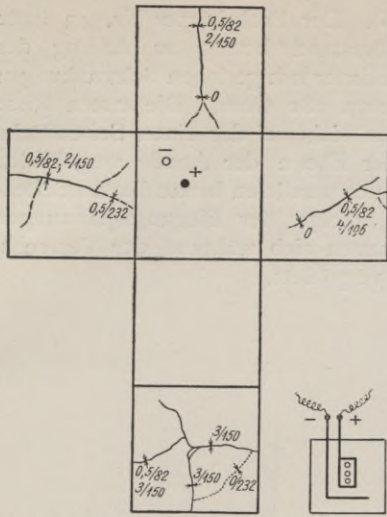


Abb. 81. Probekörper Nr. 69.
 Versuchsdauer: 250 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 82 Tagen.
 - - - " " 196 " "
 " " 232 " "

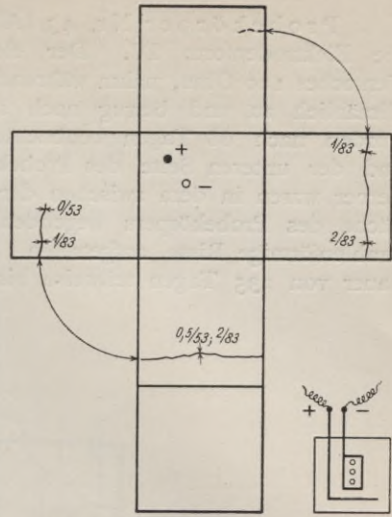


Abb. 83. Probekörper Nr. 70.
 Versuchsdauer: 83 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 53 Tagen.
 - - - " " 83 " "

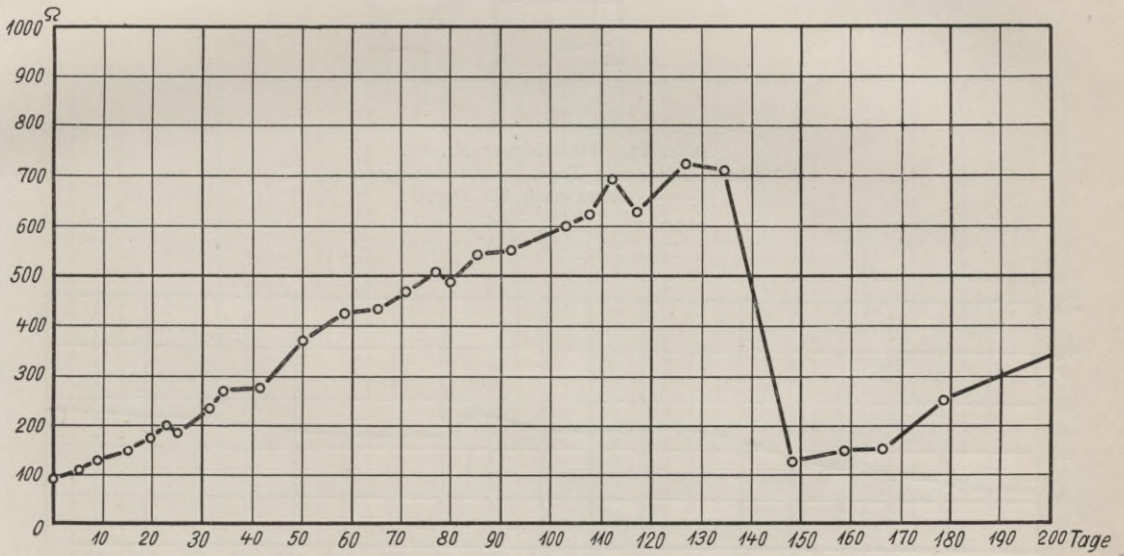


Abb. 82. Probekörper Nr. 69. Versuchsdauer: 250 Tage.

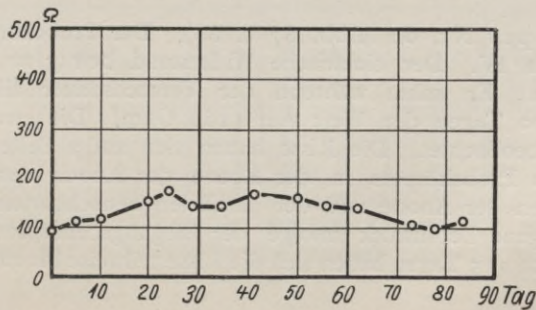


Abb. 84. Probekörper Nr. 70. Versuchsdauer: 83 Tage.

Probekörper Nr. 43 (Abb. 85 u. 86). Der Probekörper Nr. 43 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 120 Ohm, nahm während der Versuchsdauer mit geringen Schwankungen allmählich zu und betrug nach 200 Tagen etwa 280 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 68 Tagen beobachtet. Sie hatten sich auf der einen Seitenfläche und der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner waren in dem zwischen der Anode und der parallelen benachbarten Seitenfläche des Probekörpers liegenden Betonstück infolge der Biegungsspannungen strahlenförmige Risse aufgetreten. Die Risse hatten sich während der Versuchsdauer von 235 Tagen teilweise bis auf 3 mm vergrößert.

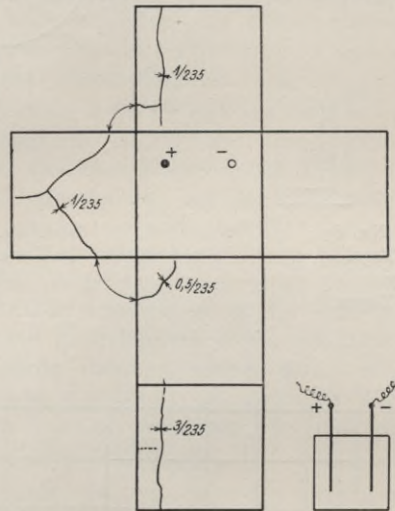


Abb. 85. Probekörper Nr. 43.
Versuchsdauer: 235 Tage. Süßwasserlagerung.
— Risse nach 68 Tagen.
- - - " " 104 "
..... " " 235 "

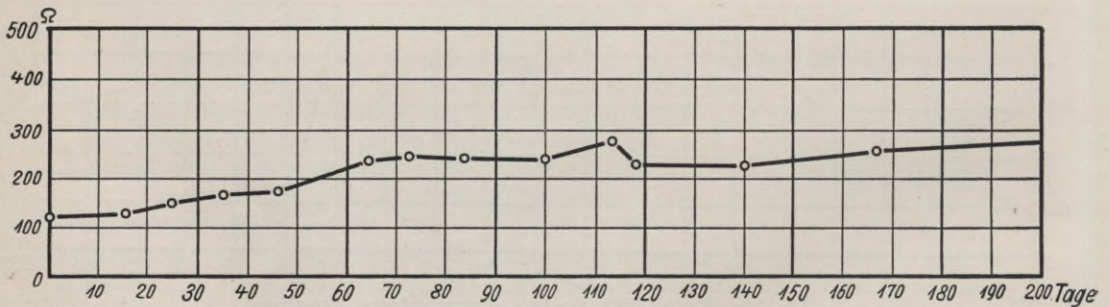


Abb. 86. Probekörper Nr. 43. Versuchsdauer: 235 Tage.

Probekörper Nr. 62 (Abb. 87 u. 88). Der Probekörper Nr. 62 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 145 Ohm. Er nahm während der Versuchsdauer allmählich zu und erreichte nach 200 Tagen den Wert von 1160 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 98 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 2 Seitenflächen und der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte das zwischen der Anode und der parallelen benachbarten Seitenfläche des Probekörpers gelegene Betonstück infolge der Biegungsbeanspruchungen strahlenförmige Risse. Nach 215 Tagen hatten sich die Risse teilweise bis zu 8 mm verbreitert.

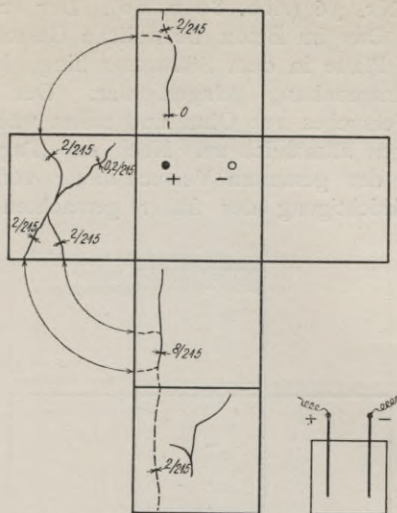


Abb. 87. Probekörper Nr. 62.
 Versuchsdauer: 215 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 98 Tagen.
 - - - - - " " 215 "

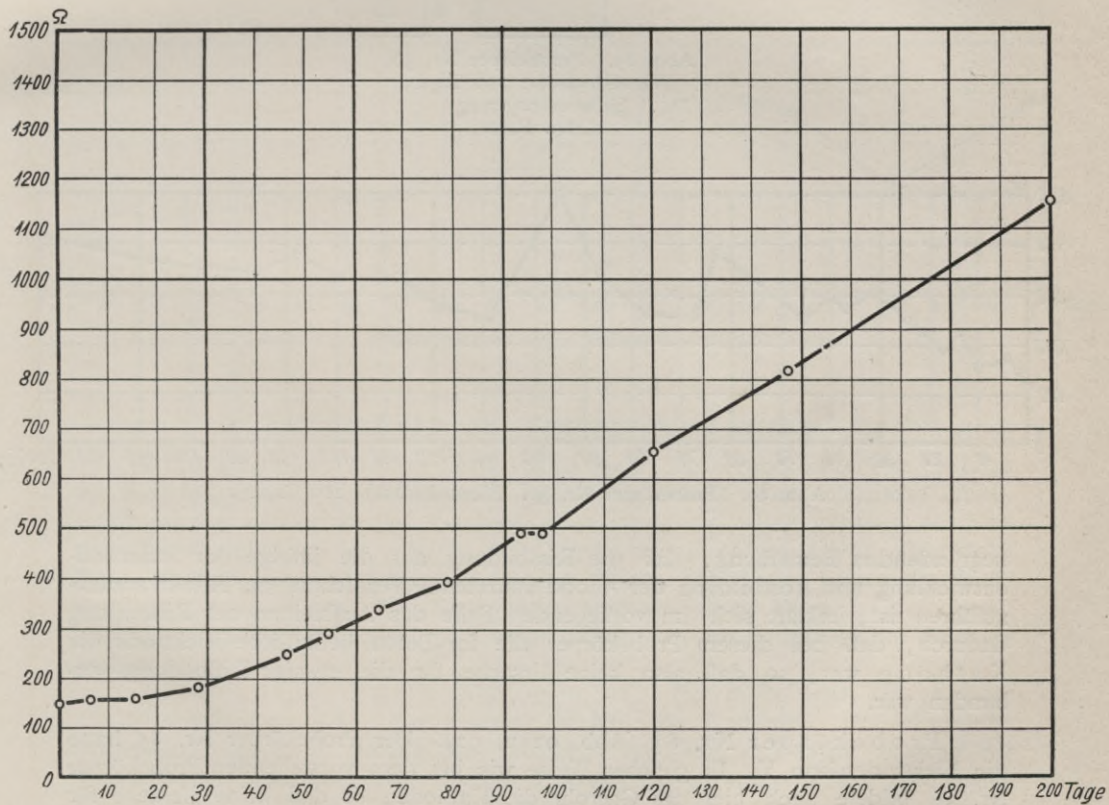


Abb. 88. Probekörper Nr. 62. Versuchsdauer: 215 Tage.

Probekörper Nr. 36 (Abb. 89 u. 90). Der Probekörper Nr. 36 hatte die Elektrodenform V. Das im Beton befindliche Gasrohr bildete die Kathode, während die Anode als Platte in dem Süßwasser hing, in dem der Probekörper während der Strombeanspruchung gelagert war. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 110 Ohm und nahm während der Versuchsdauer mit einigen Schwankungen allmählich zu. Nach 200 Tagen betrug er 415 Ohm. Risse wurden während der gesamten Versuchsdauer von 210 Tagen nicht beobachtet. Unter Berücksichtigung der früher gemachten und später näher zu

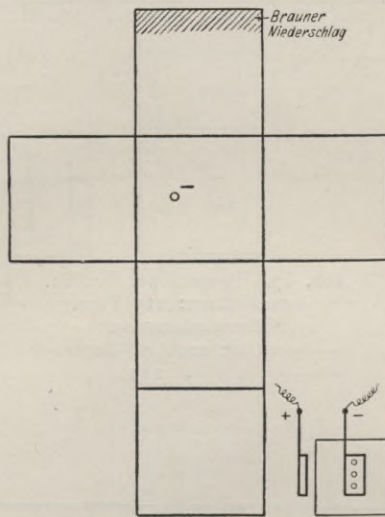


Abb. 89. Probekörper Nr. 36.
Versuchsdauer: 210 Tage.
Süßwasserlagerung.
Keine Risse.

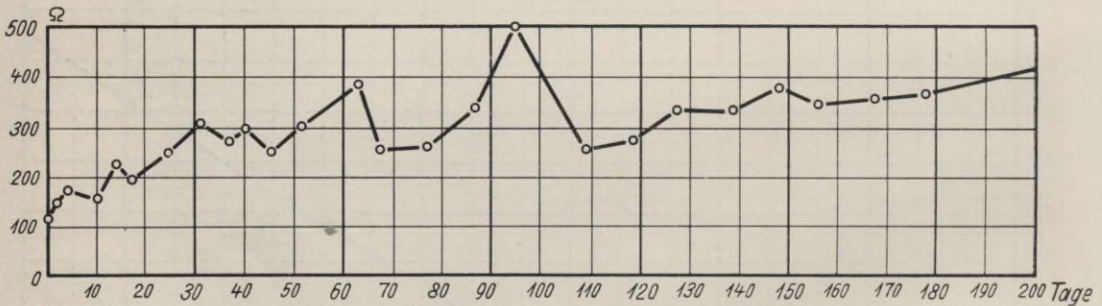


Abb. 90. Probekörper Nr. 36. Versuchsdauer: 210 Tage.

begründenden Bemerkung, daß die Rissbildung auf die infolge der Sauerstoffentwicklung und Rostbildung der Anode auftretende Verdickung der Anode zurückzuführen ist, erklärt sich im vorliegenden Falle das Ausbleiben der Rißbildung dadurch, daß bei diesem Probekörper die im Beton befindliche Elektrode die Kathode war, so daß also keine Ursache für die etwaige Rißbildung vorhanden war.

Probekörper Nr. 85 (Abb. 91 u. 92). Der Probekörper Nr. 85 hatte die Elektrodenform V. In gleicher Weise wie bei dem vorstehenden Probekörper Nr. 36 bildete auch hier das Gasrohr die Kathode, so daß keine Ursache für Rißbildung vorhanden war. Es wurde auch tatsächlich während der Versuchs-

dauer von 210 Tagen keine Rißbildung beobachtet. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 125 Ohm und nahm mit einigen Schwankungen während der Versuchsdauer zu, so daß er nach 200 Tagen 400 Ohm betrug.

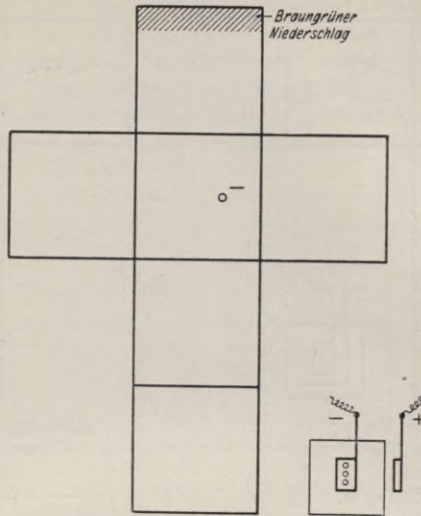


Abb. 91. Probekörper Nr. 85.
Versuchsdauer: 210 Tage.
Süßwasserlagerung. Keine Risse.

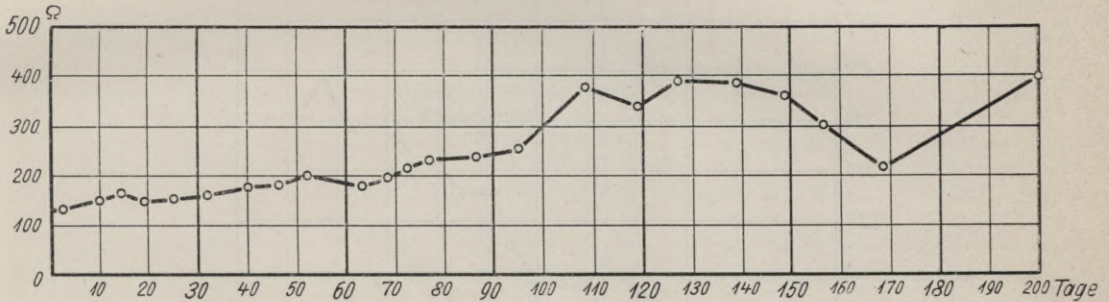


Abb. 92. Probekörper Nr. 85. Versuchsdauer: 210 Tage.

b b) Probekörper aus weichem Beton.

Probekörper Nr. 77 (Abb. 93 u. 94). Der Probekörper Nr. 77 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Beginn des Versuches 140 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 110 Tagen betrug er 700 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 26 Tagen beobachtet. Nach 110 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 6 mm. Die Risse hatten sich als radiale Risse auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers ausgebildet, sowie als Längsrisse auf 2 Seitenflächen.

Probekörper Nr. 78 (Abb. 95 u. 96). Der Probekörper Nr. 78 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 120 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 110 Tagen betrug er 400 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 48 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet,

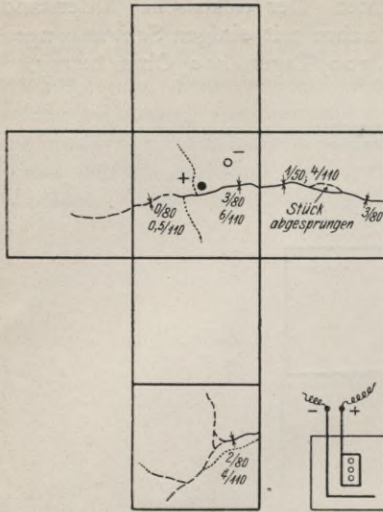


Abb. 93. Probekörper Nr. 77.
Versuchsdauer: 110 Tage.
Süßwasserlagerung.
— Risse nach 26 Tagen.
- - - " " 80 "
..... " " 110 "

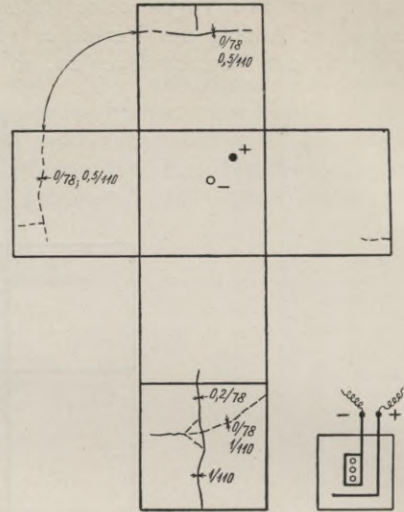


Abb. 95. Probekörper Nr. 78.
Versuchsdauer: 110 Tage.
Süßwasserlagerung.
— Risse nach 48 Tagen.
- - - " " 78 "

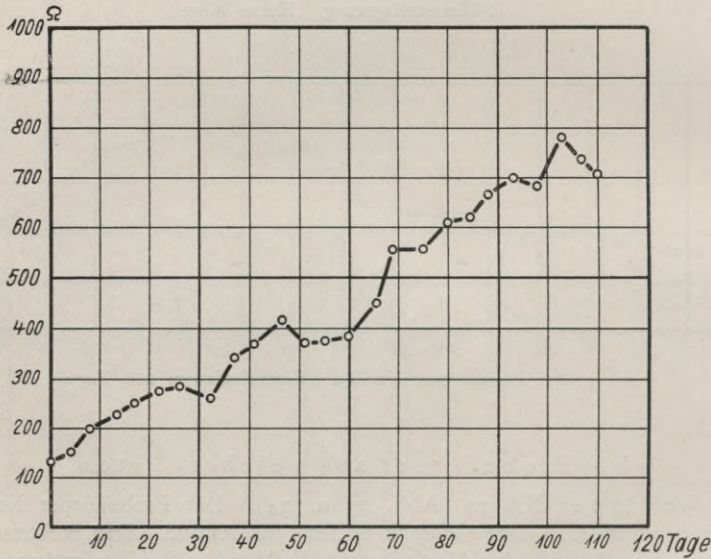


Abb. 94. Probekörper Nr. 77. Versuchsdauer: 110 Tage.

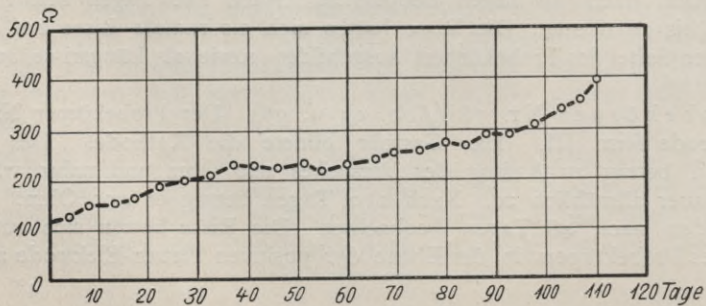


Abb. 96. Probekörper Nr. 78. Versuchsdauer: 110 Tage.

sowie ferner in strahlenförmiger Anordnung auf der unteren Seite des Probekörpers. Nach 110 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 1 mm.

Probekörper Nr. 53 (Abb. 97 u. 98). Der Probekörper Nr. 53 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 80 Ohm und nahm während der Versuchsdauer bis zu 120 Tagen allmählich zu bis auf 430 Ohm, um danach wieder etwas abzunehmen. Die ersten Risse wurden nach 76 Tagen beobachtet. Die Risse lagen auf der oberen und unteren Seite und den Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode. Ferner hatten sich strahlenförmige Risse auf der der Anode

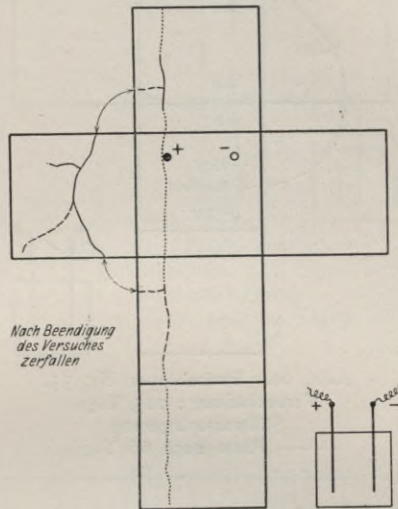


Abb. 97. Probekörper Nr. 53.
Versuchsdauer: 203 Tage.
Süßwasserlagerung.

— Risse nach 76 Tagen.
- - - " " 104 "
· · · " " 203 "

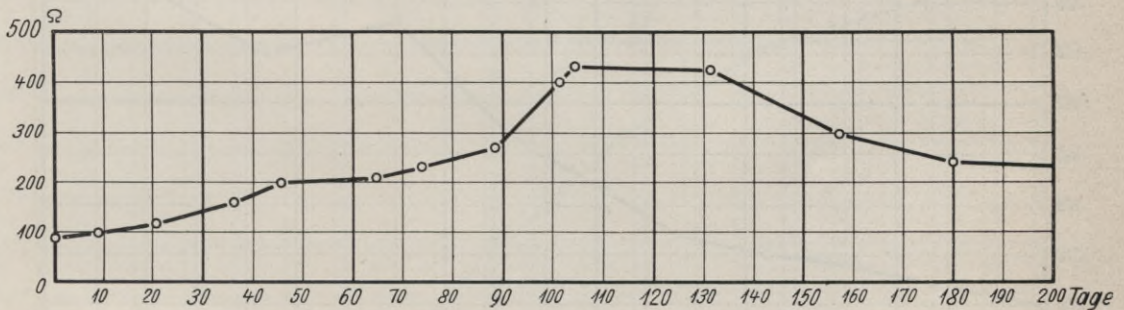


Abb. 98. Probekörper Nr. 53. Versuchsdauer; 203 Tage.

parallelen und benachbarten Seitenfläche des Probekörpers ausgebildet. Die Risse waren so stark, daß der Probekörper in der Ebene der Anode nach 203 Tagen in 2 Teile zerfallen war.

Probekörper Nr. 55 (Abb. 99 u. 100). Der Probekörper Nr. 55 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 200 Tagen betrug er 840 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 66 Tagen beobachtet. Nach 225 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 9 mm. Die

Risse hatten sich auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers und auf den Seitenflächen in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Ferner wies die der Anode parallele und benachbarte Seitenfläche des Probekörpers einen Querriß auf.

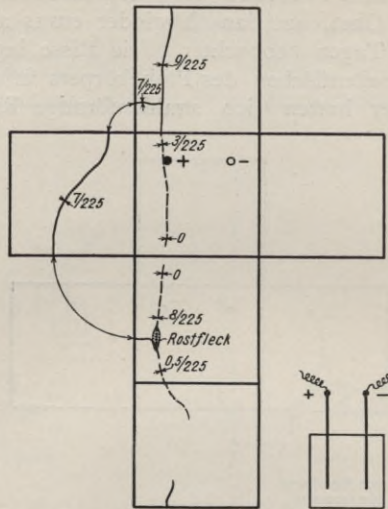


Abb. 99. Probekörper Nr. 55.
 Versuchsdauer: 225 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 66 Tagen.
 - - - " " 94 "

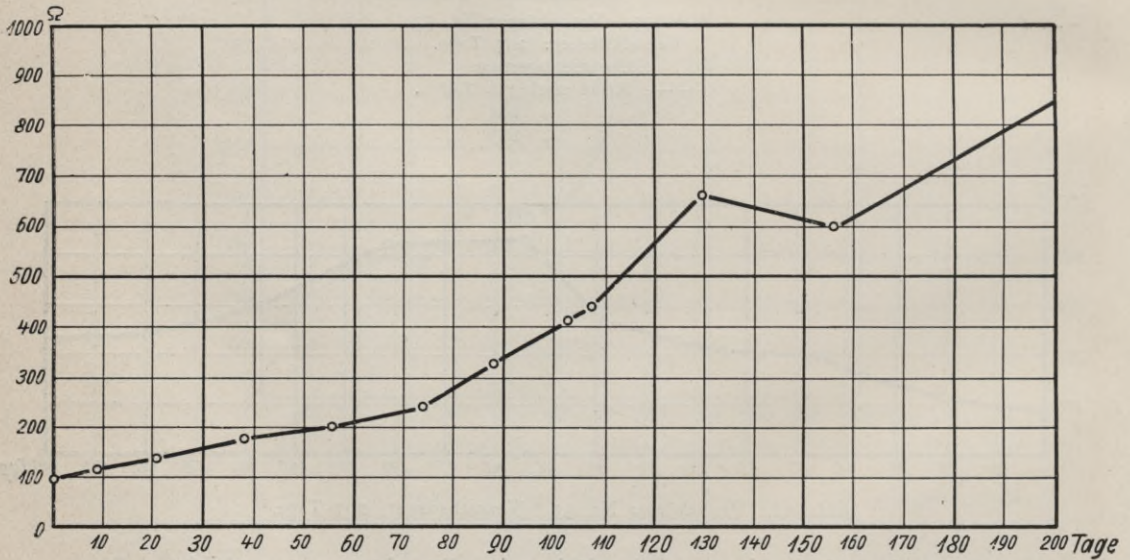


Abb. 100. Probekörper Nr. 55. Versuchsdauer: 225 Tage.

Probekörper Nr. 63 (Abb. 101 u. 102). Der Probekörper Nr. 63 hatte die Elektrodenform V. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 170 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 200 Tagen betrug er 1140 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 44 Tagen beobachtet. Nach 198 Tagen betrug die Breite der Risse

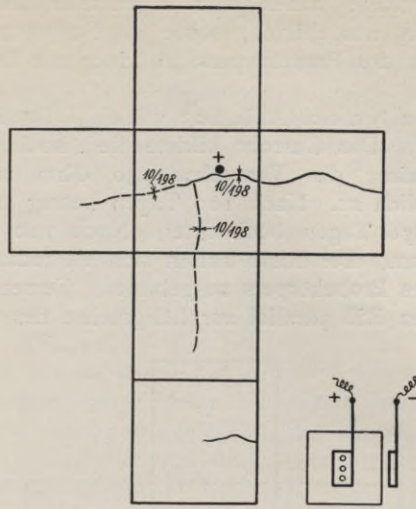


Abb. 101. Probekörper Nr. 63.
 Versuchsdauer: 212 Tage.
 Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 44 Tagen.
 - - - - - " " 198 "

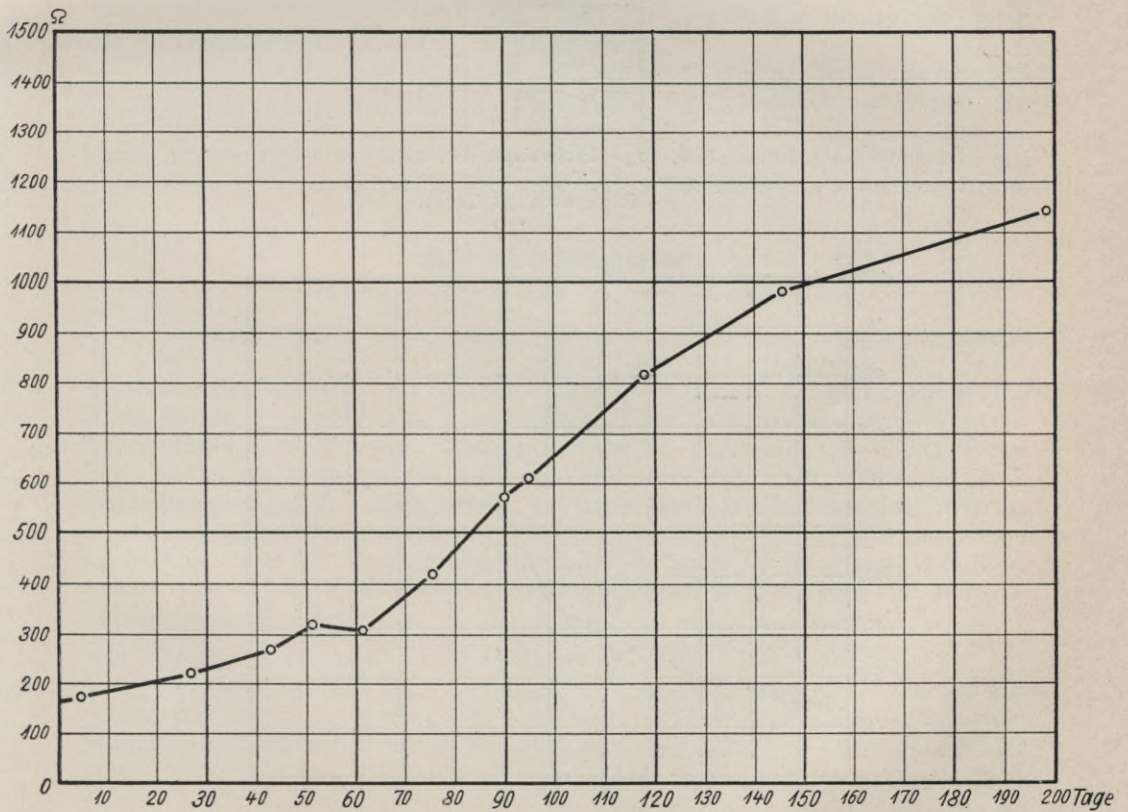


Abb. 102. Probekörper Nr. 63. Versuchsdauer: 212 Tage.

bis zu 10 mm. Die Risse hatten sich in radialer Anordnung auf der oberen Seite des Probekörpers ausgebildet, sowie als Fortsetzung dieser radialen Risse auf den Seitenflächen des Probekörpers in einer zur Längsachse des Gasrohres parallelen Richtung.

Probekörper Nr. 90 (Abb. 103 u. 104). Der Probekörper Nr. 90 hatte die Elektrodenform V. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 130 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 100 Tagen betrug er 600 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 78 Tagen beobachtet. Nach 110 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm. Die Risse hatten sich als radiale Risse auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers ausgebildet. Ferner zeigte eine Seitenfläche des Probekörpers einen Riß parallel zur Längsachse des Gasrohres.

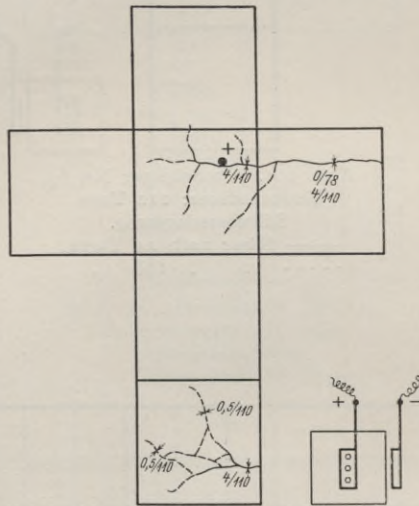


Abb. 103. Probekörper Nr. 90.
 Versuchsdauer: 110 Tage. Süßwasserlagerung.
 — Risse nach 78 Tagen.
 - - - " " 110 "

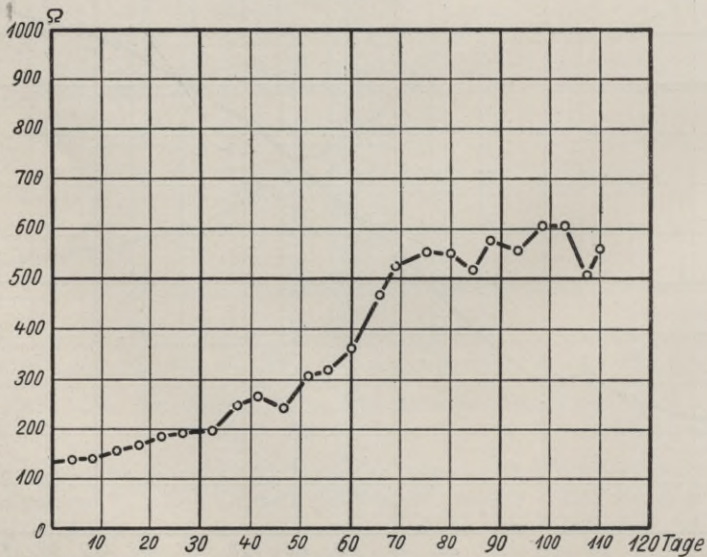


Abb. 104. Probekörper Nr. 90. Versuchsdauer: 110 Tage.

Zusammenfassung.

Bei den unter Süßwasser bei einer Strombeanspruchung von $\frac{1}{10}$ Amp. gelagerten Probekörpern traten die ersten Risse nach rund 50 bis 100 Tagen auf, wenn man von einem Probekörper absieht, an dem diese Risse bereits nach 26 Tagen beobachtet wurden. Ein Unterschied hinsichtlich des Eintrittes der Rißbildung konnte bei erdfeucht und weich angemachtem Beton nicht beobachtet werden.

Betreffs der Lage der Risse bei den Elektrodenformen III und IV wurden bei den unter Süßwasser gelagerten Probekörpern dieselben Beobachtungen gemacht, wie bei den an der Luft und unter feuchtem Sand gelagerten Probekörpern. Es kann daher hier auf jene Stellen des Versuchsberichtes verwiesen werden. Bei der Elektrodenform V war bei einem Teil der Probekörper die Schaltung so erfolgt, daß das im Beton befindliche Gasrohr die Anode und die in der den Probekörper umgebenden Flüssigkeit befindliche Elektrode die Kathode bildete. Bei einem anderen Teil der Probekörper bildete dagegen das Gasrohr im Beton die Kathode und die Platten-Elektrode in der Flüssigkeit die Anode. Bei den erstgenannten Probekörpern traten auf der oberen und unteren Seite radiale Risse, sowie auf den Seitenflächen Längsrisse parallel zu der Richtung des Gasrohres auf, während bei den zweitgenannten Probekörpern überhaupt keine Risse beobachtet wurden. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, daß im ersteren Falle die Probekörper durch die Verdickung der im Beton befindlichen Anode infolge der Rostbildung gesprengt wurden. Da im zweiten Falle die Anode sich außerhalb des Probekörpers befand, konnte naturgemäß keine Sprengwirkung auf den Probekörper ausgeübt werden. Die Feststellung dieser Tatsache dient mit als Beweis für die später noch eingehender zu beweisende Erklärung der Rißbildung durch die Verdickung der Anode infolge der durch die Sauerstoffentwicklung bedingten Rostbildung.

Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 bis 200 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach etwa 200 Tagen hatte der elektrische Widerstand Werte von 200 bis 1100 Ohm erreicht, und zwar war im allgemeinen der elektrische Widerstand der Probekörper aus erdfeuchtem Beton etwas geringer als derjenige der Probekörper aus weichem Beton.

d) Salzwasserlagerung.

Probekörper Nr. 71, 125, 44, 127, 60 und 129.

Alle Probekörper dieser Gruppe waren aus erdfeuchtem Beton hergestellt. Probekörper Nr. 71 (Abb. 105 u. 106). Der Probekörper Nr. 71 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und behielt diesen Wert nur mit geringen Schwankungen während der ganzen Versuchsdauer von 84 Tagen bei. Die ersten Risse wurden nach 27 Tagen beobachtet. Der Rand der Risse war teilweise grünlich gefärbt. Nach 54 Tagen wurde stellenweise das Austreten einer dicken grünlichen aus Eisenoxydul bestehenden Absonderung aus den Rissen beobachtet. Nach 84 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 3 mm. Die Risse hatten sich auf den 4 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet.

Probekörper Nr. 125 (Abb. 107 u. 108). Der Probekörper Nr. 125 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 120 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 80 Tagen betrug er 500 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 54 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Nach 84 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm.

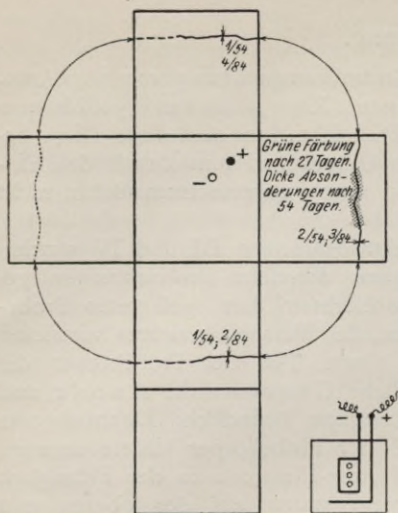


Abb. 105. Probekörper Nr. 71.
 Versuchsdauer: 84 Tage.
 Salzwasserlagerung.
 — Risse nach 27 Tagen.
 - - - " " 54 "
 " " 84 "

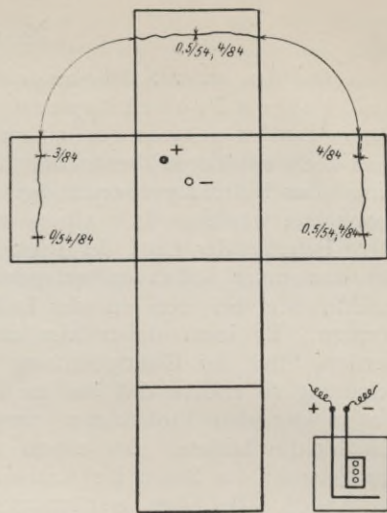


Abb. 107. Probekörper Nr. 125.
 Versuchsdauer: 84 Tage.
 Salzwasserlagerung.
 — Risse nach 54 Tagen.
 - - - " " 84 "

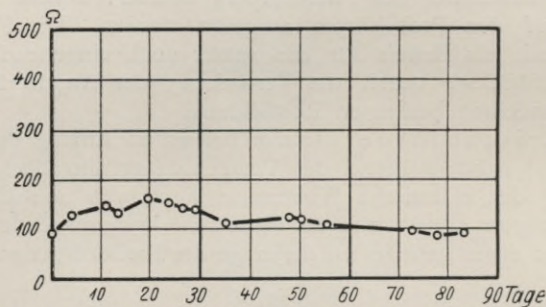


Abb. 106. Probekörper Nr. 71. Versuchsdauer: 84 Tage.

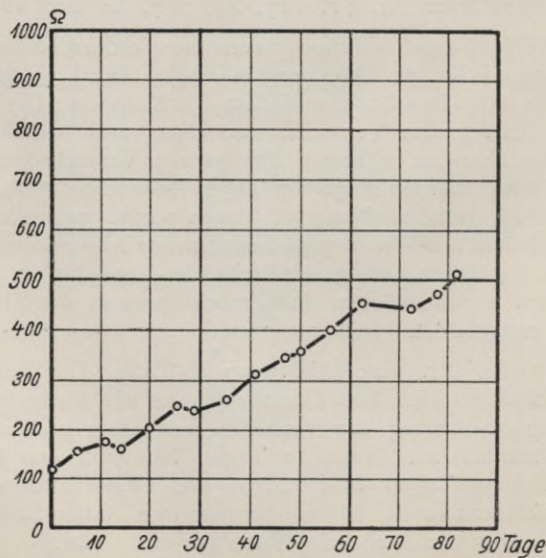


Abb. 108. Probekörper Nr. 125. Versuchsdauer: 84 Tage.

Probekörper Nr. 44 (Abb. 109 u. 110). Der Probekörper Nr. 44 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 90 Ohm und nahm während der Versuchsdauer von 144 Tagen nur sehr langsam bis auf etwa 150 Ohm zu. Die ersten Risse wurden nach 70 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf den Seitenflächen und der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte die der Anode parallele und benachbarte Seitenfläche des Probekörpers zahlreiche strahlenförmige Risse. Aus den Rissen war teilweise eine grünliche Absonderung von Eisenoxydul ausgetreten, welche sich in Warzenform am Rande der Risse abgesetzt hatte.

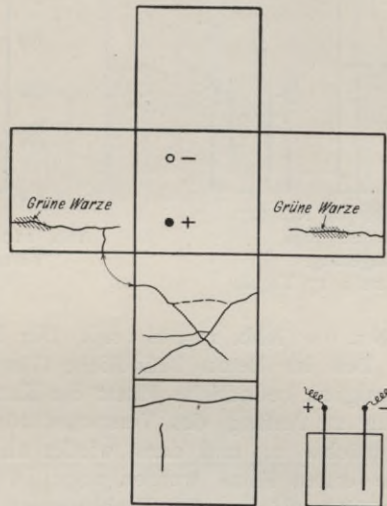


Abb. 109. Probekörper Nr. 44.
 Versuchsdauer: 144 Tage.
 Salzwasserlagerung.
 — Risse nach 70 Tagen.
 - - - - - " " 104 "

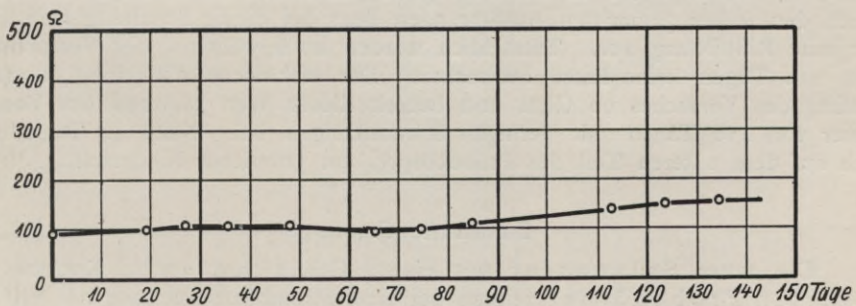


Abb. 110. Probekörper Nr. 44. Versuchsdauer: 144 Tage.

Probekörper Nr. 127 (Abb. 111 u. 112). Der Probekörper Nr. 127 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 90 Ohm und behielt während der 20-tägigen Versuchsdauer mit geringen Schwankungen diesen Wert. Haarrisse wurden nach 17 Tagen beobachtet. Die Risse lagen auf den Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der Anode. Der Rand der Risse war durch eine Absonderung grünlich gefärbt. Der Versuch mußte nach 20 Tagen abgebrochen werden, weil die Zuleitung zu den Elektroden unterbrochen war.

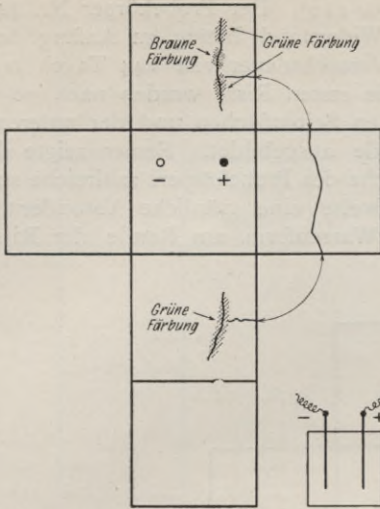


Abb. 111. Probekörper Nr. 127.
Versuchsdauer: 20 Tage.
Salzwasserlagerung.
— Haarrisse nach 17 Tagen.

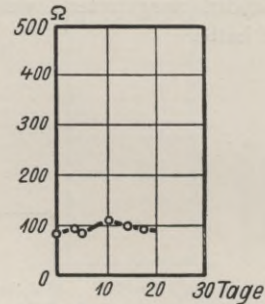


Abb. 112. Probekörper Nr. 127.
Versuchsdauer: 20 Tage.

Probekörper Nr. 60 (Abb. 113 u. 114). Der Probekörper Nr. 60 hatte die Elektrodenform V. Das im Beton befindliche Gasrohr bildete die Anode, während die in der Flüssigkeit befindliche Platte die Kathode bildete. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 160 Ohm, nahm mit geringen Schwankungen zunächst zu und dann wieder ab. Nach 110 Tagen betrug er 100 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 48 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers, sowie auf der unteren Seite des Probekörpers ausgebildet. Teilweise war der Rand der Risse grünlich gefärbt. Nach 78 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm.

Probekörper Nr. 129 (Abb. 115 u. 116). Der Probekörper Nr. 129 hatte die Elektrodenform V. Das im Beton befindliche Gasrohr bildete die Kathode, während die in der Flüssigkeit befindliche Platte die Anode bildete. Nach den früher gemachten Ausführungen liegt bei dieser Schaltung kein Grund für eine Ribbildung vor. Tatsächlich wurden auch während der Versuchsdauer von 210 Tagen keine Risse beobachtet. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 90 Ohm und behielt diesen Wert während der Versuchsdauer von 210 Tagen mit geringen Schwankungen bei. Nach 44 Tagen zeigte sich auf dem unteren Teil des Probekörpers ein grünlicher Niederschlag.

Zusammenfassung.

Die unter Salzwasser mit einem Gehalt von 3,6 % Kochsalz gelagerten Probekörper zeigten bei einer Strombeanspruchung von $\frac{1}{10}$ Amp. die ersten Risse nach etwa 20 bis 70 Tagen, also etwas früher als die an der Luft, unter feuchtem Sand und unter Süßwasser gelagerten Probekörper. Gemeinsam war bei den unter Salzwasser gelagerten Probekörpern, daß der in der Nähe der Risse befindliche Beton infolge der Abscheidung einer grünlichen Flüssigkeit, welche sich häufig in Warzenform festsetzte, grün gefärbt wurde. Die grünliche Färbung ging bei Lagerung an der Luft in eine rostbraune Färbung über. Die chemische Untersuchung ergab, daß die grünlichen Abscheidungen ausgeschiedenes Eisen in der Form von Eisenoxydul enthielten. Dieses Eisenoxydul nimmt an der Luft Sauerstoff auf, wodurch es zu Eisenoxyd wird und eine rostbraune Färbung annimmt.

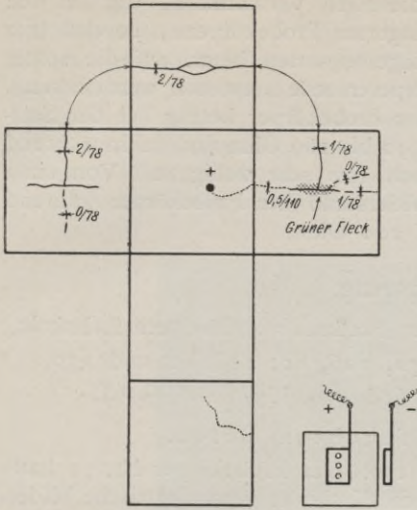


Abb. 113. Probekörper Nr. 60.
 Versuchsdauer: 110 Tage.
 Salzwasserlagerung.
 — Risse nach 48 Tagen.
 - - - " " 78 "
 " " 110 "

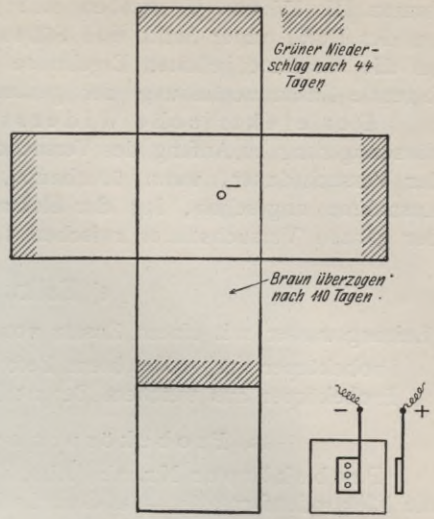


Abb. 115. Probekörper Nr. 129.
 Versuchsdauer: 210 Tage.
 Salzwasserlagerung.
 Keine Risse.

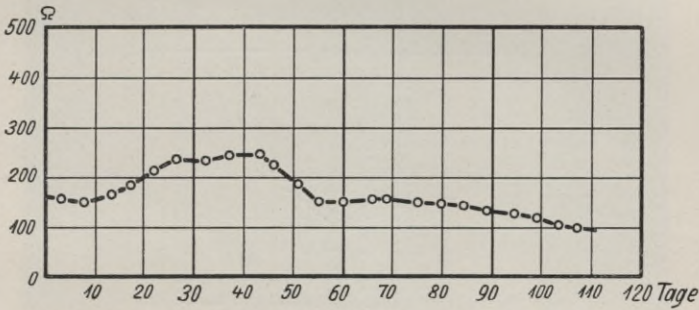


Abb. 114. Probekörper Nr. 60. Versuchsdauer: 110 Tage.

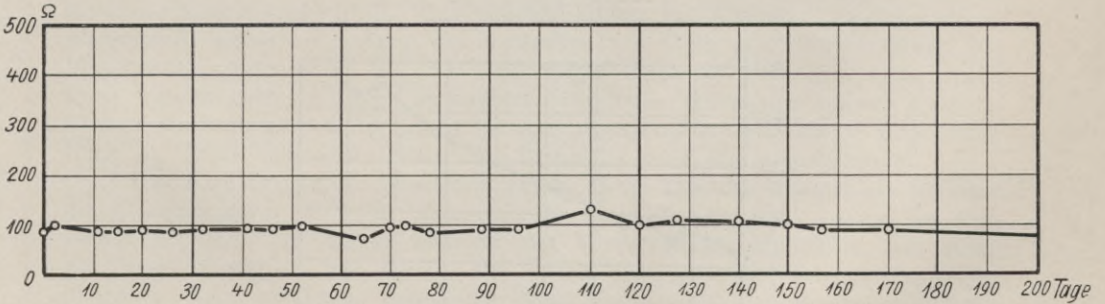


Abb. 116. Probekörper Nr. 129. Versuchsdauer: 210 Tage.

Hinsichtlich der Lage und der Ausbildung der Risse bei den Elektrodenformen III, IV und V ergaben sich genau dieselben Verhältnisse, wie bei den an der Luft, unter Sand und Süßwasser gelagerten Probekörpern, so daß hier auf die zusammengefaßten Ergebnisse jener Lagerungsarten bzw. auf die später folgende Zusammenfassung der gesamten Hauptversuche verwiesen werden kann.

Der elektrische Widerstand der Probekörper betrug bei der Salzwasserlagerung zu Anfang des Versuches etwa 90 bis 160 Ohm und nahm während der Versuchsdauer, wenn überhaupt, so doch nur sehr wenig zu. Von einer Ausnahme abgesehen, lag der elektrische Widerstand der Probekörper während der ganzen Versuchsdauer zwischen 100 und 200 Ohm.

e) Kalkwasserlagerung.

(Leitungswasser mit einem Zusatz von 1⁰/₀ zu Breikalk abgelöschtem Lahnkalk.)

Probekörper aus erdfeuchtem Beton: Nr. 72, 126, 80, 128, 61 und 130.

Probekörper aus weichem Beton: Nr. 79, 133, 81, 134, 64 und 135.

aa) Probekörper aus erdfeuchtem Beton.

Probekörper Nr. 72 (Abb. 117 bis 119). Der Probekörper Nr. 72 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Wider-

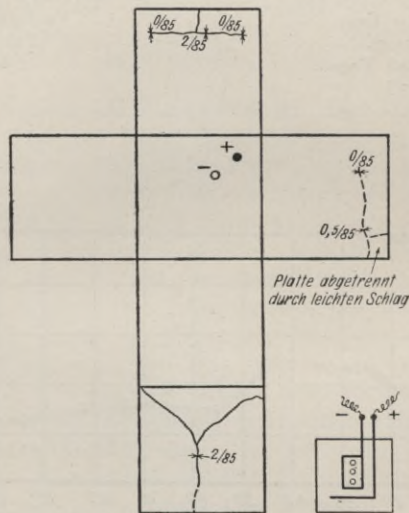


Abb. 117. Probekörper Nr. 72.
Versuchsdauer 85 Tage.
Kalkwasserlagerung.

— Risse nach 54 Tagen.
- - - " " 85 "

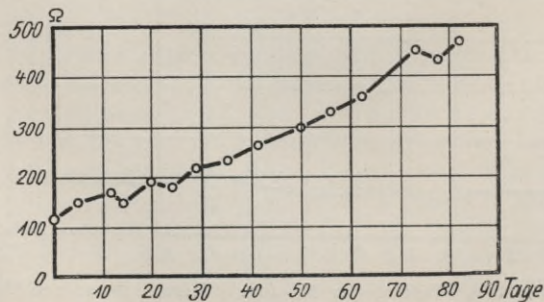


Abb. 118. Probekörper Nr. 72. Versuchsdauer: 85 Tage.

stand betrug zu Anfang des Versuches 120 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 83 Tagen betrug er 470 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 54 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf 2 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Ferner zeigte die untere Seite des Probekörpers infolge der Biegungsbeanspruchung durch die Verdickung der Anode zufolge der Rostbildung einen dreistrahligen Riß. Nach 85 Tagen betrug die Rißbreite bis zu 2 mm. Das zwischen der positiven Platten-Elektrode und der unteren Seite befindliche Betonstück konnte, wie Abb. 119 zeigt, durch leichte Schläge von dem Probekörper abgetrennt werden.

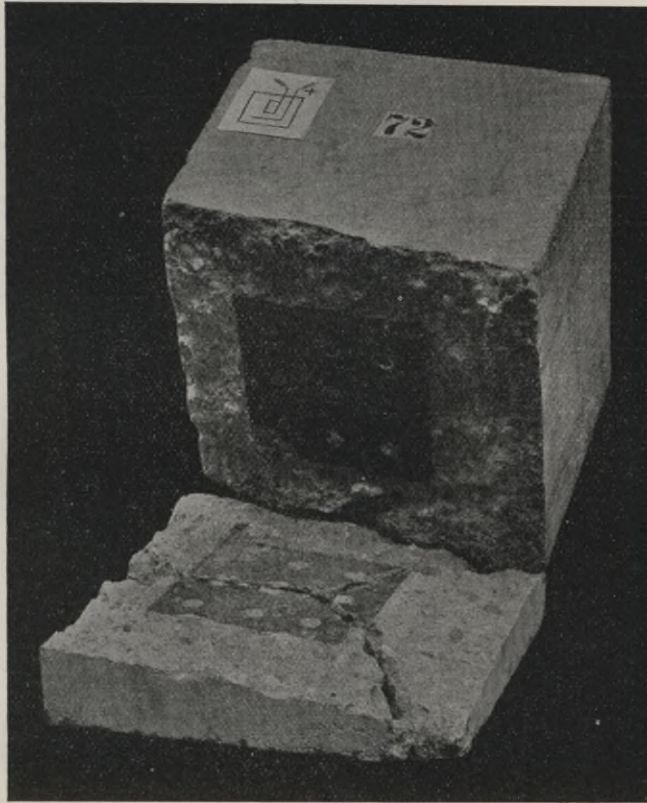


Abb. 119.

Probekörper Nr. 126 (Abb. 120 u. 121). Der Probekörper Nr. 126 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 76 Tagen betrug er 600 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 18 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf den 4 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Nach 45 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 2 mm angenommen.

Probekörper Nr. 80 (Abb. 122 u. 123). Der Probekörper Nr. 80 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 80 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 75 Tagen betrug er 230 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 44 Tagen beobachtet. Nach 75 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm. Die Risse hatten sich auf den Seitenflächen und der unteren Seite des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte das zwischen der Anode und der

ihr parallelen benachbarten Seitenfläche gelegene Betonstück infolge der Biegungsbeanspruchungen durch die eingetretene Verdickung der Anode einen dreistrahligen Riß. An einer Stelle war an dem Riß eine stark braune Absonderung ausgetreten.

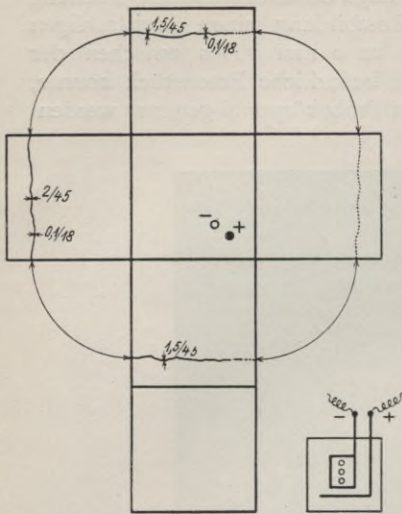


Abb. 120. Probekörper Nr. 126.
Versuchsdauer: 76 Tage.
Kalkwasserlagerung.
— Risse nach 18 Tagen.
- - - " " 45 " "
· · · " " 75 " "

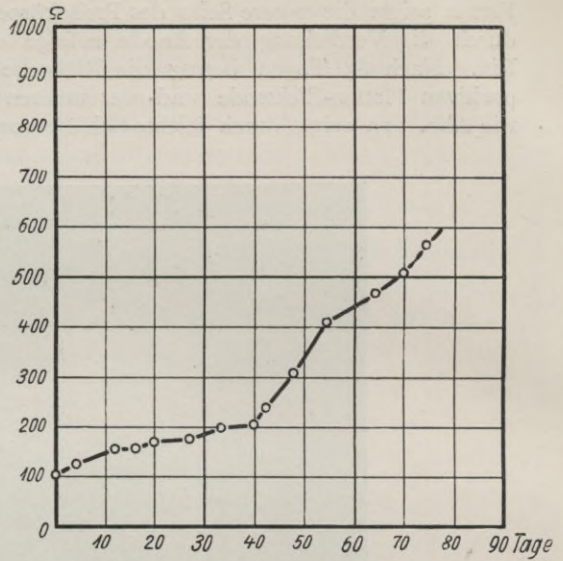


Abb. 121. Probekörper Nr. 126.
Versuchsdauer: 76 Tage.

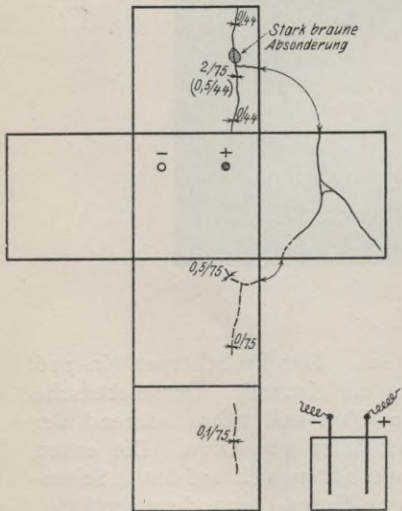


Abb. 122. Probekörper Nr. 80.
Versuchsdauer: 75 Tage.
Kalkwasserlagerung.
— Risse nach 44 Tagen.
- - - " " 75 " "

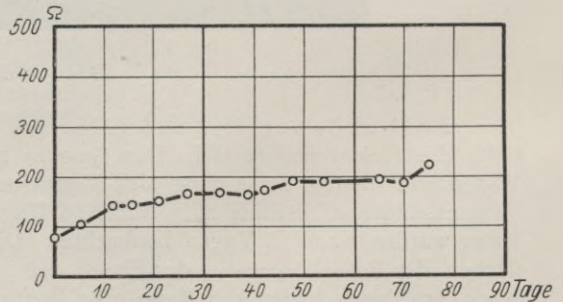


Abb. 123. Probekörper Nr. 80.
Versuchsdauer: 75 Tage.

Probekörper Nr. 128 (Abb. 124 u. 125). Der Probekörper Nr. 128 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 80 Ohm und nahm während der 75 tägigen Versuchsdauer allmählich

bis auf etwa 400 Ohm zu. Die ersten Risse wurden nach 45 Tagen beobachtet. Nach 75 Tagen hatten die Risse eine Breite bis zu 2 mm angenommen. Die Risse hatten sich auf der oberen Seite des Probekörpers und auf den Seitenflächen in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte die der Anode parallele und benachbarte Seitenfläche einen Querriß.

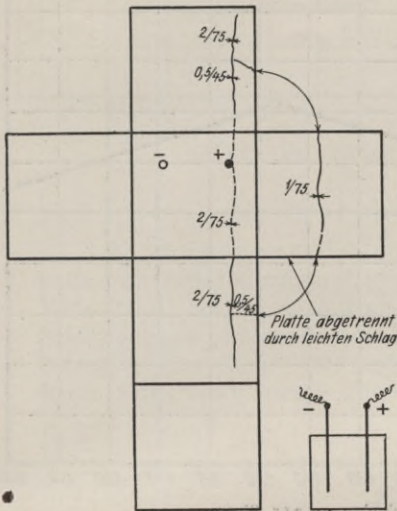


Abb. 124. Probekörper Nr. 128.
Versuchsdauer: 75 Tage.
Kalkwasserlagerung.
— Risse nach 45 Tagen,
- - - - - " " 75 "

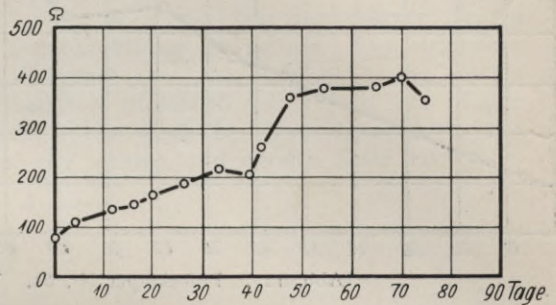


Abb. 125. Probekörper Nr. 128.
Versuchsdauer: 75 Tage.

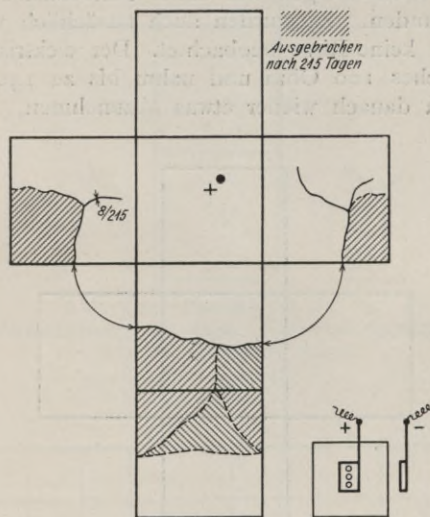


Abb. 126. Probekörper Nr. 61.
Versuchsdauer: 215 Tage. Kalkwasserung.
— Risse nach 98 Tagen. - - - - - Risse nach 140 Tagen.

Probekörper Nr. 61 (Abb. 126 und 127). Der Probekörper Nr. 61 hatte die Elektrodenform V. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm. Er nahm bis zu 150 Tagen zu bis auf etwa 700 Ohm, um danach wieder allmählich abzunehmen. Die ersten

Risse wurden nach 98 Tagen beobachtet. Nach 215 Tagen betrug die Breite der Risse bis 8 mm. Ferner war das in der Abb. 126 durch Schraffur kenntlich gemachte Eckstück aus dem Probekörper ausgebrochen.

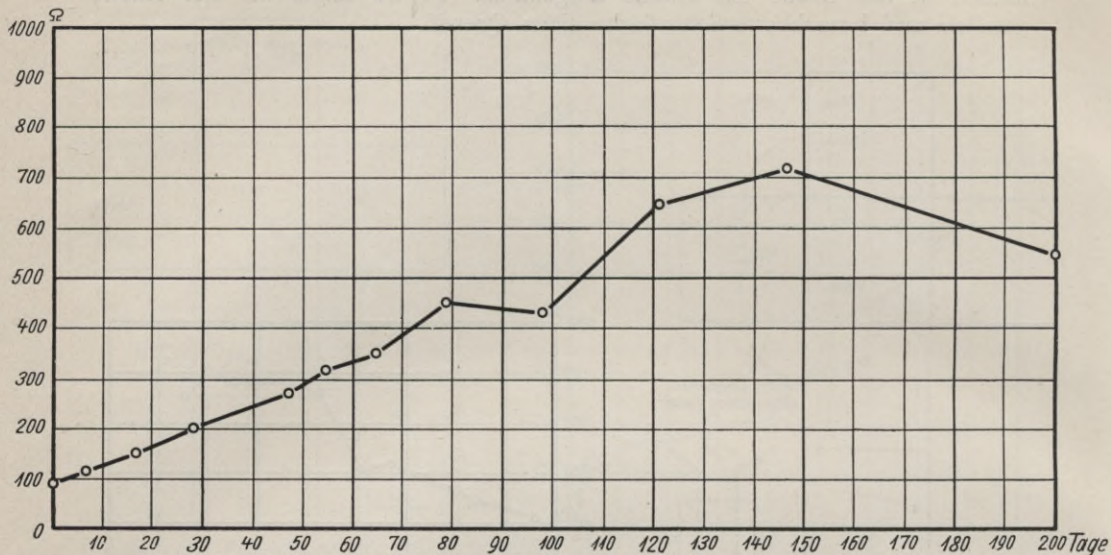


Abb. 127. Probekörper Nr. 61. Versuchsdauer: 215 Tage.

Probekörper Nr. 130 (Abb. 128 u. 129). Der Probekörper Nr. 130 hatte die Elektrodenform V. Das Gasrohr bildete die Kathode. Entsprechend den früher gemachten Bemerkungen war daher bei diesem Probekörper kein Anlaß zu Ribbildungen vorhanden. Es wurden auch tatsächlich während der Versuchsdauer von 210 Tagen keine Risse beobachtet. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm bis zu 140 Tagen allmählich zu bis auf 400 Ohm, um danach wieder etwas abzunehmen.

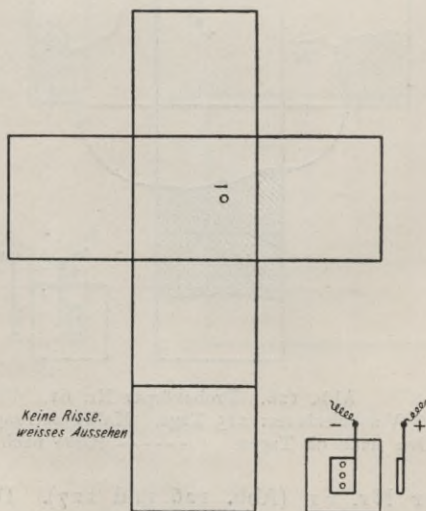


Abb. 128. Probekörper Nr. 130.
Versuchsdauer: 210 Tage.
Kalkwasserlagerung.

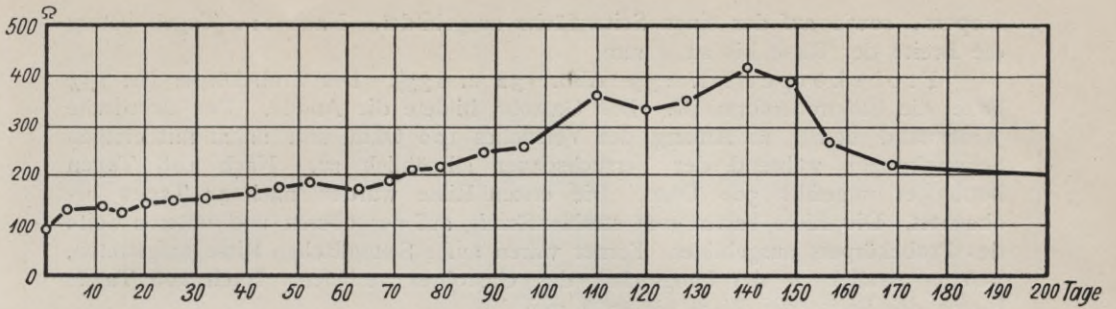


Abb. 129. Probekörper Nr. 130. Versuchsdauer: 210 Tage.

bb) Probekörper aus weichem Beton.

Probekörper Nr. 79 (Abb. 130 u. 131). Der Probekörper Nr. 79 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm mit einigen Schwankungen während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 110 Tagen betrug er 280 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 26 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich strahlenförmig auf der oberen und unteren Seite des Probe

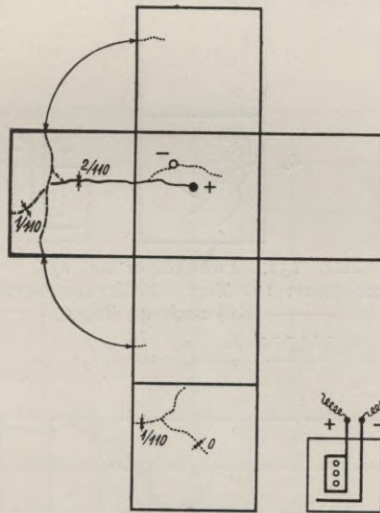


Abb. 130. Probekörper Nr. 79.
 Versuchsdauer: 110 Tage. Kalkwasserlagerung.
 — Risse nach 26 Tagen.
 - - - " " 48 "
 " " 110 "

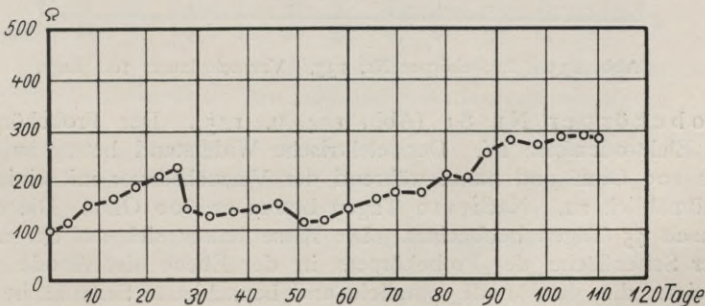


Abb. 131. Probekörper Nr. 79. Versuchsdauer: 110 Tage.

körpers, sowie auf der einen Seitenfläche ausgebildet. Nach 110 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm.

Probekörper Nr. 133 (Abb. 132 u. 133). Der Probekörper Nr. 133 hatte die Elektrodenform III. Das Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm mit einigen Schwankungen während der Versuchsdauer allmählich zu. Nach 108 Tagen betrug er ungefähr 500 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 44 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich strahlenförmig auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers ausgebildet. Ferner waren auf 2 Seitenflächen Risse aufgetreten, welche parallel zu der Längsachse des Gasrohres verliefen. Nach 108 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm.

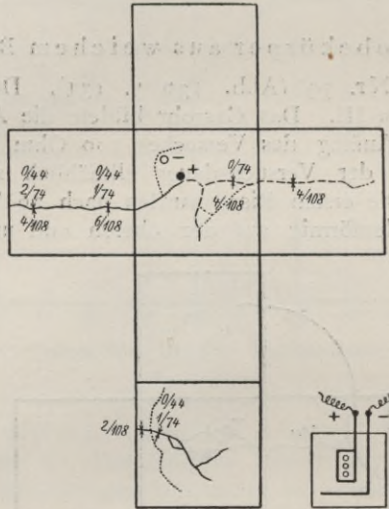


Abb. 132. Probekörper Nr. 133.
 Versuchsdauer: 108 Tage. Kalkwasserlagerung.
 ——— Riß nach 44 Tagen.
 - - - - - " " 74 "
 " " 108 "

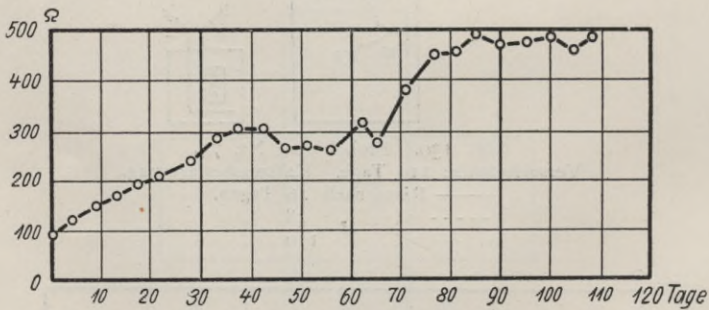


Abb. 133. Probekörper Nr. 133. Versuchsdauer: 108 Tage.

Probekörper Nr. 81 (Abb. 134 u. 135). Der Probekörper Nr. 81 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm während der Versuchsdauer mit einigen Schwankungen allmählich zu. Nach 110 Tagen betrug er 600 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 45 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf der oberen Seite und einer Seitenfläche des Probekörpers in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte die der Anode parallele und benachbarte Seitenfläche einen Riß. Nach 110 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 7 mm.

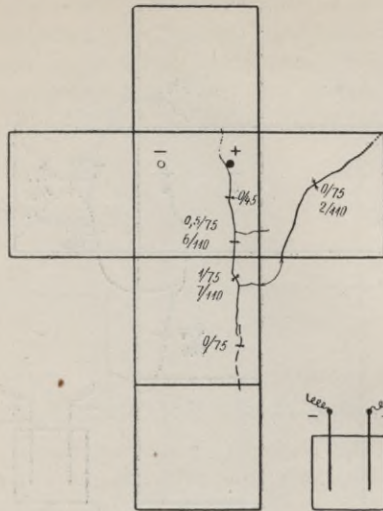


Abb. 134. Probekörper Nr. 81.
Versuchsdauer: 110 Tage. Kalkwasserlagerung.
—— Riß nach 45 Tagen.
- - - " " 75 "
..... " " 110 "

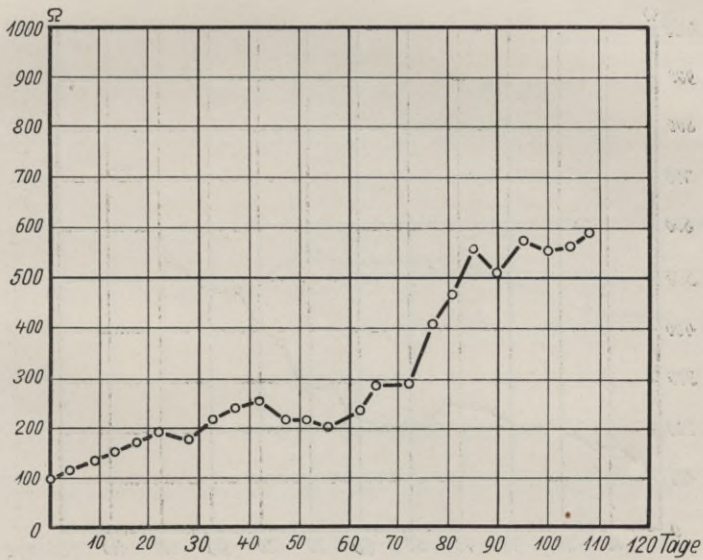


Abb. 135. Probekörper Nr. 81. Versuchsdauer: 110 Tage.

Probekörper Nr. 134 (Abb. 136 u. 137). Der Probekörper Nr. 134 hatte die Elektrodenform IV. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm während der Versuchsdauer mit einigen Schwankungen allmählich zu. Nach 98 Tagen betrug er 550 Ohm. Die ersten Risse wurden nach 44 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf der oberen Seite des Probekörpers und 2 Seitenflächen in der Ebene der Anode ausgebildet. Ferner zeigte das zwischen der Anode und der parallelen benachbarten Seitenfläche gelegene Betonstück infolge der Biegungsbeanspruchung durch die nach und nach eingetretene Verdickung der Elektrode 4 strahlenförmige Risse. Nach 108 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 4 mm.

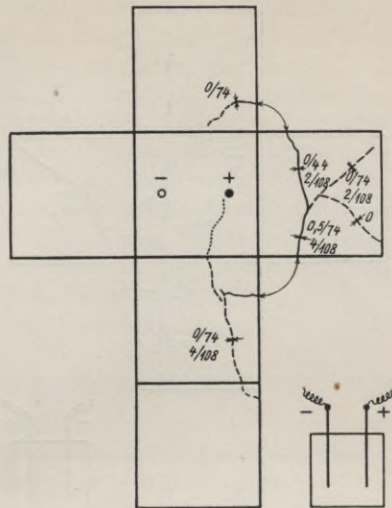


Abb. 136. Probekörper Nr. 134.

Versuchsdauer; 108 Tage.

Kalkwasserlagerung.

- Risse nach 44 Tagen.
 - - - " " 74 "
 " " 108 "

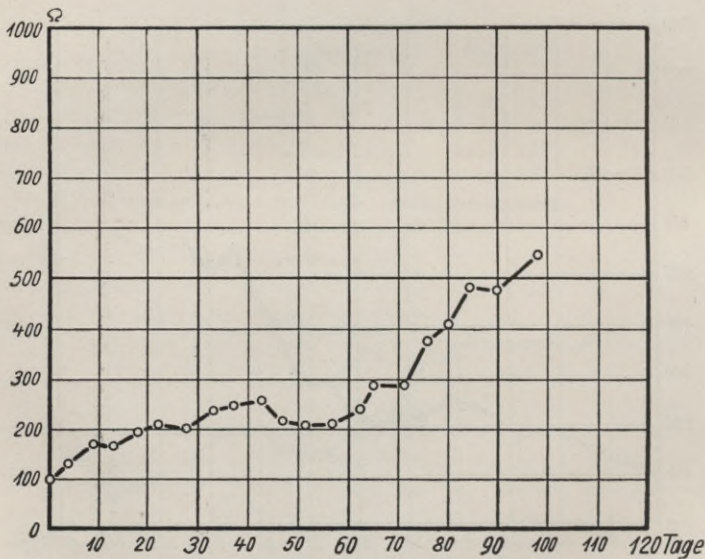


Abb. 137. Probekörper 134. Versuchsdauer: 108 Tage.

Probekörper Nr. 64 (Abb. 138 u. 139). Der Probekörper Nr. 64 hatte die Elektrodenform V. Das im Beton befindliche Gasrohr bildete die Anode. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 120 Ohm und nahm bis zu 90 Tagen zu bis auf 460 Ohm, um danach wieder etwas abzunehmen. Die ersten Risse wurden nach 70 Tagen beobachtet. Die Risse hatten sich auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers und auf 2 Seitenflächen ausgebildet. Nach 215 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 11 mm.

Probekörper Nr. 135 (Abb. 140 u. 141). Der Probekörper Nr. 135 hatte die Elektrodenform V. Das im Beton befindliche Gasrohr bildete die Kathode, während die Anode als Platte in der Flüssigkeit hing, in der der Probe-

körper gelagert wurde. Wie schon früher bemerkt, ist bei dieser Schaltung Anlaß zur Rißbildung nicht vorhanden. Es wurden auch tatsächlich während der Versuchsdauer von 110 Tagen keine Risse beobachtet. Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches 100 Ohm und nahm während der Versuchsdauer nur sehr langsam zu. Nach 110 Tagen betrug er 170 Ohm.

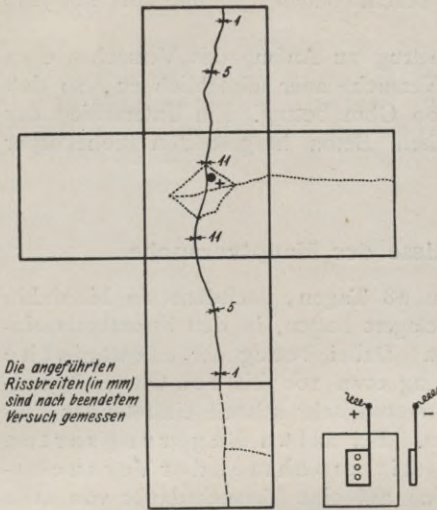


Abb. 138. Probekörper Nr. 64.
Versuchsdauer: 215 Tage.
Kalkwasserlagerung.
— Risse nach 70 Tagen.
- - - " " 198
..... Nachträglich gefundene (20. 6. 10.)
Haarrisse.

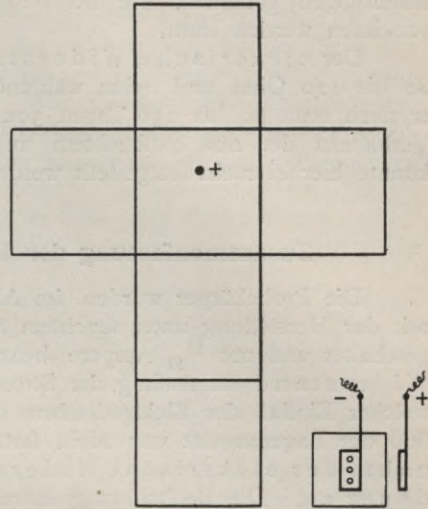


Abb. 140. Probekörper Nr. 135.
Versuchsdauer: 110 Tage.
Kalkwasserlagerung.
Keine Risse; weißes Aussehen.

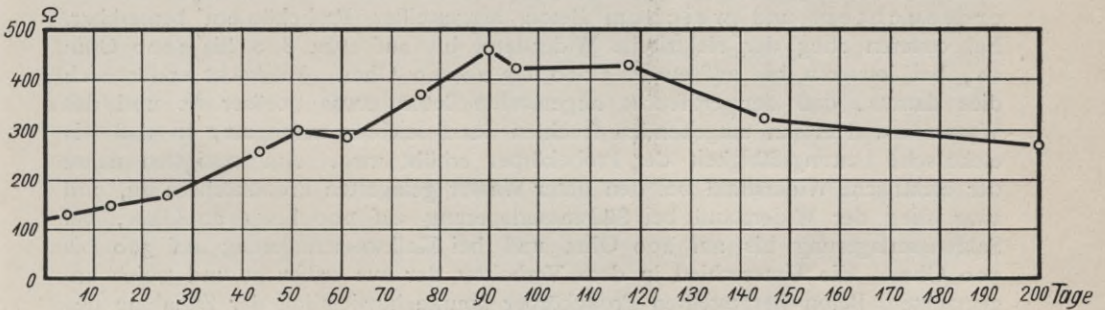


Abb. 139. Probekörper Nr. 64. Versuchsdauer: 215 Tage

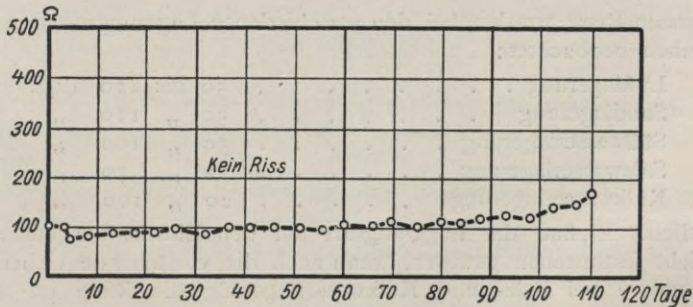


Abb. 141. Probekörper Nr. 135. Versuchsdauer: 110 Tage.

Zusammenfassung.

Die unter Kalkwasser gelagerten Probekörper zeigten bei einer Strombeanspruchung von $\frac{1}{10}$ Amp. die ersten Risse nach rund 20 bis 100 Tagen.

Betreffs der Lage und Ausbildung der Risse bei den Elektrodenformen III, IV und V wurden bei den unter Kalkwasser gelagerten Probekörpern dieselben Erfahrungen gemacht, wie bei den früher beschriebenen, so daß hier auf jene verwiesen werden kann.

Der elektrische Widerstand betrug zu Anfang des Versuches etwa 80 bis 120 Ohm und nahm während der Versuchsdauer allmählich zu, so daß er nach etwa 80 bis 150 Tagen 300 bis 700 Ohm betrug. Ein Unterschied des Verhaltens der aus erdfeuchtem und weichem Beton hergestellten Probekörper konnte hierbei nicht festgestellt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Hauptversuche.

Die Probekörper wurden im Alter von 28 Tagen, nachdem sie bis dahin seit der Herstellung unter feuchtem Sand gelagert hatten, in den Stromkreis eingeschaltet und mit $\frac{1}{10}$ Ampere beansprucht. Dabei betrug der elektrische Widerstand zu Anfang der Strombelastung etwa 100 bis 200 Ohm. Irgendwelcher Einfluß der Elektrodenform oder ein etwa sehr schnell eintretender Einfluß der Lagerungsart war nicht festzustellen. Bei allen Lagerungsarten nahm der elektrische Widerstand mit zunehmender Versuchsdauer zu. Die Beobachtung erstreckte sich auf eine Versuchsdauer von etwa 150 bis 300 Tagen. Diese Zunahme des elektrischen Widerstandes war am größten bei den an der Luft gelagerten Probekörpern, bei denen Werte von etwa 30 000 bis 60 000 Ohm erreicht wurden. Die Zunahme ist durch die Austrocknung der Probekörper infolge der Wärmeentwicklung durch den elektrischen Strom bei der Luflagerung zu erklären. Auch bei den unter feuchtem Sand gelagerten Probekörpern war die Zunahme des elektrischen Widerstandes nicht unerheblich, und zwar machte sich hier ein Unterschied zwischen den aus erdfeuchtem und weichem Beton hergestellten Probekörpern bemerkbar. Bei ersteren stieg der elektrische Widerstand bis auf etwa 800 bis 1100 Ohm an, bei letzteren bis auf etwa 12 000 bis 20 000 Ohm. Vielleicht erklärt sich dies daraus, daß der erdfeucht angemachte Beton etwas poröser ist und das Wasser aus dem ihn umgebenden feuchten Sand leichter aufnimmt, so daß die elektrische Leitungsfähigkeit der Probekörper erhöht wird. Am wenigsten nahm der elektrische Widerstand bei den unter Wasser gelagerten Probekörpern zu, und zwar stieg der Widerstand bei Süßwasserlagerung auf 200 bis 1100 Ohm, bei Salzwasserlagerung bis auf 200 Ohm und bei Kalkwasserlagerung auf 300 bis 700 Ohm. Ein Unterschied in dem Verhalten der aus erdfeucht und weich angemachtem Beton hergestellten Probekörper konnte hinsichtlich der Zunahme des elektrischen Widerstandes mit der Versuchsdauer bei Süß- und Kalkwasserlagerung nicht beobachtet werden.

Die ersten Risse wurden bei den verschiedenen Lagerungsarten nach folgenden Zeiträumen beobachtet:

Luflagerung	50 bis 110 Tage
Sandlagerung	50 „ 110 „
Süßwasserlagerung	50 „ 100 „
Salzwasserlagerung	20 „ 70 „
Kalkwasserlagerung	20 „ 100 „

Ein wesentlicher Einfluß der Lagerungsart auf den Eintritt der ersten Risse ist hiernach nicht festzustellen gewesen, wenn auch die vorstehende Uebersicht zeigt, daß insbesondere bei Salz- und Kalkwasserlagerung die Risse im allgemeinen etwas früher eintraten als bei Sand- und bei Luflagerung.

In keinem Falle wurde beobachtet, daß der Beton durch die Stromwirkung etwa mürbe geworden war, soweit sich letzteres in der üblichen Weise mit Hilfe eines Taschenmessers feststellen ließ.

Die örtliche Lage und die Ausbildung der Risse war bei allen Elektrodenformen unabhängig von der Art der Lagerung der Probekörper. Wurden die Probekörper mit der Elektrodenform III so in den Stromkreis geschaltet, daß das Gasrohr die Anode und die Platten-Elektrode die Kathode bildete, so traten strahlenförmige Risse auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers auf, sowie ferner auf den Seitenflächen Längsrisse, welche parallel zu der Längsachse des Gasrohres verliefen. War dagegen die Schaltung umgekehrt erfolgt, so daß also das Gasrohr die Kathode und die Platten-Elektrode die Anode bildete, so traten die Risse auf den Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der plattenförmigen Anode auf. Dabei zeigte häufig das zwischen der Anode und der unteren Seite des Probekörpers befindliche Betonstück infolge der durch die Verdickung der Anode auftretenden Biegungsspannungen strahlenförmige Risse.

Bei der Elektrodenform IV, bei der sowohl die Anode wie die Kathode aus einer Platte bestand, traten die Risse stets auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers und auf den entsprechenden Seitenflächen in der Ebene der Anode auf. Dabei zeigte auch meist die der Anode parallele und benachbarte Seitenfläche des Probekörpers infolge der durch die eingetretene Verdickung auftretenden Biegungsspannungen Anrisse.

Bei der Elektrodenform V traten nur dann Risse auf, wenn das im Beton befindliche Gasrohr die Anode und die in der Lagerungsflüssigkeit befindliche Platte die Kathode bildete. Die Risse traten hier in gleicher Weise wie bei der entsprechenden Schaltung der Elektrodenform III als strahlenförmige Risse auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers auf, sowie als Risse, welche auf den Seitenflächen parallel zur Längsachse des Gasrohres verliefen. Bildete dagegen das im Beton befindliche Gasrohr die Kathode, so konnte selbst nach längerer Versuchsdauer keine Ribbildung beobachtet werden. Die Anode war bei allen Probekörpern und bei allen Lagerungsarten nach beendigtem Versuche stets stark rostig. Dieser Zustand konnte meist schon bei der starken Ribbildung festgestellt werden, welche die Anode sichtbar machte, ohne daß ein Zerschlagen des Probekörpers erforderlich war. Einige Probekörper wurden völlig zerschlagen und es wurde dabei ebenfalls festgestellt, daß die Anode stets auf ihrer ganzen Oberfläche stark verrostet war. Die Kathode dagegen zeigte stets eine reine Eisenoberfläche.

Ueber die Gründe für die Ribbildung, sowie die Gründe für den vorstehend beschriebenen Verlauf der Risse sind im vorstehenden bereits einige Angaben gemacht. Im folgenden Abschnitt werden dieselben noch ausführlicher behandelt werden.

III. Versuche zur Feststellung der Ursache der Rissbildung.

Die nachstehend beschriebenen Versuche sollten zur Feststellung der Ursache der Ribbildung dienen. Für die Ribbildung konnten 3 Ursachen in Betracht kommen:

1. Der durch die Gasentwicklung an den Elektroden auftretende Innendruck.
2. Spannungen infolge örtlicher Wärmeentwicklung durch den elektrischen Strom.
3. Spannungen infolge Verdickung der Elektroden durch die chemische Veränderung bei der Gasentwicklung, insbesondere durch Rostbildung infolge der an der Anode auftretenden Sauerstoffentwicklung.

Die nachstehenden Versuche mußten naturgemäß mit zahlreichen Abänderungen durchgeführt werden, um die Ursache der Ribbildung einwandfrei festzustellen. Es sei daher hier zunächst der leitende Gedanke bei allen diesen Ver-

suchen und das endgültige Ergebnis der Versuche vorweg beschrieben, weil dadurch die später zu erörternden Einzelversuche und deren Ergebnisse leichter verständlich sein dürften.

Es wurde zunächst eine Reihe von Probewürfeln von 15 cm Kantenlänge angefertigt. Diese Probekörper hatten als Elektrodenform die Grundform III. Einzelne Probekörper besaßen als Rohr-Elektrode das bei den früheren Versuchen verwendete Gasrohr, während bei anderen Probekörpern statt dieses Gasrohres ein Rohr von etwa gleichem Durchmesser aus Kohle bzw. Graphit benutzt wurde. Bildete in diesen Fällen das Rohr die Anode, so traten nur bei den Probekörpern mit Gasrohren Risse auf, dagegen nicht bei den Probekörpern mit Kohlerohren. Hieraus ist zu schließen, daß weder der an der Rohrelektrode infolge der Gasentwicklung auftretende Innendruck, noch etwa örtliche Wärmeentwicklung, welche sowohl bei der Kohlen- wie bei der Eisen-Elektrode hätte gleich sein müssen, die Ursache der Ribbildung sein kann. Es kann für die Ribbildung vielmehr nur eine Ursache in Betracht kommen, die der Eisen-Elektrode eigentümlich ist. Als solche wurde die Verdickung der Eisen-Elektrode infolge der durch die Sauerstoffentwicklung bedingten Rostbildung erkannt. Bei den unter Salzwasser gelagerten Probekörpern ist die Rostbildung eine sekundäre Erscheinung. Die Wirkung ist die gleiche wie bei den an der Luft, unter feuchtem Sand, unter Süßwasser oder unter Kalkwasser gelagerten Probekörpern. Bemerkt sei hierzu, daß sowohl bei diesen Versuchen, wie auch bei allen früheren Versuchen Risse niemals von der Kathode ausgingen, bei der infolge der dort auftretenden Wasserstoffentwicklung keine Rostbildung und daher keine Verdickung eintrat.

Ferner wurde bei einem Teil der eben genannten Probekörper die Platten-Elektrode unterhalb des Gasrohres entweder als Eisenblech-Elektrode oder als Kohlenplatten-Elektrode ausgebildet. Erfolgte die Schaltung der Probekörper so, daß diese Platten-Elektrode die Anode bildete, so traten Ribbildungen wiederum nur bei den Eisenplatten-Elektroden auf, jedoch nicht bei den Kohlenplatten-Elektroden. Der Grund hierfür ist derselbe wie vorstehend angegeben.

Sodann wurde eine Reihe von Probekörpern von 15 · 15 · 30 cm Kantenlänge ausgeführt. Diese Probekörper sind nachstehend als sogenannte Doppelwürfel bezeichnet. Bei der Ausführung dieser Probekörper lag der Gedanke zugrunde, in dem gleichen Probekörper 2 Rohr-Elektroden entsprechend der Elektrodengrundform III unterzubringen, und zwar bestand die eine Rohr-Elektrode aus Eisen und die andere Rohr-Elektrode aus Kohle. Es wurde bei diesen Körpern beobachtet, daß die Ribbildung stets nur von der Eisen-Elektrode ausging, und zwar nur dann, wenn die Eisen-Elektrode die Anode bildete. Es zeigten also auch diese Versuche, daß für die Ribbildung nicht innerer Gasdruck oder örtliche Wärmespannungen, sondern nur eine der Eisen-Elektrode eigentümliche Ursache, d. h. also die Rostbildung in Betracht kommt.

Die bisher genannten Versuche wurden an Würfeln bzw. Prismen mit einem quadratischen Querschnitt von 15 cm Kantenlänge ausgeführt. Um festzustellen, ob nicht etwa bei diesen Versuchen die geringen Abmessungen der Probekörper gegenüber den Abmessungen der Probekörper bei den Hauptversuchen einen Einfluß auf die Ribbildung gehabt hätten, wurden auch noch einige Würfel von 30 cm Kantenlänge mit der Elektrodengrundform III unter teilweiser Verwendung von Kohle-Elektroden hergestellt. Es ergab sich auch hier, daß die Risse niemals von der Anode ausgingen, wenn diese durch ein Kohlenrohr bzw. eine Kohlenplatte gebildet wurde.

Zum Schluß wurden noch einige Versuche mit Druckluft ausgeführt. Zu diesem Zweck wurde in Probewürfeln von 15 und 30 cm Kantenlänge ein ein- bzw. zweizölliges Gasrohr einbetoniert. Dieses Gasrohr besaß, soweit es sich in Beton befand, auf seiner Oberfläche eine Anzahl von Bohrungen. Auf das freie aus dem Betonkörper herausstehende Ende des Gasrohres war ein Gewinde zum Anschluß an eine Druckluftleitung aufgeschnitten. Der Innenraum des Gasrohres war nicht mit Beton ausgefüllt. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß

schon ein sehr geringer Druck genügt, um das Entweichen der durch das Gasrohr zugeführten Druckluft zwischen dem Gasrohr und dem Beton bzw. durch den Beton hindurch nach der Oberfläche des Probekörpers hin zu bewirken. Es ist auch hieraus zu schließen, daß der durch die elektrolytischen Wirkungen des Stromes auftretende Gasdruck nicht die Ursache für die Ribbildung sein kann.

Aus allem folgt, daß die Ribbildung darauf zurückzuführen ist, daß bei Eisen-Elektroden die an der Anode auftretende Rostbildung und die damit zusammenhängende Anschwellung an der Anode Sprengwirkung ausübt.

A. Würfel von 15 cm Kantenlänge.

Probekörper Nr. 1 bis 13.

Alle Probekörper waren unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 hergestellt. Bei den Probekörpern Nr. 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11 und 12 war der Beton erdfeucht, bei den Probekörpern Nr. 5, 7 und 13 weich angemacht. Die Rohr- und Platten-Elektroden der Probekörper bestanden zum Teil wie bei den Hauptversuchen aus Eisen, zum Teil jedoch aus Kohle. Als Kohle wurde die für galvanische Elemente und ähnliche Zwecke benutzte Retortenkohle oder Graphit verwendet. Alle Probekörper mit Ausnahme des Probekörpers Nr. 10, welcher der Strombeanspruchung überhaupt nicht ausgesetzt wurde und bei dem lediglich der Einfluß des Betons auf die Kohlen-Elektrode festgestellt werden sollte, wurden an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Mit Ausnahme des Probekörpers Nr. 10, welcher unter Süßwasser gelagert wurde, lagerten alle Probekörper während der Strombelastung an der Luft.

Probekörper Nr. 1 (Abb. 142 u. 143). Der Probekörper Nr. 1 besaß die in Abb. 142 dargestellte Elektrodenform. Die Rohr-Elektrode bestand aus einem in der Längsrichtung durchbohrten Kohlenrohr von 30 mm Durchmesser und bildete die Anode. Die Kathode bestand aus einer 2 mm dicken Eisenblechplatte. Zu Beginn der Strombelastung nahm der Probekörper bei einer Klemmspannung von 140 Volt zunächst 0,45 Amp. auf. Entsprechend der Austrocknung des Probekörpers wurde sein elektrischer Widerstand

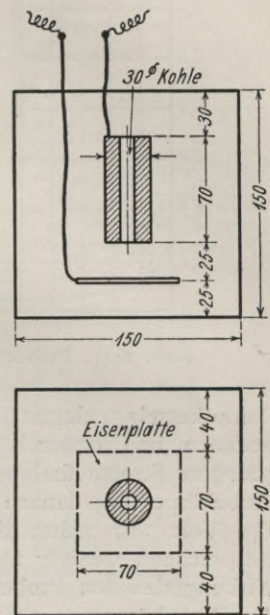


Abb. 142.

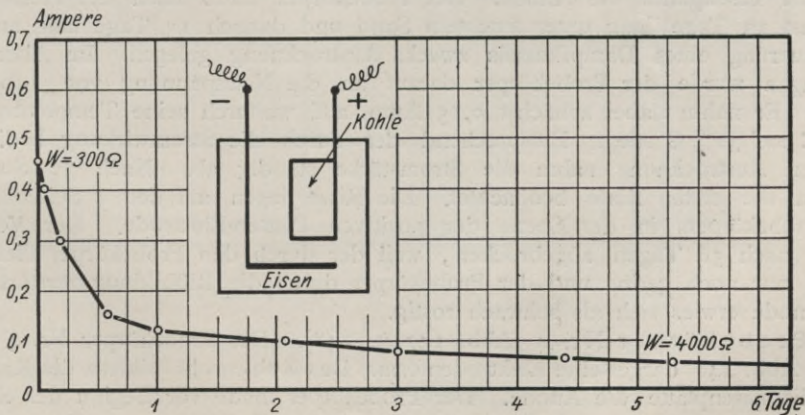


Abb. 143. Probekörper Nr. 1. Versuchsdauer: 72 Tage. Dauernd 140 Volt. Dann 47 Tage ohne Strom unter Wasser.

andauernd größer, so daß bei der gleichbleibenden Klemmspannung die Stromstärke dauernd geringer wurde (Abb. 143). Während der Versuchsdauer von 72 Tagen wurde keine Ribbildung beobachtet. Nachdem der Probekörper 72 Tage an der Luft gelagert und an der Netzspannung von 140 Volt gelegen hatte, wurde er noch 47 Tage lang ohne Strombeanspruchung unter Süßwasser gelagert, um die hierdurch etwa eintretende Beeinflussung der Kohle festzustellen. Der Probekörper wurde danach zerschlagen, und es zeigte sich, daß die Kohlen-Elektrode mürbe war.

Probekörper Nr. 2 (Abb. 144). Der Probekörper Nr. 2 besaß die in Abb. 142 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete die Anode, die Eisenplatte die Kathode. Der Probekörper war nach der Herstellung 16 Tage unter feuchtem Sand und im Anschluß daran 12 Tage auf der Ummauerung eines

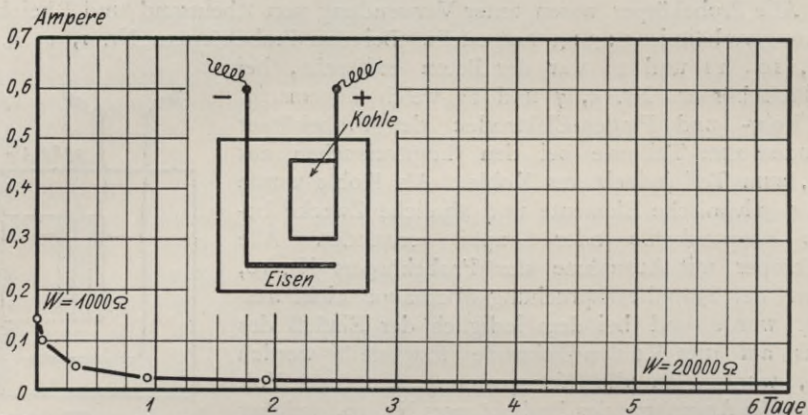


Abb. 144. Probekörper Nr. 2. Versuchsdauer: 72 Tage. Dauernd 140 Volt.

Dampfkessels gelagert worden. Letzteres bezweckte, den Probekörper auszutrocknen und dadurch infolge der Zunahme des elektrischen Widerstandes eine geringere Stromaufnahme bei der Netzspannung von 140 Volt zu bewirken. Der Probekörper lag danach 72 Tage lang bei Luftlagerung an der Netzspannung von 140 Volt. Er nahm dabei zunächst 0,15 Amp. und später nach Austrocknung entsprechend weniger Strom auf. Zu Beginn der Strombelastung trat infolge der Wirkung des den Probekörper durchfließenden Stromes zunächst eine Erwärmung des Probekörpers von 18°C auf 27°C ein. Ribbildung wurde nicht beobachtet.

Probekörper Nr. 3 (Abb. 145 u. 146). Der Probekörper Nr. 3 hatte die in Abb. 142 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete die Kathode und die Eisenplatte die Anode. Der Probekörper hatte nach der Herstellung zunächst 13 Tage lang unter feuchtem Sand und danach 15 Tage lang auf der Ummauerung eines Dampfkessels zwecks Austrocknung gelegen. Im Alter von 29 Tagen wurde der Probekörper darauf an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,15 Amp. auf, wodurch seine Temperatur von 20°C auf 32°C stieg. Entsprechend der durch die Stromwirkung bedingten weiteren Austrocknung nahm die Stromstärke ständig ab. Nach 30 Stunden wurden die ersten Risse beobachtet. Die Risse lagen auf den 4 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode. Der Versuch wurde nach 56 Tagen abgebrochen, weil der durch den Probekörper fließende Strom nur noch gering und der Probekörper durch die Ribbildung zerstört war. Die Anode erwies sich als schwach rostig.

Probekörper Nr. 4 (Abb. 147 u. 148). Der Probekörper Nr. 4 hatte die in Abb. 142 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete die Kathode und die Eisenplatte die Anode. Der Probekörper hatte vor Beginn der Strombelastung 28 Tage unter feuchtem Sand und danach bis zum 53. Tage an der

Luft gelagert. Im Alter von 53 Tagen wurde er an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei 0,16 Amp. auf. Infolge der Wirkung dieser Stromstärke stieg die Temperatur dieses Probekörpers von 18° C auf 32° C.

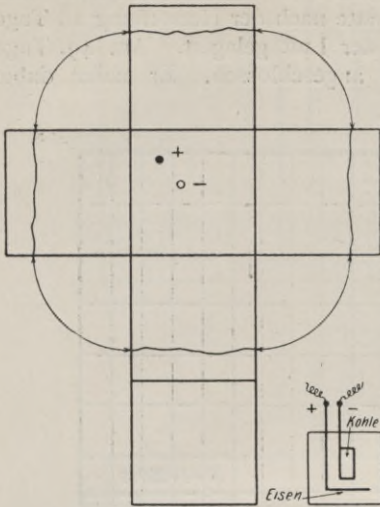


Abb. 145. Probekörper Nr. 3.
Versuchsdauer: 56 Tage. Luftlagerung.
Riß nach 30 Stunden.

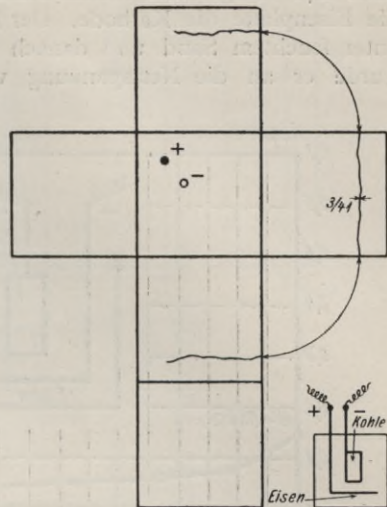


Abb. 147. Probekörper Nr. 4.
Versuchsdauer: 41 Tage. Luftlagerung.
Risse nach 30 Stunden.

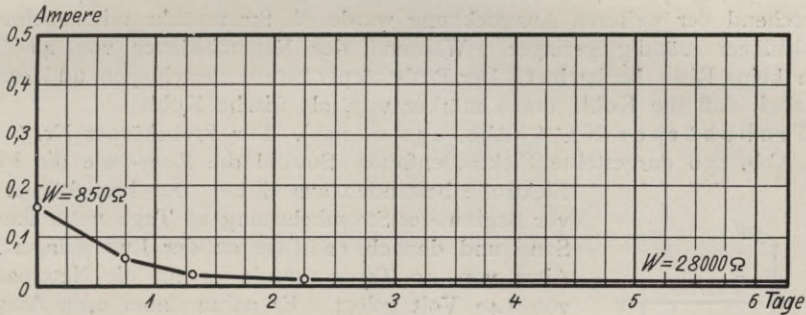


Abb. 146. Probekörper Nr. 3. Versuchsdauer: 56 Tage. Dauernd 140 Volt.

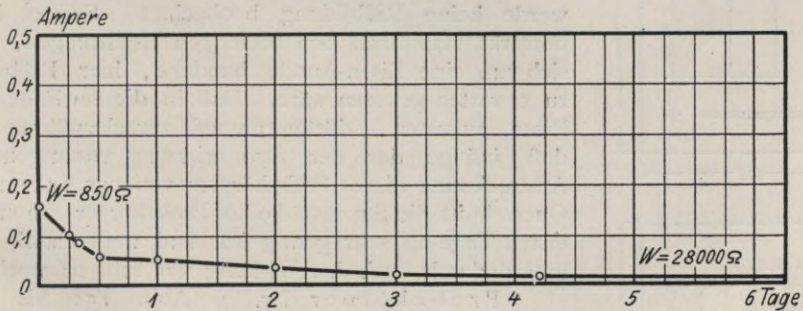


Abb. 148. Probekörper Nr. 4. Versuchsdauer: 41 Tage. Dauernd 140 Volt.

Infolge der durch die Stromwirkung bedingten Austrocknung und Erhöhung des elektrischen Widerstandes nahm die Stromstärke allmählich ab. Die ersten Risse wurden nach 30 Stunden beobachtet. Die Risse lagen auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode. Die Strombelastung

wurdt 41 Tage fortgesetzt. Zu dieser Zeit hatten die Risse eine Breite bis zu 3 mm angenommen.

Probekörper Nr. 5 (Abb. 149). Der Probekörper Nr. 5 hatte die in Abb. 142 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete die Anode und die Eisenplatte die Kathode. Der Probekörper hatte nach der Herstellung 28 Tage unter feuchtem Sand und danach 21 Tage an der Luft gelagert. Am 49. Tage wurde er an die Netzspannung von 140 Volt angeschlossen. Er nahm dabei

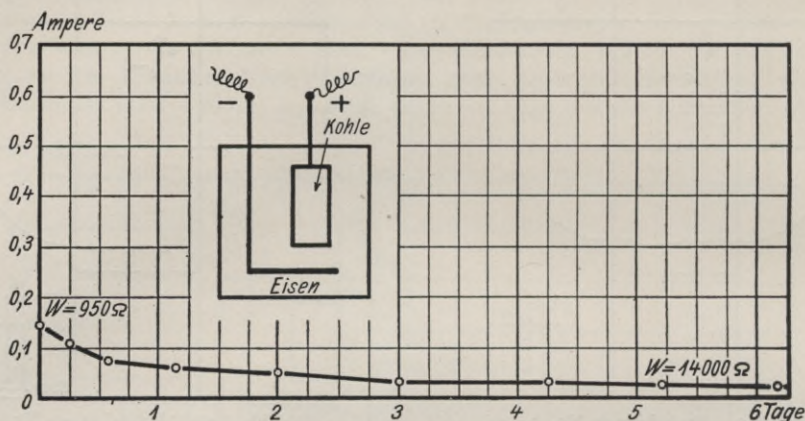


Abb. 149. Probekörper Nr. 5. Versuchsdauer: 41 Tage. Dauernd 140 Volt.

zunächst 0,14 Amp. auf, wodurch eine Erwärmung von 18°C auf 35°C eintrat. Entsprechend der weiteren Austrocknung wurde die Stromstärke mit zunehmender Versuchsdauer ständig geringer. Während der Versuchsdauer von 41 Tagen wurden keine Risse beobachtet. Der Probekörper wurde zerschlagen und es zeigte sich dabei, daß die Kohle etwas mürber war, als frische Kohle.

Probekörper Nr. 6 (Abb. 150 u. 151). Der Probekörper Nr. 6 besaß die in Abb. 150 dargestellte Elektrodenform. Sowohl die Rohr- wie die Platten-

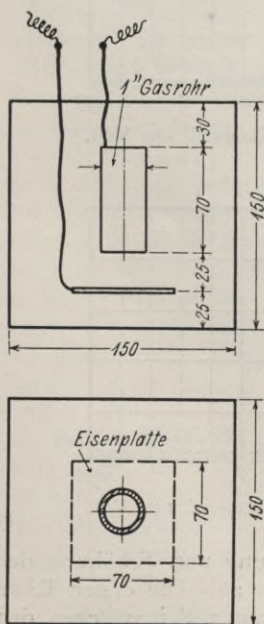


Abb. 150.

Elektrode bestanden aus Eisen. Der Probekörper hatte vor Beginn der Strombelastung 28 Tage unter feuchtem Sand und danach 12 Tage an der Luft gelagert. Im Alter von 40 Tagen wurde er an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei 0,09 Amp. auf und erwärmte sich infolge der Stromwirkung von 18°C auf 30°C . Während der Versuchsdauer von 41 Tagen wurde keine Ribbildung beobachtet. Es sei hierzu bemerkt, daß nach den bisherigen Erfahrungen, da es sich um eine Eisen-Anode handelte, hier Ribbildung zu erwarten gewesen wäre. Daß in diesem Falle keine Risse auftraten, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß infolge der der Stromwirkung vorausgehenden Austrocknung dieses Probekörpers von nur 15×15 cm Querschnitt die Stromstärke im Probekörper schon vom ersten Tage ab sehr gering war und weiter stark abfiel und dadurch auch ihre Wirkung nur sehr schwach war.

Probekörper Nr. 7 (Abb. 152 bis 154). Der Probekörper Nr. 7 hatte die in Abb. 150 dargestellte Elektrodenform. Beide Elektroden bestanden aus Eisen. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der Probekörper wurde nach seiner Herstellung 28 Tage unter feuchtem Sand und danach 10 Tage an der Luft gelagert. Im Alter von 38 Tagen wurde er an die

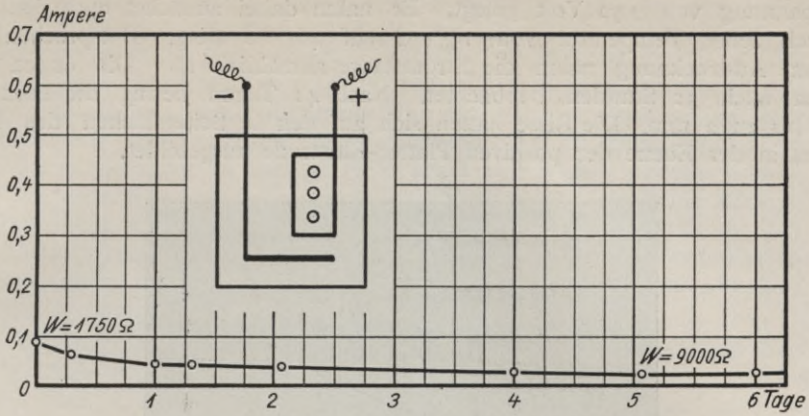


Abb. 151. Probekörper Nr. 6. Versuchsdauer: 41 Tage.
Dauernd 140 Volt.

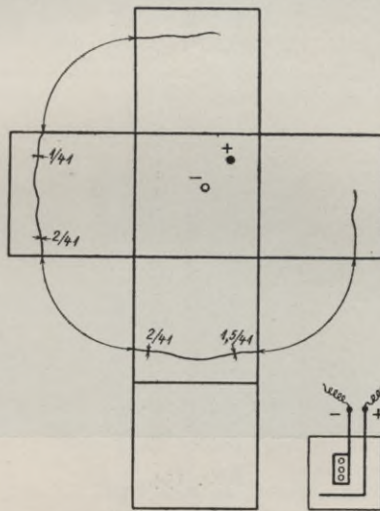


Abb. 152. Probekörper Nr. 41.
Versuchsdauer: 41 Tage.
Luftlagerung.
Risse nach 32 Stunden.

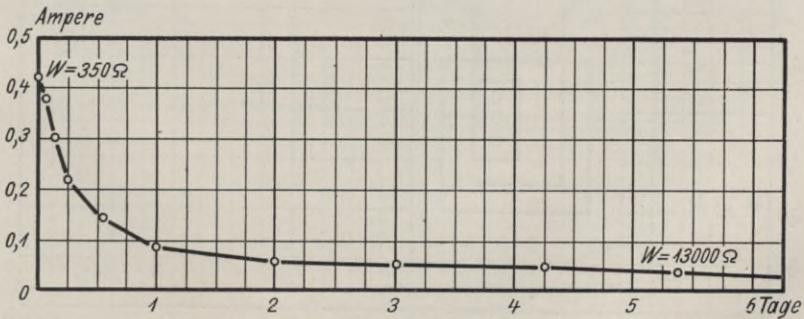


Abb. 153. Probekörper Nr. 7. Versuchsdauer: 41 Tage. Dauernd 140 Volt.

Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,42 Amp. auf, wodurch seine Temperatur von 19° C auf 46° C stieg. Entsprechend der weiteren Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Die ersten Risse wurden nach 32 Stunden beobachtet. Nach 41 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm. Die Risse hatten sich auf den 4 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet.

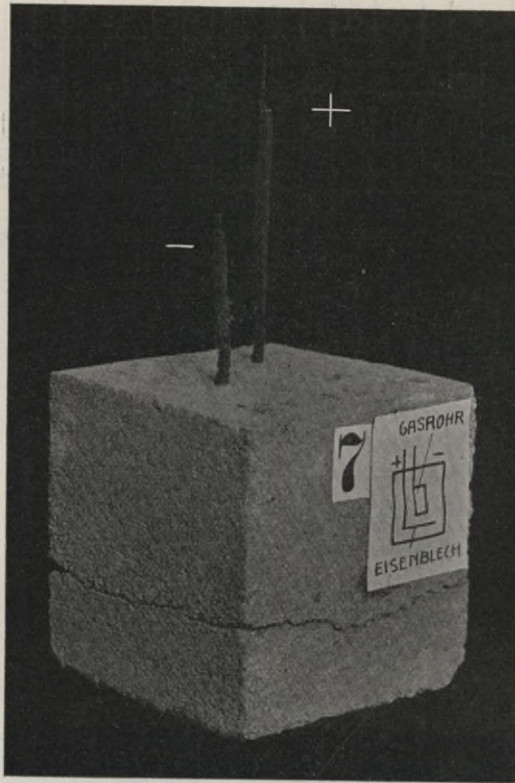


Abb. 154.

Probekörper Nr. 8 (Abb. 155). Der Probekörper Nr. 8 hatte die in Abb. 150 dargestellte Elektrodenform. Beide Elektroden waren aus Eisen. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der Probekörper hatte 22 Tage nach der

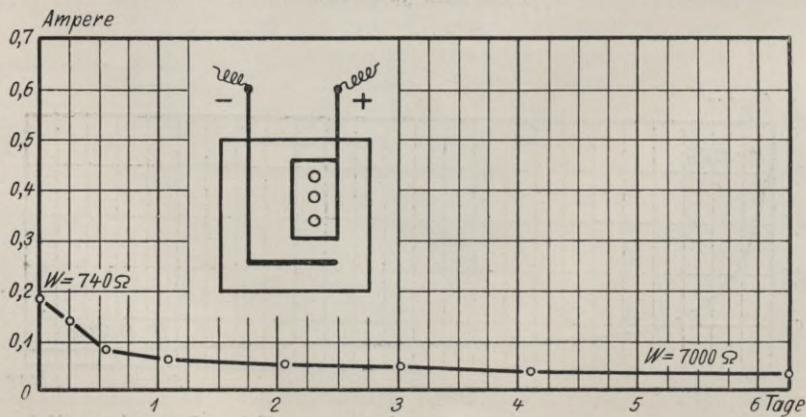


Abb. 155. Probekörper Nr. 8. Versuchsdauer: 75 Tage. Dauernd 140 Volt.

Herstellung unter feuchtem Sand und danach 14 Tage auf der Ummauerung eines Dampfkessels gelegen. Im Alter von 36 Tagen wurde er an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,18 Amp. auf, wodurch seine Temperatur von 19° C auf 40° C stieg. Entsprechend der allmählichen Austrocknung nahm die Stromstärke dauernd ab. Risse wurden während der Versuchsdauer von 75 Tagen nicht beobachtet. Es sei hierzu bemerkt, daß nach dem früher Gesagten in diesem Falle Risse zu erwarten gewesen wären, da es sich um eine Eisen-Anode handelte. Wenn auch hier keine Risse eintraten, so erklärt sich dies hier ebenfalls wie bei Probekörper Nr. 6 dadurch, daß infolge der Austrocknung des Probekörpers bereits nach eintägiger Strombeanspruchung die Stromstärke nur noch 0,08 Amp. betrug und dauernd weiter abnahm, so daß also die Wirkung des Stromes sehr gering war.

Probekörper Nr. 9 (Abb. 156 u. 157). Der Probekörper Nr. 9 hatte die in Abb 150 dargestellte Elektrodenform. Beide Elektroden bestanden aus Eisen. Das Gasrohr bildete die Kathode. Der Probekörper hatte nach der

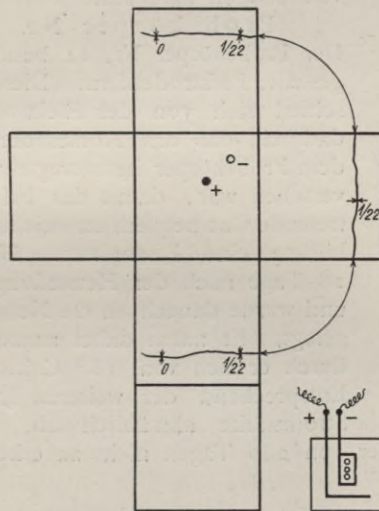


Abb. 156. Probekörper Nr. 9.
Versuchsdauer: 22 Tage. Luftlagerung.
Risse nach 32 Stunden.

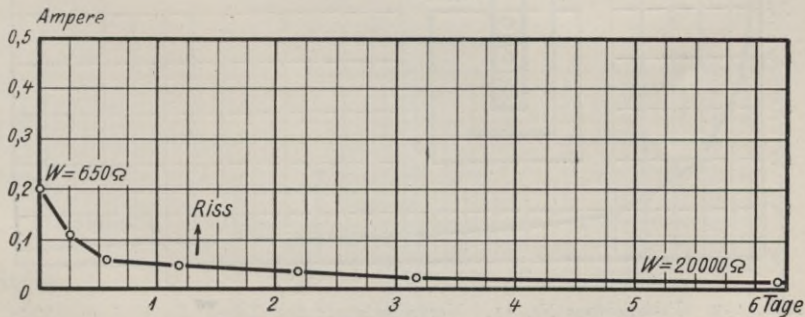


Abb. 157. Probekörper Nr. 9. Luftlagerung. Risse nach 32 Stunden.

Herstellung 21 Tage unter feuchtem Sand und danach 14 Tage auf dem Mauerwerk eines Dampfkessels gelegen. Im Alter von 35 Tagen wurde er an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,2 Amp. auf, wodurch er sich von 19° C auf 36° C erwärmte. Entsprechend der weiter

fortschreitenden Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Die ersten Risse wurden nach 32 Stunden beobachtet. Die Risse hatten sich auf 3 Seitenflächen des Probekörpers in der Ebene der positiven Platten-Elektrode ausgebildet. Nach 22 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 1 mm. Wenn hier im Gegensatz zu den Probekörpern Nr. 6 und 8 Risse trotz gleicher Austrocknung und geringer Stromstärke auftraten, so dürfte dieses auf die die Reißbildung mehr begünstigende Platten-Elektrode zurückzuführen sein.

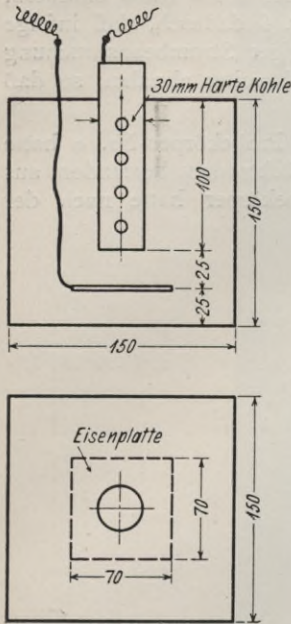


Abb. 158.

Probekörper Nr. 10. Der Probekörper Nr. 10 besaß nur ein einbetoniertes Kohlenrohr. Er lagerte 28 Tage nach der Herstellung unter feuchtem Sand und danach ohne Strombeanspruchung unter Süßwasser. Der Versuch sollte dazu dienen, festzustellen, ob unter diesen Umständen der Beton die Kohle verändert. Es ergab sich, daß nach 50 tägiger Lagerung unter Süßwasser ein Angriff der Kohle nicht zu erkennen, und daß ferner ihre Oberfläche vollkommen hart war.

Probekörper Nr. 11 (Abb. 158 u. 159). Der Probekörper Nr. 11 besaß die in Abb. 158 dargestellte Elektrodenform. Diese Elektrodenform unterschied sich von der Elektrodenform der Abb. 142 dadurch, daß das Kohlenrohr bei dieser Form aus dem Probekörper herausragte und mit Querbohrungen versehen war, damit das bei der Stromwirkung auftretende Gas bequem entweichen konnte. Die Kathode bildete eine Eisenplatte. Der Probekörper lagerte 28 Tage nach der Herstellung unter feuchtem Sand und wurde danach an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,7 Amp. auf, wodurch er sich von 18° C bis auf 59° C erwärmte. Entsprechend der weiteren Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Eine Reißbildung war

während der Versuchsdauer von 240 Tagen nicht zu erkennen.

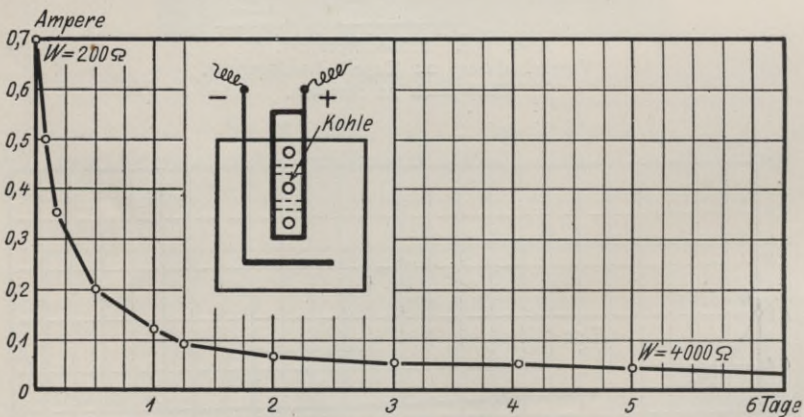


Abb. 159. Probekörper Nr. 11. Versuchsdauer: 240 Tage. Dauernd 140 Volt.

Probekörper Nr. 12 (Abb. 160). Der Probekörper Nr. 12 hatte ebenfalls die in Abb. 158 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete wieder die Anode und die Eisenplatte die Kathode. Der Probekörper lagerte 28 Tage nach der Herstellung unter feuchtem Sand und wurde danach an die Klemmspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm zunächst 0,42 Amp. auf, wodurch er

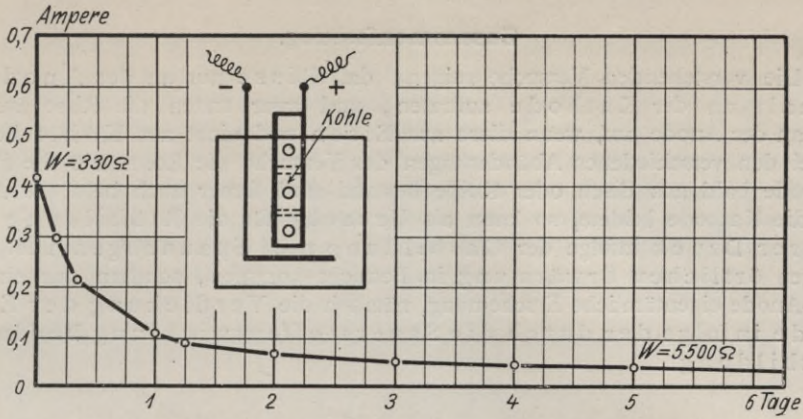


Abb. 160. Probekörper Nr. 12. Versuchsdauer: 240 Tage. Dauernd 140 Volt.

sich von 18°C bis auf 51°C erwärmte. Entsprechend der weiteren Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Während der Versuchsdauer von 240 Tagen konnte keine Rißbildung beobachtet werden.

Probekörper Nr. 13 (Abb. 161 u. 162). Der Probekörper Nr. 13 hatte die in Abb. 161 dargestellte Elektrodenform. Die Kathode bildete ein Gasrohr und die Anode eine Kohlenplatte. Der Probekörper lagerte 28 Tage nach der Herstellung unter feuchtem Sand und wurde danach an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Er nahm dabei zunächst 0,72 Amp. auf, wodurch er sich von 18°C auf 57°C erwärmte. Entsprechend der weiteren Austrocknung wurde die Stromstärke geringer. Während der Versuchsdauer von 220 Tagen konnten keine Risse beobachtet werden.

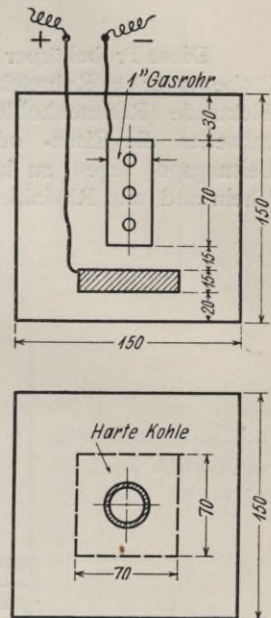


Abb. 161.

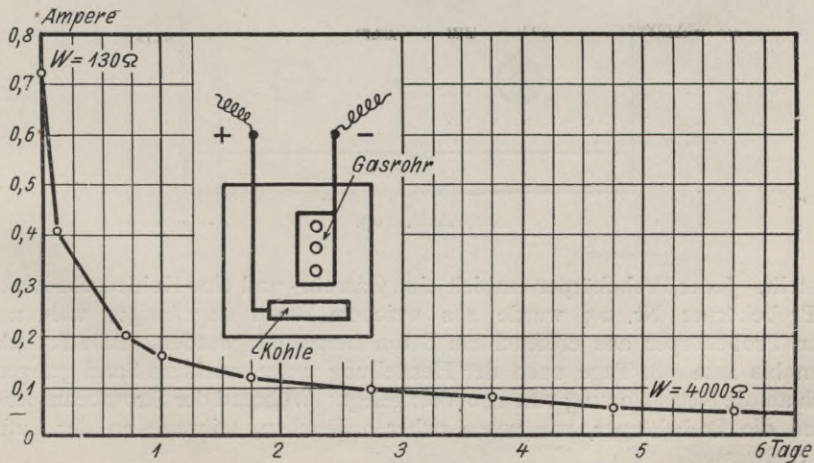


Abb. 162. Probekörper Nr. 13. Versuchsdauer: 220 Tage. Dauernd 140 Volt.

Zusammenfassung.

Die vorstehenden Versuche zeigen, daß Risse nur an der Anode und niemals an der Kathode auftraten, und zwar traten die Risse auch nur dann an der Anode auf, wenn diese aus Eisen und nicht aus Kohle bestand. Da bei den verschiedenen Abänderungen der Versuche die Rohr- wie die Platten-Elektrode bald aus Eisen oder Kohle bestand und ferner auch bald die Anode, bald die Kathode bildete, so kann als Ursache für die Ribbildung weder innerer Druck infolge der Gasbildung noch Spannungen infolge der geringen örtlichen Erwärmung in Betracht kommen, sondern nur eine der Eisen-Anode eigentümliche Erscheinung, nämlich die Verdickung der Eisen-Anode infolge der durch die Sauerstoffentwicklung bedingten Rostbildung.

B. Prismen von $15 \times 15 \times 30$ cm Kantenlänge (Doppelwürfel).

Probekörper Nr. 01 bis 07.

Diese Probekörper wurden aus dem Grunde angefertigt, um in dem gleichen Probekörper 2 Rohrelektroden und zwar eine Eisen-Elektrode und eine Kohlen-Elektrode (Retortenkohle) unter möglichst gleichen Bedingungen anzuordnen, um entweder die Eisen- oder Kohlen-Elektrode an den positiven bzw. negativen Leitungspol legen zu können. Alle Probekörper wurden unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies aus Beton im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 nach Abb. 163

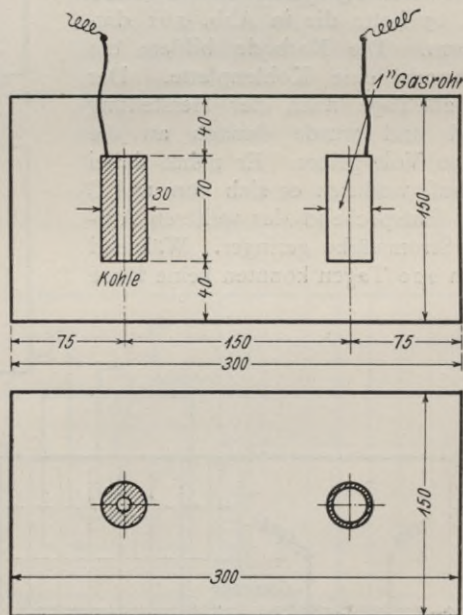


Abb. 163.

hergestellt. Jeder Probekörper enthielt eine Gasrohr- und eine Kohlenrohr-Elektrode. Der Probekörper Nr. 03 wurde aus weichem Beton angefertigt, während alle übrigen Probekörper aus erdfuchtem Beton hergestellt wurden. Alle Probekörper wurden bis zum 28. Tage nach der Herstellung unter feuchtem Sand gelagert und danach an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Während der Strombeanspruchung lagerten die Probekörper, wie unten näher angegeben, teilweise an der Luft oder unter Süßwasser.

Probekörper Nr. 01 (Abb. 164). Bei dem Probekörper Nr. 01 bildete die Kohle die Anode und das Gasrohr die Kathode. Der Probekörper wurde zunächst während der Strombeanspruchung 53 Tage lang an der Luft gelagert. Die Stromstärke betrug hierbei zu Beginn des Versuchs 0,2 Amp., wobei sich der Probekörper von 20° C auf 31° C erwärmte. Infolge der Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Nachdem der Probekörper 53 Tage an der Luft der Stromwirkung ausgesetzt worden war, wurde er 15 Tage lang unter Süßwasser vom Strom durchflossen. Hierbei betrug die Stromstärke etwa 0,3 bis 0,15 Amp. Risse traten bei der 68 tägigen Versuchsdauer nicht auf.

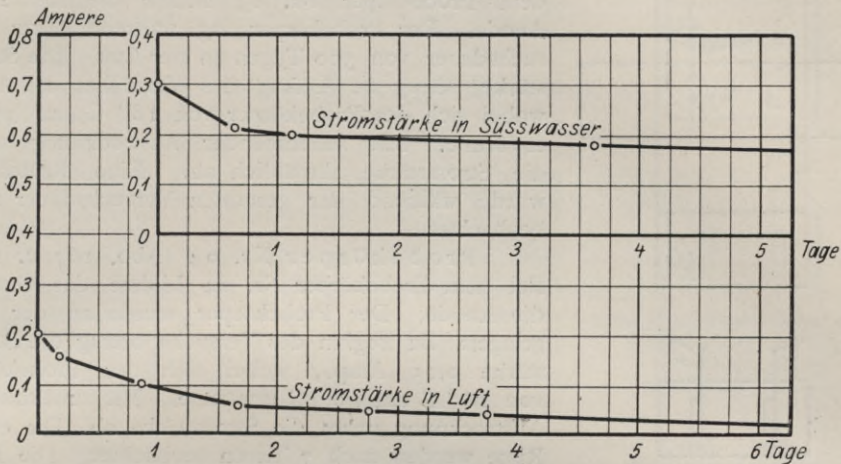


Abb. 164. Probekörper Nr. 01. Versuchsdauer: 68 Tage.
(In Luft 53 Tage, in Süßwasser 15 Tage.)

Probekörper Nr. 02 (Abb. 165). Bei dem Probekörper Nr. 02 bildete das Gasrohr die Anode. Der Probekörper wurde während der Strombeanspruchung zunächst 53 Tage an der Luft gelagert. Die Stromstärke betrug zu Anfang des Versuchs 0,2 Amp., wobei sich der Probekörper von 19° C auf 35° C erwärmte.

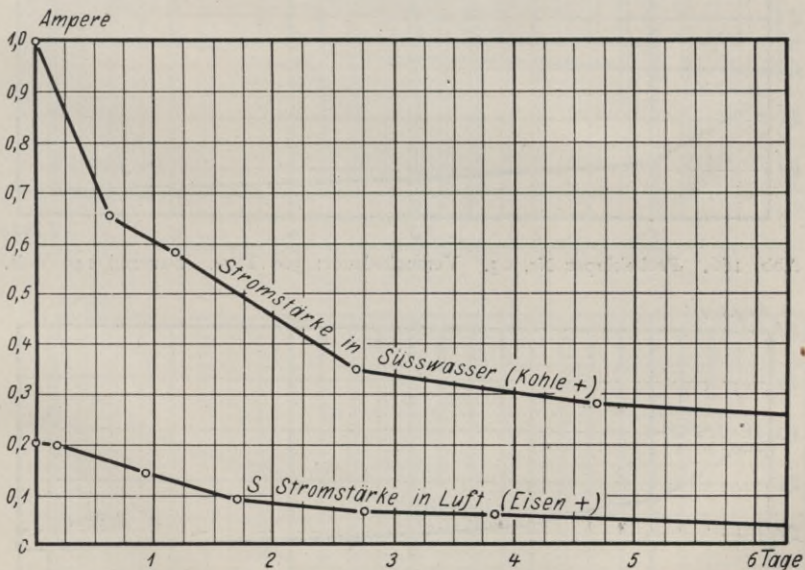


Abb. 165. Probekörper Nr. 02. Versuchsdauer: 100 Tage.
(53 Tage an Luft, 47 Tage an Süßwasser.) Dauernd 140 Volt.

Infolge weiterer Austrocknung des Probekörpers nahm die Stromstärke schnell ab, eine Rißbildung trat deshalb nicht ein. Am 53. Tage wurde der Probekörper unter Süßwasser gelagert und weiter vom Strom beansprucht. Gleichzeitig wurden die Pole des Probekörpers vertauscht, so daß jetzt die Kohle die Anode bildete. Infolge des geringen elektrischen Widerstandes bei der Süßwasserlagerung ging jetzt durch den Probekörper zunächst ein Strom von 1 Amp., der bei weiterer Versuchsdauer allmählich abnahm. Risse traten während der 100-tägigen Versuchsdauer nicht auf.

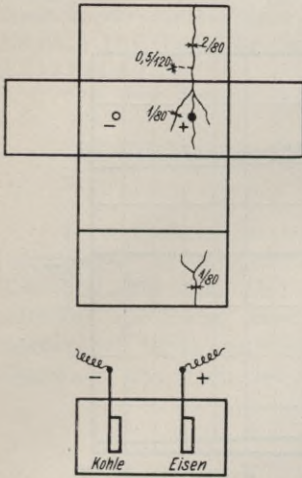


Abb. 167. Probekörper Nr. 04.
 Versuchsdauer: 300 Tage.
 Luftlagerung.
 — Risse nach 7 Tagen.
 - - - - - " " 120 "

Probekörper Nr. 03 (Abb. 166). Bei dem Probekörper Nr. 03 bildete die Kohle die Anode. Der Probekörper lag während einer Versuchsdauer von 300 Tagen an der Luft. Die Stromstärke betrug zu Anfang des Versuches 0,2 Amp., wobei sich der Probekörper von 18° C auf 36° C erwärmte. Mit zunehmender Austrocknung nahm die Stromstärke allmählich ab. Eine Rißbildung wurde während der gesamten Versuchsdauer nicht beobachtet.

Probekörper Nr. 04 (Abb. 167 u. 168). Bei dem Probekörper Nr. 04 bildete das Gasrohr die Anode. Der Probekörper wurde an der Luft gelagert. Zu Beginn des Versuchs betrug die Stromstärke 0,25 Amp., wobei sich der Probekörper von 18° C auf 40° C erwärmte. Mit zunehmender Austrocknung nahm die Stromstärke ab. Die ersten Risse wurden nach 7 Tagen beobachtet. Die Risse lagen auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers, sowie auf einer Seitenfläche in der Längsebene der eisernen Rohr-Elektrode. Nach 80 Tagen betrug die Breite der Risse bis zu 2 mm.

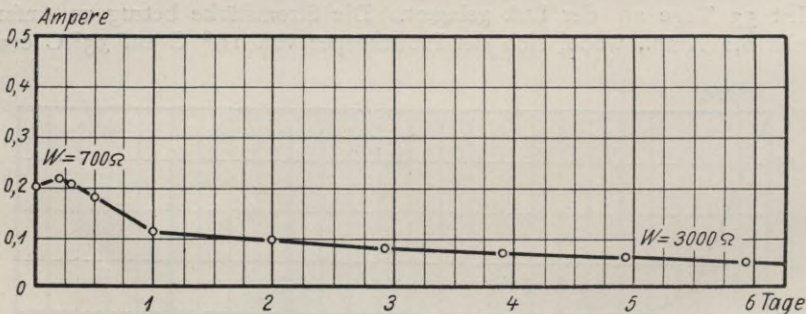


Abb. 166. Probekörper Nr. 03. Versuchsdauer: 300 Tage. Dauernd 140 Volt.

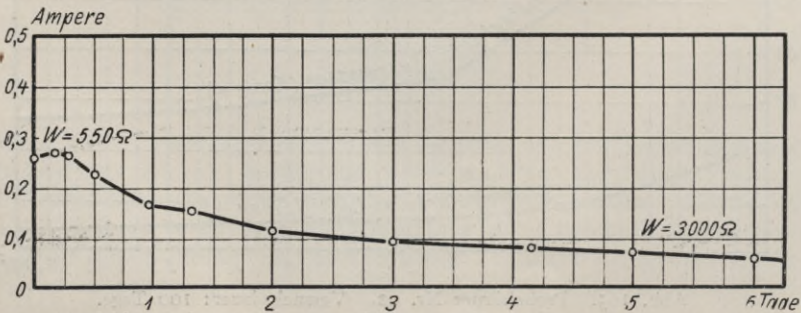


Abb. 168. Probekörper Nr. 04. Versuchsdauer: 300 Tage. Dauernd 140 Volt.

Probekörper Nr. 05 (Abb. 169 u. 170). Bei dem Probekörper Nr. 05 bildete das Gasrohr die Anode. Der Probekörper wurde während des Versuchs unter Süßwasser gelagert. Zu Beginn des Versuchs betrug die Stromstärke 0,68 Amp., wobei sich der Probekörper von 18° C auf 30° C erwärmte. Die Stromstärke nahm mit zunehmender Versuchsdauer allmählich ab. Die ersten Risse wurden nach 2 Tagen beobachtet. Die Risse lagen auf der oberen Seite des Probekörpers und den 3 der Anode benachbarten Seitenflächen. Auf den Seitenflächen verliefen die Risse parallel zur Längsachse der eisernen Rohrelektrode.

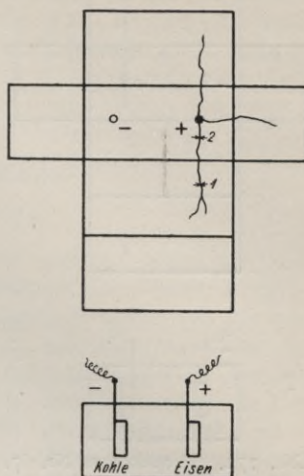


Abb. 169. Probekörper Nr. 05.
Versuchsdauer: 20 Tage.
Süßwasserlagerung.
Risse nach 2 Tagen.

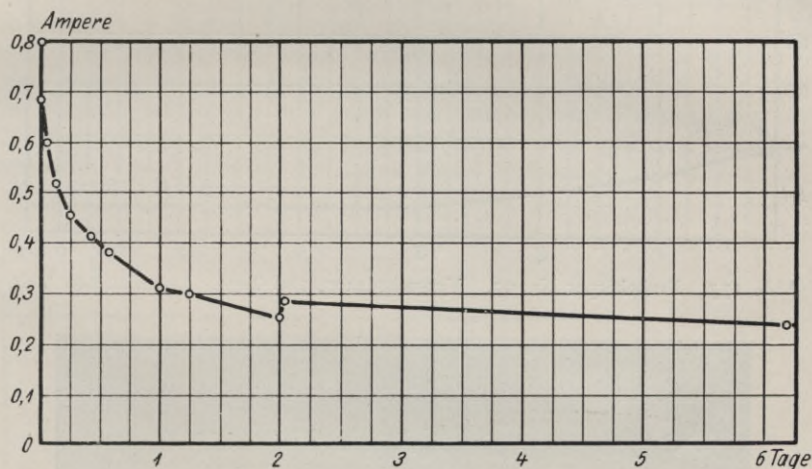


Abb. 170. Probekörper Nr. 05. Versuchsdauer: 20 Tage. Dauernd 140 Volt.

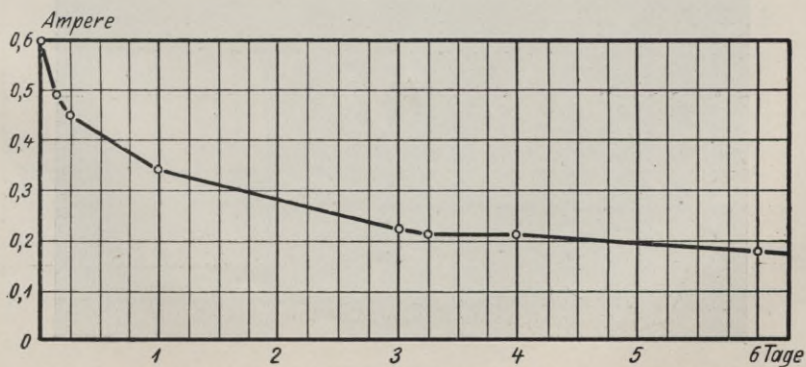


Abb. 171. Probekörper Nr. 06. Versuchsdauer: 7 Tage. Dauernd 140 Volt.

Probekörper Nr. 07 (Abb. Nr. 172 bis 174). Bei dem Probekörper Nr. 07 bildete das Gasrohr die Anode. Der Probekörper wurde an der Luft gelagert. Zu Beginn des Versuchs betrug die Stromstärke 0,18 Amp., wobei sich der Probekörper von 18° C auf 33° C erwärmte. Mit zunehmender Austrocknung des Probekörpers nahm die Stromstärke allmählich ab. Die ersten Risse wurden nach 11 Tagen beobachtet. Die Risse bildeten sich auf der oberen und unteren Seite des Probekörpers, sowie einer Seitenfläche, und zwar auf der Seitenfläche parallel zur Längsachse des Gasrohres.

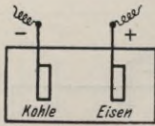
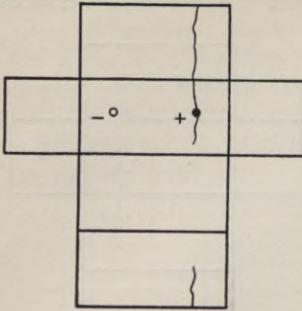


Abb. 172. Probekörper Nr. 07.
Versuchsdauer: 280 Tage.
Luftlagerung.
Risse nach 11 Tagen.

Zusammenfassung.

Sieht man von dem Probekörper Nr. 06 ab, bei dem augenscheinlich außergewöhnlich störende Einflüsse vorgelegen haben, die wohl in der Beschaffenheit der Kohle zu suchen sein dürften, so zeigen auch diese Versuche an den Doppelwürfeln, daß Risse nur an der Anode auftreten und nur dann, wenn die Anode aus Eisen besteht.

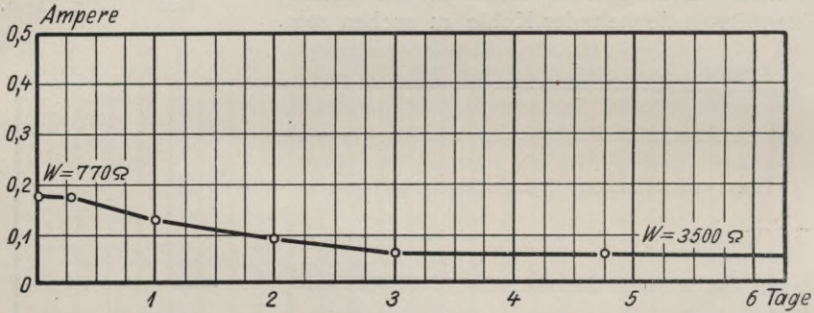


Abb. 173. Probekörper Nr. 07. Versuchsdauer: 280 Tage. Dauernd 140 Volt.

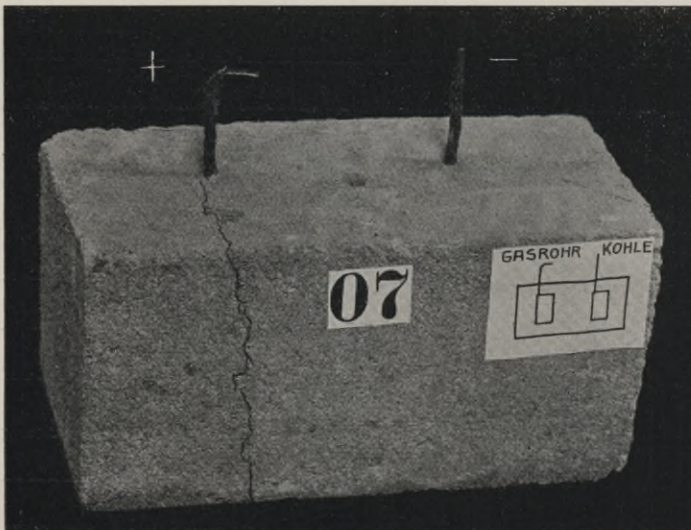


Abb. 174.

Soweit in jenen Fällen nicht Risse auftraten, ist dies auf die sehr geringe Stromstärke zurückzuführen. Es folgt hieraus in gleicher Weise wie dies im vorstehenden Abschnitt für die Probewürfel von 15 cm Kantenlänge ausgeführt wurde, daß die Ribbildung auf die Verdickung der Eisen-Anode infolge der durch die Sauerstoffentwicklung bedingten Rostbildung zurückzuführen ist.

C. Würfel von 30 cm Kantenlänge.

Probekörper Nr. 069, 073 und 074.

Diese Würfel von 30 cm Kantenlänge besaßen in gleicher Weise wie die im Abschnitt IIIA. genannten Würfel von 15 cm Kantenlänge Rohr- bzw. Platten-Elektroden aus Eisen oder Kohle. Die Versuche an diesen Würfeln von 30 cm Kantenlänge wurden aus dem Grunde ausgeführt, weil alle Hauptversuche an Würfeln von dieser Größe durchgeführt worden waren und weil festgestellt werden sollte, ob nicht etwa bei den in Abschnitt IIIA. beschriebenen Versuchen die Ursache der Ribbildung durch die kleineren Abmessungen der Probekörper beeinflußt wurde. Alle Probekörper dieser Gruppe waren unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies aus Beton im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 hergestellt. Der Beton für den Probekörper Nr. 069 war erdfeucht, der Beton für die Probekörper Nr. 073 u. 074 weich angemacht worden.

Probekörper Nr. 069 (Abb. 175 u. 176). Der Probekörper Nr. 069 besaß die in Abb. 175 dargestellte Elektrodenform. Die Rohr-Elektrode bestand aus Kohle und die Platten-Elektrode aus Eisenblech. Das Kohlenrohr bildete die Anode. Der Probekörper wurde während des Versuchs unter Süßwasser gelagert und ständig mit 0,1 Amp. beansprucht. Der Widerstand betrug zu Anfang des Versuchs 160 Ohm und nahm mit zunehmender Versuchsdauer allmählich zu. Nach 100 Tagen betrug er 1420 Ohm. Während der gesamten Versuchsdauer von 250 Tagen wurden keine Risse beobachtet.

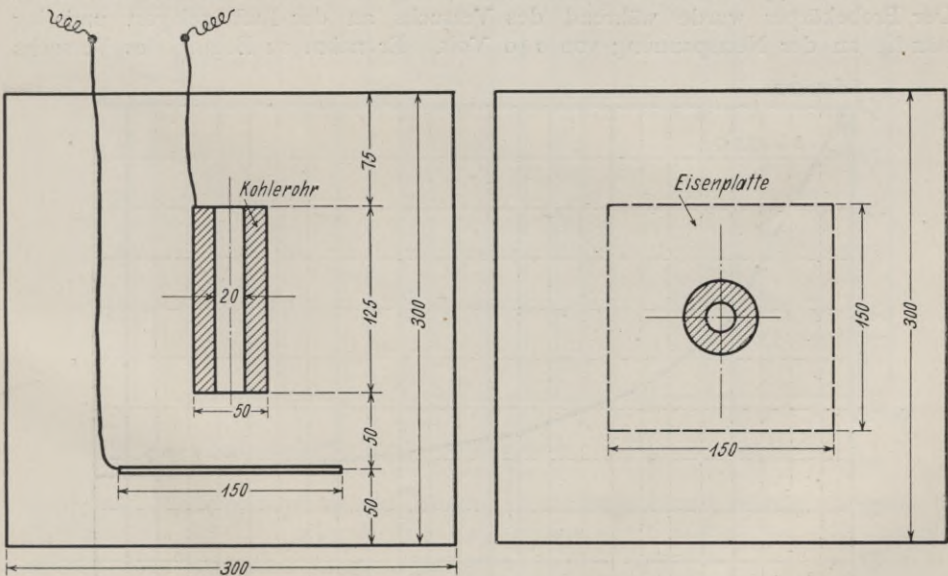


Abb. 175.

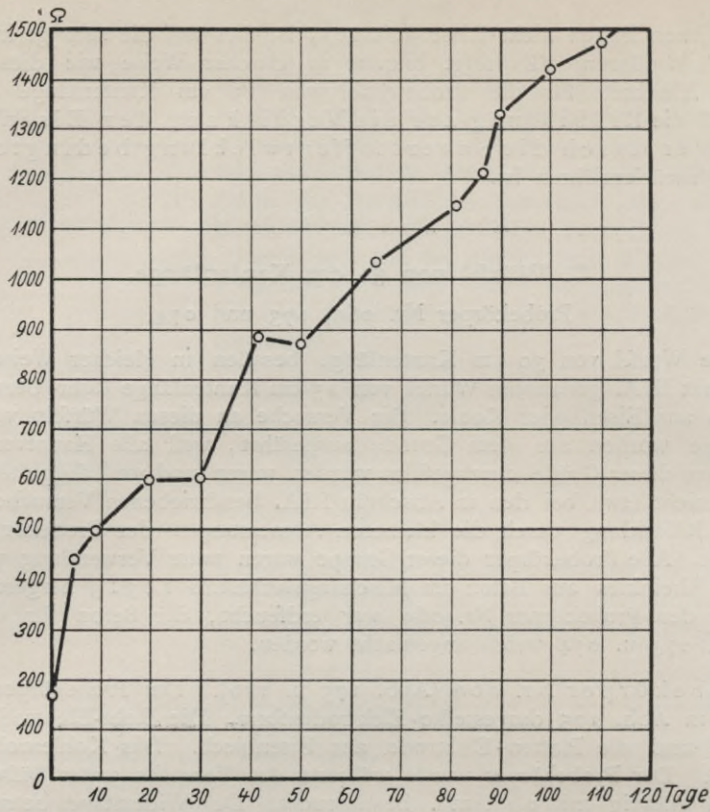


Abb. 176. Probekörper Nr. 069. Versuchsdauer: 250 Tage.
Größter Widerstand = 3000 Ω nach 250 Tagen.

Probekörper Nr. 073 (Abb. 177). Der Probekörper Nr. 073 hatte die in Abb. 175 dargestellte Elektrodenform. Das Kohlenrohr bildete die Anode. Der Probekörper wurde während des Versuchs an der Luft gelagert und lag ständig an der Netzspannung von 140 Volt. Er nahm zu Beginn des Versuchs

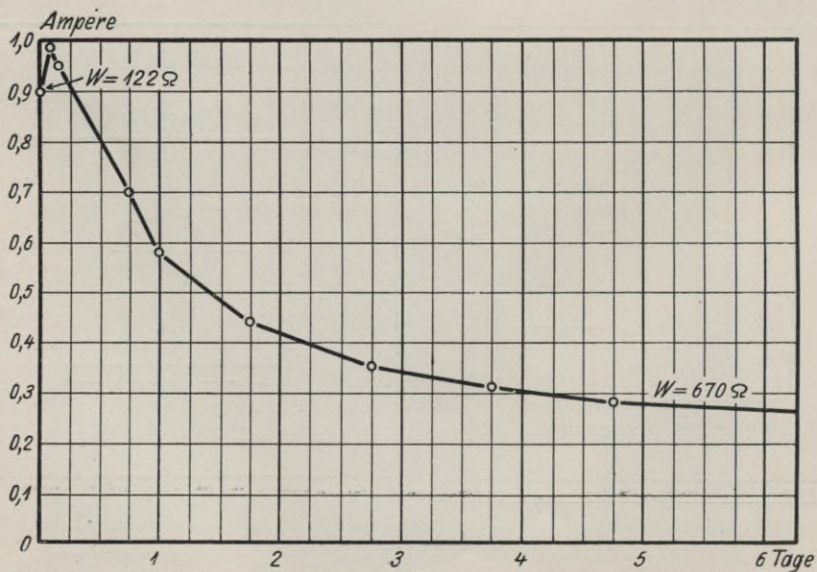


Abb. 177. Probekörper Nr. 073. Versuchsdauer: 49 Tage. Dauernd 140 Volt.

etwa 1 Amp. auf und erwärmte sich dabei von 20° C auf 48° C. Mit zunehmender Versuchsdauer nahm die Stromstärke entsprechend der Austrocknung des Probekörpers allmählich ab. Während der gesamten Versuchsdauer von 49 Tagen wurden keine Risse beobachtet.

Probekörper Nr. 074 (Abb. 178 u. 179). Der Probekörper Nr. 074 hatte die in Abb. 178 dargestellte Elektrodenform. Das Gasrohr bildete die

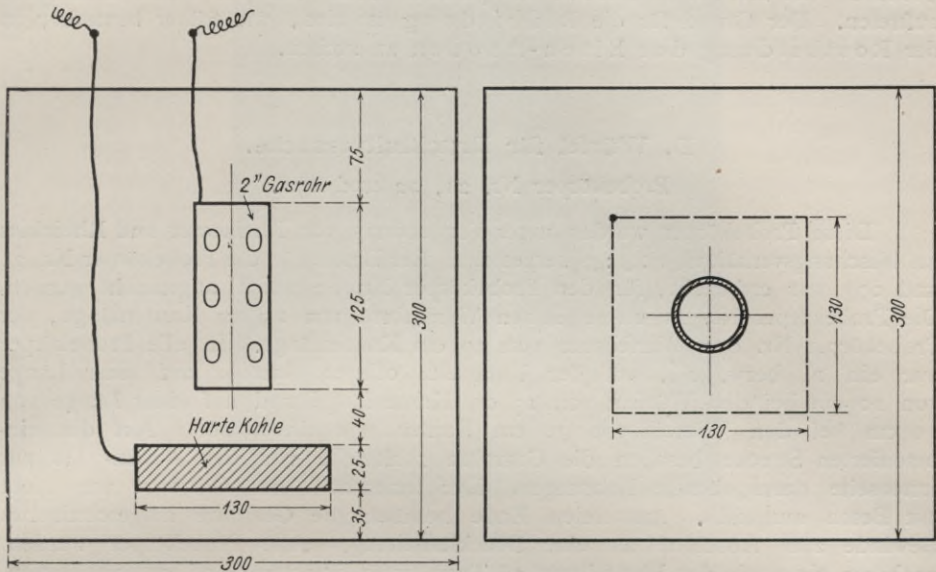


Abb. 178.

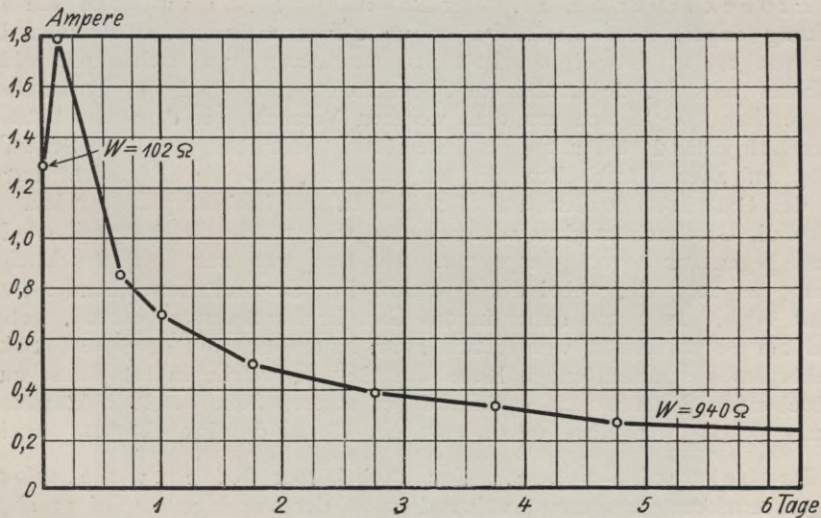


Abb. 179. Probekörper Nr. 074. Versuchsdauer: 19 Tage. Dauernd an 140 Volt.

Kathode, die Kohlenplatte die Anode. Der Probekörper wurde während des Versuchs an der Luft gelagert und dauernd an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Zu Beginn des Versuches nahm er 1,8 Amp. auf und erwärmte sich dabei von 20° C auf 48° C. Mit zunehmender Versuchsdauer nahm die Stromstärke entsprechend der Austrocknung des Probekörpers allmählich ab. Während der Versuchsdauer von 19 Tagen wurde keine Rißbildung beobachtet.

Zusammenfassung.

Diese Versuche zeigen, daß Rißbildung in keinem Falle beobachtet wurde, wenn die Anode aus einem Kohlenrohr oder einer Kohlenplatte bestand. Es können daher als Ursache für die Rißbildung nicht Innendruck im Probekörper infolge von Gasbildung oder Spannungen infolge örtlicher Erwärmungen in Betracht kommen, weil diese beiden Ursachen bei Kohlen-Elektroden in gleicher Weise wie bei Eisen-Elektroden auftreten. Der Grund für die Rißbildung ist also, wie früher bemerkt, in der Rostbildung der Eisen-Anoden zu suchen.

D. Würfel für Druckluftversuche.

Probekörper Nr. 21, 22 und 071.

Diese Probekörper wurden unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies in Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 hergestellt. Der Beton für die Probekörper Nr. 21 und 071 war erdfeucht, für den Probekörper Nr. 22 weich angemacht worden. Die Probekörper Nr. 21 u. 22 hatten Würfelform von 15 cm Kantenlänge, der Probekörper Nr. 071 Würfelform von 30 cm Kantenlänge. In alle Probekörper war ein 1" bzw. 2", auf der Unterseite offenes Gasrohr auf einer Länge von 10 cm bei den Würfeln von 15 cm Kantenlänge und auf einer Länge von 20 cm bei den Würfeln von 30 cm Kantenlänge einbetoniert. Auf der einbetonierten Strecke besaßen die Gasrohre zahlreiche von der Außen- bis zur Innenseite durchgehende Bohrungen. Der Innenraum der Gasrohre war nicht mit Beton ausgefüllt. Am freien Ende besaßen die Gasrohre aufgeschnittenes Gewinde zum Anschluß an eine Druckluftleitung. Alle Probekörper wurden, nachdem sie nach der Herstellung 28 Tage unter feuchtem Sand gelagert hatten, dem Druckluftversuch ausgesetzt.

Probekörper Nr. 21. Der Probekörper Nr. 21 wurde an die Druckluftleitung angeschlossen, während er unter Wasser lagerte. Bei einem Ueberdruck von 1,3 at entwich die Luft aus dem Beton, was sich durch zahlreiche im Wasser aufsteigende Luftblasen zu erkennen gab. Daß das Entweichen allseitig geschah, zeigte sich aus dem weiteren Versuch, bei dem der Würfel sich an der Luft befand und mit einer Seifenlösung bestrichen war. Die Seifenblasenbildung auf allen Würfelseiten gab zu erkennen, daß die Luft nicht nur etwa längs des Gasrohres, sondern auf allen Stellen des Probekörpers entwich. Nachdem so die Gasdurchlässigkeit nachgewiesen war, wurde die Festigkeit des Probekörpers gegen Innendruck festgestellt. Mit Luft war nur eine Drucksteigerung bis zu 7 at möglich, wobei der Würfel bei andauernd entweichender Luft unversehrt blieb. Es wurde daher in das Gasrohr Druckwasser gepreßt, wobei der Würfel bei 20 at zerstört wurde, und zwar hatten sich auf der oberen Seite des Probekörpers 3 strahlenförmige Risse ausgebildet, welche in Längsrisse auf den entsprechenden Seitenflächen, sowie auf der unteren Seite des Probekörpers übergingen. Durch diese Risse wurde etwa ein Viertel des Probekörpers abgelöst.

Probekörper Nr. 22. Der Probekörper Nr. 22 wurde sofort der Druckwasserwirkung ausgesetzt, während er an der Luft lagerte. Bei 15 at traten Wasserperlen aus der Oberfläche des Probekörpers aus. Bei 42 at entstanden die in Abb. 180 dargestellten Risse, aus denen das Wasser heftig entwich.

Probekörper Nr. 071 (Abb. 181). Der Probekörper Nr. 071 wurde, während er sich an der Luft befand, der Wirkung des Druckwassers ausgesetzt. Bei 32 at traten die in Abb. 181 erkennbaren strahlenförmigen Risse auf der oberen Seite des Probekörpers ein, welche in Risse auf den Seitenflächen ausliefen.

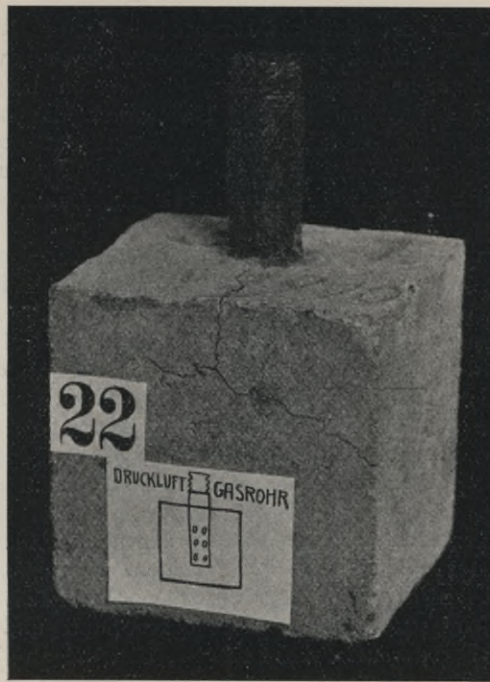


Abb. 180.

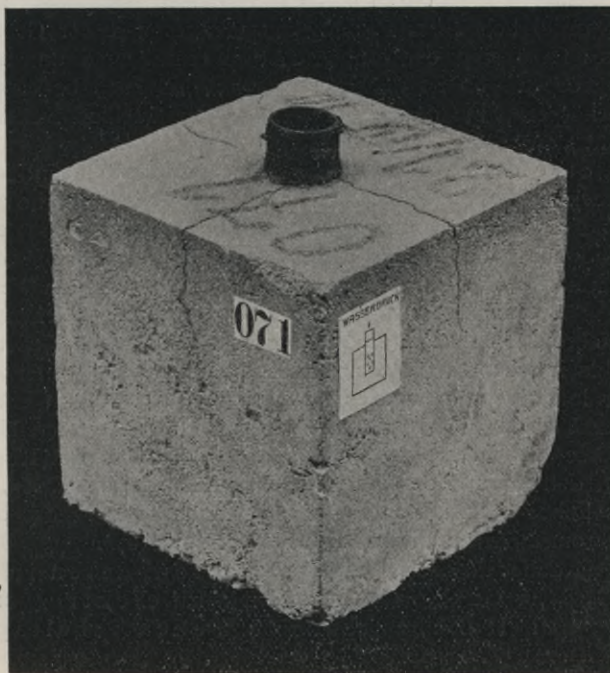


Abb. 181.

Zusammenfassung.

Die Versuche zeigen, daß als Ursache für die Ribbildung nicht Innendruck in den Probekörpern infolge von Gasentwicklung an den Elektroden in Betracht kommen kann. Der Beton ist genügend gasdurchlässig, so daß schon bei einem geringen Ueberdruck das etwa entwickelte Gas zu entweichen vermag. Es ist daher ausgeschlossen, daß der Gasdruck bei den Probekörpern derartige Werte erreichte, wie sie zur Ribbildung erforderlich sind und wie sie bei den Versuchen nicht durch Luftdruck, sondern nur durch Wasserdruck erzielt werden konnten.

Wärmespannungen können zufolge der bei den Hauptversuchen eingetretenen geringen Erwärmungen ebenfalls nicht die Ursache der Ribbildung gewesen sein.

Aus allen vorstehend beschriebenen Versuchen ergibt sich demnach, daß als Ursache für die Ribbildung eine Aufschwellung an den Anoden infolge der durch die anodischen Vorgänge bedingten Rostbildung anzusehen ist, was nur bei Verwendung von Gleichstrom eintreten kann. Kommt normaler Wechselstrom in Anwendung, so tritt eine elektrolytische Wirkung nicht ein, da Kathode und Anode dauernd wechseln.

Eine Sauerstoffentwicklung kann im vorliegenden Falle naturgemäß nur in Gegenwart von Wasser, d. h. also bei feuchtem Beton, auftreten. Es traten allerdings auch bei an der Luft gelagerten Würfeln Risse auf, und zwar nicht wesentlich später als bei den unter Sand und Wasser gelagerten Würfeln. Dies ist aber darauf zurückzuführen, daß die an der Luft gelagerten Würfel bis zum Beginn der Strombeanspruchung unter feuchtem Sand gelegen hatten, also während der ersten Zeit der Strombeanspruchung noch feucht waren. Ihr elektrischer Widerstand war infolgedessen anfangs noch so gering, daß es möglich war, durch diese Probekörper bei einer Netzspannung von 140 Volt den planmäßig vorgesehenen Strom von $\frac{1}{10}$ Amp. zu schicken. Diese an der Luft gelagerten Probekörper verhielten sich also zu Beginn der Strombelastung hinsichtlich ihres Feuchtigkeitsgehaltes und der Größe des durchgeleiteten Stromes fast so wie die unter feuchtem Sand und unter Wasser gelagerten Probekörper. Es ist daher erklärlich, daß auch bei den an der Luft gelagerten Probekörpern, bei denen der Versuch im feuchten Zustande begonnen wurde, Risse auftraten.

Gut ausgetrockneter und in trockener Luft befindlicher Beton besitzt dagegen einen so hohen elektrischen Leitungswiderstand, daß es bei der Versuchsspannung von 140 Volt und bei den angewendeten Elektrodenformen nicht möglich war, durch die Probekörper einen Strom von $\frac{1}{10}$ Amp. längere Zeit hindurchzuschicken. Um dieses auch durch den Versuch zu beweisen, wurden 3 Betonwürfel mit der Elektrodenform IV (2 Platten-Elektroden; Abb. 4), die mehrere Monate in einem trockenen, geheizten Kellerraum gelegen hatten, parallel zueinander unmittelbar an die Netzspannung von 140 Volt gelegt. Die Probekörper lagerten während des Versuches an der Luft in einem trockenen Lagerraum. Der Versuch wurde mehrere Monate hindurch fortgeführt, ohne daß irgendwelche Risse beobachtet wurden. Das Ausbleiben der Risse in diesem Falle ist also auf den mangelnden Feuchtigkeitsgehalt zurückzuführen, sowie darauf, daß infolge des hohen elektrischen Leitungswiderstandes trotz der Spannung von 140 Volt die Stromstärke an diesen Probekörpern nur etwa $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ Amp. betrug. Es besteht daher für gut ausgetrocknete Betonbauten in trockener Luft keine Gefahr der Zerstörung durch elektrolytische Wirkungen, da bei Hochbauten der Feuchtigkeitsgehalt der einzelnen Räume sowohl als auch des Betons nur außerordentlich gering ist. Man hat in derartigen Fällen keine oder nur geringe Feuchtigkeit im Beton und daher zufolge des hohen elektrischen Wider-

standes nur sehr geringe Stromstärken; eine wirksame Rostbildung tritt infolgedessen nicht auf, denn Rost kann sich nur bilden, wenn eine Sauerstoffentwicklung vorhanden ist, und diese nur dann, wenn Wasser im Beton ist.

Ueber die Menge der Sauerstoffentwicklung und damit über die Größe der Rostbildung gibt das Gesetz von Faraday einen Anhalt. Nach demselben ist die an einer Elektrode ausgeschiedene Menge proportional dem Produkt aus Stromstärke und Zeit und proportional dem Aequivalentgewicht dieser ausgeschiedenen Stoffe. Die vorstehenden Versuche gestatten daher unter Zugrundelegung dieses Gesetzes auch angenäherte Schlüsse über die Wirkung des elektrischen Stromes bei anderen Verhältnissen zu ziehen.

Die Sauerstoffentwicklung und somit die Rostbildung kann man bei den für die Versuche verwendeten Elektrodenformen sich etwa gleichmäßig über die ganze Oberfläche der Anode verteilt denken.

Bei der Elektrodenform IV (2 Platten-Elektroden; Abb. 4) tritt der Strom bei der Anode hauptsächlich nur an der der Kathode zugekehrten Seite der Platte aus, und zwar etwa gleichmäßig über diese Oberfläche verteilt. Bei der Elektrodenform III (Gasrohr- und Platten-Elektrode; Abb. 3) ist zwar die Stromdichte an jenen Stellen, wo sich die beiden Elektroden (Rohr und Platte) sehr nahe gegenüber stehen, größer als an anderen Stellen; trotzdem ergaben die Versuche, daß, sowohl die Rohr- wie auch die Platten-Elektroden auf ihrer ganzen Oberfläche fast gleichmäßig verrostet waren. Man kann daher auch in diesem Falle bei den gewählten Abmessungen wohl annehmen, daß die Stromdichte auf der äußeren Oberfläche des Rohres, sowie auf der dem Rohre zugewandten Fläche der Platten-Elektrode an den einzelnen Stellen derselben nicht sehr verschieden ist. Unter Berücksichtigung des eben Gesagten beträgt sowohl bei der Elektrodenform III wie auch bei der Form IV die Stromeintrittsfläche der Anode rund etwa 2 qdcm. Hieraus folgt, daß bei einer Stromstärke von $\frac{1}{10}$ Amp. etwa eine Stromdichte von 50 Milliampere/qdcm bei den vorgenommenen Versuchen geherrscht hat.

Eine derartige Stromdichte mußte bei den angestellten Versuchen gewählt werden, um in möglichst kurzer Zeit Ergebnisse zu erzielen. In Wirklichkeit wird aber die Stromdichte bei Hochbauten, Brücken usw. geringer sein.

Um einen Anhalt zu geben, mit welchen Stromdichten man z. B. im Erdreich durch die vagabundierenden Ströme von elektrischen Straßenbahnen zu rechnen hat, sei auf die von der Vereinigten Erdstrom-Kommission des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern, des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und des Vereins Deutscher Straßen- und Kleinbahn-Verwaltungen angestellten Versuche hingewiesen. Nach den von dieser Kommission gemachten Vorschriften¹⁾ sind eiserne, in der Erde verlegte Rohrleitungen durch die vagabundierenden Ströme dann als gefährdet zu betrachten, wenn die Stromdichte 0,75 Milliampere/qdcm überschreitet.

Mit den vorstehenden Angaben der genannten Erdstrom-Kommission stimmen die Ergebnisse der Versuche von Haber & Krassa²⁾ annähernd überein. Nach den Angaben dieser Forscher besteht bei einer Stromdichte von 0,05 Milliampere/qdcm noch keine Gefahr für die Rohrleitungen. Die Leitungen sind jedoch dann als gefährdet zu betrachten, wenn die Stromdichte den Wert von 1 Milliampere/qdcm erreicht.

Die bei den vorstehenden Versuchen benutzte Stromdichte war also etwa 70mal größer als diejenige, bei welcher nach Angabe der Erdstrom-Kommission Gefährdung von Leitungen eintritt. Eine größere Stromdichte als 0,75 Milliampere/qdcm dürfte im feuchten Erdreich infolge vagabundierender Ströme

¹⁾ Deutsche Straßenbahn- und Kleinbahnzeitung 1910, 9. Juli, S. 443.

²⁾ Zeitschrift für Elektro-Chemie 1909, Nr. 18 und Journal für Gasbeleuchtung 1910, Nr. 5.

elektrischer Straßenbahnen nicht in Frage kommen, da bei höherer Stromdichte seitens der Straßenbahn-Verwaltungen entsprechende Schutzmaßregeln getroffen werden müssen.

Bei Hochbauten, bei welchen der Beton sich meist im trockenen Zustande befindet, wird man mit geringeren Stromdichten als im feuchten Erdreich zu rechnen und deshalb auch in solchen Fällen eine Zerstörung des Betons durch Rostbildung im allgemeinen nicht zu befürchten haben.

Nach Abschluß der vorstehend beschriebenen Versuche ist mit der Ermittlung der Einwirkung geringerer Stromdichten auf Eisenbeton vorgegangen, welche zufolge der erforderlichen längeren Beobachtungszeit noch nicht zum Abschluß gekommen sind. Während der bisher 120tägigen Versuchsdauer und bei Stromstärken von $1/300$ bis $1/1500$ Ampere sind Ribbildungen bislang nicht beobachtet worden.

Zum Schlusse sei nochmals darauf hingewiesen, daß bei den sämtlichen Versuchen nie ein Mürbewerden des Betons durch die elektrolytische Wirkung zu beobachten war, wie dieses nach den in Amerika ¹⁾ angestellten Versuchen der Fall sein soll.

II. Versuche über die Wirkung von Blitzschlägen u. blitzschlagähnlichen Entladungen auf Eisenbeton.

Arbeitsplan und Versuchsausführung.

A. Laboratoriumsversuche.

Findet ein Blitz den Weg zu der Eiseneinlage eines Betonbauteiles, so kann an der Stelle, wo 2 Einlagen sich nahe kommen, aber nicht berühren, der Blitz seinen Weg durch den Beton nehmen. Die im folgenden beschriebenen Versuche sollen Aufklärung über etwa dabei eintretende Wirkungen des Blitzes auf Eisenbeton geben.

Die Versuche wurden an Betonprobekörpern ausgeführt, die unter Verwendung von Basaltsand und Basaltschotter bzw. Rheinsand und Rheinkies im Raumteil-Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 hergestellt worden waren. Der Zement und die Zuschläge waren die gleichen, wie sie für die Versuche über den Einfluß elektrolytischer Wirkungen auf Eisenbeton verwendet worden waren. Hinsichtlich ihrer Eigenschaften kann daher auf die dort gemachten Angaben verwiesen werden.

Die Probekörper hatten die in Abb. 182 dargestellte Form. Es waren Prismen, in deren Inneres von zwei gegenüberliegenden Seiten stumpf abgeschnittene Rundeisenstäbe von 10 mm Durchmesser hineinragten. Die Stäbe standen zum Teil mit ihren Stirnflächen einander gegenüber in der Art, daß die Längsachsen von zwei zusammengehörigen Stäben zusammenfielen. Der Abstand zwischen den Stirnflächen von je 2 Stäben betrug 2, 4, 6, 8 und 10 mm. Bei der zweiten Hälfte der Stäbe überragten sich, wie Abb. 182 erkennen läßt, die Stäbe im Beton um 30 mm. Der gegenseitige Abstand der einander zunächstliegenden Stellen der Oberfläche beider Stäbe betrug 2, 4, 6, 8 und 10 mm. Der Beton wurde weich angemacht. Um sicher die Zwischenräume zwischen den Rundeisen auszufüllen, wurden Schotter und Kies nur bis zu der Korngröße von 7 mm verwendet.

¹⁾ Knudson, Elektrolytische Zersetzung von Eisenbeton, Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers 1907, Februar, S. 133 und Engineering News, 1907, I, S. 328; ferner: Langsdorf, Engineering News, 1909, I, S. 458 Eltinge, Engineering News, 1910, I, S. 372.

Die Probekörper Nr. 1 bis 5 wurden nach 28tägiger Lagerung unter feuchtem Sand an der Luft gelagert und nach längerer Zeit ($1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Jahre) blitzschlagähnlichen Entladungen ausgesetzt. Die Probekörper Nr. 1 bis 5 befanden sich während des Versuches in vollkommen trockenem Zustand. Die Probekörper Nr. 6 bis 9 wurden dagegen im Alter von nur 7 bis 36 Tagen dem Versuch unterworfen. Die Probekörper Nr. 6 bis 8 lagerten bis zum Versuch unter feuchtem Sand, waren also während des Versuches feucht. Der Probekörper Nr. 9 hatte bis zum Alter von 6 Tagen unter feuchtem Sand gelegen. Der Versuch fand am 7. Tage statt. In der Nacht vom 6. bis 7. Tage wurde der Probekörper auf einem Heizkörper ausgetrocknet. Das Innere des Probekörpers dürfte dabei noch feucht geblieben sein.

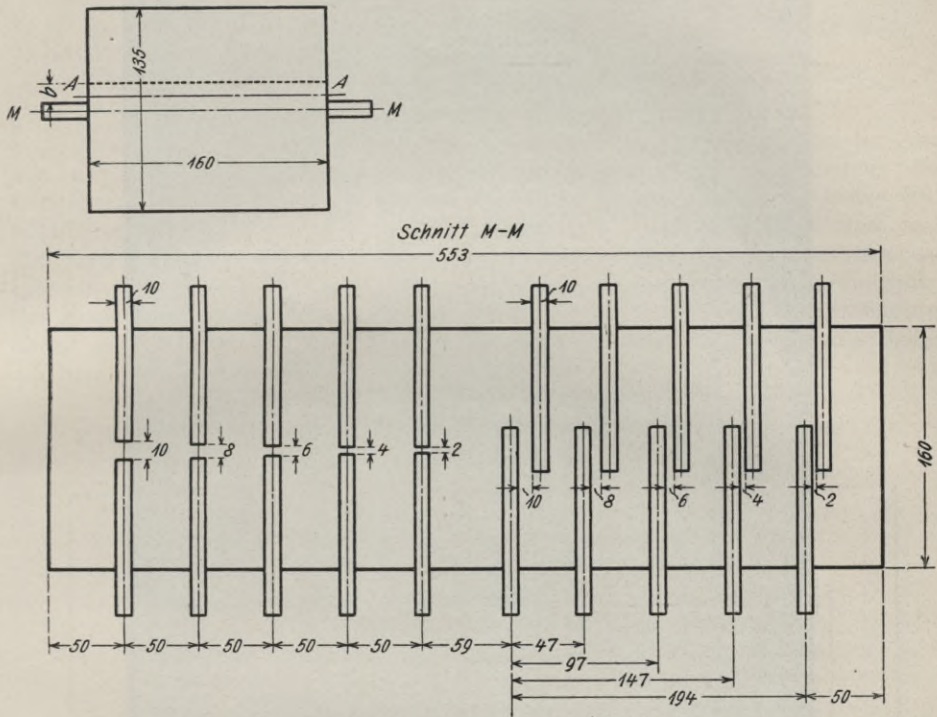


Abb. 182. Normalausführung der Blitzkörper.

Die Nachahmung der Blitzwirkung geschah durch Verbindung entsprechender Rundeisenstäbe mit der Funkenstrecke des Erregerkreises der Wellen für drahtlose Telegraphie der Radiotelegraphischen Versuchsstation der Technischen Hochschule. Durch den Beton nahmen also ozillatorische Entladungen ihren Weg. Die Versuchsdauer betrug 20 Sekunden bis 3 Minuten. Die Stromstärke schwankte je nach der durch den Lichtbogen im Beton freigelegten Funkenstrecke zwischen 0,4 und 3,3 Amp. Nur bei Probekörper Nr. 5 betrug sie 55 bis 60 Amp.

Die beanspruchte Stelle wurde folgendermaßen der Untersuchung zugänglich gemacht. Der Block wurde in der Nähe der Rundeisen parallel zu der Ebene der letzteren in der strichpunktieren Linie A—A (Abb. 182) durchgesägt. Durch allmähliches Abschleifen des Betons auf der Schnittfläche in der Nähe der zu vermutenden Stromübergangsstelle mit Hilfe einer Schmirgelscheibe und vorsichtige Entfernung des Betons durch einen kleinen Meißel und eine Reißnadel wurde der Stromweg freigelegt.

Versuchsergebnisse.

Die Wirkung der blitzschlagähnlichen Entladungen bestand im allgemeinen darin, daß, nachdem sich der Strom eine erste Funkenbahn durch den Beton gebildet hatte, dieser Kanal infolge der Wärmewirkung allmählich verglaste und zu einer Röhre von größerem Durchmesser ausschmolz. Die Art dieser Verglasungen war von der Art der Zuschläge abhängig, ihre Größe von der Zeitdauer des Stromdurchganges. Um die Bildung dieser Blitzröhren besser beobachten zu können, wurden einige mehrere Monate alte Kuchen (Abb. 183) aus

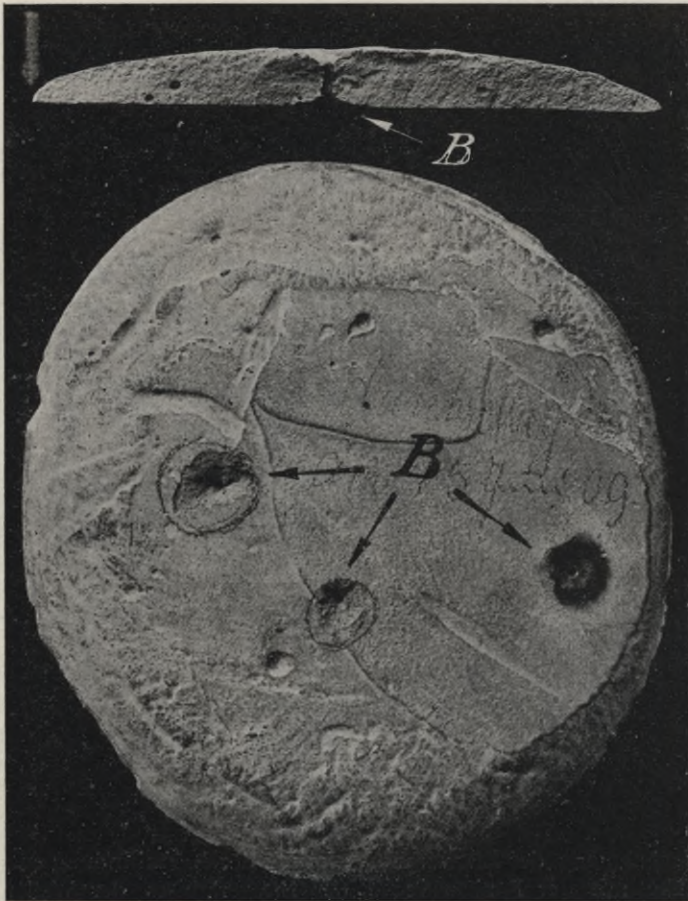


Abb. 183.

reinem Zement, die für die Raumbeständigkeitsprüfung gedient hatten, in die Funkenstrecke gebracht. Meist trat erst nach einigen Sekunden ein Durchschlagen der Kuchen, d. h. die Bildung eines zunächst nur feineren Kanales ein. Bei längerem Stromdurchgang nahm dieser Blitzkanal einen größeren Durchmesser an, und seine Ränder wurden infolge der Wärmeentwicklung glühend. Auf diese Wärmeentwicklung dürfte auch das gelegentlich beobachtete Zerspringen einiger Kuchen während des Versuches zurückzuführen sein. Auch 19 und 42 mm dicke Scheiben aus Basaltbeton im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 3 wurden auf diese Weise durchschlagen und zeigten in gleicher Weise schwarze glasige Blitzröhren. Eine andere Wirkung als die Bildung von Blitzröhren wurden an keinem Probekörper

beobachtet, weder an den in trockenem, noch an den in feuchtem Zustande geprüften Körpern. Bemerkte sei noch, daß im allgemeinen Blitzröhren bei den feuchten Probekörpern nur sehr schlecht entwickelt, bzw. gar nicht aufzufinden waren. Dies erklärt sich dadurch, daß im feuchten Beton die ganze Betonmasse einen Leitungsweg bildet, so daß sich der Strom nicht auf einer schmalen Funkenstrecke konzentriert und dadurch keine wesentliche Wärmeentwicklung stattgefunden hat.

Nachstehend sind die Beobachtungen bei den einzelnen Probekörpern wiedergegeben. Die nach dem Aufsägen der Probekörper gefundenen Blitzröhren sind in den zugehörigen schematischen Abbildungen angegeben, welche auch die Angaben über das Prüfungsalter, die Entladungszeit und die Stromstärke enthalten.

a) In lufttrockenem Zustande geprüfte Probekörper Nr. 1 bis 5.

Probekörper Nr. 1 bis 3: Zuschläge: Basaltsand und Basaltschotter.
 Probekörper Nr. 4 und 5: Zuschläge: Rheinsand und Rheinkies.

Probekörper Nr. 1 (Abb. 184 bis 186). Die Prüfung erfolgte im Alter von 627 Tagen. Blitzröhren wurden an jedem Rundeisenpaar gefunden. Die Blitzröhren sind in allen Lichtbildern durch „B“ und einen hinweisenden Pfeil bezeichnet. In allen schematischen Abbildungen Nr. 184, 187, 189 usw. sind die Blitzröhren durch eine dicke, schwarze Verbindungslinie zwischen den entsprechenden Rundeisen dargestellt. An 4 Rundeisenpaaren, bei denen die Enden der Eisen einander überlappten, wurden 2 Blitzröhren beobachtet. Die Blitzröhren hatten einen Durchmesser von 1 bis 2 mm. Sie waren bei dem mit Basaltzuschlag hergestellten Beton schwarz verglast.

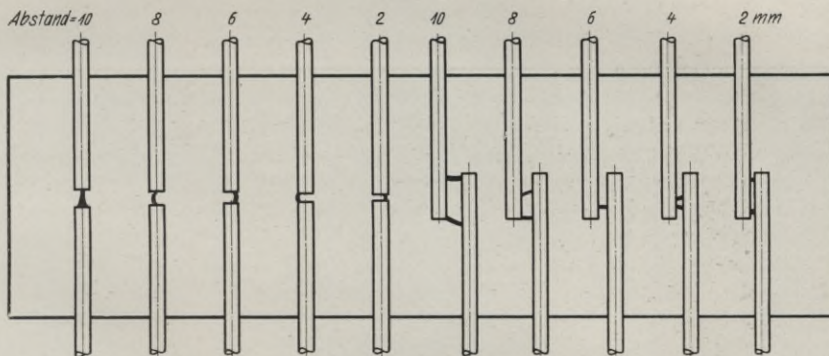


Abb. 184. Probekörper Nr. 1.
 Material: Basalt 1 : 3 : 3.
 Angefertigt: 19. II. 09.
 Durchschlagen: 8. XI. 10.

Probekörper Nr. 2 (Abb. 187 und 188). Die Prüfung erfolgte im Alter von 100 Tagen. Diejenige Hälfte des Probekörpers, die die stumpfen gegenüberstehenden Rundeisen enthielt, konnte nicht auf Blitzröhren untersucht werden, da sich die Rundeisen bei dem Zersägen gelockert und den Beton zerstört hatten. Zwischen den überlappt einander gegenüberstehenden Rundeisen wurden Blitzröhren von gleichem Aussehen und gleichen Abmessungen wie bei Probekörper Nr. 1 gefunden. Die Zeit des Stromdurchganges betrug 2 Minuten.

Probekörper Nr. 3 (Abb. 189 bis 192). Probekörper Nr. 3 wurde im Alter von 113 Tagen durchschlagen. Die Versuchsdauer betrug 2 Minuten. Auch hier zeigten alle Blitzröhren das gleiche Aussehen wie bei Probekörper Nr. 1 und 2. An 3 Rundeisenpaaren waren Blitzröhren nicht aufzufinden. Dies

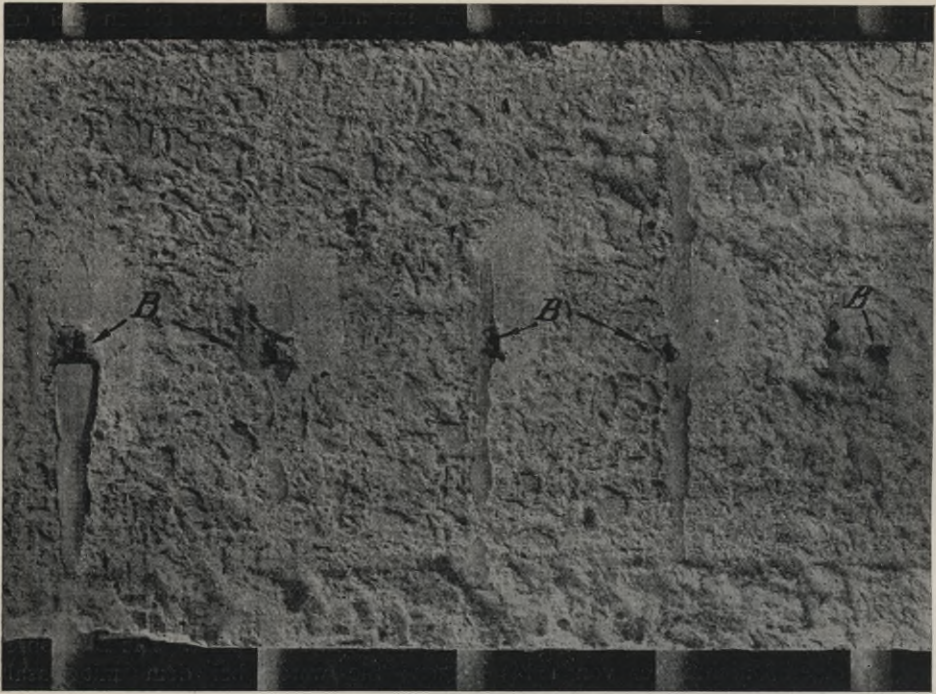


Abb. 185. Probekörper Nr. 1. Maßstab 1:2.

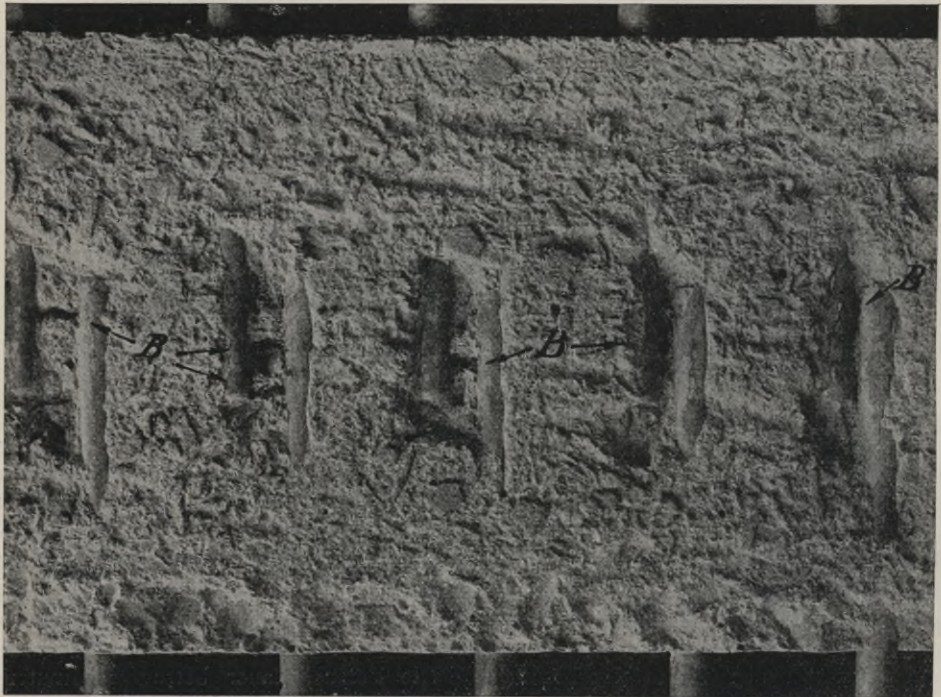


Abb. 186. Probekörper Nr. 1. Maßstab 1:2.

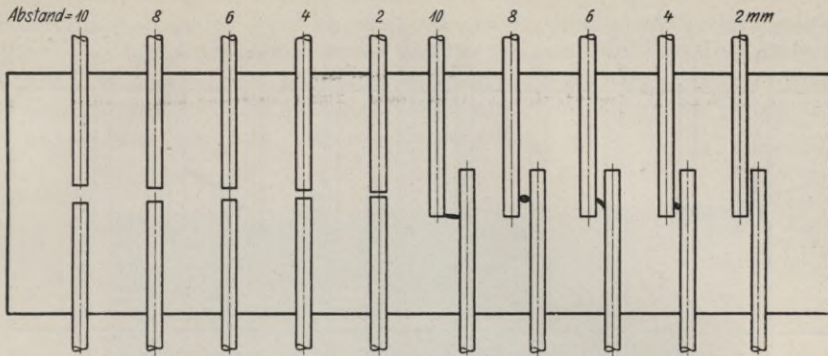


Abb. 187. Probekörper Nr. 2.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 20. II. 09.

Durchschlagen: 31. V. 09.
Versuchsdauer: 2 Min.



Abb. 188. Probekörper Nr. 2. Maßstab 1 : 2.

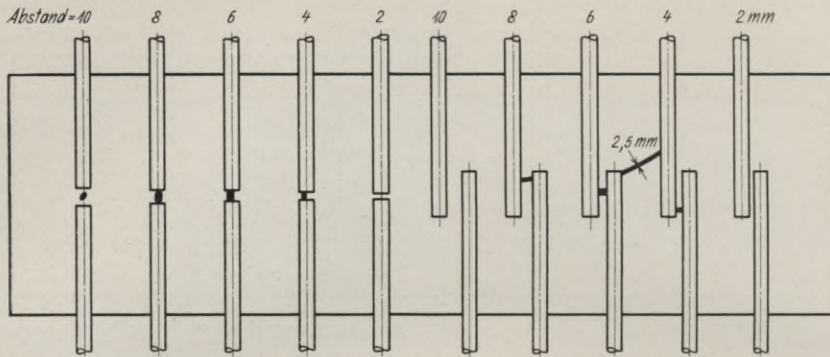


Abb. 189. Probekörper Nr. 3.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 22. II. 09.

Durchschlagen: 15. VI. 09.
Versuchsdauer: 2 Min.



Abb. 190. Probekörper Nr. 3. Maßstab 1 : 2.

dürfte sich dadurch erklären, daß die Blitzröhren bei Entfernung des Betons trotz größter Sorgfalt vernichtet und dadurch der Beobachtung entzogen wurden. In einem Falle wurde die Schaltung derart vorgenommen, daß der Stromübergang zwischen 2 benachbarten, jedoch nicht paarweise zusammengehörigen Rundeisen erfolgte. Die Länge des Stromweges betrug 24 mm und der Durchmesser der Blitzröhre 2,5 mm. Diese Blitzröhre ist auch in Abb. 190 deutlich erkennbar. Eine weitere infolge der Entladungen verglaste Betonstelle ist in starker Vergrößerung in den Abb. 191 und 192 dargestellt.

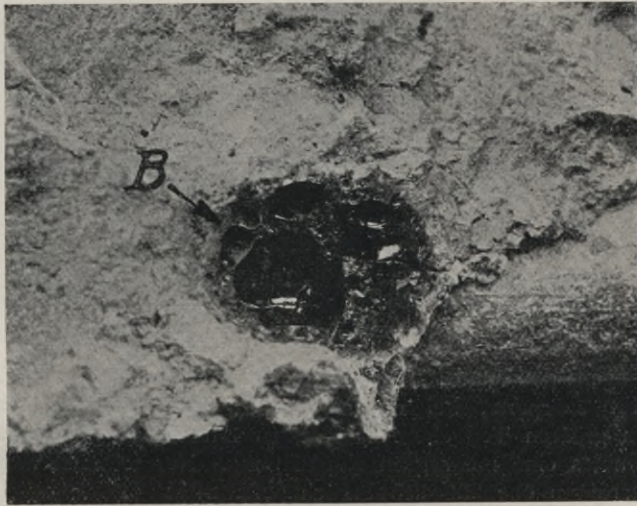


Abb. 191. Probekörper Nr. 3. Maßstab 1 : 3.



Abb. 192. Probekörper Nr. 3. Maßstab 1 : 3.

Probekörper Nr. 4 (Abb. 193). Der Probekörper Nr. 4 wurde im Alter von 162 Tagen geprüft. Die Entladungszeit betrug 3 Minuten. Die Probekörper Nr. 4 und 5 waren unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies hergestellt.

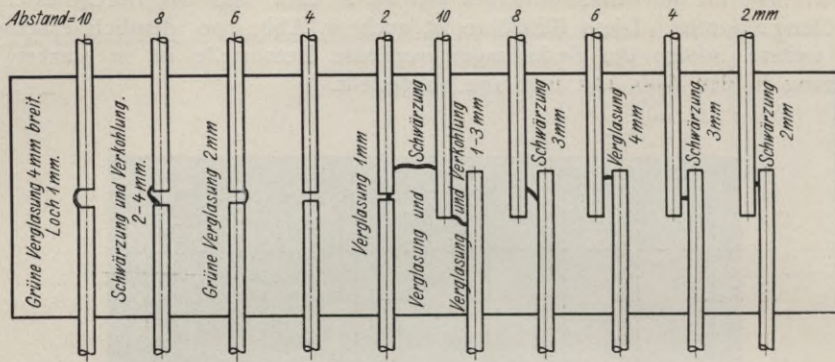


Abb. 193. Probekörper Nr. 4.

Material: rein 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 23. VI. 09.

Durchschlagen: 2. XII. 09.
Versuchsdauer: 3 Min.

gestellt. Entgegen den unter Verwendung von Basaltsand und Basaltschotter hergestellten Probekörpern, bei denen die Blitzröhren schwarz verglast waren, hatten die zum größten Teil ebenfalls glasigen Blitzröhren im Beton aus Rheinsand und Rheinkies eine mehr grünliche Färbung. Nur teilweise waren in diesem Beton die Blitzröhren ebenfalls schwärzlich gefärbt.

Der Durchmesser der Blitzröhren bei Probekörper Nr. 4 betrug bis zu 4 mm.

Probekörper Nr. 5 (Abb. 194). Der Probekörper Nr. 5 wurde im Alter von 186 Tagen geprüft. Es wurden nur die in Abständen von 6, bzw. 8 mm stumpf einander gegenüberstehenden Rundeisen in den Stromkreis eingeschaltet. Die Versuchsdauer betrug 2 Minuten, die Stromstärke 55 bis 60 Amp. Die Blitzröhren hatten das gleiche Aussehen wie bei dem Probekörper Nr. 4.

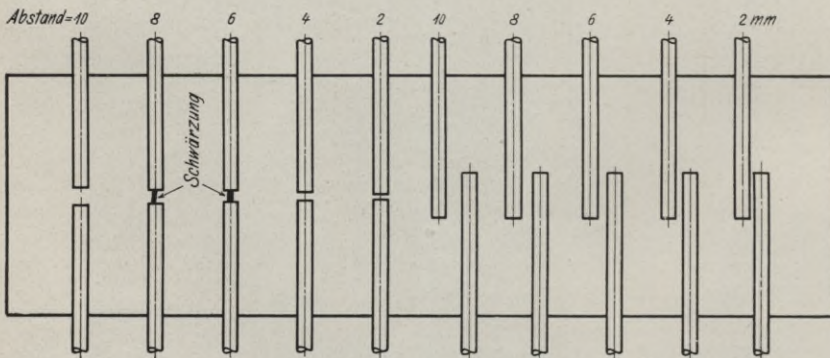


Abb. 194. Probekörper Nr. 5.

Material: rein 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 25. VI. 09.
Durchschlagen: 27. XI. 09.

Versuchsdauer: 2 Min.
Stromstärke: 55—60 Amp.

Sonstige Bemerkungen:
Oscillatorische Entladungen
Wellenlänge: 1150 m.
V = 260 000.

b) In feuchtem Zustande geprüfte Probekörper Nr. 6 bis 9.

Zuschläge: Basaltsand und Basaltschotter.

Probekörper Nr. 6 bis 8 (Abb. 195 bis 197). Die Probekörper Nr. 6 bis 8 wurden bis unmittelbar vor der Prüfung unter feuchtem Sand gelagert. Die Prüfung fand im Alter von 36, 33 und 31 Tagen statt. Die Versuchsdauer betrug 20 bis 40 Sekunden, die Stromstärke 0,4 bis 3,3 Amp. Auf der einen Seitenfläche des Probekörpers Nr. 8 wurde der Beton nur bis zu der punktierten Linie in Abb. 182 aufgestampft. Der Abstand *b* in Abb. 182 von dieser Seiten-

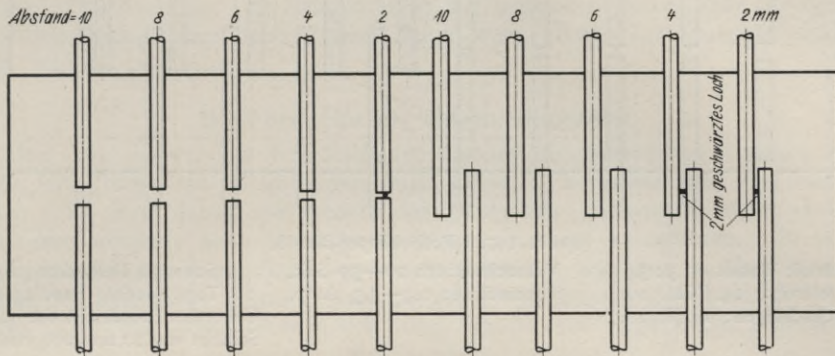


Abb. 195. Probekörper Nr. 6.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 9. XII. 10.
Durchschlagen: 14. I. 11.

Versuchsdauer: 30—40 Sek.
Stromstärke: 0,4—2,8 Amp.

Sonstige Bemerkungen:
28 Tage feuchte Sand-
lagerung.

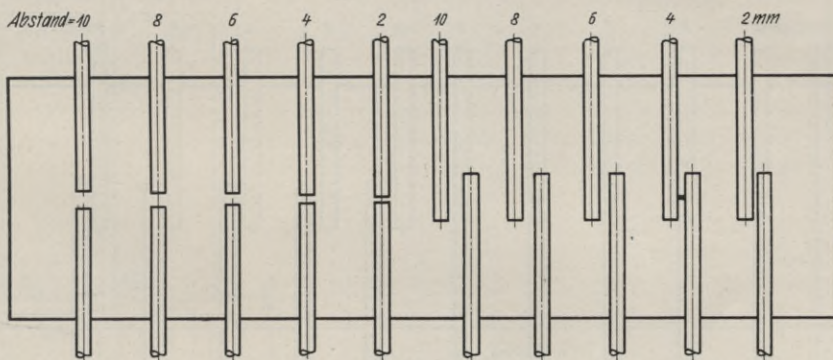


Abb. 196. Probekörper Nr. 7.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 12. XII. 10.
Durchschlagen: 14. I. 11.

Versuchsdauer: 20—30 Sek.
Stromstärke: 0,4—3,0 Amp.

Sonstige Bemerkungen:
28 Tage feuchte Sand-
lagerung.

fläche des Probekörpers bis zu der Oberfläche der Rundeisen betrug 20 mm. Durch diese Aenderung der Abmessungen des Probekörpers sollte festgestellt werden, ob etwa infolge starker Dampfentwicklung in ähnlicher Weise wie bei dem Entschälen von Bäumen schädliche Wirkungen der blitzschlagähnlichen Entladungen auftreten, wenn die Eiseneinlagen in geringeren Abständen von der Oberfläche des Betons liegen als bei den früheren Probekörpern.

Alle 10 Rundeisenpaare der 3 Probekörper wurden in den Stromkreis eingeschaltet. Geringfügige Blitzröhren konnten jedoch nur an 6 Rundeisenpaaren

festgestellt werden. Es erklärt sich dies daraus, daß der Beton bei der Prüfung feucht war, so daß er eine gute Leitungsfähigkeit besaß. Infolgedessen erfolgte der Stromübergang auf einer größeren Fläche und nicht in einer einzigen schmalen Funkenstrecke. Es traten daher im allgemeinen auch keine erheblichen, zu Verglasungen Veranlassung gebenden Wärmeentwicklungen auf.

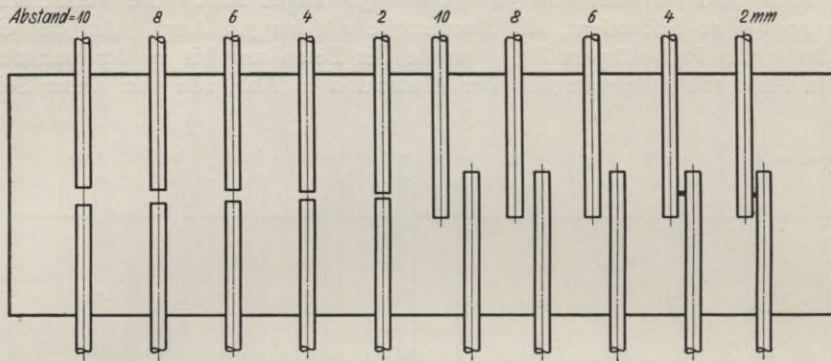


Abb. 197. Probekörper Nr. 8.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 14. XII. 10.
Durchschlagen: 14. I. 11.

Versuchsdauer: 20—30 Sek.
Stromstärke: 0,4—3,3 Amp.

Sonstige Bemerkungen:
28 Tage feuchte Sandlagerung.
Ueber den Rundeseisen war nur eine Schicht von 20 mm aufgestampft.

Probekörper Nr. 9 (Abb. 198). Der Probekörper Nr. 9 wurde im Alter von 7 Tagen geprüft. Er hatte zunächst unter feuchtem Sand gelegen und wurde unmittelbar vor der Prüfung 12 Stunden lang an einem Heizkörper ausgetrocknet. Die Austrocknung dürfte jedoch nicht vollkommen gewesen sein. In gleicher Weise wie bei Probekörper Nr. 8 war auch bei Probekörper Nr. 9 der

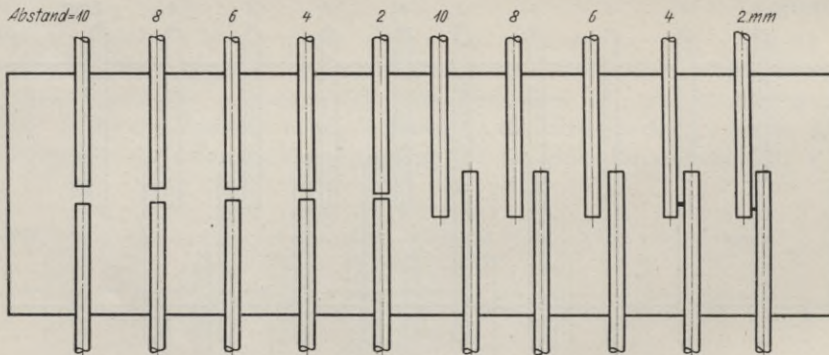


Abb. 198. Probekörper Nr. 9.

Material: Basalt 1 : 3 : 3.
Angefertigt: 7. I. 11.
Durchschlagen: 14. I. 11.

Versuchsdauer: 20—30 Sek.
Stromstärke: 0,4—2,3 Amp.

Sonstige Bemerkungen:
6 Tage feuchte Sandlagerung.
Die Nacht vor dem Durchschlagen auf dem Heizkörper getrocknet.
Ueber den Rundeseisen war nur eine Schicht von 10 mm aufgestampft.

Abstand der einen äußeren Seitenfläche von der Oberfläche der Rundeseinlagen kleiner ausgeführt, als bei den Probekörpern Nr. 1 bis 7. Der Abstand b in Abb. 182 betrug bei Probekörper-Nr. 9 nur 10 mm. Es wurden alle 10 Rundeseisenpaare in den Stromkreis eingeschaltet. Es konnten jedoch auch hier nur an den beiden überlappt mit dem Abstand von 2, bzw. 4 mm einander gegenüberstehenden Rundeseisen geringfügige Blitzröhren gefunden werden.

c) Zusammenfassung.

Aus den vorstehenden Versuchen folgt, daß blitzschlagähnliche Entladungen von der angegebenen Dauer und Stromstärke keine irgendwie schädlichen Wirkungen auf Eisenbeton ausüben. Bei trockenem Beton bilden sich an denjenigen Stellen, wo die Eiseneinlagen sich nicht berühren und der Strom infolgedessen gezwungen ist, durch den Beton zu gehen, verglaste Blitzröhren aus. Derartige Blitzröhren sind, wenn der Beton während des Versuches feucht war, nur selten festgestellt worden. Es ist anzunehmen, daß bei feuchtem Beton der Stromübergang auf einer großen Querschnittsfläche erfolgte, so daß starke örtliche Wärmentswicklungen nicht eintreten konnten. Das Auftreten von Ribbildungen bei trockenem Beton, etwa infolge örtlicher Erwärmung, oder bei feuchtem Beton, etwa infolge von Dampfentwicklung, wurde niemals beobachtet.

B. Versuche an einem Bauwerk.

Bei den vorstehend beschriebenen Laboratoriumsversuchen konnten naturgemäß nur blitzartige Entladungen mit kleinen Energiemengen vorgenommen werden. Es war daher von seiten des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton beschlossen worden, auch Versuche an einem Bauwerk auszuführen. Zu diesem Zwecke wurde ein besonderes Versuchsbauwerk bei Kempten a. Rh. hergestellt, welches so ausgeführt wurde, daß es dem beabsichtigten Zweck möglichst entsprach. Das Versuchsbauwerk (Abb. 199) wurde auf einer freien grundwasser-

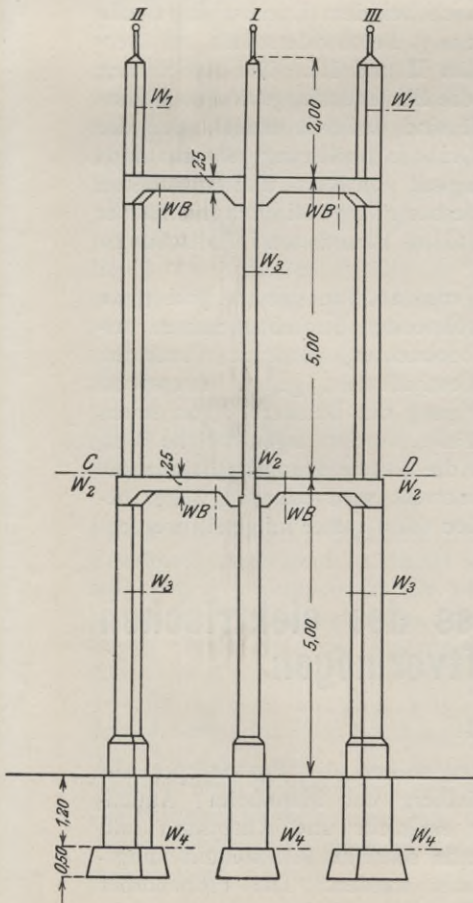


Abb. 199a.

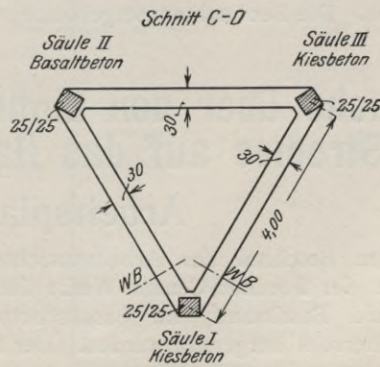


Abb. 199b.

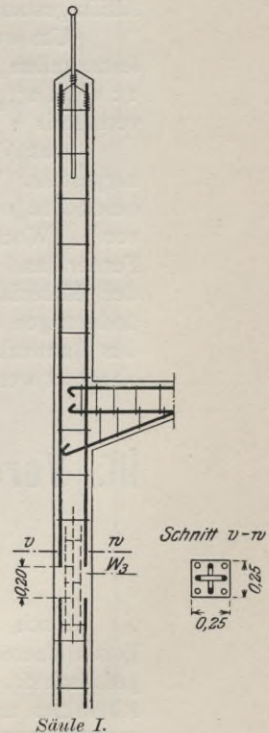


Abb. 199c.

reichen Wiese bei Kempten a. Rh. (in der Nähe von Bingen) errichtet. Das Bauwerk bildet im Gelände, das infolge seiner Grundwasserverhältnisse besonderer Blitzgefahr ausgesetzt ist, in weitem Umkreise die höchste Erhebung.

Das Versuchsbauwerk besteht aus 3 Säulen, deren Höhe über dem Erdboden 12 m beträgt. Die Fundamente sind 1,5 m tief. Die Säulen haben quadratischen Querschnitt von 25 bzw. 30 cm Kantenlänge. In der Höhe von 5 und 10 m über dem Erdboden sind die 3 Säulen durch je 3 Querbalken verbunden. Sowohl die Säulen wie die Querbalken besitzen Eisenarmierung. An den Spitzen der Säulen befinden sich eiserne Blitzauffangestangen mit eisernen Kugeln am oberen Ende. Die Eisenbewehrung des Bauwerkes ist nicht geerdet.

Zur Feststellung der ev. Wirkung von Blitzschlägen befinden sich in dem Bauwerk an verschiedenen Stellen sogenannte „Widerstände“, die in der Zeichnung mit W_B (Widerstände in den Querbalken) und W_1, W_2, W_3 und W_4 (Widerstände in den Säulen) bezeichnet sind. Diese Widerstände bestehen darin, daß an jenen Stellen die Eisenbewehrung unterbrochen ist, so daß die Blitzentladung gezwungen wird, ihren Weg durch den Beton zu nehmen. Die Lage und Anordnung dieser Widerstände und die Größe der vom Blitz eventuell zu durchschlagenden Betonstrecke ist aus der Zeichnung ersichtlich. Diese Widerstände sollen zugleich den Zweck erfüllen, daß der Blitz nicht direkt durch eine Säule hindurchgeht, sondern auf Umwegen nach der Erde gelangt. So lag z. B. der Verteilung der Widerstände der Gedanke zugrunde, daß bei dem Einschlagen in die Säule I der Blitz durch die oberen Querbalken nach den Säulen II und III und von da durch die unteren Querbalken wieder nach der Säule I geleitet wird. Bei diesem Wege würden sich ziemlich viel Beobachtungsstellen ergeben; auch bei dem Durchschlagen des Blitzes durch die Säule I direkt wären mindestens 3 Betonwiderstände zu überwinden, ebenso bei dem Einschlagen in die Säulen II und III. Die Anordnung gestattet naturgemäß auch noch andere Wege für die Blitzentladungen. Die Widerstände W_1 an den Spitzen der Säulen II und III sind dadurch erzielt, daß die Auffangestangen mit den Säuleneisen nicht durch Draht in Berührung gebracht sind.

Um ev. Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit von Kies- und Basaltbeton festzustellen, sind die Säulen I und III aus Kiesbeton im Mischungsverhältnis $1 : 2\frac{1}{2} : 2\frac{1}{2}$ und die Säule II und die Fundamente aus Basaltbeton im Mischungsverhältnis $1 : 2\frac{1}{2} : 2\frac{1}{2}$ hergestellt.

Das Versuchsbauwerk wurde in der Zeit vom 26. Juni bis 31. Juli 1911 hergestellt. Es wird von einem in der Nähe wohnenden Strombaubeamten insbesondere während der Gewitterzeiten sorgfältig beobachtet, sowie in Abständen von 4 Wochen hinsichtlich seiner Oberflächenbeschaffenheit genau untersucht. Ferner fand am 21. November 1911 eine Besichtigung des Bauwerkes von seiten der Materialprüfungsanstalt statt. In keinem Falle wurden irgendwelche Veränderungen beobachtet, soweit sich solche durch die äußere Inaugenscheinnahme des Bauwerkes feststellen lassen. Das Versuchsbauwerk wird dauernd weiter beobachtet werden. Die Beobachtungsergebnisse sollen dann später mitgeteilt werden.

III. Versuche über den Einfluss des elektrischen Stromes auf das Haftvermögen.

Arbeitsplan.

Nach dem Beschluß des Arbeitsausschusses sollten die Probekörper aus Portlandzement der Portland-Cement-Werke Heidelberg und Mannheim, Aktiengesellschaft, und Basaltsand und Basaltschotter einerseits und Rheinsand und Rheinkies andererseits hergestellt werden. Der Beton sollte im Raumteilmischungsverhältnis $1 : 3 : 3$ erdeucht und weich angemacht werden. Die Probekörper sollten während der Strombeanspruchung in Süßwasser und Salzwasser gelagert

werden. Zum Vergleich sollte der Gleitwiderstand in jedem Falle an völlig gleichartigen und gleichgelagerten Probekörpern bestimmt werden, die jedoch nicht der Strombeanspruchung ausgesetzt waren. Von jeder Art sollten stets 2 Probekörper hergestellt und untersucht werden. Daraus ergibt sich folgende Anzahl der Probekörper:

- 2 Zuschlagsarten,
- 2 Wasserzusätze,
- 2 Lagerungsarten,
- 2 Beanspruchungsarten (mit und ohne Strom),
- 2 Probekörper von jeder Art,

Sa. 32 Probekörper.

Ueber den Zement, die Zuschläge, den Wasserzusatz und die Herstellung des Betons sind die entsprechenden Angaben schon in dem vorstehenden Versuchsbericht über den Einfluß der elektrolytischen Wirkungen auf Eisenbeton gemacht, so daß hier auf jene Mitteilungen verwiesen werden kann.

Die Probekörper hatten die in Abb. 200 angegebene Form. Es waren Würfel, in deren Mittelachse ein Rundisen von 10 mm Durchmesser einbetoniert war. Das Rundisen war gerade gerichtetes übliches Handelsrundisen mit Walzhaut, dessen Oberfläche vor dem Einbetonieren mit einem trockenen Tuche abgerieben wurde. Es wurde ohne vorheriges Bestreichen mit Zementmilch oder dergleichen einbetoniert. Es war etwa 1 m lang und besaß an dem freien Ende ein aufgeschnittenes Gewinde. Letzteres diente zum Aufschrauben von Muttern, um bei dem Haftfestigkeitsversuch einen Kraftangriff zu ermöglichen. Die Stirnseite des einbetonierten Endes des Rundeisens fiel mit der entsprechenden Seitenfläche des Probekörpers zusammen.

Das Rundisen bildete in allen Fällen die Anode, während die aus Eisenblech bestehende Kathode außerhalb des Probekörpers in der Flüssigkeit hing. Um zu verhindern, daß der Strom direkt von der unteren Stirnfläche des Rundeisens durch die Flüssigkeit zur Kathode überging, wurde über dem unteren Ende des Rundeisens, wie die Abbildung zeigt, eine Kappe aus wasserdichtem Zementmörtel angebracht. Die Wasserdichtigkeit des Mörtels wurde durch Zusatz von Ceresit zu dem Anmachewasser erreicht.

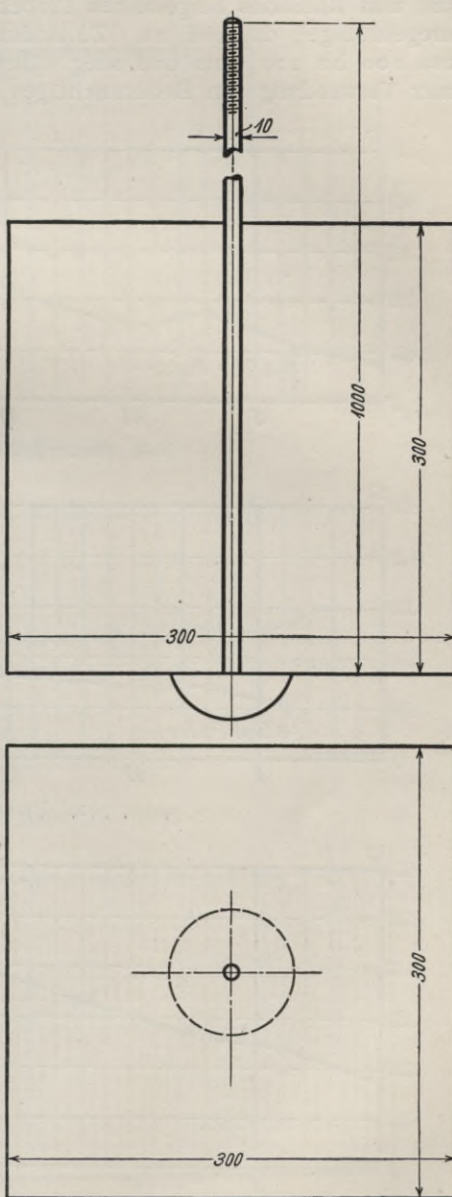


Abb. 200.

Die Probekörper wurden bis zum Alter von 28 Tagen unter feuchtem Sand gelagert. Darauf wurden die der Stromwirkung auszusetzenden Probekörper in Süßwasser, bezw. Salzwasser gebracht und in den Stromkreis bis zur Prüfung auf Gleitwiderstand im Alter von 56 Tagen eingeschaltet. Die Probekörper lagen also 28 Tage unter Strom. Durch die Probekörper ging 4 Wochen lang ein Strom von etwa $\frac{1}{10}$ Amp. Der aus der Klemmenspannung und der Stromstärke ermittelte scheinbare Ohmsche Widerstand ist in den Schaubildern Abb. 201 bis 215 dargestellt. Auf diesen Schaubildern bedeuten die in der Nummerbezeichnung enthaltenen Buchstaben „B“ und „R“ Basalt-, bezw. Rheinkieszuschläge. Man erkennt, daß bei Basaltzuschlägen der scheinbare Widerstand mit der Versuchsdauer andauernd zunimmt. Der geringste Widerstand betrug etwa 20 Ohm, der höchste Widerstand 640 Ohm. Auch bei den unter Verwendung von Rheinsand und Rheinkies hergestellten Probekörpern nahm der Widerstand, wenn auch unregelmäßiger, dauernd zu. Zu Anfang des Versuches betrug der Widerstand etwa 100 bis 200 Ohm und stieg während des Versuches höher an als bei den unter Verwendung von Basaltzuschlägen hergestellten Probekörpern.

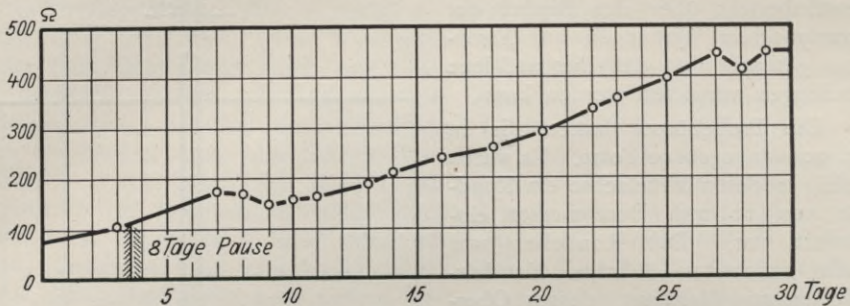


Abb. 201. Probekörper Nr. B. 1.

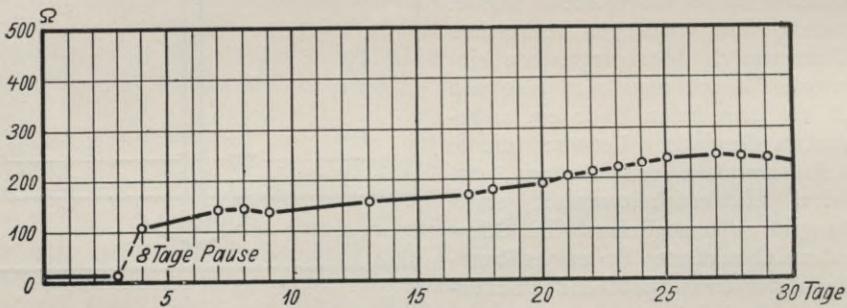


Abb. 202. Probekörper Nr. B. 3.

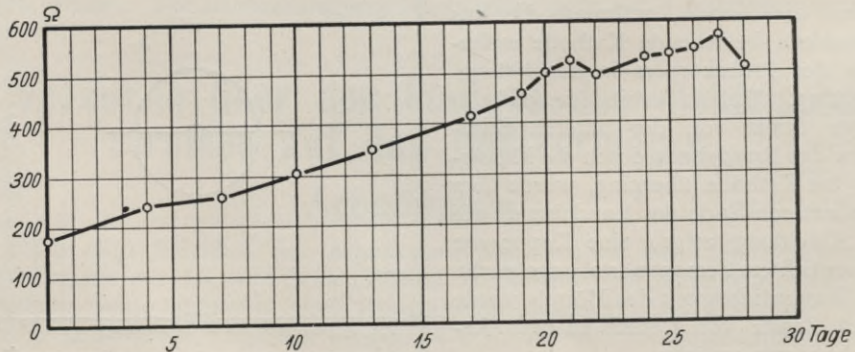


Abb. 203. Probekörper Nr. B. 5.

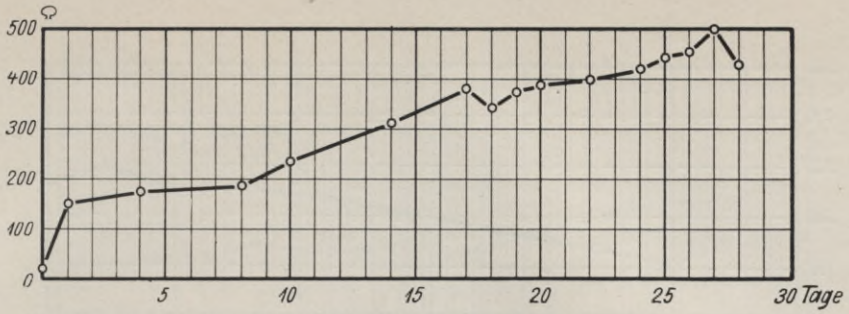


Abb. 204. Probekörper Nr. B. 7.

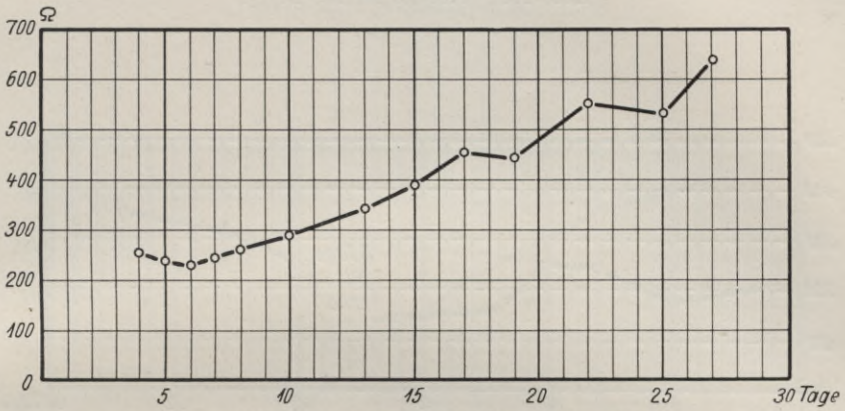


Abb. 205. Probekörper Nr. B. 9.

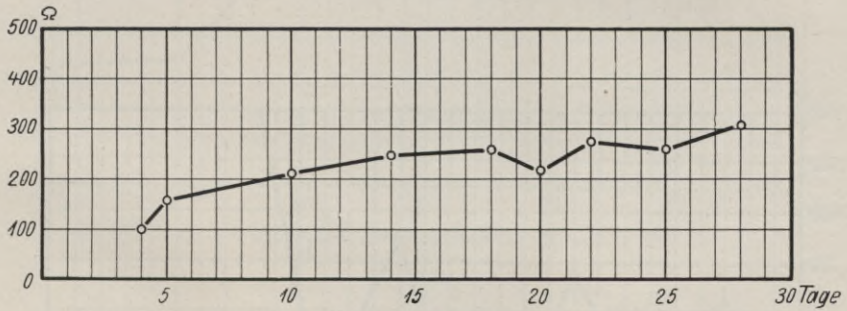


Abb. 206. Probekörper Nr. B. 11.

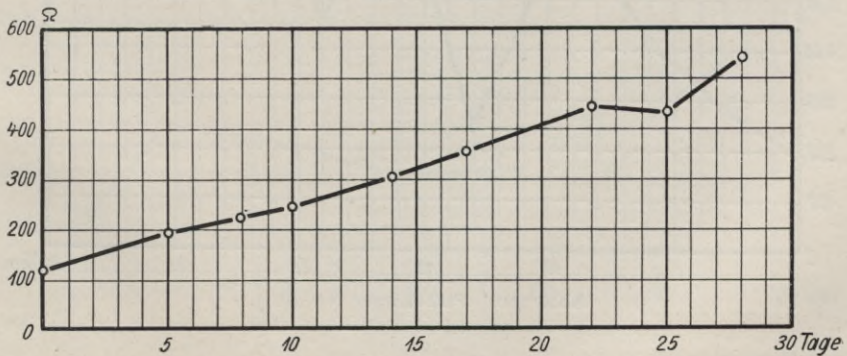


Abb. 207. Probekörper Nr. B. 13.

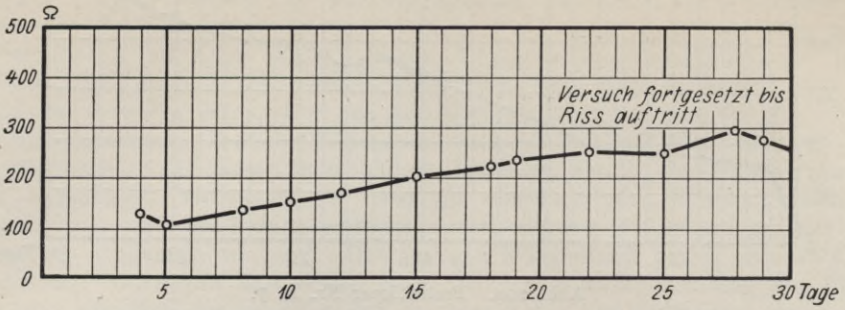


Abb. 208. Probekörper Nr. B. 15.

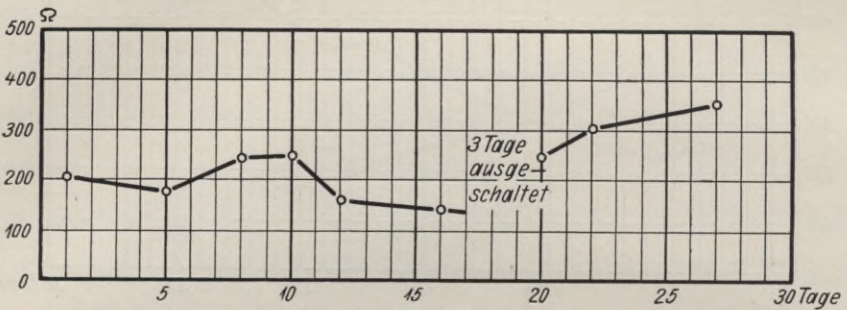


Abb. 209. Probekörper Nr. R. 3.

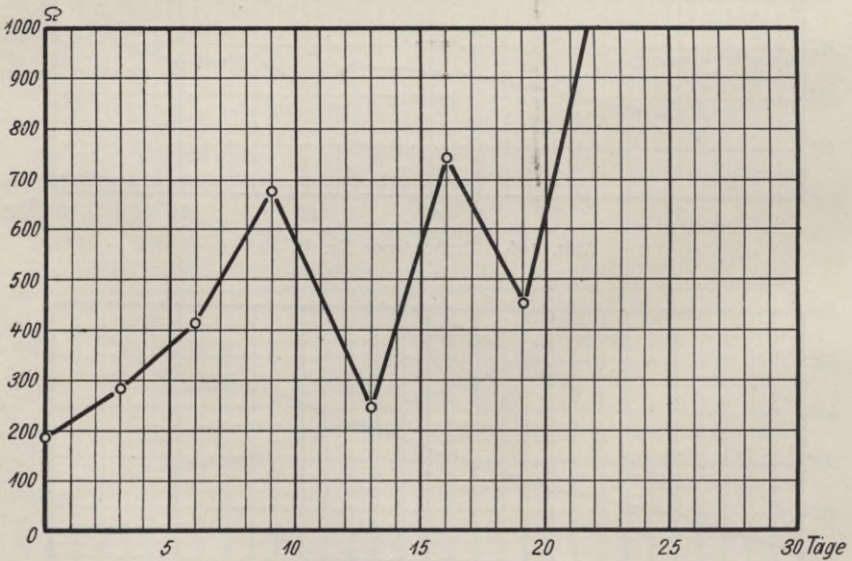


Abb. 210. Probekörper Nr. R. 5.

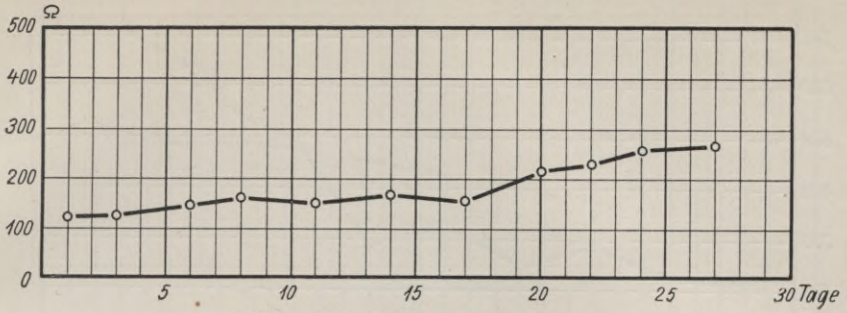


Abb. 211. Probekörper Nr. R. 7.

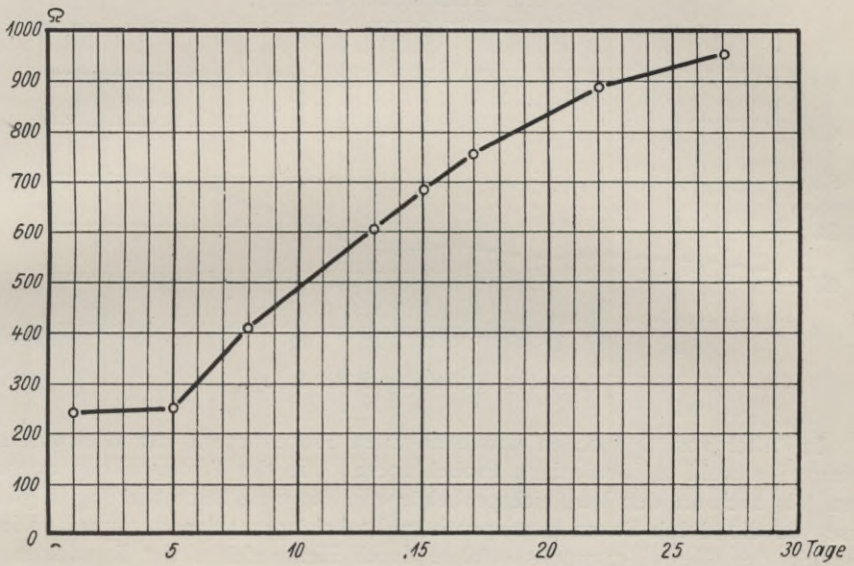


Abb. 212. Probekörper Nr. R. 9.

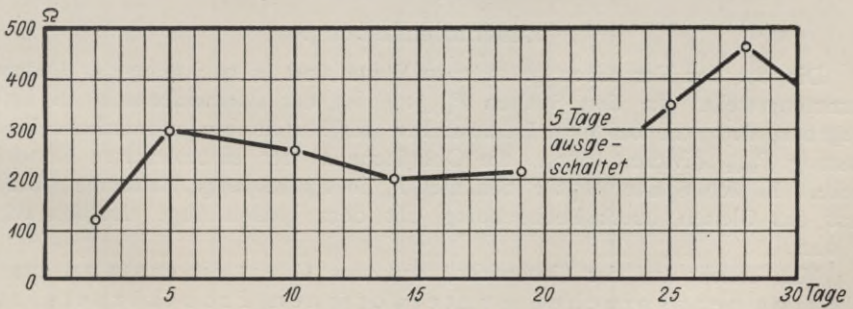


Abb. 213. Probekörper Nr. R. 11.

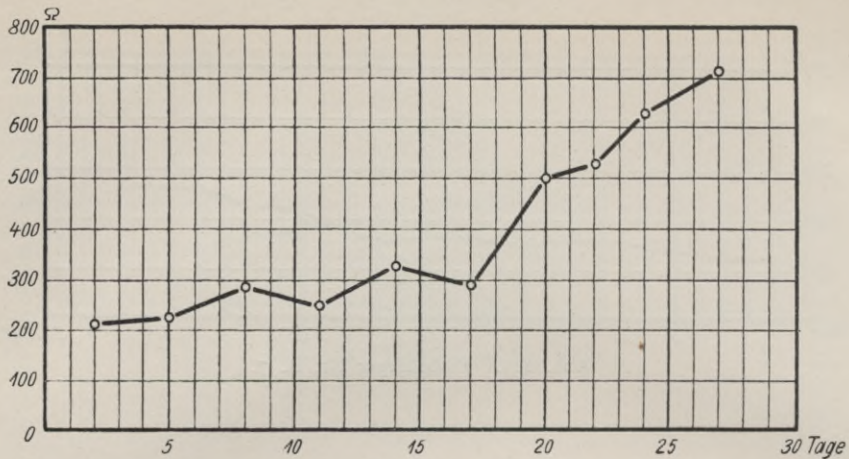


Abb. 214. Probekörper Nr. R. 13.

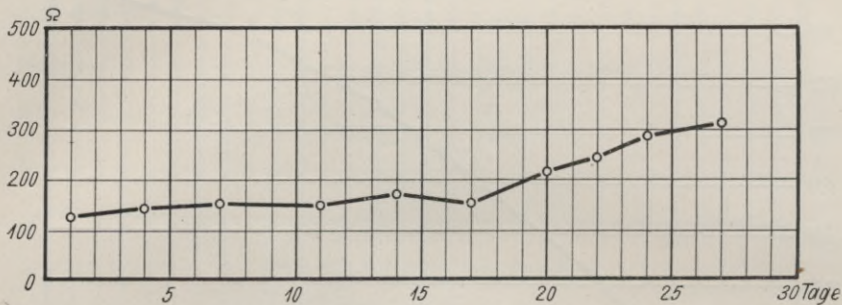


Abb. 215. Probekörper Nr. R. 15.

Im Alter von 8 Wochen wurde an allen Probekörpern der Gleitwiderstand bestimmt, sowohl an denjenigen Probekörpern, die der Stromwirkung ausgesetzt waren, als auch an den Vergleichsprobekörpern, die ohne Stromwirkung in gleicher Weise wie die durch Strom beanspruchten Probekörper gelagert waren. Die Bestimmung des Gleitwiderstandes erfolgte durch Herausziehen der Rundeißen. Es wurde diejenige Belastung P_0 bestimmt, bei der die erste mit dem bloßen Auge deutlich wahrnehmbare Verschiebung eintrat, sowie auch die erreichte Höchstbelastung P_{\max} . Nachstehend sind diese Belastungen dividiert durch die Oberfläche des einbetonierten Eisens angegeben.

Zusammenfassung.

Die bei den Versuchen gefundenen Werte sind in nachstehender Uebersicht zusammengestellt. In den Spalten $P_{\max} : F$ ist der Gleitwiderstand in kg/qcm angegeben, d. h. die bei dem Herausziehen des Rundeißen erforderliche Höchstbelastung P_{\max} dividiert durch die Oberfläche F der einbetonierten Rundeißenstrecke. In den Spalten $P_0 : F$ bedeutet P_0 in kg diejenige Belastung, bei der zuerst das Gleiten durch Beobachtung mit dem bloßen Auge deutlich erkennbar war.

Man ersieht aus der Uebersicht, daß der Gleitwiderstand bei den der Strombeanspruchung unterworfenen Probekörpern stets größer war, als bei den nicht durch Strom beanspruchten Probekörpern, und zwar um etwa 11 bis 37%. Dieses erklärt sich daraus, daß das Rundeißen stets die Anode bildete und daß infolge der Sauerstoffentwicklung und

Bezeichnung der Probekörper auf den Schaubildern für den elektrischen Widerstand.

Lagerung	Ver- such Nr.	Zuschläge: Basaltsand und Basaltschotter		Zuschläge: Rheinsand und Rheinkies	
		erdfeucht	weich	erdfeucht	weich
Süßwasser	1	B 1	B 5	R 1	R 5
	2	B 9	B 13	R 9	R 13
Salzwasser	1	B 3	B 7	R 3	R 7
	2	B 11	B 15	R 11	R 15

Gleitwiderstand in kg/qcm.

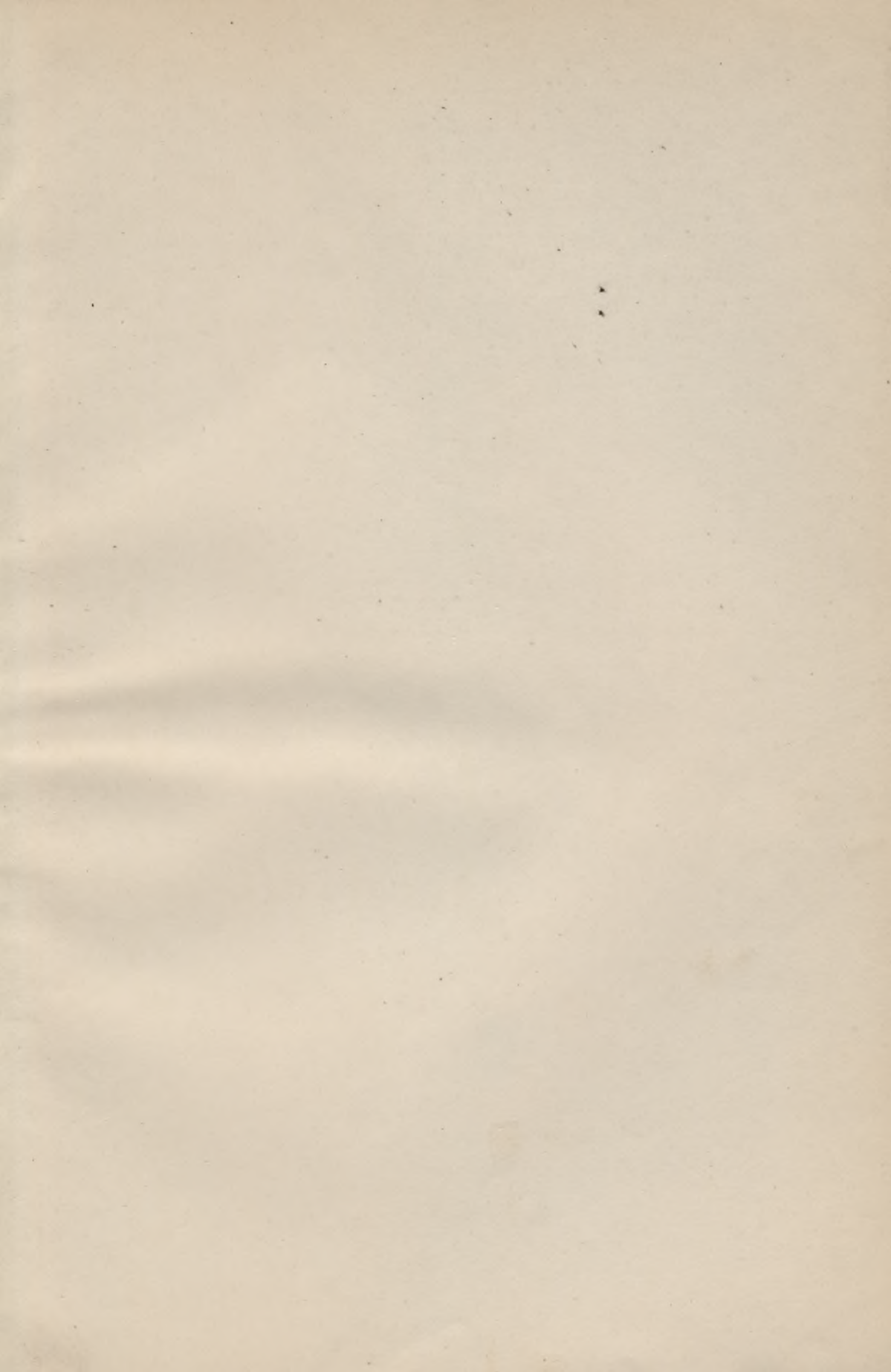
Lagerung	Ver- such Nr.	Zuschläge: Basaltsand und Basaltschotter						Zuschläge: Rheinsand und Rheinkies									
		erdfeucht			weich			erdfeucht			weich						
		mit Strom	ohne Strom	$P_0 : F$ / kg/qcm	mit Strom	ohne Strom	$P_0 : F$ / kg/qcm	mit Strom	ohne Strom	$P_0 : F$ / kg/qcm	mit Strom	ohne Strom	$P_0 : F$ / kg/qcm				
Süßwasser	1	24,6	27,9	10,3	26,5	19,1	29,7	10,6	17,8	?	29,0	?	28,2	6,4	28,0	18,0	26,3
	2	?	28,9	5,3	22,7	27,0	30,5	10,6	27,5	10,6	30,3	10,6	(13,6)*	11,8	30,8	7,5	(13,2)*
* Salzwasser	1	27,8	31,5	12,8	21,0	10,6	29,5	10,6	19,5	?	31,0	10,6	20,0	7,6	29,0	12,5	26,5
	2	10,6	30,5	10,6	29,3	—	—	—	—	7,1	28,7	8,9	22,7	6,8	29,0	8,7	26,0
Mittel	. . .	—	29,7	—	24,9	—	29,9	—	21,6	—	29,8	—	23,6	—	29,2	—	26,3

*) Bei Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

der dadurch bedingten Rostbildung eine Verdickung des Rundeisens eintrat, welche eine Erhöhung des Gleitwiderstandes verursachte. Eine Abhängigkeit dieser Erhöhung des Gleitwiderstandes von der Art der Lagerung (Süßwasser- oder Salzwasserlagerung) ist bei der geringen Anzahl der Versuche nicht deutlich erkennbar.

Bei allen Probekörpern, die nicht im Stromkreise gelegen hatten, zeigte das Rundeisen nach dem Herausziehen auf der Oberfläche keine Rostbildung. Dagegen war bei allen Probekörpern, die der Stromwirkung ausgesetzt worden waren, das Rundeisen nach dem Herausziehen auf der Oberfläche vollkommen rostig. Besonders stark war diese Rostbildung am unteren Ende des Rundeisens, wo sie teilweise in so hohem Grade aufgetreten war, daß bei 3 Probekörpern ein starkes, narbiges Anfressen des Eisens stattgefunden hatte. Der starke Angriff am unteren Ende erklärt sich dadurch, daß an dieser Stelle der Strom von der Kathode bis zur Anode den kürzesten Weg durch den Beton, also den geringsten Widerstand hatte. Es fand daher an dieser Stelle ein verhältnismäßig stärkerer Stromübergang statt als an den höher gelegenen Stellen des Rundeisens.

Der Probekörper Nr. B 15 blieb unter Salzwasser im Stromkreise vom 15. Oktober 1910 bis 27. Februar 1911. Die Stromstärke betrug ständig etwa $\frac{1}{10}$ Amp. Es sollte festgestellt werden, ob etwa bei längerer Versuchsdauer die Rostbildung so stark würde, daß eine Sprengwirkung auf den Beton ausgeübt würde und Risse eintreten würden. Es ergab sich, daß keine Risse auftraten. Der Versuch wurde am 27. Februar 1911 abgebrochen, weil die Rundeisen-Elektrode an der Eintrittsstelle in den Beton abgerostet war.



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307234

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313215

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307180

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307235

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313216

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



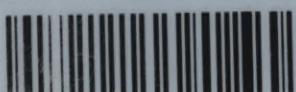
100000300746

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307236

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



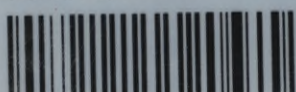
100000313217

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307237

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313218

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307238

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313219

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307239

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



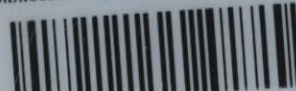
100000313220

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307240

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313221

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307241

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313222