



Biblioteka Politechniki Krakowskiej

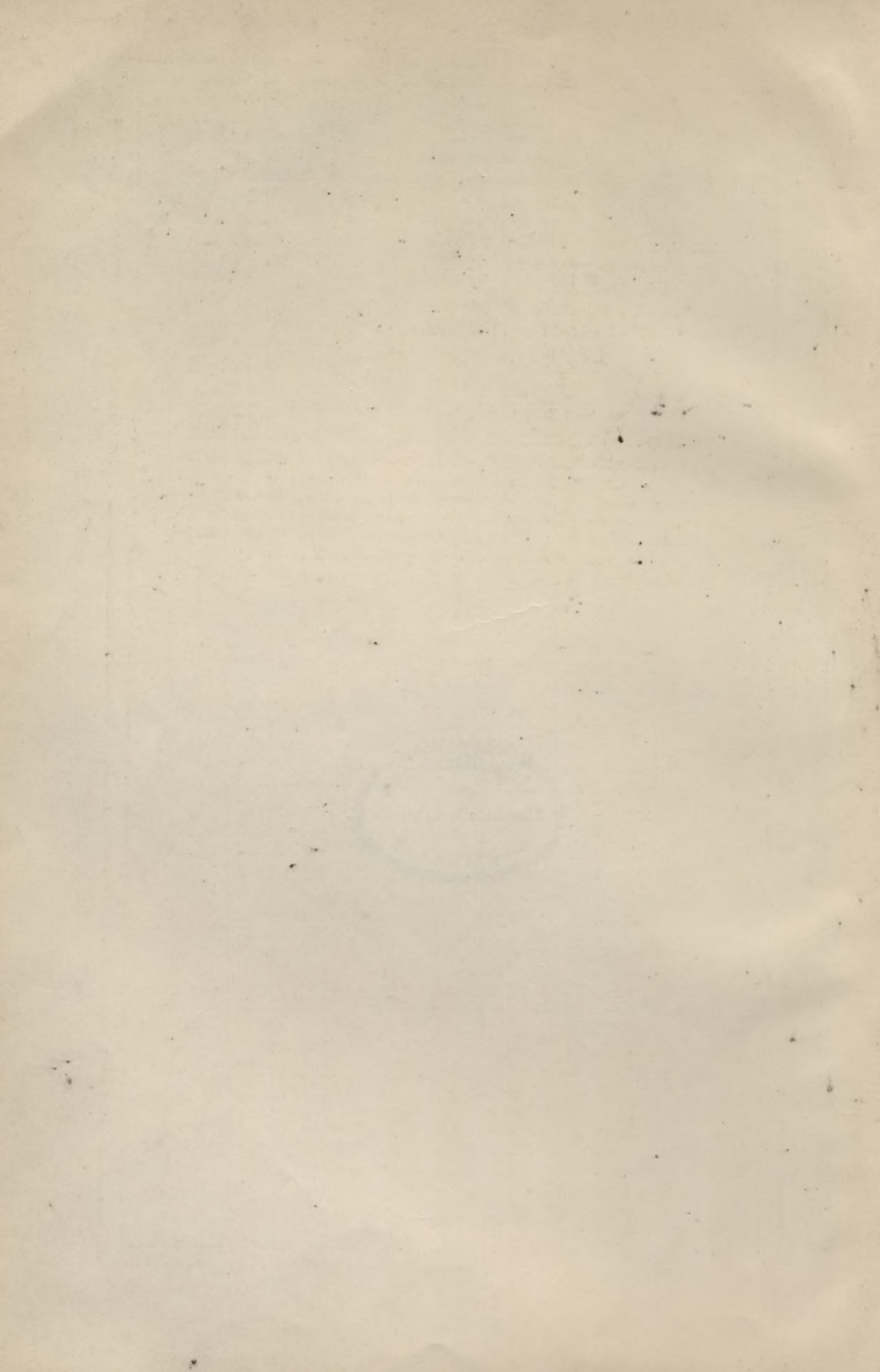


100000300775



XXX  
374







Veröffentlichungen  
des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Bereits erschienen:

**HEFT 1 bis 3: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
**namentlich zur Bestimmung des Gleitwiderstandes.**

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet vom Vorstande der Anstalt **C. Bach** unter Mitwirkung von **O. Graf**.

(Veröffentlicht in Heft 72 bis 74 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.)

1909.

Geheftet Preis 3,— Mk.

**HEFT 4: Fortsetzung von Heft 1 bis 3.**

(Veröffentlicht in Heft 95 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1910. Geh. Preis 1,— Mk.

*Die weiteren Hefte* sind im

Verlage von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, erschienen.

**HEFT 5: Versuche mit Eisenbeton-Säulen**  
**Reihe I und II.**

Ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **M. Radeloff**, Geheimer Regierungsrat,  
Direktor im Königl. Materialprüfungsamt.

Mit 72 Textabbildungen und zahlreichen Tabellen.

1910.

Geheftet Preis 6,— Mk.

**HEFT 6: Versuche über den elektrischen Widerstand**  
**von unbewehrtem Beton.**

Ausgeführt in der Großherzoglichen Material-Prüfungsanstalt  
an der Technischen Hochschule zu Darmstadt.

Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geheimer Baurat und Professor **Dr. Wirtz**, Geheimer Hofrat unter Mitwirkung von **Dr.-Ing. W. Müller**.

Mit 60 Textabbildungen und zahlreichen Tabellen.

1911.

Geheftet Preis 3,60 Mark.

**HEFT 7: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
**zur Bestimmung des Gleitwiderstandes.**

Ausgeführt in der Königl. Sächsischen Mechanisch-  
Technischen Versuchsanstalt zu Dresden.

Bericht erstattet von Professor **H. Scheit**, Geheimer Hofrat, Direktor  
der K. S. M. T. Versuchsanstalt unter Mitwirkung von Privatdozent  
**O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt.

Mit 55 Textabbildungen.

1911.

Geheftet Preis 1,80 Mark.





Verlag von **Wilhelm Ernst & Sohn** Berlin W66  
Wilhelmstraße 90.

**HEFT 8: Versuche über das Verhalten**  
von Kupfer, Zink und Blei gegenüber Zement, Beton und den  
damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten.

Ausgeführt im Königlichen Material-Prüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **E. Heyn**, Direktor im Königlichen  
Material-Prüfungsamt.

Mit 33 Textabbildungen.

1911.

Geheftet Preis 3,20 Mark.

**HEFT 9: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
zur Bestimmung des Einflusses der Hakenform der Eiseneinlagen.

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 84 Textabbildungen und 12 Zusammenstellungen.

1911.

Geheftet Preis 5,20 Mark.

**HEFT 10: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Be-  
wehrung gegen Schubkräfte. Erster Teil.

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 190 Textabbildungen und 31 Zusammenstellungen.

1911.

Geheftet Preis 9,— Mark.

**HEFT 11: Brandproben an Eisenbetonbauten.**

Ausgeführt im Königlichen Material-Prüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im  
Königlichen Material-Prüfungsamt.

Mit 22 Textabbildungen.

1911.

Geheftet Preis 2,— Mk.

**HEFT 12: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Be-  
wehrung gegen Schubkräfte. Zweiter Teil.



Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 304 Textabbildungen und 40 Zusammenstellungen.

1911.

Geheftet Preis 14,— Mk.

 Weitere Hefte sind in Vorbereitung. 



4344689

HEFT 8

# DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

## VERSUCHE

ÜBER

DAS VERHALTEN VON KUPFER, ZINK UND BLEI

GEGENÜBER

ZEMENT, BETON UND DEN DAMIT IN  
BERÜHRUNG STEHENDEN FLÜSSIGKEITEN

AUSGEFÜHRT IM

KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

ZU

GROSS-LICHTERFELDE - WEST

IN DEN JAHREN 1908 — 1910

BERICHT ERSTATTET VON

PROFESSOR E. HEYN

DIREKTOR IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 33 TEXTABBILDUNGEN UND ZAHLREICHEN TABELLEN

*F. H. 29 1912*



BERLIN 1911

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

*5.192*  
*25*



41-307328



---

Alle Rechte vorbehalten.

---



# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Allgemeines über die Durchführung der Versuchsreihen I und II . . .	I
Angaben über Herstellung der Metallproben und ihre chemische Zusammensetzung . . . . .	I
<b>Versuchsreihe I.</b>	
1. Versuchsausführung.	
Versuchsanordnung . . . . .	2
Versuchsflüssigkeiten . . . . .	2
Maßstab für den Angriff des Metalls . . . . .	3
2. Versuchsergebnisse.	
Allgemeine Erläuterungen zu den Tabellen und Abbildungen . .	4
a) Kupfer . . . . .	4
b) Zink . . . . .	5
c) Blei . . . . .	6
<b>Versuchsreihe II.</b>	
1. Versuchsausführung . . . . .	10
2. Versuchsergebnisse.	
a) Kupfer . . . . .	11
b) Zink . . . . .	11
c) Blei . . . . .	12
<b>Einige allgemeine Betrachtungen über die Versuchsausführung .</b>	<b>13</b>
Abbildungen 1 bis 33 . . . . .	16—33
Tabellen 1 bis 32 . . . . .	34—59





# Bericht

über die

## Versuche über das Verhalten von Kupfer, Zink und Blei gegen- über Zement, Beton und den damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten.

Ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West  
in den Jahren 1908 bis 1910.

Der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton beauftragte in seiner Sitzung vom 25. Juni 1908 das Königl. Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde, Untersuchungen über das Verhalten von Kupfer, Zink und Blei gegenüber Zement, Beton und den damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten auszuführen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden zuerst Versuche ausgeführt, die Aufschluß liefern sollten über das Verhalten der drei Metalle gegenüber wässrigen Lösungen, die mit Zement und Beton in Berührung kommen, oder daraus durch Berührung mit Wasser entstehen können. Diese Versuche sind als Versuchsreihe I bezeichnet; sie erstreckten sich teils über einen Monat, teils über ein Jahr. Sie wurden durchgeführt, weil sich auf Grund der Erfahrungen mit anderen Metallen voraussehen ließ, daß die Versuche mit unmittelbar in Zement oder Beton eingebetteten Metallproben nur einseitigen Aufschluß geben und kein Bild liefern würden über die Aenderung der Art des Angriffs der drei Metalle durch die verschiedenen in Betracht kommenden Stoffe unter wechselnden Umständen. Diese Voraussicht hat sich bei Durchführung der Versuchsreihe II bestätigt, bei der die verschiedenen Metalle in Zementwürfel in verschiedener Weise eingebettet und in verschiedener Weise in Wasser gelagert wurden. Die Dauer dieser Versuche betrug ein Jahr.

Die zu sämtlichen Versuchen benutzten Metalle lagen in Blechform vor. Die Dicke des Kupfer- und Zinkblechs betrug etwa 1,5 mm, die des Bleiblechs etwa 1,75 mm. Die daraus hergestellten Probeplättchen wurden auf den Oberflächen blank geschmiegelt, so daß sie etwa die Dicke 1 mm bei Kupfer und Zink, und 1,5 mm bei Blei hatten. Die chemische Analyse der Metalle ergab folgendes:

Kupfer:	Eisen . . . . .	0,01 %
	Sauerstoff . . . . .	0,09 „

Zinn, Arsen, Antimon, Blei, Nickel, Mangan, Zink, Aluminium, Phosphor, Schwefel fehlen.



Zink: Blei . . . . .	1,22 $\frac{0}{0}$
Eisen . . . . .	0,05 „
Cadmium . . . . .	0,05 „

Zinn, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, Mangan, Aluminium, Phosphor, Schwefel fehlen.

Blei: Antimon . . . . .	Spuren (weniger als 0,01 $\frac{0}{0}$ )
Kupfer . . . . .	0,077 $\frac{0}{0}$
Eisen . . . . .	0,002 „
Wismut . . . . .	0,039 „

Zinn, Arsen, Nickel, Mangan, Zink, Aluminium, Cadmium, Silber fehlen.

Die spezifischen Gewichte der drei Metalle wurden wie folgt ermittelt:

Kupfer: Bei 22 C <sup>0</sup> bezogen auf Wasser von 4 C <sup>0</sup>	8,887
Zink: „ 21 „ „ „ „ 4 „	7,174
Blei: „ 21 „ „ „ „ 4 „	11,339

## Versuchsreihe I.

### 1. Versuchsausführung.

Aus den drei Metallblechen wurden Probeplättchen nach Art der Abb. 1 ausgeschnitten. Die Plättchen wurden mit Schmirgel oberflächlich blank geputzt und hatten dann bei Kupfer und Zink ungefähr die Dicke 1, bei Blei 1,5 mm. Jedes Plättchen wurde für sich nach Art der Abb. 2 mittels eines Glashakens *G* in die Versuchsflüssigkeit *F* eingehängt. Die Menge der angewendeten Flüssigkeit betrug 250 ccm. Der Abstand der Oberkante der Metallproben von der Flüssigkeitsoberfläche war in allen Fällen 30 mm. Die Metallplättchen waren vor dem Einhängen in die Flüssigkeit gewogen. Nach Ablauf der Einwirkungsdauer wurden sie herausgenommen, mit der Haarbürste soweit angängig gereinigt und dann zurückgewogen.

Die Glasgefäße *Z* mit der Versuchsflüssigkeit *F* und den Metallproben *M* befanden sich während der Versuchsdauer in einem säurefreien Raum. Wenn nicht ausdrücklich etwas Gegenteiliges gesagt ist, stand die Flüssigkeit *F* an ihrer Oberfläche mit der Luft in Berührung (wie in Abb. 2 gezeichnet). Nur bei den Versuchen 15—17, die unter Ausschluß von Luft bzw. von Kohlendioxyd durchgeführt wurden, waren die Glasgefäße *Z* oben mit dreifach durchbohrten Gummistopfen verschlossen. Durch die eine Bohrung trat das durchgeleitete Gas (Wasserstoff oder kohlendioxydfreie Luft) mittels Glaszuleitung ein, durch die andere mittels Glasableitung aus. Durch die dritte Bohrung ging ein Glasstab, der an einem Haken die Metallprobe *M* trug, die vollständig in die Versuchsflüssigkeit *F* eintauchte.

Als Versuchsflüssigkeiten wurden verwendet:

Destilliertes Wasser, Leitungswasser des Amtes (Charlottenburger Wasserwerke), Lösungen von Kalziumhydroxyd, Kalziumkarbonat, Kalziumbikarbonat, Gips, künstliches Seewasser, Zementwasser erhalten durch Schütteln von Zement mit destilliertem Wasser, und schließlich Wasser, das über Zementpulver stand, das durch wiederholtes Schütteln und Auswaschen mit Wasser möglichst weitgehend von seinen löslichen Bestandteilen befreit war.

Das destillierte Wasser wurde unmittelbar dem Destillierapparat des Amtes entnommen. Sein Kohlensäuregehalt ist jedenfalls je nach der Dauer, während der es mit der atmosphärischen Luft in Berührung stand, verschieden.



Das Leitungswasser hat etwa folgende chemische Zusammensetzung:

	mg in 1 Liter
Kieselsäure . . . . .	12
Eisen und Tonerde . . . . .	Spur
Kalk (CaO) . . . . .	96
Magnesia (MgO) . . . . .	12
Schwefelsäure (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	34
Chlor (Cl) . . . . .	26
Einfach gebundene Kohlensäure . . . . .	71
Alkalien . . . . .	41 <sup>1)</sup>
Gesamtrückstand bei 125 C <sup>0</sup> getrocknet	280

Der Gesamtkohlensäuregehalt wurde nicht bestimmt, da er jedenfalls sehr wechselnd ist.

Ueber die Herstellung der übrigen Lösungen ist am Fuß der einzelnen Tabellen das Erforderliche mitgeteilt.

Als Seewasser wurde eine künstlich hergestellte Lösung verwendet, deren Zusammensetzung in Tabelle 20 gegeben ist.

Der zur Herstellung des Zementwassers verwendete Zement (2/9615) ergab bei der Analyse:

Glühverlust . . . . .	2,74 %	} bezogen auf den geglühten Zement
Unlöslicher Rückstand	0,16 „	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	21,64 „	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,29 „	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	7,25 „	
MnO . . . . .	Spur	
CaO . . . . .	64,43 %	
MgO . . . . .	1,09 „	
SO <sub>3</sub> . . . . .	1,89 „	
Alkalien . . . . .	0,25 „	

Das „Zementwasser“ wurde wie folgt hergestellt. Eine bestimmte in den Tabellen jedesmal angegebene Gewichtsmenge Zement wurde mit destilliertem Wasser tagelang geschüttelt, so daß der Zement flockig blieb und nicht zusammenbackte. Von der überstehenden Flüssigkeit, die stark alkalisch reagierte, wurden entsprechende Mengen als Versuchsflüssigkeit *F* in die Glaszylinder *Z* (Abb. 2) mit dem aufgeführten Bodensatz übergeführt.

Die so gewonnene stark alkalische Versuchsflüssigkeit soll im folgenden kurz als Zementwasser bezeichnet werden.

„Wasser über abgeundenem Zement“ soll kurz die wie nachstehend angegeben hergestellte Flüssigkeit genannt werden. Bestimmte in den Tabellen mitgeteilte Gewichtsmengen Zement wurden mit bestimmten Mengen destillierten Wassers geschüttelt, so daß der Zement nicht zusammenballte. Das Wasser wurde nach dem Absetzen abgehoben und beständig durch frisches ersetzt. Vier Wochen lang wurde das Wasser täglich zweimal erneuert. Das letzte nicht mehr alkalisch reagierende Wasser wurde mit dem aufgeführten Bodensatz in die Glasgefäße *Z* (Abb. 2) verteilt und als Versuchsflüssigkeit *F* benutzt.

Die Gewichtsveränderung der Metallproben *M* infolge des Angriffs der Versuchsflüssigkeiten war teils positiv, d. h. es erfolgte Gewichtszunahme, teils negativ, es trat also Gewichtsabnahme ein. In den Fällen, wo sich die infolge des Angriffs auf dem Metall gebildeten Zersetzungserzeugnisse ohne Beschädigung des Metalls durch Abbürsten entfernen lassen, ist die Gewichtsabnahme Maßstab für den erfolgten Angriff. In den Fällen, wo sich die Zersetzungserzeugnisse ausschließlich auf dem Metall bilden, an diesem festhaften

1) Zur Hälfte als Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O angenommen.



und wesentliche Mengen des Metalls in der Flüssigkeit nicht gelöst werden, kann die Gewichtszunahme als Vergleichsmaßstab für den Angriff des Metalls dienen. In Fällen jedoch, wo sich ein Teil der Zersetzungserzeugnisse auf dem Metall fest niederschlägt, ein anderer Teil sich in der Flüssigkeit, sei es gelöst oder als Niederschlag, befindet, kann die Gewichtsveränderung (positiv oder negativ) nicht mehr als quantitativer Maßstab dienen; sie kann nur noch qualitativ darüber Aufschluß geben, ob der Angriff schwach, stark oder sehr stark ist. Dies ist bei der Beurteilung der Tabellen und Schaubilder zu berücksichtigen.

## 2. Die Versuchsergebnisse.

Die Gewichtsveränderung der Metallplättchen in den verschiedenen Flüssigkeiten nach den verschiedenen Versuchsdauern, sowie die bei den Versuchen gemachten Beobachtungen sind in den Tabellen 1—21, 23—26, 28—31 niedergelegt. Zur besseren Uebersicht sind die Gewichtsveränderungen der Plättchen in den Abb. 3—22 zeichnerisch sichtbar gemacht. Als Ordinaten sind in diesen Abbildungen die Gewichtsveränderungen in Milligramm verwendet. Gewichtsabnahmen (—) sind von der Abszissenachse aus nach oben, Gewichtszunahmen (+) nach unten abgetragen. Die Abb. 4—7 zeigen den Einfluß verschiedener Konzentration der Lösung eines und desselben Stoffes auf die drei Metalle. Die Abszisse 0, bezeichnet mit dem Buchstaben *D*, entspricht dem destillierten Wasser, der Buchstabe *G* der gesättigten Lösung des betreffenden Stoffes. Die Konzentrationen der Lösungen von Kalziumbikarbonat (Abb. 4, S. 18) sind z. B. ausgedrückt durch  $0,3669 \cdot 10^n$  Gramm Ca in 1 Liter. Die Werte für *n* sind als Abszissen benutzt. Für die gesättigte Lösung *G* ist  $n = 0$ , die Abszisse also Null. Ist die Abszisse  $n = -3$ , so bedeutet dies, daß die Lösung in 1 Liter  $0,3668 \cdot 10^{-3} = 0,0004$  g Ca enthält. Die Schaulinien für Kupfer sind strichpunktiert, die für Zink gestrichelt und die für Blei ausgezogen.

In den Abb. 8—11, 13—16, 18—21 ist die Versuchsdauer in Monaten als Abszisse verwendet. Die Abbildungen geben sonach einen Ueberblick über das Fortschreiten der Einwirkung der verschiedenen Flüssigkeiten auf die drei Metalle.

Die Abb. 3, 12, 17 und 22 geben Uebersichten. Abb. 3 läßt die Gewichtsveränderungen erkennen, die die drei Metalle nach einmonatlicher Einwirkung der den Schaubildern beigeschriebenen Flüssigkeiten erlitten haben. Die beigeschriebenen Zahlen 1—10 geben die Nummern der einzelnen Versuche und der zugehörigen Tabellen an. Die Gewichtsveränderung entspricht der Länge der Streifen in Richtung der Ordinatenachse gemessen. Die nicht schraffierten Streifen gelten für Kupfer, die schraffierten für Zink und die schwarz ausgefüllten für Blei. Ähnlich wie die Abb. 3 sind die Abb. 12, 17 und 22 eingerichtet, die für jedes Metall gesondert den Angriff von destilliertem Wasser, Leitungswasser, künstlichem Seewasser und Zementwasser nach einem Jahre veranschaulichen. Auch hier verweisen die beigeschriebenen Zahlen auf die Nummer der zugehörigen Tabelle.

### a) Kupfer. (Vergl. Abb. 3, 12, 23.)

α. Destilliertes Wasser und Leitungswasser greifen das Kupfer nur in ganz geringem Maße an, so daß selbst nach einjähriger Einwirkung der Angriff ganz unbedeutend ist. In beiden Wasserarten waren allerdings in der Flüssigkeit Spuren von Kupfer mittels Schwefelwasserstoff nachweisbar. Vergl. Tab. 1, 2, 18, 19, sowie Abb. 8 und 9. In beiden Fällen findet geringe Oxydation des Kupfers statt. Im destillierten Wasser beschlägt sich das Kupfer punktweise rot (anscheinend  $\text{Cu}_2\text{O}$ ); im Leitungswasser ist die Anlauffarbe dunkel und entspricht wahrscheinlich dem Kupferoxyd.

β. Zementwasser bewirkt Angriff des Kupfers, das von der Oberfläche her fortschreitend in ein dunkles Zersetzungserzeugnis (anscheinend  $\text{CuO}$ ) um-



gewandelt wird. Kupfer ist in der Lösung mit Schwefelwasserstoff nicht nachweisbar. Siehe Tab. 9 und 21 sowie Abb. 11. Der Angriff des Zementwassers kann nicht allein auf die Wirkung des darin gelösten Kalziumhydroxyds zurückgeführt werden, da dieses nach einem Monat (Tab. 13 und Abb. 6, S. 16) geringeren Angriff ergibt, als das Zementwasser (Tab. 9 und 21) in derselben Zeit.

γ. Wasser über abgebundenem Zement bewirkte keinen nach 1 Monat feststellbaren Angriff. (Tab. 10.)

δ. Künstliches Seewasser bewirkt kräftigen fortschreitenden Angriff des Kupfers, das hierbei anfänglich dunkel, später rot anläuft und schließlich mit einer grünen Schicht bedeckt wird. Geringe Mengen Kupfer sind durch Schwefelwasserstoff im Seewasser nach Beendigung der Versuche nachweisbar, der größere Teil des Kupfers befindet sich in Form eines anfangs weißen, später hellgrünen Niederschlages am Boden der Gefäße. Siehe Tab. 20 und Abb. 10.

ε. Die Lösungen von Kalziumhydroxyd (Tab. 3 und 13, Abb. 6) ergaben bei höheren Gehalten an diesem Stoff geringe nach einem Monat merkbare Angriffe unter Dunkelfärbung des Kupfers. Ähnliches gilt von Lösungen des Kalziumbikarbonates (Tab. 11, Abb. 4), die das Kupfer ebenfalls dunkel beschlagen, und von Lösungen des Gypses, die auf dem Kupfer rote Beschläge hervorrufen (Tab. 5 und 14, Abb. 7). Lösungen von Kalziumkarbonat geben fast gar keinen Angriff (Tab. 4 und 12, Abb. 5). In allen unter ε angeführten Lösungen waren nach dem Versuch Spuren von Kupfer mit Schwefelwasserstoff nachweisbar.

Die Mischungen der Lösungen von Kalziumhydroxyd, Kalziumkarbonat und Gips ergaben unter den angewendeten Versuchsbedingungen (Tab. 6, 7 und 8, Abb. 3) nach einmonatlicher Einwirkungsdauer merkbaren Angriff nur bei Gegenwart von Kalziumhydroxyd.

ζ. Da die Wirkung der verschiedenen Flüssigkeiten auf das Kupfer mit einer Oxydation dieses Metalles verbunden ist, so ist es selbstverständlich, daß der Angriff durch Ausschluß der Luft verhindert wird. Für die Lösungen von Kalziumkarbonat, Kalziumhydroxyd und Gips ist dies durch die Versuche in Tab. 15 nochmals belegt.

#### b) Zink. (Abb. 3, 17 und 23.)

Zink wird von allen untersuchten Flüssigkeiten mehr oder weniger stark angegriffen. Das Zink wandelt sich beim Angriff vollständig in feste Zersetzungserzeugnisse um, da in keinem Fall nach Beendigung des Versuches in der Lösung Zink nachweisbar war.

α. Destilliertes Wasser wandelt das Zink allmählich in Zinkhydroxyd um. Ob geringe Mengen Karbonat beigemengt sind, wurde nicht weiter untersucht. Der oxydische Beschlag sitzt teilweise auf dem Metall fest, teilweise sinkt er als weißer Niederschlag auf den Boden der Gefäße. (Tab. 1 und 23 und Abb. 13.) Wie aus Tab. 23 und Abb. 13 hervorgeht, scheint die Gewichtsveränderung und damit auch der Angriff des Zinks infolge Bildung einer Schutzschicht mit der Zeit zum Stillstand zu kommen.

β. Leitungswasser greift etwas weniger an, als das destillierte Wasser. Das Zink beschlägt sich farbig. In der Flüssigkeit bildet sich Hydroxyd. Auch hier scheint mit der Zeit die Gewichtsveränderung und damit der Angriff infolge Bildung einer Schutzschicht zum Stillstand zu gelangen. (Tab. 2, 24 und Abb. 14.)

γ. Lösungen von Kalziumhydroxyd, Kalziumkarbonat und Gips (Tab. 3, 13, 4, 12, 5, 6, 7, 8; Abb. 3, 5, 6, 7) bewirken ziemlich kräftigen Angriff des Zinks, der im allgemeinen um so stärker ist, je konzentrierter die Lösung angewendet wird. Eine Ausnahme hiervon bilden nur die Kalziumhydroxydlösungen. Während auch hier zunächst der Gewichtsverlust der Zinkproben mit dem Gehalt der Lösung an Hydroxyd steigt, wird er bei der



gesättigten Lösung plötzlich wieder geringer, wahrscheinlich wegen Festhaftens eines Beschlags. Das Gemisch von Gips und Kalziumkarbonatlösung (Tab. 6) zeigt kräftigen Angriff. Bei den Lösungsgemischen  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4$  sowie  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_3$  ist der Angriff scheinbar geringer, als bei den Lösungen der einzelnen Stoffe. Ob aber auch hier nicht etwa stärkeres Anhaften des Beschlags den Gewichtsverlust nahezu ausgleicht und so das Bild trübt, läßt sich nicht sicher sagen.

δ. Kalziumbikarbonatlösung (Tab. 11, Abb. 4) zeigt stärksten Angriff bei mittlerer Konzentration; die Gewichtsabnahme nimmt sowohl nach der Seite der stärkeren, als auch nach der Seite der verdünnten Lösungen ab.

ε. Zementwasser (Tab. 9, 26; Abb. 16) bewirkt starken, fortschreitenden Angriff des Zinks. Wasser über abgeundenem Zement (Tab. 10) gibt bereits nach einem Monat so starken Angriff wie das stark alkalische Zementwasser nach  $3\frac{1}{2}$  Monaten (Abb. 3).

ζ. Seewasser zeigt unregelmäßigen Verlauf des Angriffs (Tab. 25, Abb. 15). Er ist verhältnismäßig schwach, weil die Wirkung des Seewassers scheinbar durch eine auf dem Metall gebildete Schutzschicht verzögert wird.

η. Bei Luftabschluß ist Oxydation des Zinks ausgeschlossen, infolge dessen geben auch die Versuche der Tab. 15 mit Lösungen von Kalziumkarbonat, Kalziumhydroxyd und Gips keinen Zinkangriff.

### c) Blei. (Abb. 3, 22 und 23.)

Das Blei wird von der Mehrzahl der untersuchten Lösungen außerordentlich stark angegriffen.

α. Destilliertes Wasser. Hierbei spielt die Gegenwart von Kohlendioxyd eine wichtige Rolle, die aus folgender Gegenüberstellung hervorgeht:

Versuchsverhältnisse bei der Einwirkung des destillierten Wassers	Gewichtsveränderung in Milligramm in 1 Monat
αα. Luft mit dem gewöhnlichen CO <sub>2</sub> -Gehalt konnte von der Oberfläche der Flüssigkeit her zutreten (Tab. 1)	+ 3
Desgl. (Tab. 28) . . . . .	0
Desgl. (Tab. 11) . . . . .	— 8
ββ. Wasser 20 Minuten im H-Strom gekocht, abgekühlt und durch Wasserstoffdruck in die mit H gefüllten Glasgefäße mit den Bleiprüben übergedrückt. Durch die geschlossenen Gefäße H durchgeleitet, der zuvor zwei Vorlagen mit alkalischer Pyrogallussäure durchlaufen hatte <sup>1)</sup> (Tab. 16) . . . . .	— 13
γγ. Mit KOH und Ba(OH) <sub>2</sub> von Kohlendioxyd befreite Luft über die kohlensäurefreie Flüssigkeit geleitet (Tab. 17) . . . . .	— 129
δδ. Wasser mit Kohlendioxyd gesättigt. Luft konnte von der Flüssigkeitsoberfläche her zutreten. Die Bleiprüben überzogen sich sofort mit einem dunklen Beschlag, der weiteren Angriff verhinderte . . . . .	fast 0

Darnach bringt kohlendioxydfreies destilliertes Wasser bei ungehindertem Zutritt von kohlendioxydfreier Luft den stärksten Angriff hervor (Fall γγ). Enthält das destillierte Wasser viel Kohlendioxyd, so kann der Angriff auf Null heruntergehen, weil das Blei durch eine Schutzschicht vor weiterem Angriff bewahrt bleibt (Fall δδ). Je nach dem Kohlen-

<sup>1)</sup> Völlige Entfernung der Luft durch Kochen nicht möglich, auch nicht durch Waschen des aus einem Kippschen Apparates entwickelten Wasserstoffs in alkalischer Pyrogallussäure.



dioxydgehalt des destillierten Wassers fällt der Angriff verschieden stark aus, wie der Vergleich der untereinander abweichenden Werte der Fälle unter  $\alpha\alpha$  zeigt (Tab. 1, 11 und 28).

Bei der in Tab. 28 niedergelegten Versuchsreihe wurden sämtliche Versuche am gleichen Tage, mit Proben aus demselben Bleiblech und mit dem gleichen destillierten Wasser angesetzt. Trotzdem sind die Versuchsergebnisse sehr verschieden. Man kann zwei verschiedene Arten des Angriffs unterscheiden:

Angriff I. Auf dem grau angelaufenen Blei bilden sich wurm- und haarförmige weiße Ausblühungen, die nicht das ganze Blei, sondern nur einen Teil desselben bedecken. Die Flüssigkeit bleibt klar, an der Flüssigkeitsoberfläche bildet sich keine weiße Haut. In den weißen Ausblühungen war Kohlensäure nachweisbar, so daß anscheinend basisches Bleikarbonat vorliegt (vergl. Abb. 24). In der über den Bleiprobe stehenden Flüssigkeit ist kein Blei gelöst.

Angriff II (vergl. Abb. 24). In der Flüssigkeit bildet sich sofort nach dem Einhängen der Bleiprobe weiße Trübung. Auf dem Blei scheiden sich sehr bald weiße, später gelb und teilweise dunkel werdende Kriställchen ab. Auf der Flüssigkeitsoberfläche entsteht eine weiße Schicht, die langsam zu Boden sinkt und sich wieder von neuem bildet (anscheinend basisches Karbonat). Die Kristalle auf dem Blei sind frei von Kohlensäure. Sie bestehen teils aus glänzenden quadratischen Säulen von Bleihydroxyd, wie in Abb. 25, teils aus dunklen blättrigen Kristallen von Bleioxyd, wie in Abb. 26. Bei  $120\text{ C}^0$  werden die quadratischen Säulen rot, nach dem Erkalten gelb. Die dunklen blättrigen Kristalle verhalten sich ebenso, nur dekrepitieren sie stark beim Erhitzen. Der Wassergehalt der beiden Kristallsorten auf dem Blei beträgt etwa  $1,1\%$  (durch Trocknen bei  $120\text{ C}^0$  ermittelt). In der über den Bleiprobe stehenden Flüssigkeit ist nach dem Abfiltrieren kein Blei nachweisbar.

Der Angriff II gibt wesentlich stärkere Gewichtsabnahme des Bleis, als der Angriff I (vergl. Abb. 18).

Welcher von den beiden Angriffen eintritt, hängt vom Zufall ab. Wie Tab. 28 zeigt, erfolgte in einigen Fällen der Versuchsreihe Angriff II, in der Mehrzahl der Fälle Angriff I. Der einzige Unterschied in der Versuchsausführung konnte, da sonst alle Verhältnisse gleichbleibend gehalten waren, darin liegen, daß die Bleiprobe in die einzelnen mit destilliertem Wasser gefüllten Gefäße am gleichen Tage zu verschiedenen Zeiten eingehängt wurden. Der Unterschied in der Zeit konnte aber höchstens einige Stunden betragen. Es wäre aber in dieser Zeit doch schon möglich, daß sich zwischen dem Kohlendioxydgehalt des Wassers und dem der umgebenden Luft ein Ausgleich einstellte, der dann den Bleiangriff nach der einen oder anderen Richtung hin begünstigte. Auf jeden Fall genügt schon ein sehr geringfügiger Einfluß, um die Entscheidung herbeizuführen, welcher Angriff eintritt (I oder II). Die Entscheidung liegt gewissermaßen auf des Messers Schneide.

Der Gehalt des destillierten Wassers an Luft und Kohlendioxyd wird zwischen den beiden äußersten Grenzfällen  $\gamma\gamma$  und  $\delta\delta$  gelegen haben. Diese Zwischenverhältnisse können je nach Umständen zu Angriff I oder Angriff II führen. Welcher von beiden Angriffen eintritt, entscheidet sich bereits in der ersten Stunde der Einwirkung des destillierten Wassers auf das Blei. Bleibt die Flüssigkeit klar, so erfolgt Angriff I, wird sie trübe, so ergibt sich Angriff II. Die Trübung bleibt dann bis zu Ende des Versuchs bestehen. Die auf der Flüssigkeitsoberfläche gebildete Haut scheint im letzteren Falle eine Rolle zu spielen; wahrscheinlich wirkt sie als Absorptionsmittel für das Kohlendioxyd, so daß an das darunter befindliche Bleiplättchen nur kohlendioxydfreie oder -arme Luft zutreten kann, und der Fall  $\gamma\gamma$  verwirklicht ist.

Berechnet man aus Tab. 28 die mittlere Gewichtsveränderung des Bleies in 30 Tagen gesondert für die Angriffsarten I und II und läßt hierbei die Ergebnisse mit den Proben 93 und 85 außer Acht (da hier nicht genau entschieden werden konnte, welcher Angriff, I oder II, vorwaltete), so ergibt sich:



Nr. der Proben		Gewichtsveränderung in Milli- gramm, berechnet auf eine Ver- suchsdauer von 1 Monat	
Angriff I.	121; 122	0 : 1	0
	123; 124	— 10,8 : 2	— 5
	125; 126	— 17,9 : 3	— 6
	127; 82	— 35,3 : 4	— 9
	89; 88	— 56,3 : 5	— 11
	53	— 74,6 : 6	— 12
	81	— 108 : 7	— 15
	79; 78	— 117 : 8	— 15
	90; 83	— 131 : 9	— 14
	58; 86	— 133 : 10	— 13
	87; 91	— 154 : 11	— 14
		im Mittel	— 10
Angriff II.	52	— 1004 : 6	— 167
	80	— 924 : 7	— 132
		im Mittel	— 150

Die beiden Angriffsarten verhalten sich somit wie 1 : 15.

Wasserleitungsrohre aus Blei können bei Gegenwart sehr reiner Wasserarten, die dem destilliertem Wasser nahekommen, und sehr geringen Gehalt an Kohlendioxyd führen, sehr stark angegriffen werden, so daß die Lebensdauer der Rohre wesentlich vermindert wird (Angriff II). Bei genügendem Kohlendioxydgehalt hingegen kann die Lebensdauer der Rohre sehr groß werden, weil der Angriff durch das Kohlendioxyd herabgedrückt, unter Umständen sogar verhindert wird.

Aehnliche Fälle können bei Bleiblechen eintreten, die zur wasserdichten Abdeckung von Bauwerken verwendet werden (an Stelle der Asphaltpappen und Asphaltfilzpappen). Auch hier wird die Stärke des Angriffs durch die Gegenwart von Kohlendioxyd beeinflusst.

Berichterstatter hat solche Bleiplatten für Abdichtungszwecke gesehen, die fast in ihrer ganzen Dicke in Bleiglätte (PbO) umgewandelt waren, so daß nur noch eine dünne Schicht Blei übrig geblieben war. Ebenso hatte er Gelegenheit, Teile von bleiernen Wasserleitungsrohren zu beobachten, die von außen her fast in ihrer ganzen Wandstärke in Bleiglätte verwandelt waren. Die näheren Verhältnisse, unter denen der Angriff dieser Bleiplatten und -Rohre erfolgte, sind dem Berichterstatter nicht bekannt. Jedenfalls kann der Angriff sehr reinen kohlendioxydarmen Wassers unter Angriffsart II solche Zerstörung herbeiführen.

β. Leitungswasser (Tab. 2, 29 und Abb. 19). Das Blei überzog sich mit einer dunklen Schicht, die fest haftete. Da bei den Versuchen weder Blei in Form eines Niederschlags im Gefäß noch in Lösung in der Flüssigkeit enthalten war, so kann die Gewichtszunahme als angenäherter Maßstab für den Angriff des Bleies dienen. Berechnet man aus Tab. 29 den durchschnittlichen Angriff in Milligramm, bezogen auf eine Versuchsdauer von 1 Monat, indem man die Gewichtszunahme nach  $n$  Monaten mit  $n$  teilt, so ergibt sich:

Versuchsdauer in Monaten	Gewichtszunahme der Proben in mg	
$n$	nach $n$ Monaten	nach 1 Monat
1	3,2	3,2
2	6,2	3,1
3	9,6	3,2
4	12,0	3,0
5	12,2	2,4
6	15,0	2,5
7	18,3	2,6
8	21,4	2,7
9	18,0	2,0
10	19,5	1,9
11	18,9	1,7
12	21,6	1,8

Im Mittel 2,5



Der Angriff ist sonach wesentlich geringer als der durch destilliertes Wasser. Aus der letzten Spalte der obigen Zusammenstellung ist außerdem ersichtlich, daß der Angriff in den ersten Monaten größer ist, als der Durchschnitt von 2,5 mg/Monat, während er bei längerer Einwirkungsdauer allmählich unter den Durchschnitt sinkt. Dies, sowie der Verlauf der Schaulinie in Abb. 19 deuten darauf hin, daß der Angriff des Bleis durch das Leitungswasser anfangs rascher vor sich geht und sich allmählich verlangsamt. Daß er mit der Zeit ganz aufhört, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, sondern nur vermuten.

Es war von Wichtigkeit, zu wissen, ob etwa die dunkle Schutzschicht auf dem Blei, die im Leitungswasser sich bildet und den Angriff stark vermindert, ihre schützende Wirkung auch dann weiter ausübt, wenn die mit der Schicht bedeckte Bleiprobe in destilliertes Wasser eingestellt wird. Bei einem dahingehenden Versuch stellte sich trotz dieser dunklen Schicht nach einigen Wochen Angriff I mit den örtlichen weißen Ausblühungen von basischem Karbonat ein. Der Schutz der dunklen Schicht ist also nur im Leitungswasser selbst wirksam, nicht aber im destillierten Wasser.

γ. Kalziumbikarbonatlösung. Da in dieser Lösung Kohlendioxyd-überschuß gegenüber der einfach gebundenen Kohlensäure vorhanden ist, muß sich auch die Wirkung dieser überschüssigen Kohlensäure geltend machen. Die Wirkung muß ähnlich sein wie beim Leitungswasser, dessen Hauptbestandteil ja Kalziumbikarbonat ist. In der Tat zeigt Tab. 11 und Abb. 4, daß der Angriff des Bikarbonats verhältnismäßig geringfügig ist und nicht wesentlich von dem des Leitungswassers abweicht.

δ. Kalziumkarbonatlösung. Wesentlich anders liegt der Fall, wenn die Lösung über die einfach gebundene Kohlensäure hinaus keine weiteren Mengen überschüssigen Kohlendioxyds enthält, wenn also Kalziumkarbonatlösungen einwirken. Die sehr verdünnten Lösungen verhalten sich wie destilliertes Wasser, zu dem kein Kohlendioxyd treten kann. Die Kalziumkarbonatlösung absorbiert Kohlendioxyd, das aus der Luft Zutritt, und verhindert es, an das Blei in der Lösung zu gelangen. Der Angriff muß demnach dem Angriff II in destilliertem Wasser ähnlich sein (vergl. Tab. 4, 12 und Abb. 3, 5). Die stärkeren Lösungen von Kalziumkarbonat geben mit steigender Konzentration abnehmenden Angriff.

ε. Lösungen von Kalziumhydroxyd (Tab. 3, 13 und Abb. 3, 6). Auch hier verhalten sich die ganz verdünnten Lösungen wie destilliertes Wasser bei Abwesenheit von Kohlendioxyd, da dieses ja durch die Lösung absorbiert wird, und so nicht an das Blei gelangen kann. Demnach muß starker Angriff nach Art II eintreten, wie dies tatsächlich Abb. 6 erkennen läßt. Die Stärke des Angriffs ist aber außerordentlich schwankend. Bald tritt bei derselben Lösung ( $0,8772 \cdot 10^{-3}$  g Ca in 1 Liter) starker, bald schwacher Angriff ein. Möglich ist, daß die Stärke des Angriffs davon abhängt, ob das Häutchen auf der Oberflächenschicht erhalten bleibt oder nicht. Hierüber müßten weitere Versuche Aufklärung schaffen.

Bei den stärkeren Lösungen nimmt der Angriff des Bleies mit dem Gehalt an Kalziumhydroxyd zu. Namentlich kräftig ist der Angriff der gesättigten Lösung. Die Bleiprobe n bleiben in dieser metallisch blank. Blei ist in der Flüssigkeit gelöst. Auf der Oberfläche der Flüssigkeit und zum Teil am Boden des Glasgefäßes befanden sich weiße Kristallkrusten, die starke Bleireaktion gaben.

ζ. Lösungen von Gips (Tab. 5, 14 und Abb. 3, 7). Hier gibt die sehr verdünnte Lösung außerordentlich starken Angriff, der mit steigendem Gehalt an Gips bis zur gesättigten Lösung schnell abnimmt.

η. Lösungen von Kalziumkarbonat, Kalziumhydroxyd und Gips bei möglichstem Ausschluß von Luft. Die Lösungen wurden im Wasserstoffstrom 15 Minuten lang ausgekocht und dann mit Wasserstoffdruck in die geschlossenen Glasgefäße mit den Bleiplättchen übergedrückt, nachdem die Gefäße vorher mit Wasserstoff gefüllt waren. Durch die Gefäße



wurde dann während der Versuchsdauer Wasserstoff geleitet, der in zwei Vorlagen mit alkalischer Pyrogallussäure gewaschen war. Wenn durch diese Versuchseinrichtung der Sauerstoff auch nicht völlig ausgeschlossen wird, so wird sein Zutritt doch wesentlich vermindert. Aus dem Vergleich der Tab. 15 mit den Tab. 12, 13 und 14 ergibt sich folgende Gegenüberstellung:

Lösung		Gewichtsabnahme in mg in 1 Monat	
$\text{CaCO}_3$	$0,0241 \cdot 10^{-3}$ g Ca in 1 l	Luftzutritt . . . .	171
		kein Luftzutritt . . . .	9
$\text{Ca(OH)}_2$	$0,8772 \cdot 10^{-1}$ „ „ „ 1 „	Luftzutritt . . . .	13
		kein Luftzutritt . . . .	6
$\text{CaSO}_5$	$0,3803 \cdot 10^{-3}$ „ „ „ 1 „	Luftzutritt . . . .	183
		kein Luftzutritt . . . .	9

Infolge der Verminderung des Luftzutritts geht also bei den oben genannten Lösungen der Angriff sehr stark zurück. Ob bei völligem Ausschluß von Sauerstoff der Angriff auf Null sinkt, muß vorläufig noch offen bleiben.

9. Mischungen von je zwei Lösungen der Stoffe Kalziumkarbonat, Kalziumhydroxyd und Gips (Tab. 6, 7, 8 und Abb. 3) geben unter den angewendeten Versuchsbedingungen starken Angriff des Bleies.

10. Seewasser greift Blei verhältnismäßig wenig an. Der Angriff strebt, wie es scheint, mit der Zeit einem Stillstand zu (Tab. 30 und Abb. 20).

11. Zementwasser (Tab. 9, 31 und Abb. 3, 21) zeigt sehr kräftigen fortschreitenden Angriff auf Blei. Wasser über abgebundenem Zement zeigte, wenigstens nach der angewandten Versuchsdauer von 1 Monat, keinen Angriff auf Blei (Tab. 10, Abb. 3).

## Versuchsreihe II.

### 1. Versuchsausführung.

Aus den drei Blechen von Kupfer, Zink und Blei wurden Probeplättchen nach Abb. 27 und 28 geschnitten. Sie wurden in Zementwürfel nach Art der Abb. 29 und 30 eingebettet. Die großen Plättchen Abb. 27 lagen auf 50 mm ihrer Länge im Zement und ragten mit 30 mm aus dem Zementwürfel heraus. Die kleinen Plättchen Abb. 28 lagen vollständig in den Zementwürfeln. Die letzteren hatten die Kantenlänge 7,1 cm.

Zu den Würfeln wurde reiner Zement (2/10797) ohne Sandzusatz verwendet. Der Wasserzusatz war 18 0/0. Die Temperatur der Luft betrug bei der Herstellung der Würfel 18,5—19 C°, ihr Feuchtigkeitsgehalt war 60 0/0. Die Temperatur des Wassers wurde zu 17 C° gemessen. Die Würfel mit den Probeplättchen wurden am 2. XII. 1909 hergestellt und am 4. XII. 1909 in die Versuchsflüssigkeiten bezw. in Luft gebracht, worin sie bis zum 3. XII. 1910, also ein Jahr lang verblieben.

Ein Teil der Würfel wurde in Leitungswasser, ein anderer in künstliches Seewasser von der in Tab. 20 gegebenen Zusammensetzung gelagert. Ein dritter Teil wurde auf dem Dach des Amtes in Luft, ohne Schutz gegen die Witterungseinflüsse aufbewahrt. Die in Leitungswasser und Seewasser eingesetzten Würfel hatten während der ganzen Versuchsdauer Zimmerwärme (15—22 C°); sie waren zum Teil ganz (Abb. 29), zum Teil halb in die Flüssigkeit untergetaucht (Abb. 30). Die Versuchsanordnung mit ganz untergetauchten Würfeln ist durch den Buchstaben g, die mit halb eingetauchten Würfeln durch den Buchstaben h kenntlich gemacht. Die Versuchsanordnung mit teilweise aus den Würfeln heraus-



ragenden Metallblechen ist mit **A**, die mit völlig im Zement eingebetteten Metallproben mit **B** bezeichnet. Demnach kommen folgende Versuchsanordnungen in Betracht:

In Leitungswasser oder künstlichem Seewasser (während der Versuchsdauer nicht erneuert):

- gA: Würfel ganz in die Flüssigkeit untergetaucht, Metallprobe aus dem Zementwürfel teilweise herausragend. Der herausragende Teil liegt vollständig in der Flüssigkeit (Abb. 29).
- gB: Würfel ganz in die Flüssigkeit untergetaucht, Metallprobe vollständig im Zement eingebettet (Abb. 29).
- hA: Würfel halb in die Versuchsflüssigkeit eingetaucht. Metallprobe aus dem Zementwürfel teilweise herausragend. Der herausragende Teil liegt in Luft (Abb. 30).
- hB: Würfel halb in die Versuchsflüssigkeit untergetaucht. Metallprobe ganz in Zement eingebettet (Abb. 30).

In Luft:

- A: Metallprobe teilweise aus dem Würfel in die Luft herausragend.
- B: Metallprobe ganz im Würfel eingebettet.

Die Aufstellung für Anordnung A und B war wie in Abb. 30, nur waren die Würfel nicht in einer Flüssigkeit, sondern auf einem Holzbrett gelagert.

## 2. Die Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse sind in den Tab. 22, 27 und 32 zusammengefaßt und in den Abb. 12, 17 und 22 schaubildlich dargestellt. Die Art des Angriffs der Metallproben ist aus den Abb. 31—33 ersichtlich, die den Zustand der einzelnen Metallplättchen nach Ablauf der Versuchsdauer im Lichtbild darstellen.

a) Kupfer in Zementwürfeln (Tab. 22 und Abb. 12). Der Angriff nach einem Jahre ist sowohl bei der Lagerung in Leitungswasser, wie in Seewasser und Luft gering. Er ist wesentlich geringer, als der durch Zementwasser (Tab. 21 und Abb. 11). Die Erklärung liegt darin, daß beim Zementwasser in der Anordnung nach Abb. 2 Luft und Versuchsflüssigkeit ungehinderten Zutritt zu den Metallproben hatten, während bei den Würfelproben zunächst nur das im Zement vor dem Abbinden eingeschlossene lufthaltige Wasser wirken konnte, nach dessen Aufbruch durch den Zement der Ersatz der Flüssigkeit, wenn überhaupt, so doch wenigstens sehr langsam von außen durch den Zement nach innen stattfinden mußte.

Bei allen drei Lagerungsarten (Leitungswasser, Seewasser und Luft) überzieht sich das Kupfer im Innern des Würfels mit einer dunklen, nicht abwischbaren Schicht, die große Ähnlichkeit mit der dunklen Schicht aufwies, die sich im Zementwasser beim Versuch 21 (Tab. 21) auf dem Kupfer gebildet hatte.

Die Versuchsplättchen sind nach einjähriger Versuchsdauer in Abb. 31 wiedergegeben.

b) Zink in Zementwürfeln (Tab. 27 und Abb. 17). Das Auffälligste bei diesen Versuchen war das Festhaften der Probeplättchen an dem Zement nach Beendigung der Versuche. Dies steht im Gegensatz zum Verhalten des Kupfers und Bleies, deren Probeplättchen ohne feste Verbindung mit dem Zement waren und nach Zerschlagen der Würfel leicht herausgenommen werden konnten. Es scheint sonach zwischen dem Zink und dem Zement eine innigere Verbindung einzutreten, die wahrscheinlich auf einer chemischen Reaktion beruht. An den vom Zement losgelösten Zinkplättchen blieb eine zementartige festhaftende Kruste hängen. Sie ließ sich nicht abbürsten. Der Versuch, sie zum Zweck der Fest-



stellung der Gewichtsveränderung der Metallproben durch Abschaben mit einem Zinkblech zu entfernen, mußte aufgegeben werden, weil hierbei der harte Zement zwischen den beiden Zinkblechen als Schleifpulver wirkte und wesentliche Zinkverluste verursachte. Die in der Tab. 27 angegebenen Zahlen für die Gewichtsveränderung, die sämtlich mit dem Zeichen (0) versehen wurden, können demnach keinen Maßstab für die Abschätzung des Zinkangriffs unter den gewählten Versuchsbedingungen an die Hand geben. Die Zinkplättchen nach Beendigung der Versuche sind in Abb. 32 dargestellt.

Nach den Versuchen unter I mit Zementwasser (Abb. 16 und Tab. 26), die ziemlich kräftigen Angriff des Zinks ergaben, ist als sehr wahrscheinlich anzunehmen, daß auch bei den in den Zementwürfeln eingebetteten Proben Gewichtsabnahme des Zinks eintrat, die aber durch die festhaftende Kruste überdeckt und in Gewichtszunahme umgewandelt ward.

Zu erwägen wäre, ob das Festhaften der Zinkproben am Zement sich nicht vielleicht technisch bei der Bewehrung des Betons ausnutzen läßt. Wenn tatsächlich die sogenannte „Haftfestigkeit“ die Rolle spielt, die man ihr von verschiedenen Seiten zuschreibt, so müßte diese durch Bewehrung des Betons mit Zink oder verzinktem Eisen wohl schärfer zum Ausdruck gelangen, als bei Bewehrung mit nicht verzinktem Eisen. Es würde sich empfehlen, Versuche nach dieser Richtung hin auszuführen.

c) Blei in Zementwürfeln (Tab. 32 und Abb. 22). Wie nach dem starken Angriff des Bleies durch Zementwasser (Tab. 31 und Abb. 21) zu erwarten ist, wird das Blei auch bei Einbettung in Zementkörper recht kräftig angegriffen. Besonders stark ist der Angriff in Leitungswasser bei Versuchsanordnung gA. Dies ist erklärlich, weil hier das Leitungswasser durch die aus dem Zement ausgelaugten Stoffe zu Zementwasser geworden ist und so das aus dem Würfel herausragende Blei ebenso angreifen kann, wie das Zementwasser bei den in Tab. 31 mitgeteilten Versuchen. Bei den Versuchen gA in Seewasser wurde Gewichtszunahme beobachtet. Sie rührt wohl davon her, daß sich eine dicke weiße Kruste auf dem aus dem Zement herausragenden Teil der Metallprobe bildete, der mit dem mit Auslaugstoffen des Zementes gesättigten Seewasser unmittelbar in Berührung kam. Die weiße Kruste ließ sich nicht entfernen, wie aus Abb. 33 hervorgeht, die die Proben nach Beendigung der Versuche zeigt.

Die mit dem Zement in Berührung gewesenen Teile der Probeplättchen waren teilweise mit einer rötlich grauen Schicht bedeckt, die vermutlich aus Bleioxyd bestand und sich nicht vollständig abwischen ließ. Dadurch werden die gemessenen Gewichtsveränderungen in unkontrollierbarer Weise beeinflusst. Quantitative Vergleiche des Angriffs bei den verschiedenen Anordnungsarten gA, gB, hA, hB, A und B lassen sich daher nicht durchführen. Die gefundenen Zahlen geben nur an, daß das Blei tatsächlich innerhalb des Zementes angegriffen werden kann, vorausgesetzt, daß der Zutritt von lufthaltigem Wasser möglich ist. Von der Geschwindigkeit dieses Zutritts wird die Geschwindigkeit und Größe des Angriffs abhängen.

Bei der Beurteilung, ob Blei in Zement oder Mörtel schädlichen Angriff erleidet oder nicht, sind sonach alle die Umstände abzuwägen, die das Blei mit lufthaltigem Wasser in Berührung bringen könnten. Außerdem ist nach früherem auch noch dem Kohlensäuregehalt des Wassers Beachtung zu schenken, da ja dieser gegebenenfalls den Angriff vermindern oder gar aufheben kann. Es können hier natürlich sehr verwickelte Wechselwirkungen zwischen Zement, mit Auslaugstoffen des Zementes mehr oder weniger gesättigtem Wasser und dem Kohlensäuregehalt eintreten. Dabei kann das aus dem Zement ausgelöste Kalziumhydroxyd die Kohlensäure zu Kalziumkarbonat binden, dessen Lösung nach früherem das Blei stark angreift, oder es kann bei Gegenwart sehr kohlensäurereicher Lösungen



Kalziumbikarbonat entstehen, dessen Lösung den Angriff verringert oder unter Umständen ganz aufhebt.

Jedenfalls ist bei Verwendung von Blei in Zement oder in Wasser, das mit Zement oder Kalkmörtel in Berührung tritt, mit der Möglichkeit starken Angriffs zu rechnen.

Beachtenswert ist, daß bei den Würfelproben das Blei von dem Metallplättchen aus in den Zement wandert, und so den Zement in der Nachbarschaft der Bleiprobe durchsetzt. Dort zeigt der Zement mit Schwefelwasserstoff starke Bleireaktion. Bei den Zink- und Kupferproben im Zement war solche Wanderung der Metalle nicht bemerkbar.

## Einige allgemeine Betrachtungen über die Versuchsausführung.

Die unter II angegebene Versuchsanordnung erscheint zwar auf den ersten Blick als die natürlichste und zweckmäßigste zur Lösung der gestellten Frage, in welcher Weise Zement und Beton auf die Metalle Kupfer, Zink und Blei Einwirkung ausübt. Bei genauerer Ueberlegung fällt allerdings das Urteil anders aus. Es wäre, wie sich jetzt übersehen läßt, wohl schwerlich möglich gewesen, bei der Lösung der gestellten Aufgabe zu einem gewissen Abschluß zu gelangen, wenn nicht die unter I mitgeteilte Versuchsreihe mit herangezogen worden wäre. Die Verhältnisse sind nämlich bei der Untersuchung von Proben im Zementwürfel (Versuchsreihe II) durch eine ganze Reihe von veränderlichen Faktoren getrübt, deren Einfluß auf das Versuchsergebnis zahlenmäßig nicht feststellbar ist und sich auch schwer durch Abschätzung berücksichtigen läßt.

Unter I wurde gezeigt, daß für den Angriff der untersuchten drei Metalle neben flüssigem Wasser mit oder ohne Gehalt an gelösten Stoffen in erster Linie auch die Gegenwart von Sauerstoff erforderlich ist, der durch die Luft geliefert wird. Durch Verminderung des Luftzutritts konnte in allen Fällen der Angriff gänzlich verhindert, oder wenigstens stark vermindert werden. Dies kann nicht überraschen, da ja der Angriff bei allen drei Metallen auf Oxydationsvorgängen beruht. Die Geschwindigkeit des Angriffs muß nun durch die Geschwindigkeit des Ersatzes des Sauerstoffs aus der Luft wesentlich mit bedingt werden.

Der Angriff des in einem Zement- oder Betonwürfel eingebetteten Metalls wird sonach in hohem Maße beeinflußt werden:

1. von der im Würfel von der Herstellung her enthaltenen Menge Wasser und Luft.
2. von dem Maße, in dem der abbindende Zement dem Metall das flüssige Wasser entzieht.
3. von der Geschwindigkeit, mit der neue Flüssigkeit und Luft in den Würfel von außen her zutreten können, also von dem Dichtigkeitsgrad der Zement- oder Betonmischung.
4. durch die Verschiedenheit der Versuchsbedingungen zu Beginn und während der Dauer des Versuchs, die durch das fortschreitende Abbinden des Zements herbeigeführt werden. Es ist unbekannt, wieviel des nach einer bestimmten Versuchsdauer festgestellten Angriffs auf die Zeit unmittelbar nach dem Einlegen der Würfel in die Versuchsflüssigkeit und wieviel auf die spätere Versuchsdauer entfällt. Diese letztere Frage ließe sich allerdings dadurch lösen, daß man viel Würfel herstellt, verschieden lang in den Versuchsflüssigkeiten lagert und den Angriff nach verschiedenen Zeiträumen feststellt. Dadurch wird aber die Versuchsausführung recht kostspielig, ohne daß der



Erfolg außer allem Zweifel gerückt wäre, da ja die Beobachtung der Stärke des Angriffes in einzelnen Fällen bei der Würfelprobe durch festhaftenden Zement unmöglich gemacht wird, wie z. B. beim Zink.

5. durch die Möglichkeit des Zutritts von Kohlendioxyd, die beim Blei ausschlaggebenden Einfluß ausübt. Es kommt bei diesem Metall wesentlich in Betracht, in welchem Maße in dem Anmachewasser und in dem von außen durch den Zement zutretenden Wasser die Kohlensäure auf ihrem Wege nach der Bleiprobe absorbiert und so an ihrer schützenden Wirkung verhindert wird.

Aus der Aufzählung der obigen Einflüsse, die möglicherweise noch nicht vollständig ist, geht hervor, daß ausschließliche Versuche mit Metallproben in Zement- oder Betonwürfeln nicht oder nur nach sehr langen und kostspieligen Versuchen zur Klärung darüber geführt haben würden, welche Einflüsse beim Angriff von Metallproben in Zement und Beton in Frage kommen, und wie man diese im einzelnen Falle zu bewerten hat. Man hätte gewiß festgestellt, daß unter bestimmten Versuchsbedingungen die betreffenden Metalle stark, unter anderen schwach angegriffen werden; man hätte aber zu viele Variable und zu wenige Gleichungen gehabt, um diejenigen Faktoren, wenn auch nur qualitativ, zu ermitteln, die in ihrem Zusammenwirken die Größe des Angriffs bedingen.

Durch Heranziehung der Versuche unter I ist dies aber bis zu einem gewissen Grade möglich geworden, natürlich auch nur qualitativ. Im voraus die Stärke des Angriffs unter bestimmten zusammenwirkenden Umständen quantitativ anzugeben, dürfte wohl überhaupt nicht möglich sein. Die Praxis wird sich daher wohl mit qualitativen Angaben begnügen müssen.

Aus den oben angegebenen Erwägungen heraus wurden die beiden äußersten Grenzfälle zur Untersuchung gebracht: Metallproben eingebettet in reinem Zement ohne Zusatz und Metallproben in Zementwasser. Im letzteren Falle konnte Wasser nebst den aus dem Zement ausgelaugten Stoffen während der Versuchsdauer ungehindert an das Metall herantreten; ebenso war der Zutritt der Luft von der Oberfläche der Flüssigkeit ermöglicht, und zwar so, daß sich die maßgebenden Versuchsbedingungen bei allen Vergleichs- und Wiederholungsversuchen in gleicher Weise wieder herstellen ließen. Demgegenüber steht der Fall, daß das Metall sich in einem Zementwürfel befindet, so daß der Zutritt des lufthaltigen Wassers von außen her wohl auf das äußerste Maß eingeschränkt ist. Es ist zu vermuten, daß sich die Fälle der Einlagerung von Metallproben in Zement mit verschiedenem Sandzusatz oder in Beton von verschiedenen Mischungsverhältnissen zwischen die beiden genannten äußersten Fälle einreihen werden. Sollte diese Vermutung Zweifel begegnen, so läßt sie sich noch nachträglich auf ihre Richtigkeit prüfen, indem die Versuche mit verschiedenen Zement- und Betonmischungen unter gleichen Versuchsbedingungen wie bei Reihe II nachgeholt werden. Es läßt sich dann der Anschluß an die bisherigen Ergebnisse leicht finden.

Da die Möglichkeit bestand, daß die Metallproben an der Stelle, wo sie aus dem Zement heraus in das umgebende Mittel (Flüssigkeit oder Luft) traten, anderen Angriff erliden, als an den anderen Stellen der Metallplättchen, wurden die Versuche mit halbeingebetteten Metallproben (A) mit herangezogen. Die Versuche zeigen, daß eine besondere Einwirkung an der genannten Stelle nicht zutage tritt.

Wohl aber machte sich bei den Versuchen geltend, daß die Versuchsanordnung gA mit aus dem Zement heraustretenden Blechen eine Vereinigung zweier Versuchsarten, nämlich der Versuchsart gB (Reihe II) mit der Versuchsart der Reihe I ist, bei der die Plättchen in mit Zement ganz oder teilweise gesättigte Flüssigkeiten eingehängt wurden (Versuche mit Zementwasser). Ebenso sind die Versuchsanordnungen hA und hB eine Kombination der Versuche gB mit den Versuchen A und B in Luft.



Empfehlenswert würde es sein, wenn alle in der Praxis gemachten Beobachtungen über das Verhalten von Kupfer, Zink und Blei in Zement, Beton und gewöhnlichem Mauerwerk, in Wasserleitungen und bei wasserdichten Abdeckungen mit möglichst eingehender Angabe der Verhältnisse unter Berücksichtigung der oben mitgeteilten wesentlichen Faktoren gesammelt und gesichtet würden. Hierbei würden sich wertvolle Ergänzungen zu den Beobachtungen, weitere Erfahrungen und möglicherweise auch Anregungen zu weiteren Versuchen zum Zweck der Aufklärung neuer Erscheinungen ergeben.

Das Königl. Materialprüfungsamt würde jedenfalls sehr dankbar sein, wenn ihm von Seiten der Praxis solche Mitteilungen und Belegproben zugehen würden.

Gr. Lichterfelde, 15. Januar 1911.

E. Heyn.

---



## Abbildungen.

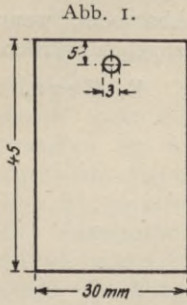
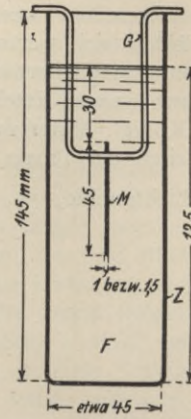


Abb. 2.



*M* : Metallprobe,  
*G* : Glasstab zum Aufhängen von *M*,  
*F* : Versuchsflüssigkeit 250 ccm,  
*Z* : Glaszylinder.

Abb. 6. (Tab. 13.)  
 Lösungen von Kalziumhydroxid. 17 C°.

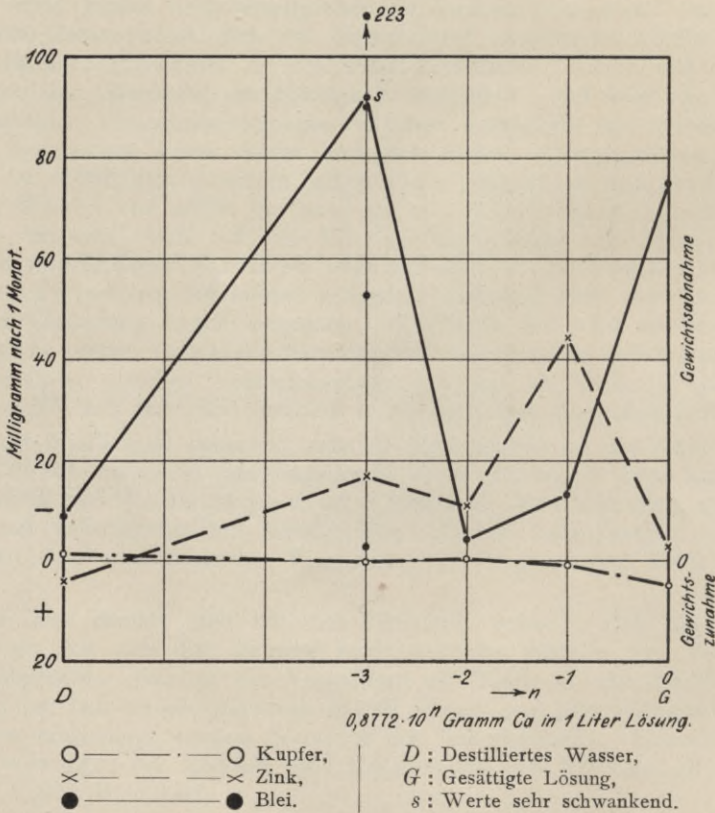




Abb. 3.

10 C°.

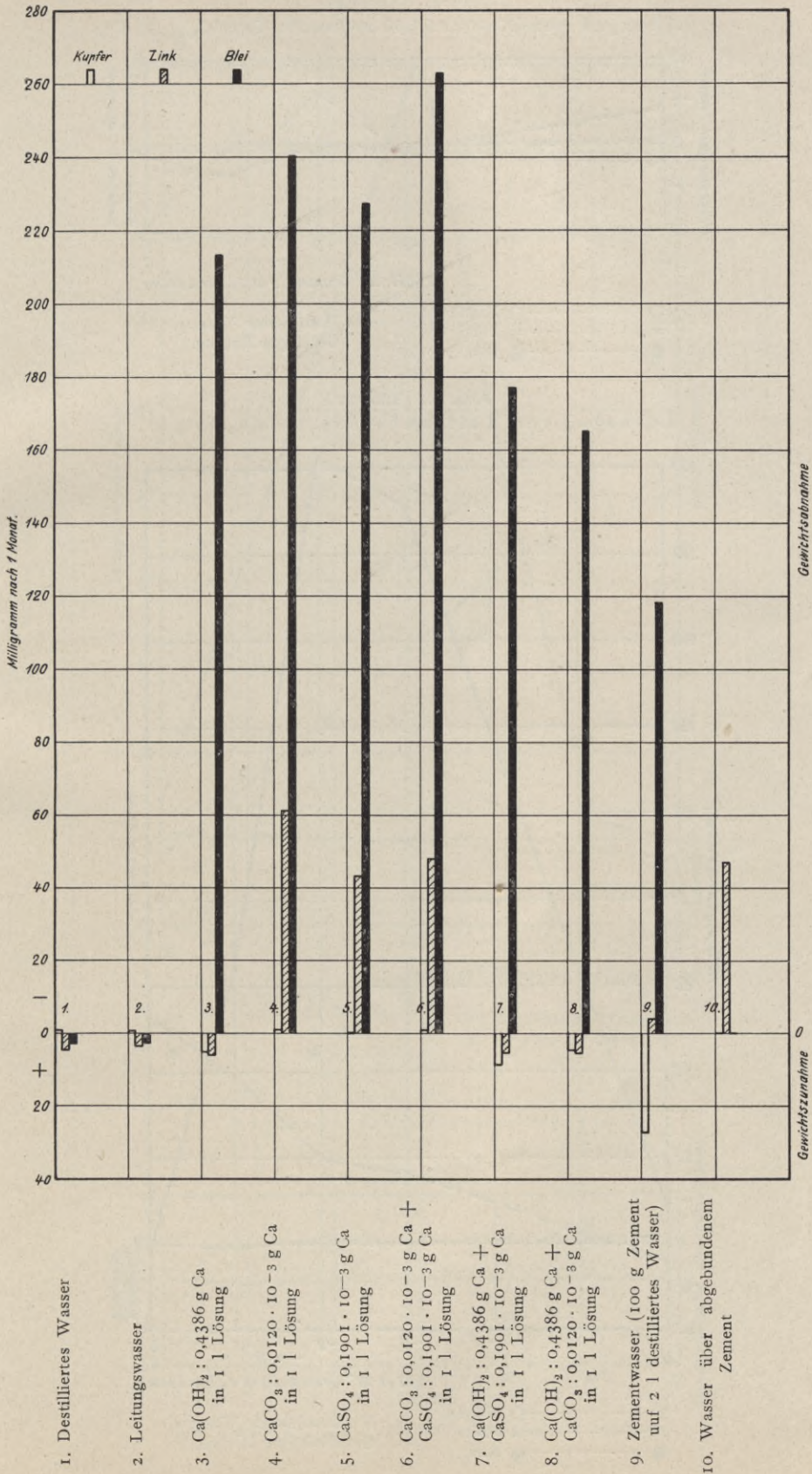




Abb. 4. (Tab. II.)

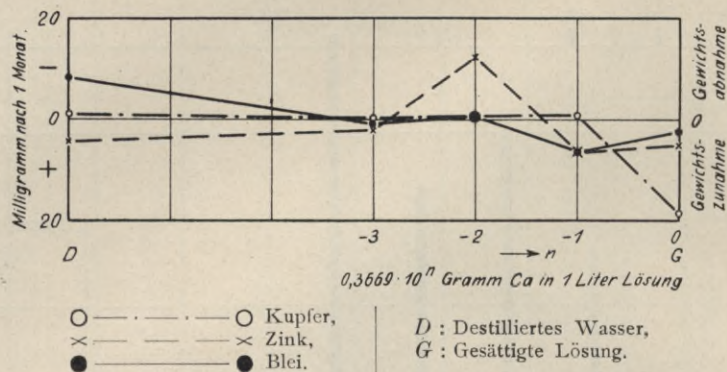
Lösungen von Kalziumbikarbonat:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . 17 C°.

Abb. 5. (Tab. 12.)

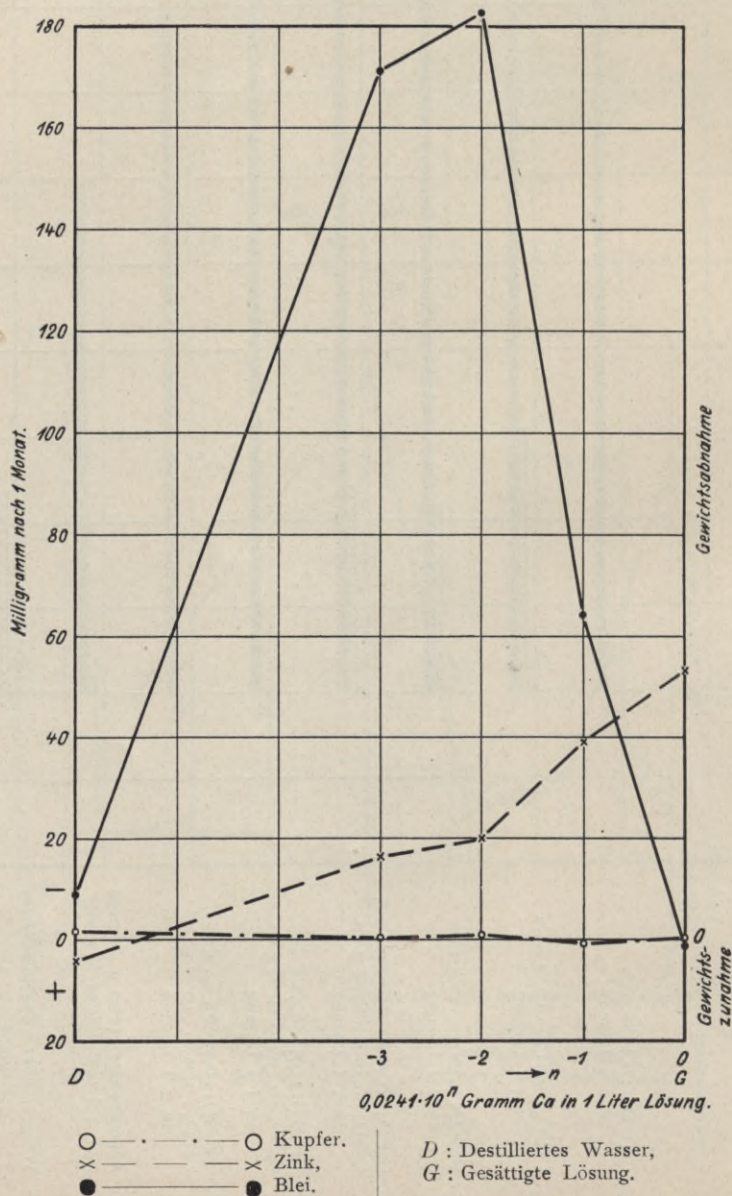
Lösungen von Kalziumkarbonat:  $\text{CaCO}_3$ . 17 C°.



Abb. 7. (Tab. 14.)  
 Lösungen von Gips:  $\text{CaSO}_4$ . 17 C°.

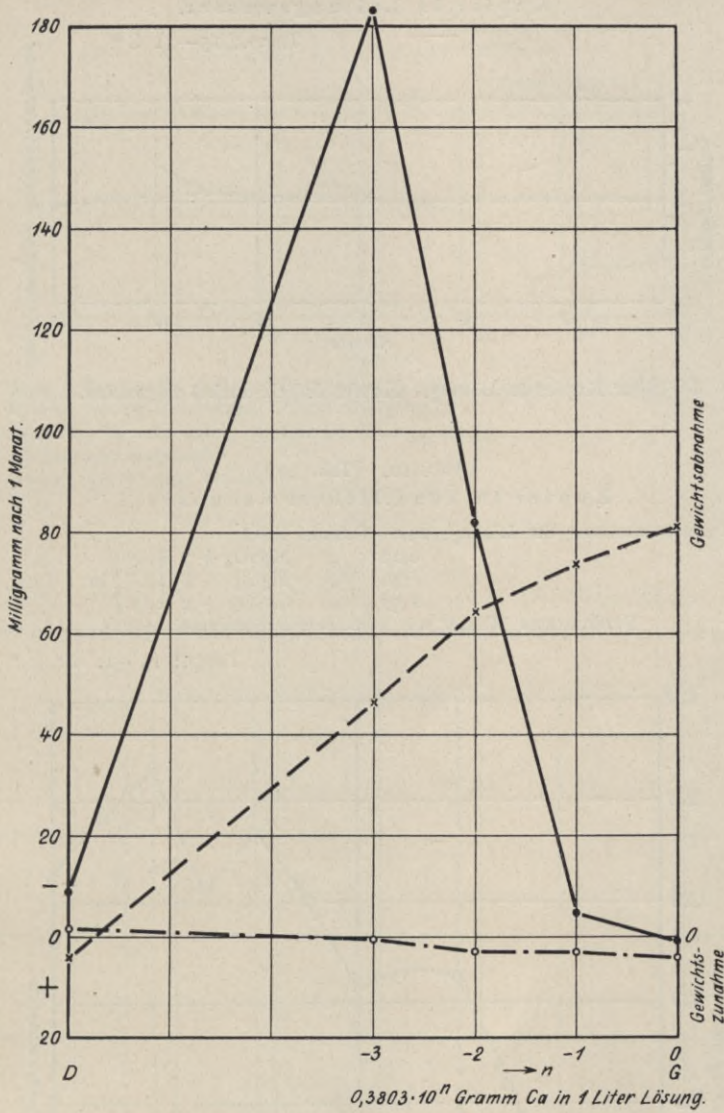


Abb. 8. (Tab. 18.)  
 Kupfer in destilliertem Wasser.

Temp.: 15–21 C°.

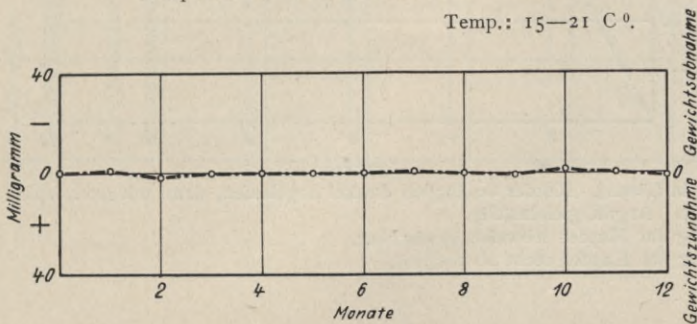
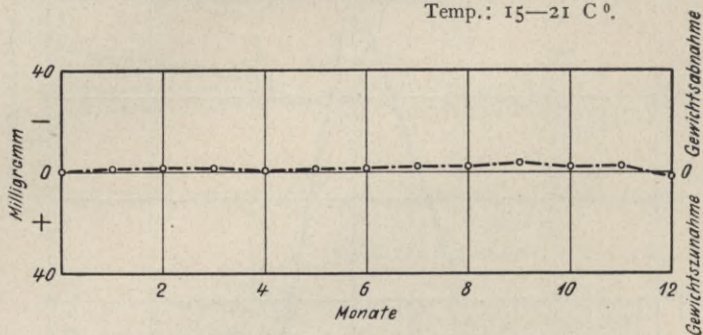




Abb. 9. (Tab. 19.)  
Kupfer in Leitungswasser.

Temp.: 15–21 C°.



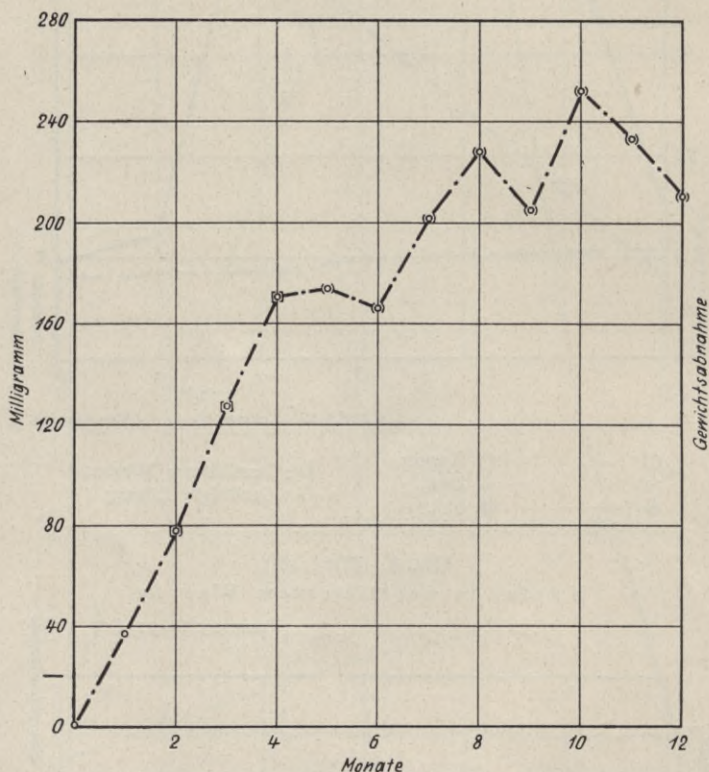
Spur Kupfer in Lösung. Kupfer örtlich dunkel angelaufen.

Abb. 10. (Tab. 20.)  
Kupfer in künstlichem Seewasser.

Zusammensetzung der Lösung: 29,9 Gramm NaCl  
 6,22 "  $\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$   
 6,42 "  $\text{MgCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$  } in 1 Liter.  
 1,57 "  $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Verdunstetes Wasser mit künstlichem Seewasser ersetzt.

Temp.: 15–21 C°.



Kupfer in Lösung. Kupfer anfänglich dunkel angelaufen, dann mit roter, spät mit grüner Schicht bedeckt. Angriff gleichmäßig.

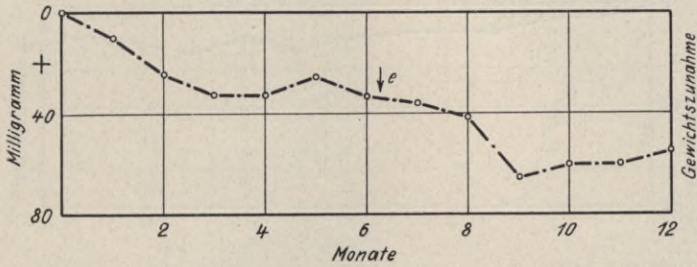
[o] Belag auf Kupfer teilweise abwischbar.

(o) Belag auf Kupfer nicht abwischbar.



Abb. 11. (Tab. 21.)  
Kupfer in Zementwasser.

Temp.: 15—22 C°.



25 Gramm Zement in 1 Liter destillierten Wassers 4 Tage lang geschüttelt, mit dem aufgerührten Bodensatz in die einzelnen Gefäße übergeführt.

Verdunstetes Wasser durch destilliertes Wasser ersetzt.

Kupfer schwarz angelauten.

↓ e Lösung durch neue ersetzt.

Abb. 12.  
Kupfer.

Versuchsdauer: 1 Jahr.

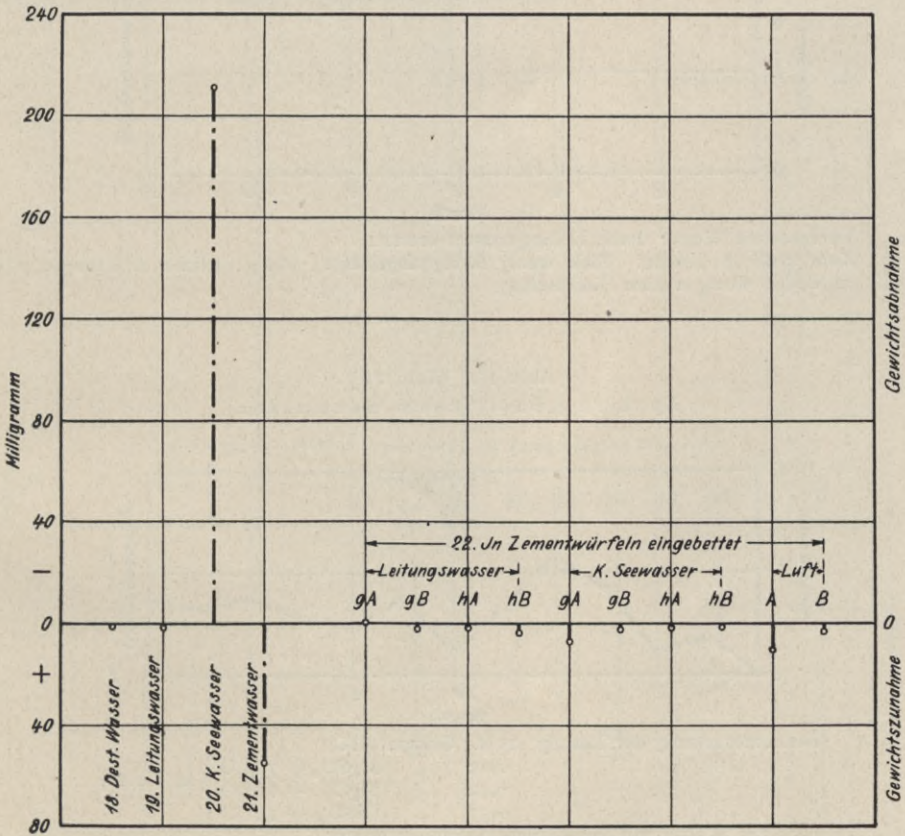
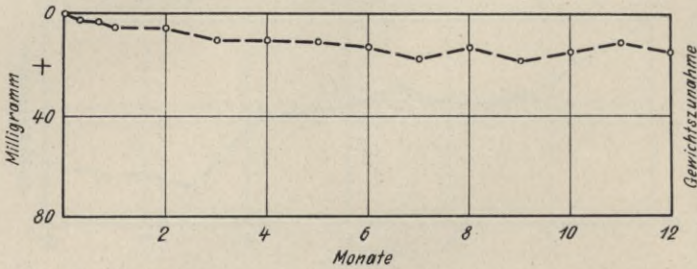




Abb. 13. (Tab. 23.)  
Zink in destilliertem Wasser.

Temp.: 15—21 C°.

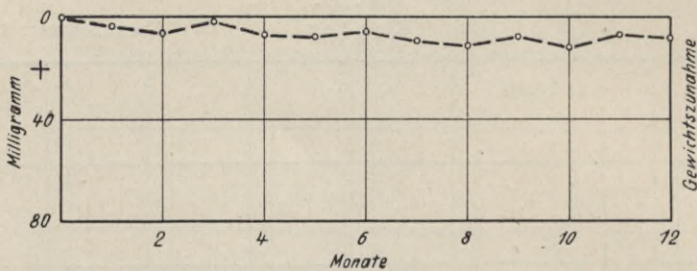


Kein Zink in Lösung.

Zink weiß beschlagen; geringe örtliche Anätzungen. Im Gefäß wenig weißer Niederschlag.

Abb. 14. (Tab. 24.)  
Zink in Leitungswasser.

Temp.: 15—21 C°.

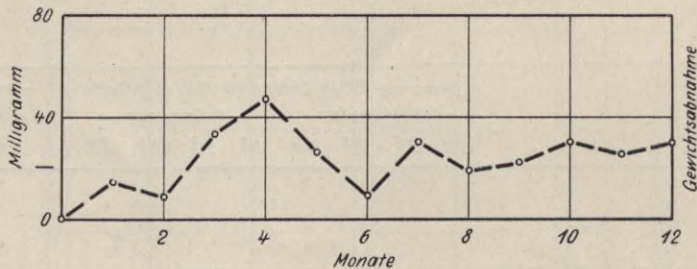


Verdunstetes Wasser durch Leitungswasser ersetzt.

Kein Zink in Lösung. Zink wenig farbig angelaufen; wenig örtliche Anätzungen. Im Gefäß am Boden wenig weißer Niederschlag.

Abb. 15. (Tab. 25.)  
Zink in künstlichem Seewasser.

Temp.: 15—21 C°.



Zusammensetzung der Lösung: 29,9 Gramm NaCl  
 6,22 "  $\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$   
 6,42 "  $\text{MgCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$   
 1,57 "  $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$  } in 1 Liter.

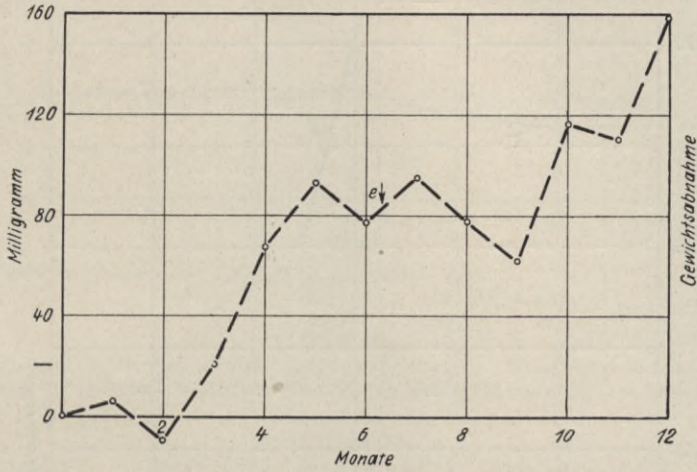
Verdunstetes Wasser mit künstlichem Seewasser ersetzt.

Zink nicht in Lösung. Zink mit weißer Schicht bedeckt; schwache örtliche Anätzungen.



Abb. 16. (Tab. 26.)  
Zink in Zementwasser.

Temp.: 15—22 C°.

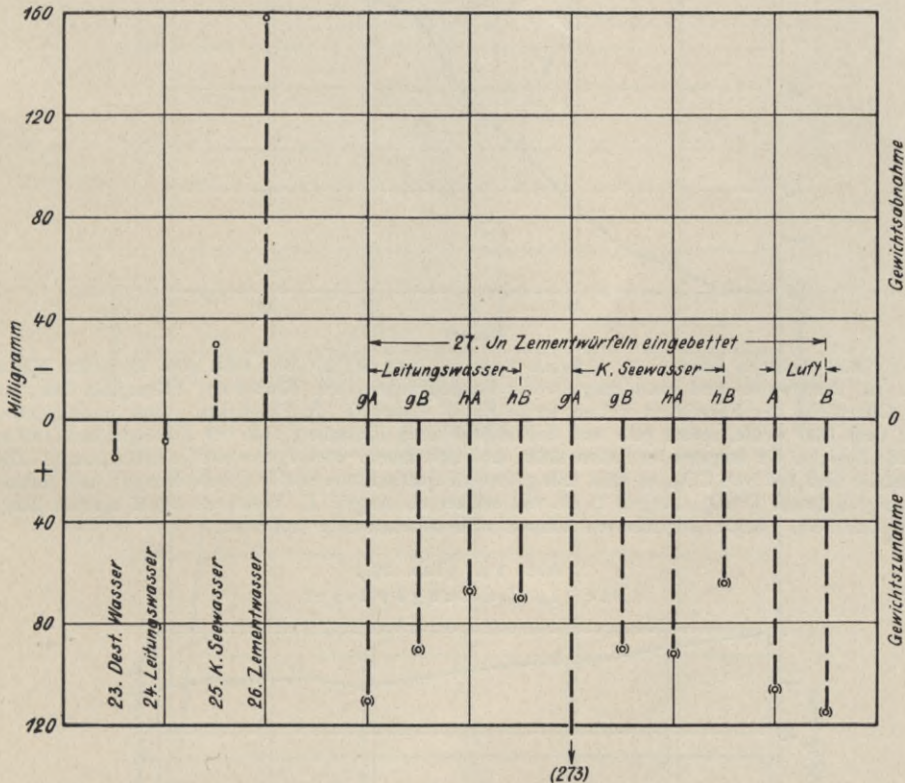


25 Gramm Zement in 1 Liter destillierten Wassers 4 Tage lang geschüttelt; mit dem aufgerührten Bodensatz in die einzelnen Gefäße übergeführt, Verdunstetes Wasser durch destilliertes Wasser ersetzt, ↓e Lösung durch neue ersetzt, Zink anfangs grau; dann mit weißen Ausblühungen bedeckt; darunter geringe örtliche Anfrassungen.

Abb. 17.

Zink.

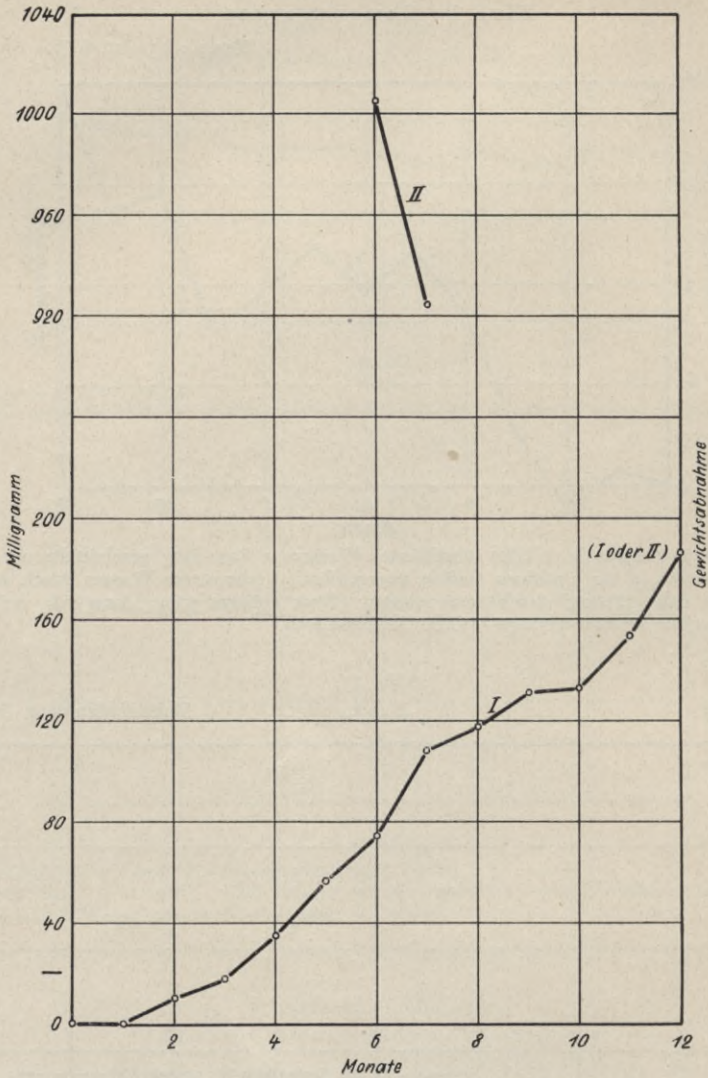
Versuchsdauer: 1 Jahr.



(o) Auf dem Zink feste, innig mit dem Zink verbundene Zementkruste, die nicht zu entfernen war; daher Gewichtsveränderung kein Maßstab für Angriff.

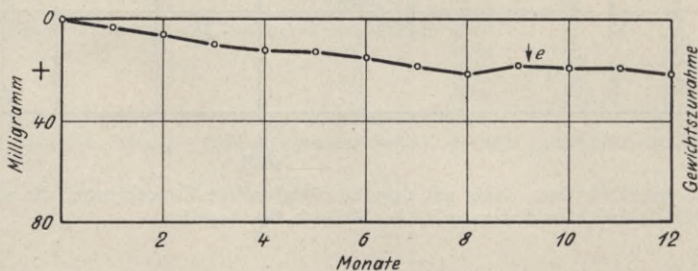


Abb. 18. (Tab. 28.)  
Blei in destilliertem Wasser.



Blei nicht in Lösung. — 2 Arten Angriff: Angriff I: Blei läuft grau an; dann bilden sich auf ihm wurm- und haarförmige weiße Ausblühungen (bas. Karbonat); Flüssigkeit klar, an der Oberfläche der Flüssigkeit keine weiße Haut. Angriff II: Flüssigkeit sofort weiß getrübt. Auf dem Blei weiße, später gelb und dunkel werdende Kristalle. Auf der Flüssigkeitsoberfläche weiße Schicht, die langsam zu Boden sinkt und sich immer wieder erneuert (bas. Karbonat). Die Kristalle sind frei von  $\text{CO}_2$ , es sind teils glänzende quadratische Säulen (Bleihydroxyd), teils dunkle blättrige Kristalle ( $\text{PbO}$ ). Angriff II ist viel stärker als Angriff I. Welcher Angriff eintritt, hängt vom Zufall ab. Beide Angriffsarten können auch nebeneinander auftreten.

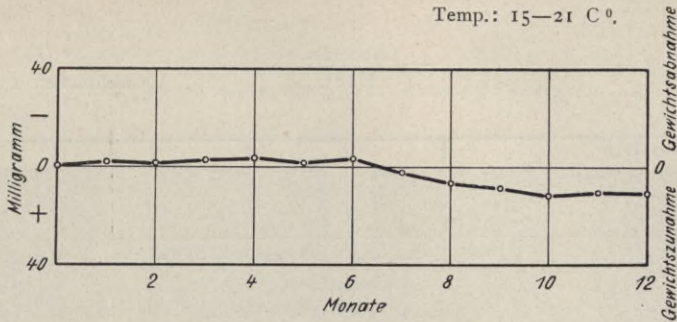
Abb. 19. (Tab. 29.)  
Blei in Leitungswasser.



Blei dunkel angelaufen und zeigt später keine weitere Veränderung. Blei nicht in Lösung. ↓e Leitungswasser erneuert.



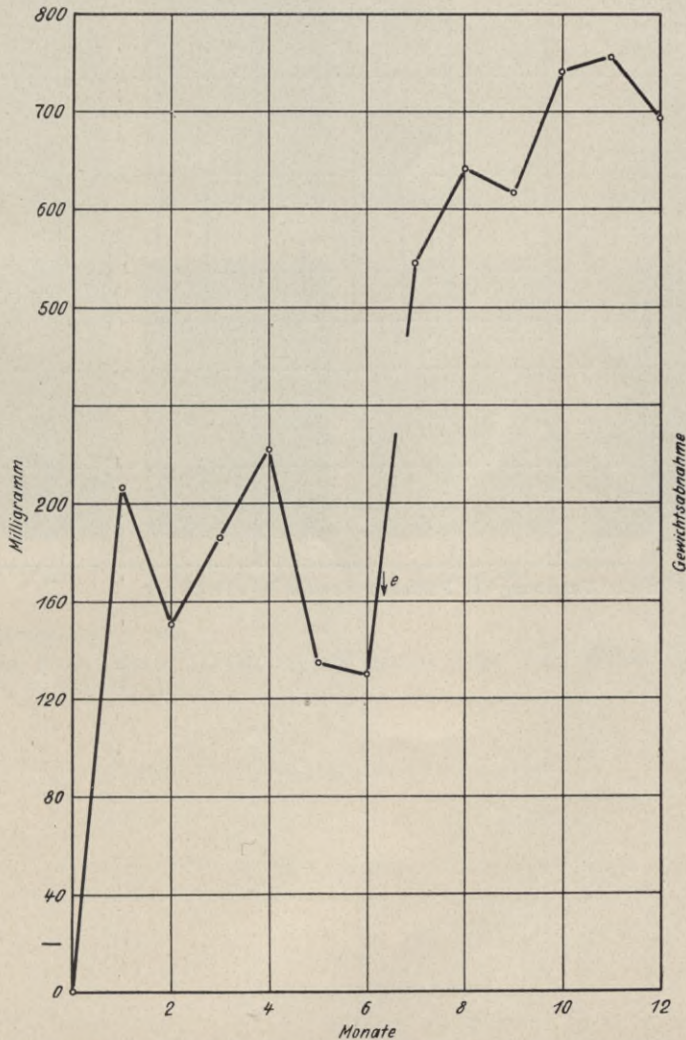
Abb. 20. (Tab. 30.)  
Blei in künstlichem Seewasser.  
Temp.: 15–21 C°.



Zusammensetzung der Lösung: 29,9 Gramm NaCl  
 6,22 „  $\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$  } in 1 Liter.  
 6,42 „  $\text{MgCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$  }  
 1,57 „  $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$  }

Verdunstetes Wasser mit künstlichem Seewasser ersetzt. Wenig Blei in Lösung. Blei grau angelaufen; nur geringe örtliche Anätzungen. Wenig weißer Niederschlag am Boden der Gefäße.

Abb. 21. (Tab. 31.)  
Blei in Zementwasser. Temp.: 15–22 C°.



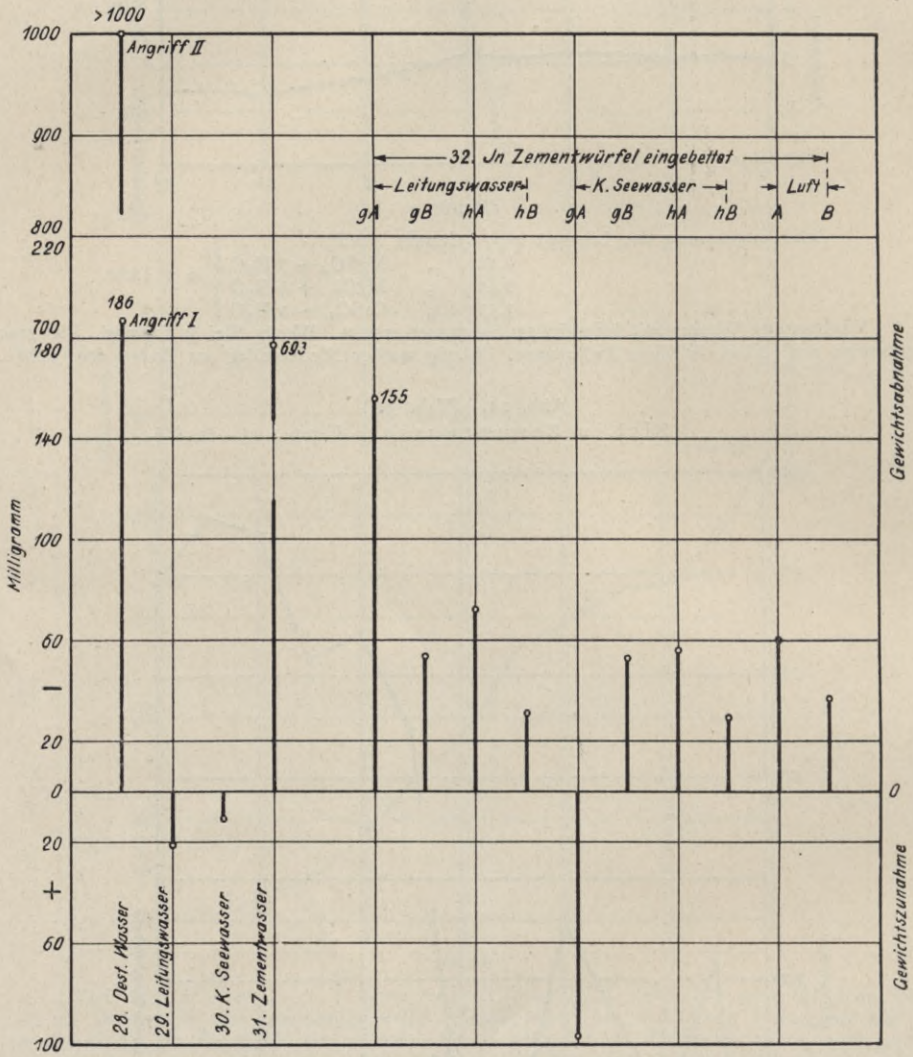
25 Gramm Zement in 1 Liter destillierten Wassers 4 Tage lang geschüttelt; mit dem aufgerührten Bodensatz in die einzelnen Gefäße übergeführt. Verdunstetes Wasser durch destilliertes Wasser ersetzt. Starker grauer Beschlag auf dem Blei. Angriff gleichmäßig, an den Rändern etwas stärker. Blei in Lösung. ↘e Lösung durch neue ersetzt.



Abb. 22.

Blei.

Versuchsdauer: 1 Jahr.

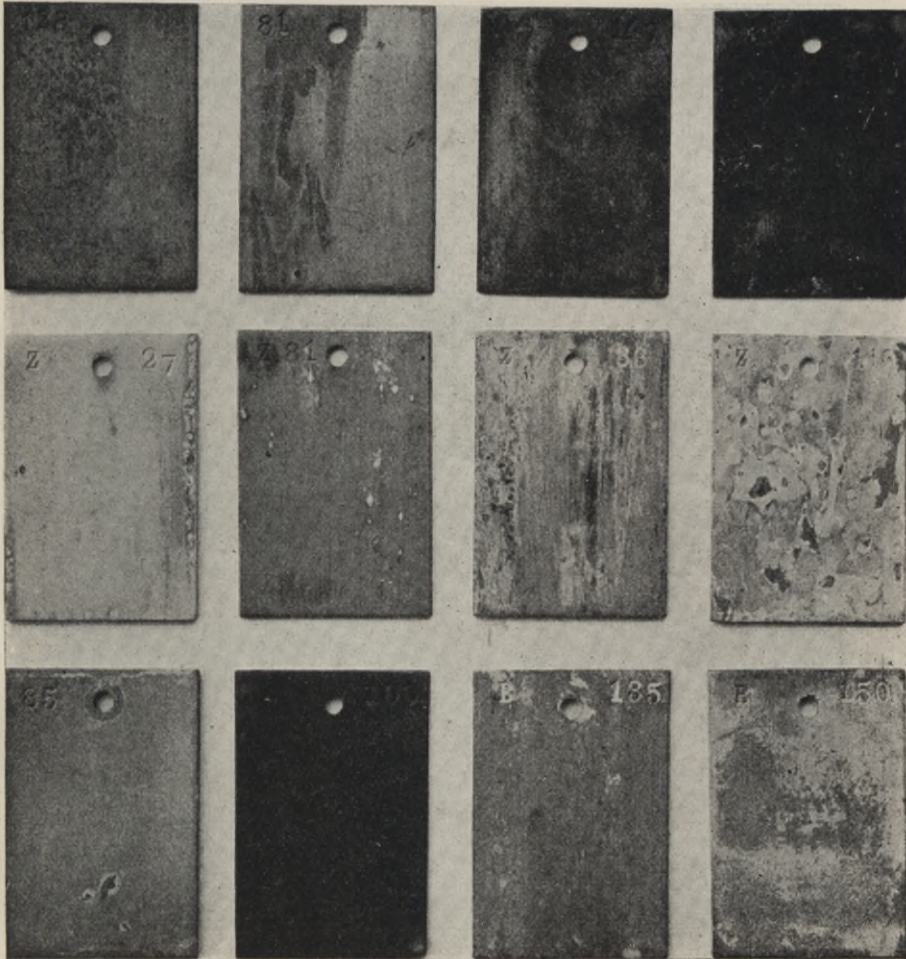


Zement in der Umgebung der Plättchen stark bleihaltig.



Abb. 23.  
Angriff von Kupfer, Zink und Blei.

1429



Destill. Wasser

Leitungswasser

K. Seewasser

Zementwasser

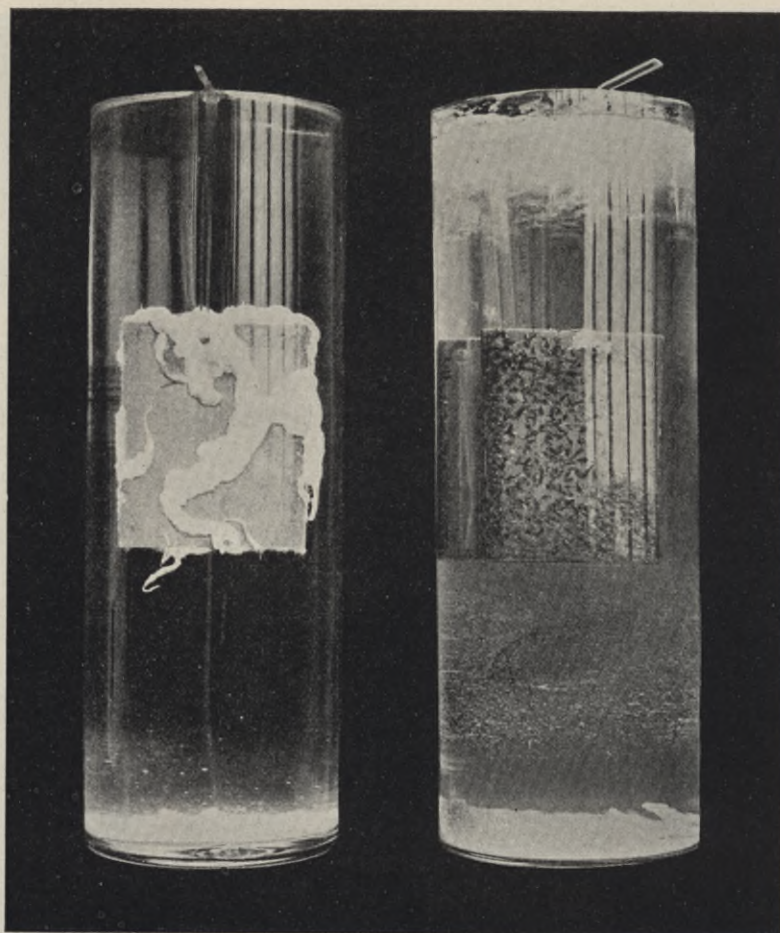
Versuchsdauer: 1 Jahr.

Obere Reihe: Kupfer (s. Tab. 18—21); mittlere Reihe: Zink (s. Tab. 23—26); untere Reihe: Blei (s. Tab. 28—31).



Abb. 24. (Tab. 28.)  
Blei in destilliertem Wasser.

5088



Angriff I.

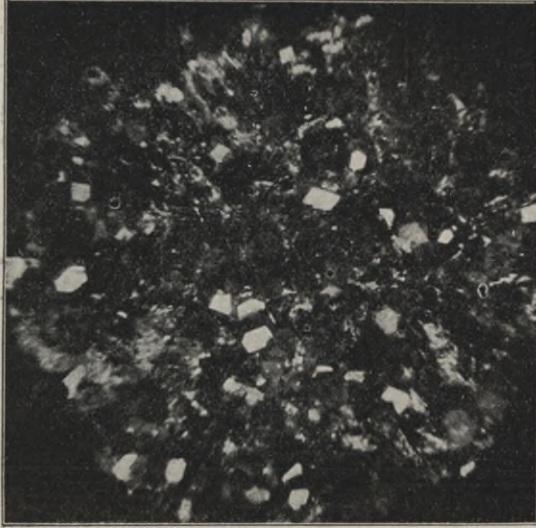
Angriff II.



Abb. 25 und 26.  
Blei in destilliertem Wasser.  
Angriff II.

5749

$V = 15$



Bleihydroxyd.

5750

$V = 15$



Bleioxyd.

$V$ : Lineare Vergrößerung.



Ab. 27.  
Grosse

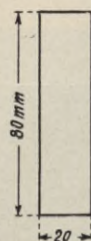
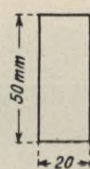


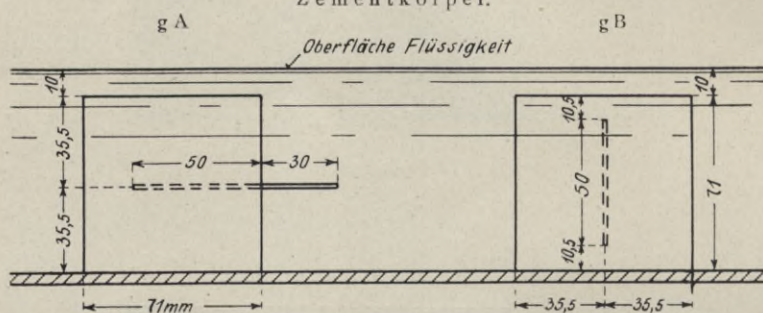
Abb. 28.  
Kleine



Plättchen

Dicke der Kupferplättchen: 1 mm,  
" " Zinkplättchen: 1 " "  
" " Bleiplättchen: 1,5 " "

Abb. 29.  
Zementkörper.



In die Flüssigkeit ganz untergetaucht.

Abb. 30.  
Zementkörper.



In die Flüssigkeit halb eingetaucht.



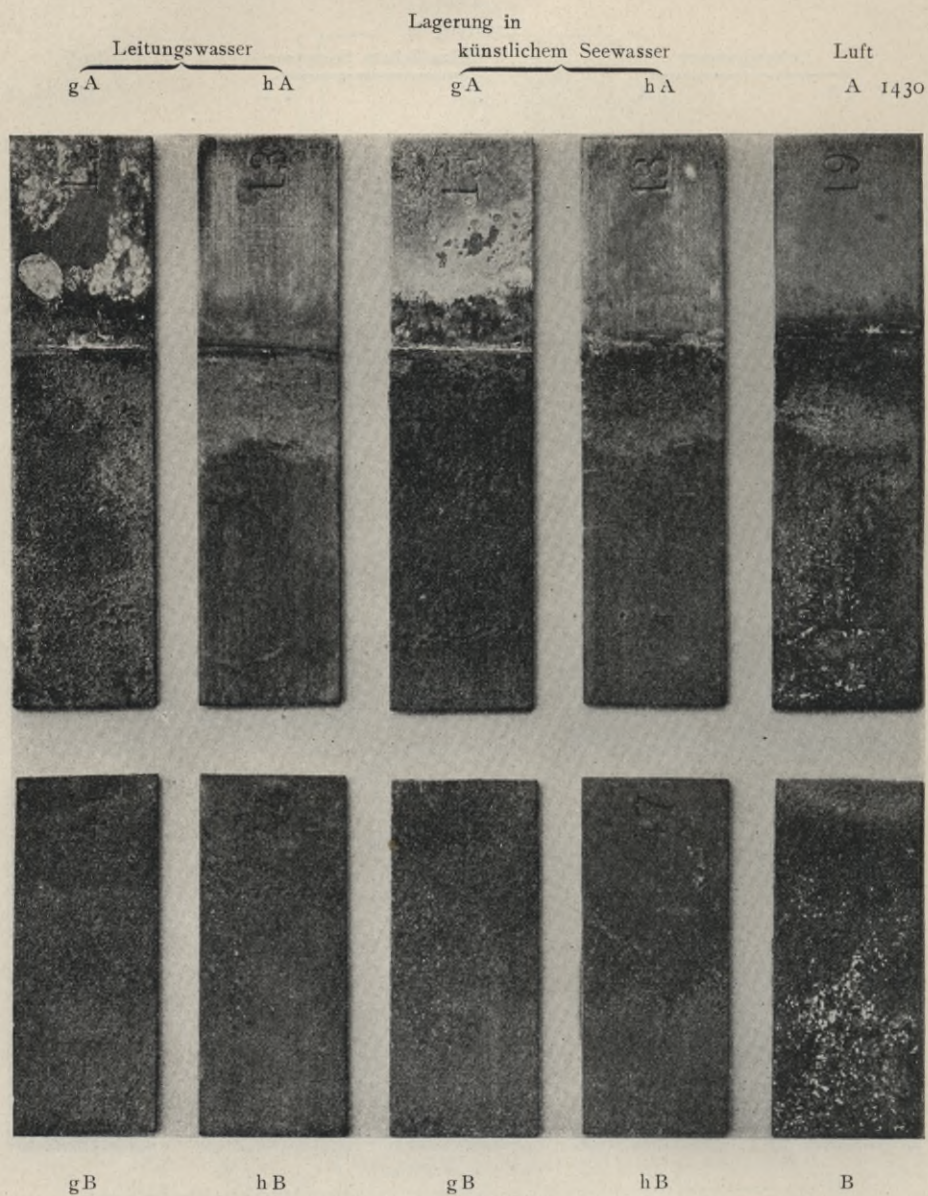
Abb. 31. (Tab. 22.)  
Kupfer in Zementwürfeln.



Versuchsdauer: 1 Jahr.



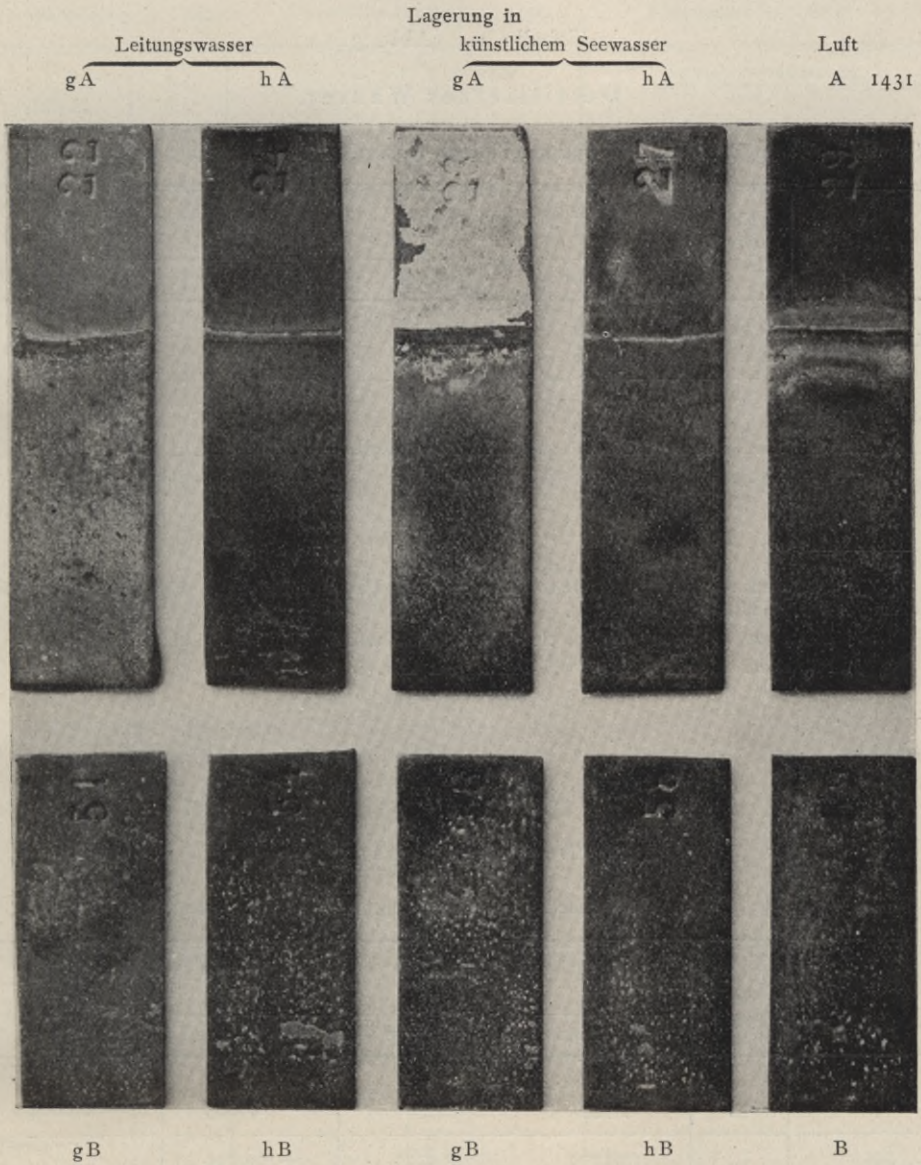
Abb. 32. (Tab. 27.)  
Zink in Zementwürfeln.



Versuchsdauer: 1 Jahr.



Abb. 33. (Tab. 32.)  
Blei in Zementwürfeln.



Versuchsdauer: 1 Jahr.



## Tabellen über die Versuchsergebnisse.

Tabelle 1. (Abb. 3.)

## Destilliertes Wasser.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsordnung: Abb. 2.

Temperatur: im Mittel 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	41	18,0837	18,0829	— 0,0008	— 0,0006
	43	17,8795	17,8790	— 0,0005	
Zink <sup>2)</sup>	41	13,2025	13,2080	+ 0,0055	+ 0,0046
	42	13,7458	13,7495	+ 0,0037	
Blei <sup>3)</sup>	41	31,3421	31,3454	+ 0,0033	+ 0,0032
	42	31,6642	31,6673	+ 0,0031	

<sup>1)</sup> Plättchen schwach angelaufen und mit roten Punkten bedeckt. Flüssigkeit klar. In Lösung mit H<sub>2</sub>S Kupfer nachweisbar.

<sup>2)</sup> Plättchen wenig angelaufen, einzelne dunkle Punkte. Flüssigkeit klar.

<sup>3)</sup> Plättchen hellgrau angelaufen. Flüssigkeit klar.

Tabelle 2. (Abb. 3.)

## Leitungswasser.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsordnung: Abb. 2.

Temperatur: im Mittel 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	44	17,6288	17,6284	— 0,0004	— 0,0004
	45	17,5331	17,5326	— 0,0005	
Zink <sup>2)</sup>	43	13,1199	13,1229	+ 0,0030	+ 0,0030
	44	12,8420	12,8450	+ 0,0030	
Blei <sup>3)</sup>	43	31,6552	31,6574	+ 0,0022	+ 0,0024
	44	32,3641	32,3668	+ 0,0027	

<sup>1)</sup> Nicht angelaufen, nur an einigen Stellen wenig angegriffen. Lösung klar, durch H<sub>2</sub>S nicht gefärbt.

<sup>2)</sup> Sehr schwach grau angelaufen; örtlicher grauer Belag. Flüssigkeit klar.

<sup>3)</sup> Dunkel angelaufen. Flüssigkeit klar.



Tabelle 3. (Abb. 3.)

Lösung von Kalziumhydroxyd: 0,4386 g Ca in 1 Liter.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	72	18,0869	18,0928	+ 0,0059	+ 0,0050
	73	16,6384	16,6426	+ 0,0042	
Zink <sup>2)</sup>	70	12,6754	12,6821	+ 0,0067	+ 0,0059
	71	12,9243	12,9294	+ 0,0051	
Blei <sup>3)</sup>	74	30,0349	29,8400	— 0,1949	— 0,2130
	75	31,3379	31,1067	— 0,2312	

<sup>1)</sup> Tief schwarz angelaufen. Flüssigkeit klar, durch H<sub>2</sub>S nicht gefärbt.<sup>2)</sup> Angelaufen, mit feinen weißen Kristallen bedeckt. Im Gefäß am Boden wenig weißer Niederschlag.<sup>3)</sup> Angeätzt, Flüssigkeit klar. Am Boden wenig weißer Niederschlag.

Tabelle 4. (Abb. 3.)

Lösung von Kalziumkarbonat<sup>1)</sup>: 0,0120 · 10<sup>-3</sup> g Ca in 1 Liter.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>2)</sup>	70	18,0449	18,0440	— 0,0009	— 0,0008
	71	17,1237	17,1229	— 0,0008	
Zink <sup>3)</sup>	68	12,6658	12,5994	— 0,0664	— 0,0609
	69	12,3624	12,3070	— 0,0554	
Blei <sup>4)</sup>	72	31,3242	31,0890	— 0,2352	— 0,2403
	73	30,7764	30,5310	— 0,2454	

<sup>1)</sup> Lösung durch Schütteln von feingepulvertem Kalziumkarbonat in destilliertem Wasser erhalten.<sup>2)</sup> Sehr wenig angelaufen. Flüssigkeit klar, durch H<sub>2</sub>S schwach braun gefärbt.<sup>3)</sup> Streifig, grau beschlagen, angeätzt. Auf dem Boden des Gefäßes viel weißer Niederschlag.<sup>4)</sup> Auf dem Blei feine gelblich-weiße Kristalle. Flüssigkeit milchig getrübt. Auf dem Boden des Gefäßes viel weißer Niederschlag.



Tabelle 5. (Abb. 3.)

Lösung von Gyps:  $0,1901 \cdot 10^{-3}$  g in 1 Liter.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel:  $16^{\circ}\text{C}$ .

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	64	17,7466	17,7465	— 0,0001	— 0,0003
	65	17,5756	17,5750	— 0,0006	
Zink <sup>2)</sup>	62	12,3148	12,2684	— 0,0464	— 0,0435
	63	12,8165	12,7758	— 0,0407	
Blei <sup>3)</sup>	63	30,7884	30,5510	— 0,2374	— 0,2276
	64	31,1764	30,9586	— 0,2178	

<sup>1)</sup> Wenig angelaufen, feine dunkle Punkte. Flüssigkeit klar, durch  $\text{H}_2\text{S}$  schwach braun gefärbt.

<sup>2)</sup> Streifig, grau beschlagen. Flüssigkeit klar. Auf dem Boden des Gefäßes weißer Niederschlag.

<sup>3)</sup> Angeätzt. Mit feinen gelblich-weißen Kriställchen bedeckt. Flüssigkeit milchig getrübt. Auf dem Boden des Gefäßes weißer Niederschlag.

Tabelle 6. (Abb. 3.)

Lösung von Gyps:  $0,1901 \cdot 10^{-3}$  g Ca . . . . . } in 1 Liter.  
 „ „ Kalziumkarbonat:  $0,0120 \cdot 10^{-3}$  g Ca

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel:  $16^{\circ}\text{C}$ .

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	62	17,9381	17,9374	— 0,0007	— 0,0006
	63	17,8290	17,8284	— 0,0006	
Zink <sup>2)</sup>	60	12,6880	12,6444	— 0,0436	— 0,0479
	61	12,6604	12,6082	— 0,0522	
Blei <sup>3)</sup>	61	30,8124	30,5578	— 0,2546	— 0,2628
	62	31,1982	30,9272	— 0,2710	

<sup>1)</sup> Wenig angelaufen. Feine dunkle Punkte. Flüssigkeit klar. Durch  $\text{H}_2\text{S}$  schwach braun gefärbt.

<sup>2)</sup> Streifig, grau beschlagen. Flüssigkeit klar. Auf dem Boden des Gefäßes weißer Niederschlag.

<sup>3)</sup> Angeätzt. Mit feinen gelblich-weißen Kriställchen bedeckt. Flüssigkeit milchig getrübt. Auf dem Boden des Gefäßes weißer Niederschlag.



Tabelle 7. (Abb. 3.)

Lösung von Kalziumhydroxyd 0,4386 g Ca } in 1 Liter.  
 „ „ Gips . . . . . 0,1901 g Ca }

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	66	17,1966	17,2038	+ 0,0072	+ 0,0083
	67	16,5168	16,5262	+ 0,0094	
Zink <sup>2)</sup>	64	11,9012	11,9086	+ 0,0074	+ 0,0049
	65	13,0966	13,0990	+ 0,0024	
Blei <sup>3)</sup>	65	30,9024	30,7276	— 0,1748	— 0,1772
	66	28,5753	28,3956	— 0,1797	

Tabelle 8. (Abb. 3.)

Lösung von Kalziumhydroxyd 0,4386 g Ca } in 1 Liter.  
 „ „ Kalziumkarbonat  $0,0120 \cdot 10^{-3}$  g Ca }

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	68	17,8234	17,8280	+ 0,0046	+ 0,0042
	69	17,4150	17,4188	+ 0,0038	
Zink <sup>2)</sup>	66	12,5366	12,5405	+ 0,0039	+ 0,0050
	67	12,7462	12,7523	+ 0,0061	
Blei <sup>3)</sup>	70	31,1142	30,9566	— 0,1576	— 0,1646
	71	30,9680	30,7964	— 0,1716	

<sup>1)</sup> Tief schwarz angelaufen. Flüssigkeit klar, durch H<sub>2</sub>S nicht gefärbt.

<sup>2)</sup> Angelaufen, mit feinen weißen Kristallausscheidungen bedeckt. Flüssigkeit klar. Auf dem Boden des Gefäßes wenig weißer Niederschlag.

<sup>3)</sup> Angeätzt. Flüssigkeit klar. Auf dem Boden des Gefäßes wenig weißer Niederschlag.



Tabelle 9. (Abb. 3.)

## Zementwasser.

100 Gramm Zement wurden in zwei Liter destillierten Wassers geschüttelt, so daß der Zement flockig blieb. Von der Flüssigkeit, die stark alkalisch reagierte, wurden entsprechende Mengen mitsamt dem aufgeführten Bodensatz in die einzelnen Glasgefäße übergeführt.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	46	17,5645	17,5855	+ 0,0210	+ 0,0273
	47	17,0726	17,1062	+ 0,0336	
Zink <sup>2)</sup>	45	13,1853	13,1812	— 0,0041	— 0,0040
	46	12,8980	12,8940	— 0,0040	
Blei <sup>3)</sup>	45	29,3350	29,2265	— 0,1085	— 0,1183
	46	32,0713	31,9432	— 0,1281	

<sup>1)</sup> Schwarz angelaufen. Flüssigkeit klar, durch H<sub>2</sub>S nicht gefärbt.

<sup>2)</sup> Grau, mit feinen weißen Kristallen bedeckt. Flüssigkeit schwach getrübt.

<sup>3)</sup> Grau, gleichmäßig angeätzt. Im Gefäß wenig weißer Niederschlag in Form von feinen Kristallen.

Tabelle 10. (Abb. 3.)

## Wasser über abgebundenem Zement.

100 Gramm Zement mit zwei Liter destillierten Wassers geschüttelt. Das Wasser wurde nach dem Absetzen beständig durch frisches ersetzt. Vier Wochen lang wurde das Wasser zweimal täglich erneuert. Das letzte, nicht mehr alkalisch reagierende Wasser wurde mit dem aufgeführten Bodensatz in die Glasgefäße verteilt.

Versuchsdauer: 30 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	48	17,9027	17,9027	0	0
	49	17,5172	17,5172	0	
Zink <sup>2)</sup>	47	13,2139	13,1680	— 0,0459	— 0,0467
	48	13,3124	13,2649	— 0,0475	
Blei <sup>3)</sup>	47	28,9698	28,9699	+ 0,0001	+ 0,0001
	48	29,9308	29,9310	+ 0,0002	

<sup>1)</sup> Blank, unverändert. Flüssigkeit durch H<sub>2</sub>S nicht gefärbt.

<sup>2)</sup> Oertlich weiß beschlagen; wenig angeätzt. Flüssigkeit schwach getrübt.

<sup>3)</sup> Wenig dunkel angelaufen. Flüssigkeit klar.



Tabelle 11. (Abb. 4.)

## Lösungen von Kalziumbikarbonat.

Zur Herstellung der Lösungen wurde in eine gesättigte Lösung von Kalziumhydroxyd so lange Kohlendioxyd eingeleitet, bis der anfangs entstehende Niederschlag von Karbonat zum Teil wieder in Lösung gegangen war. Die filtrierte Lösung, die noch überschüssige Kohlensäure enthielt, wurde mit Kalziumhydroxydlösung so lange versetzt, bis sich eben eine geringe Trübung von Kalziumkarbonat gebildet hatte. Die so erhaltene Lösung enthielt 0,3669 g Ca in 1 Liter. Die verdünnten Lösungen wurden aus dieser durch Verdünnen mit destilliertem Wasser hergestellt.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Versuchsordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 17 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gehalt der Lösung an Ca g in 1 Liter	Gewicht des Plättchens g		Gewichtsveränderung g		Veränderung des Metalls		Veränderung der Flüssigkeit
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert	nach 24 Stunden	nach 1 Monat	
Kupfer	1 2	0 <sup>1)</sup>	17,6846 16,9014	17,6832 16,9002	— 0,0014 — 0,0012	— 0,0013	0	Wenig dunkel angelaufen. Wenig dunkle Punkte	Flüssigkeit klar. Durch H <sub>2</sub> S Spuren von Braunfärbung
	33 34	0,3669 · 10 <sup>-3</sup>	17,6001 18,4377	17,5997 18,4377	— 0,0004 0	— 0,0002		Wenig rote Punkte	
	35 36	0,3669 · 10 <sup>-2</sup>	17,9791 17,9793	17,9787 17,9788	— 0,0004 — 0,0005	— 0,0004		Wenig angelaufen	
	37 38	0,3669 · 10 <sup>-1</sup>	18,1145 17,8506	18,1140 17,8502	— 0,0005 — 0,0004	— 0,0004		Ungleichmäßig schwarz angelaufen	
	39 40	0,3669	18,2387 18,0302	18,2594 18,0465	+ 0,0207 + 0,0163	+ 0,0185			
Zink	1 2	0 <sup>1)</sup>	13,2892 13,2436	13,2934 13,2478	+ 0,0042 + 0,0042	+ 0,0042	Weiß beschlagen	Schwach angelaufen. Wenig dunkle Punkte	Flüssigkeit klar
	33 34	0,3669 · 10 <sup>-3</sup>	13,3081 13,1931	13,3144 13,1906	+ 0,0063 — 0,0025	+ 0,0019		Dunkle Flecken	Schwach getrübt
	35 36	0,3669 · 10 <sup>-2</sup>	13,0316 13,2376	13,0202 13,2245	— 0,0114 — 0,0131	— 0,0122			Starker weißer Niederschlag
	37 38	0,3669 · 10 <sup>-1</sup>	13,2930 12,8362	13,3000 12,8423	+ 0,0070 + 0,0061	+ 0,0065		Etwas beschlagen. Feine schwarze Punkte	Klar
	39 40	0,3669	13,0616 13,5408	13,0639 13,5496	+ 0,0023 + 0,0088	+ 0,0055			
Blei	1 2	0 <sup>1)</sup>	30,1902 31,4632	30,1806 31,4559	— 0,0096 — 0,0073	— 0,0084	Weiß beschlagen	0	Klar ohne Niederschlag
	33 34	0,3669 · 10 <sup>-3</sup>	29,5269 31,0190	29,5264 31,0201	— 0,0005 + 0,0011	+ 0,0003			
	35 36	0,3669 · 10 <sup>-2</sup>	30,9160 30,1535	30,9146 30,1544	— 0,0014 + 0,0009	— 0,0002			
	37 38	0,3669 · 10 <sup>-1</sup>	31,3596 31,4185	31,3663 31,4250	+ 0,0067 + 0,0065	+ 0,0066			
	39 40	0,3669	30,3000 31,2554	30,3032 31,2572	+ 0,0032 + 0,0018	+ 0,0025			

<sup>1)</sup> Destilliertes Wasser.



Tabelle 12. (Abb. 5.)

## Lösungen von Kalziumkarbonat.

Feingepulvertes Kalziumkarbonat durch mehrtägiges Schütteln mit destilliertem Wasser ausgezogen. Die abgegossene Lösung enthielt 0,0241 g Ca. Diese mit destilliertem Wasser auf die angegebenen Konzentrationen verdünnt.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 17 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gehalt der Lösung an Ca g in 1 Liter	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	23	0,0241 · 10 <sup>-3</sup>	17,0591	17,0593	+ 0,0002	— 0,0002
	24		17,3404	17,3397	— 0,0007	
	25	0,0241 · 10 <sup>-2</sup>	18,1894	18,1884	— 0,0010	— 0,0007
	26		18,4578	18,4574	— 0,0004	
	27	0,0241 · 10 <sup>-1</sup>	18,2608	18,2612	+ 0,0004	+ 0,0011
	28		18,5538	18,5557	+ 0,0019	
	29	0,0241	17,4667	17,4663	— 0,0004	— 0,0003
	30		18,6306	18,6303	— 0,0003	
Zink <sup>2)</sup>	23	0,0241 · 10 <sup>-3</sup>	13,1730	13,1605	— 0,0125	— 0,0164
	24		13,5160	13,4956	— 0,0204	
	25	0,0241 · 10 <sup>-2</sup>	13,4616	13,4425	— 0,0191	— 0,0198
	26		13,2807	13,2602	— 0,0205	
	27	0,0241 · 10 <sup>-1</sup>	13,5199	13,4854	— 0,0345	— 0,0392
	28		13,0297	12,9857	— 0,0440	
	29	0,0241	13,4296	13,3704	— 0,0592	— 0,0531
	30		13,0667	13,0196	— 0,0471	
Blei <sup>3)</sup>	23	0,0241 · 10 <sup>-3</sup>	28,7896	28,6198	— 0,1698	— 0,1709
	24		30,1216	29,9495	— 0,1721	
	25	0,0241 · 10 <sup>-2</sup>	29,6923	29,5032	— 0,1891	— 0,1828
	26		29,5759	29,3993	— 0,1766	
	27	0,0241 · 10 <sup>-1</sup>	31,0289	30,9262	— 0,1027	— 0,0641
	28		31,3186	31,2930	— 0,0256	
	29	0,0241	30,6867	30,6878	+ 0,0011	— 0,0007
	30		31,4379	31,4354	— 0,0025	

<sup>1)</sup> Kupfer mit roten Punkten bedeckt, Flüssigkeit klar, durch H<sub>2</sub>S Spur von Braunfärbung.

<sup>2)</sup> Zink läuft mit steigender Konzentration stärker weiß an. Menge des weißen Niederschlags in den Gefäßen wächst ebenfalls mit Konzentration.

<sup>3)</sup> Blei mit weißen Kristallen bedeckt, deren Menge mit Konzentration zunimmt. Bei Proben Nr. 23 bis 26 starker, bei Proben Nr. 27 bis 30 geringer weißer Niederschlag in den Gefäßen.



Tabelle 13. (Abb. 6.)

## Lösungen mit Kalziumhydroxyd.

Konzentrierte Lösung mit 0,8772 g Ca in 1 Liter durch mehrtägiges Schütteln von CaO mit destilliertem Wasser erhalten. Die übrigen Lösungen sind durch Verdünnen der konzentrierten Lösung mit destilliertem Wasser erzielt.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 17 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gehalt der Lösung an Ca g in 1 Liter	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	13	$0,8772 \cdot 10^{-3}$	17,7778	17,7780	+ 0,0002	+ 0,0003
	14		17,8902	17,8906	+ 0,0004	
	15	$0,8772 \cdot 10^{-2}$	18,5262	18,5256	— 0,0006	— 0,0004
	16		17,7402	17,7399	— 0,0003	
	17	$0,8772 \cdot 10^{-1}$	18,3500	18,3512	+ 0,0012	+ 0,0011
	18		16,6820	16,6830	+ 0,0010	
	19	0,8772	17,3766	17,3814	+ 0,0048	+ 0,0048
	20		18,1096	18,1144	+ 0,0048	
Zink <sup>2)</sup>	13	$0,8772 \cdot 10^{-3}$	13,4056	13,3895	— 0,0161	— 0,0167
	14		13,2064	13,1891	— 0,0173	
	15	$0,8772 \cdot 10^{-2}$	13,2954	13,2862	— 0,0092	— 0,0107
	16		13,0461	13,0339	— 0,0122	
	17	$0,8772 \cdot 10^{-1}$	13,1672	13,1205	— 0,0467	— 0,0443
	18		13,2718	13,2298	— 0,0420	
	19	0,8772	13,5928	13,5923	— 0,0005	— 0,0029
	20		13,2204	13,2150	— 0,0054	
Blei <sup>3)</sup>	11	$0,8772 \cdot 10^{-3}$	30,3830	30,2928	— 0,0902	— 0,0921
	12		31,2269	31,1744	— 0,0525	
	13		30,9135	30,6903	— 0,2232	
	14		31,1684	31,1660	— 0,0024	
	15	$0,8772 \cdot 10^{-2}$	31,0080	31,0060	— 0,0020	— 0,0041
	16		29,2048	29,1985	— 0,0063	
	17	$0,8772 \cdot 10^{-1}$	28,4564	28,4400	— 0,0164	— 0,0132
	18		31,4765	31,4665	— 0,0100	
	19	0,8772	31,2204	31,1456	— 0,0748	— 0,0750
	20		30,6283	30,5530	— 0,0753	

<sup>1)</sup> 13 und 14 wenig rote Punkte. 15 und 16 nicht angelaufen. 17 bis 20 schwarz angelaufen. Flüssigkeit klar. Durch H<sub>2</sub>S Spuren von Braunfärbung.

<sup>2)</sup> 13 bis 18 weiß beschlagen, darunter dunkelfleckig. In den Gefäßen weißer Niederschlag. 19 und 20 zeigt sternförmige Anätzungen. Flüssigkeit klar, ohne Niederschlag. Zink nicht in Lösung.

<sup>3)</sup> In Lösung  $0,8772 \cdot 10^{-3}$  Angriff außerordentlich schwankend. Bei 11 bis 13 in den Gefäßen starker Niederschlag, bei 16 und 17 etwas Niederschlag. Bei 14 bis 16, 19 und 20 klar, ohne Niederschlag. Letztere beiden Proben metallisch blank geblieben. In der konzentrierten Lösung 0,8772 war Blei aufgelöst. Auf der Oberfläche der Flüssigkeit und zum Teil am Boden der Glasgefäße befanden sich weiße Kristallkrusten, die starke Bleireaktion gaben.



Tabelle 14. (Abb. 7.)

## Lösungen von Gips.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur im Mittel: 17 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gehalt der Lösung an Ca g in 1 Liter	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Kupfer <sup>1)</sup>	3	$0,3803 \cdot 10^{-3}$	18,3502	18,3500	— 0,0002	+ 0,0004
	4		17,9369	17,9380	+ 0,0011	
	5	$0,3803 \cdot 10^{-2}$	18,7032	18,7063	+ 0,0031	+ 0,0033
	6		17,7714	17,7750	+ 0,0036	
	7	$0,3803 \cdot 10^{-1}$	17,2490	17,2524	+ 0,0034	+ 0,0035
	8		18,1574	18,1611	+ 0,0037	
	9	0,3803	18,5034	18,5077	+ 0,0043	+ 0,0043
	10		18,1160	18,1204	+ 0,0044	
Zink <sup>2)</sup>	3	$0,3803 \cdot 10^{-3}$	13,3354	13,2794	— 0,0560	— 0,0463
	4		13,0927	13,0560	— 0,0367	
	5	$0,3803 \cdot 10^{-2}$	13,1171	13,0478	— 0,0693	— 0,0640
	6		13,5721	13,5134	— 0,0587	
	7	$0,3803 \cdot 10^{-1}$	12,8962	12,8168	— 0,0794	— 0,0738
	8		13,2170	13,1487	— 0,0683	
	9	0,3803	13,4092	13,3312	— 0,0780	— 0,0807
	10		12,9160	12,8325	— 0,0835	
Blei <sup>3)</sup>	3	$0,3803 \cdot 10^{-3}$	29,4552	29,2670	— 0,1882	— 0,1828
	4		29,2692	29,0917	— 0,1775	
	5	$0,3803 \cdot 10^{-2}$	29,3956	29,3050	— 0,0906	— 0,0816
	6		28,7886	28,7159	— 0,0727	
	7	$0,3803 \cdot 10^{-1}$	30,8660	30,8639	— 0,0021	— 0,0044
	8		30,6794	30,6727	— 0,0067	
	9	0,3803	31,3170	31,3184	+ 0,0014	+ 0,0009
	10		31,6994	31,6998	+ 0,0004	

<sup>1)</sup> Proben 3 und 4 wenig angelaufen mit dunklen Punkten. 5 und 6 punktförmig rot angelaufen. 7 und 8 fast gleichmäßig rot angelaufen. 9 und 10 stark dunkelrot angelaufen. — Flüssigkeit in allen Fällen klar. Durch H<sub>2</sub>S Spur von Braunfärbung.

<sup>2)</sup> Zink weiß beschlagen. In den Gefäßen weiße Niederschläge.

<sup>3)</sup> Proben mit weißen Kristallen bedeckt, deren Menge mit steigender Konzentration zunahm. Bei 3 und 4 Flüssigkeit trübe mit starkem, weißem Niederschlag. Bei 5 und 6 geringer Niederschlag. Bei 7 bis 10 kein Niederschlag. Flüssigkeit klar.



Tabelle 15.

## Versuche unter Verhinderung des Luftzutritts.

Die Lösungen wurden 15 Minuten in Wasserstoffstrom ausgekocht, dann abgekühlt, durch Wasserstoffdruck in die Glasgefäße mit den Metallproben übergeführt, nachdem diese vorher mit Wasserstoff gefüllt waren. Während der Versuchsdauer wurde durch die geschlossenen Gefäße Wasserstoff durchgeleitet, der 2 Waschflaschen mit alkalischer Pyrogallussäure durchlaufen hatte.

Temperatur im Mittel: 15–16 C°.

Metall	Nr. der Probe	Lösung	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g		Versuchsdauer in Tagen
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert	
Kupfer <sup>1)</sup>	60 61	CaCO <sub>3</sub> (0,0241 · 10 <sup>-3</sup> g Ca in 1 Liter)	18,2441 17,1856	18,2432 17,1850	— 0,0009 — 0,0006	— 0,0007	30
Zink <sup>2)</sup>	21 22		13,3292 12,9344	13,3293 12,9344	+ 0,0001 0	0	
Blei <sup>3)</sup>	59 60		29,9437 29,3730	29,9363 29,3630	— 0,0074 — 0,0100	— 0,0087	
Kupfer <sup>4)</sup>	58 59	Ca(OH) <sub>2</sub> (0,8772 · 10 <sup>-1</sup> g Ca in 1 Liter)	17,5603 17,9387	17,5605 17,9387	+ 0,0002 0	+ 0,0001	31
Zink <sup>5)</sup>	57 59		12,6073 12,4610	12,6073 12,4610	0 0	0	
Blei <sup>6)</sup>	56 57		28,8679 30,1761	28,8618 30,1698	— 0,0061 — 0,0063	— 0,0062	
Kupfer <sup>7)</sup>	56 57	CaSO <sub>4</sub> (0,3803 · 10 <sup>-3</sup> g Ca in 1 Liter)	17,4644 17,4301	17,4646 17,4301	+ 0,0002 0	+ 0,0001	31
Zink <sup>8)</sup>	55 56		12,6315 12,6525	12,6323 12,6520	+ 0,0008 — 0,0005	+ 0,0001	
Blei <sup>9)</sup>	21 22		28,7183 31,8035	28,7123 31,7918	— 0,0060 — 0,0117	— 0,0088	

<sup>1)</sup> Etwas angelaufen.

<sup>2)</sup> Wenig angelaufen.

<sup>3)</sup> Im Gefäß hatte sich nach 24 Stunden etwas weißer Niederschlag gebildet, der mit der Zeit nicht zunahm.

<sup>4)</sup> Nicht verändert.

<sup>5)</sup> Nicht verändert.

<sup>6)</sup> Wenig angelaufen. In Flüssigkeit durch H<sub>2</sub>S Blei nachweisbar.

<sup>7)</sup> Wenig angelaufen.

<sup>8)</sup> Wenig angelaufen.

<sup>9)</sup> Nach 24 Stunden im Gefäß wenig weißer Niederschlag, der nicht mehr zunahm. In der Flüssigkeit durch H<sub>2</sub>S Blei nachweisbar.



Tabelle 16.

Versuche mit Blei in destilliertem und in Leitungswasser bei Verhinderung von Luftzutritt.

Wasser 20 Minuten in Wasserstoffstrom gekocht, dann abgekühlt und durch Wasserstoffdruck in die mit Wasserstoff gefüllten Glasgefäße mit den Bleiprobe übergeführt. Durch die geschlossenen Gefäße wurde Wasserstoff geleitet, nachdem er 2 Waschflaschen mit alkalischer Pyrogallussäure durchlaufen hatte.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Temperatur: etwa 18 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Destilliertes Wasser.					
Blei <sup>1)</sup>	195	30,8621	30,8472	— 0,0149	— 0,0130
	190	30,7463	30,7352	— 0,0111	
Leitungswasser.					
Blei <sup>2)</sup>	183	30,7080	30,7066	— 0,0014	— 0,0010
	203	31,0419	31,0412	— 0,0007	

<sup>1)</sup> Nach Beendigung des Versuchs im Wasser wenig weiße Flocken. Mit H<sub>2</sub>S gab die Flüssigkeit leichte Braunfärbung.

<sup>2)</sup> Im Wasser schwache Trübung. Durch H<sub>2</sub>S keine Färbung.

Tabelle 17.

Versuche mit Blei in destilliertem Wasser unter Ausschluß von Kohlendioyd im Luftstrom.

Das destillierte Wasser wurde 20 Minuten im kohlendioxydfreien Luftstrom gekocht, in diesem abgekühlt und schließlich in die mit kohlendioxydfreier Luft gefüllten Glasgefäße mit den Bleiprobe übergedrückt. Während der Versuchsdauer wurde kohlendioxydfreie Luft durch die geschlossenen Gefäße geleitet.

Versuchsdauer: 31 Tage.

Temperatur: etwa 18 C°.

Metall	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Blei	196	30,7417	30,6219	— 0,1198	— 0,1292
	198	30,8688	30,7302	— 0,1386	

Nach kurzer Zeit bildete sich in den Gläsern milchige Trübung, später geringer weißer Niederschlag. Nach einigen Tagen bildeten sich auf dem Blei feine weiße, später gelb werdende Kristalle. Darunter war das Blei blau angelaufen und örtlich angegriffen.

Nach Oeffnen der Gläser am Ende des Versuchs, also nach Zutritt von Kohlendioxyd, trübte sich die Flüssigkeit stärker.



Tabelle 18. (Abb. 8 und 23.)

## Kupfer in destilliertem Wasser.

Versuchsdauer: 365 Tage. Versuchsanordnung: Abb. 2. Temperatur im Mittel: 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
30	101	17,5650	17,5638	— 0,0012	— 0,0009
	102	17,5343	17,5337	— 0,0006	
61	103	15,5254	15,5294	+ 0,0040	+ 0,0016
	105	15,6860	15,6852	— 0,0008	
92	106	16,1960	16,1948	— 0,0012	+ 0,0001
	107	17,0491	17,0506	+ 0,0015	
122	108	17,1693	17,1702	+ 0,0009	— 0,0001
	109	15,0328	15,0317	— 0,0011	
153	114	17,4846	17,4869	+ 0,0023	— 0,0001
	115	15,7874	15,7848	— 0,0026	
184	116	17,4848	17,4845	— 0,0003	— 0,0001
	117	15,6565	15,6566	+ 0,0001	
212	118	17,1124	17,1106	— 0,0018	— 0,0007
	119	17,9446	17,9450	+ 0,0004	
243	120	17,2615	17,2618	+ 0,0003	+ 0,0001
	121	16,8010	16,8010	0	
273	122	16,4608	16,4604	— 0,0004	+ 0,0007
	123	17,8984	17,9002	+ 0,0018	
304	124	16,3615	16,3599	— 0,0016	— 0,0017
	125	17,6844	17,6825	— 0,0019	
334	126	17,6617	17,6633	+ 0,0016	— 0,0002
	127	17,7170	17,7150	— 0,0020	
365	128	16,0213	16,0230	+ 0,0017	+ 0,0011
	129	15,5746	15,5751	+ 0,0005	

Kupfer punktförmig rot beschlagen. Flüssigkeit durch H<sub>2</sub>S wenig braun gefärbt.



Tabelle 19. (Abb. 9 und 23.)

## Kupfer in Leitungswasser.

Versuchsdauer: 365 Tage. Versuchsanordnung: Abb. 2. Temperatur im Mittel: 15 bis 21 C °.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
30	95	15,8226	15,8221	— 0,0005	— 0,0006
	96	16,7166	16,7158	— 0,0008	
61	100	16,7590	16,7571	— 0,0019	— 0,0013
	99	17,5826	17,5818	— 0,0008	
92	98	15,3084	15,3074	— 0,0010	— 0,0013
	94	15,8429	15,8412	— 0,0017	
122	93	17,9348	17,9345	— 0,0003	— 0,0004
	92	16,2585	16,2580	— 0,0005	
153	91	15,5070	15,5060	— 0,0010	— 0,0011
	97	16,6370	16,6358	— 0,0012	
184	89	17,4621	17,4610	— 0,0011	— 0,0012
	104	17,4995	17,4982	— 0,0013	
212	87	18,3024	18,3004	— 0,0020	— 0,0025
	88	17,6473	17,6443	— 0,0030	
243	86	18,0818	18,0800	— 0,0018	— 0,0021
	85	17,1490	17,1466	— 0,0024	
273	84	16,8556	16,8515	— 0,0041	— 0,0037
	82	16,8658	16,8624	— 0,0034	
304	79	18,1465	18,1421	— 0,0044	— 0,0018
	32	18,5848	18,5855	+ 0,0007	
334	31	17,8668	17,8628	— 0,0040	— 0,0027
	22	17,7695	17,7680	— 0,0015	
365	81	18,0810	18,0832	+ 0,0022	+ 0,0018
	11	17,9635	17,9649	+ 0,0014	

Kupfer örtlich dunkel angelauten. Flüssigkeit durch  $H_2S$  schwach braun gefärbt nach 122 Tagen.



Tabelle 20. (Abb. 10 und 23.)

## Kupfer in künstlichem Seewasser.

Die Lösung enthielt in 1 Liter:

29,9 Gramm NaCl,  
 6,22 „  $\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$ ,  
 6,42 „  $\text{MgCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ ,  
 1,57 „  $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ .

Das verdunstete Wasser wurde durch Nachfüllen von künstlichem Seewasser ersetzt.

Versuchsdauer: 365 Tage. Versuchsanordnung: Abb. 2. Temperatur: im Mittel 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	148	15,0606	15,0238	— 0,0368	— 0,0365
	157	15,5273	15,4910	— 0,0363	
61	150	15,7528	15,6750	— 0,0778	— 0,0775
	156	16,1759	16,0988	— 0,0771	
92	153	15,3894	15,2648	— 0,1246	— 0,1277
	152	15,2616	15,1307	— 0,1309	
123	149	15,2188	15,0454	— 0,1734	— 0,1708
	155	16,2458	16,0776	— 0,1682	
151	146	15,5947	15,4179	— 0,1768	— 0,1742
	78	17,9711	17,7994	— 0,1717	
182	21	16,6504	16,4844	— 0,1660	— 0,1662
	12	16,9646	16,7982	— 0,1664	
212	90	17,1669	16,9692	— 0,1977	— 0,2020
	76	18,0045	17,7982	— 0,2063	
243	74	17,3045	17,0619	— 0,2426	— 0,2281
	75	17,8087	17,5950	— 0,2137	
273	80	17,8296	17,6413	— 0,1883	— 0,2052
	144	15,7921	15,5700	— 0,2221	
304	154	15,3901	15,1467	— 0,2434	— 0,2520
	150	14,4297	14,1691	— 0,2606	
335	152	14,4898	14,2684	— 0,2214	— 0,2332
	143	15,1711	14,9260	— 0,2451	
365	148	15,4694	15,2496	— 0,2198	— 0,2111
	147	15,3910	15,1885	— 0,2025	

Kupfer anfänglich dunkel angelauten, dann mit roter und schließlich mit grüner Schicht bedeckt. Angriff gleichmäßig. Die Schicht auf dem Kupfer war bis 151 Tage Versuchsdauer rot und teilweise abwaschbar. Bei längerer Versuchsdauer war sie grün und nicht mehr abwaschbar. Die Gewichtsverluste sind demnach um einen entsprechenden Betrag zu niedrig. — In der Flüssigkeit setzte sich erst weißer, später hellgrüner Niederschlag ab. Die Flüssigkeit wurde durch  $\text{H}_2\text{S}$  braun gefärbt.



Tabelle 21. (Abb. 11 und 23.)

## Kupfer in Zementwasser.

25 Gramm Zement wurden in 1 Liter destillierten Wassers 4 Tage lang geschüttelt, dann mit dem aufgeführten Bodensatz gleichmäßig in die Gläser verteilt. Die Flüssigkeit wurde durch destilliertes Wasser auf das Volum von 250 ccm in jedem Glas gebracht. Das verdunstete Wasser wurde durch destilliertes ersetzt.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 22 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	149	16,1333	16,1424	+ 0,0091	+ 0,0096
	151	16,4769	16,4871	+ 0,0102	
61	146	15,4110	15,4321	+ 0,0211	+ 0,0243
	145	16,7620	16,7896	+ 0,0276	
92	133	15,7850	15,8264	+ 0,0414	+ 0,0323
	134	15,3752	15,3985	+ 0,0233	
122	135	15,5732	15,6070	+ 0,0338	+ 0,0325
	136	16,8473	16,8786	+ 0,0313	
153	138	14,7100	14,7330	+ 0,0230	+ 0,0253
	137	15,9753	16,0030	+ 0,0277	
184	139	16,3053	16,3426	+ 0,0373	+ 0,0330
	155	15,2219	15,2506	+ 0,0287	
212	153	16,2616	16,3066	+ 0,0450	+ 0,0359
	140	16,3944	16,4213	+ 0,0269	
243	141	16,3722	16,4056	+ 0,0334	+ 0,0415
	142	15,0242	15,0738	+ 0,0496	
273	77	16,9950	17,0781	+ 0,0831	+ 0,0655
	110	17,0462	17,0942	+ 0,0480	
304	113	15,8201	15,8852	+ 0,0651	+ 0,0604
	112	17,5789	17,6346	+ 0,0557	
334	111	16,0550	16,1141	+ 0,0591	+ 0,0601
	132	15,9743	16,0354	+ 0,0611	
365	131	16,5275	16,5852	+ 0,0577	+ 0,0549
	130	16,8526	16,9047	+ 0,0521	

Nach 190 Tagen wurde das Zementwasser durch neues ersetzt.

Die Kupferproben waren schwarz angelauten. Der Beschlag ließ sich nicht entfernen.



Tabelle 22. (Abb. 12 und 31.)

## Kupfer in Zementwürfeln.

Versuchsdauer: 364 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 29 und 30.

Lagerung in	Anordnung des Versuchs	Nr. der Probe	Gewicht des Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Leitungswasser <sup>1)</sup>	g A	1	18,9213	18,9234	+ 0,0021	0
		2	19,5326	19,5306	— 0,0020	
	g B	31	11,9268	11,9288	+ 0,0020	+ 0,0022
		32	12,0059	12,0084	+ 0,0025	
	h A	3	19,5508	19,5515	+ 0,0007	+ 0,0014
		4	19,8185	19,8207	+ 0,0022	
	h B	33	12,5234	12,5274	+ 0,0040	+ 0,0045
		34	12,2403	12,2453	+ 0,0050	
Künstliches Seewasser <sup>2)</sup>	g A	5	19,6715	19,6829	+ 0,0114	+ 0,0076
		6	20,3651	20,3690	+ 0,0039	
	g B	35	11,6318	11,6351	+ 0,0033	+ 0,0022
		36	12,3722	12,3734	+ 0,0012	
	h A	7	19,1070	19,1084	+ 0,0014	+ 0,0014
		8	19,3929	19,3944	+ 0,0015	
	h B	37	12,1206	12,1214	+ 0,0008	+ 0,0012
		38	12,3866	12,3882	+ 0,0016	
Luft <sup>3)</sup>	A	9	19,7720	19,7824	+ 0,0104	+ 0,0105
		10	18,9541	18,9647	+ 0,0106	
	B	39	12,0037	12,0073	+ 0,0036	+ [0,0036]
		40	— <sup>4)</sup>	—	—	

<sup>1)</sup> Leitungswasser: i: schwarz angelaufen (o), a: bei g A stellenweise grüne Ausblühungen (/), darunter schwarz (o), bei h A weiße Kruste (/).

<sup>2)</sup> Seewasser: i: dunkelrotbraun angelaufen (o), a: bei g A rot angelaufen, stellenweise schwarze Flecke (/), darunter kupferfarben. Bei h A rotbraun angelaufen (o). Zement an Oberfläche weiß und mürbe.

<sup>3)</sup> Luft: i: dunkel angelaufen (o), a: dunkel angelaufen.

<sup>4)</sup> Wäagefehler, deshalb ausgeschlossen.

## Abkürzungen:

i: Probe im Innern des Zementwürfels.

a: Aus dem Zement herausragender Teil der Probe.

o: Beschlag nicht abwischbar. / Beschlag abwischbar.

Im Zement in der Nähe der Proben war kein Kupfer nachweisbar.



Tabelle 23. (Abb. 13 und 23.)

## Zink in destilliertem Wasser.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
10	1	12,8630	12,8654	+ 0,0024	+ 0,0025
	2	11,9540	11,9567	+ 0,0027	
20	3	12,7670	12,7703	+ 0,0033	+ 0,0032
	4	12,9162	12,9194	+ 0,0032	
30	5	12,7046	12,7102	+ 0,0056	+ 0,0051
	6	12,9176	12,9222	+ 0,0046	
61	7	12,8596	12,8648	+ 0,0052	+ 0,0051
	8	12,4330	12,4380	+ 0,0050	
91	9	12,5370	12,5472	+ 0,0102	+ 0,0102
	10	13,7768	13,7871	+ 0,0103	
122	11	12,9552	12,9647	+ 0,0095	+ 0,0102
	12	12,9752	12,9861	+ 0,0109	
153	13	13,0864	13,0970	+ 0,0106	+ 0,0109
	14	13,1082	13,1195	+ 0,0113	
183	15	13,0404	13,0524	+ 0,0120	+ 0,0127
	16	13,0892	13,1027	+ 0,0135	
214	17	11,7426	11,7622	+ 0,0196	+ 0,0176
	18	12,5240	12,5396	+ 0,0156	
244	19	12,4424	12,4538	+ 0,0114	+ 0,0128
	20	13,3335	13,3478	+ 0,0143	
275	21	12,7830	12,8018	+ 0,0188	+ 0,0188
	22	12,7990	12,8178	+ 0,0188	
306	23	12,7080	12,7237	+ 0,0157	+ 0,0155
	24	12,7246	12,7400	+ 0,0154	
334	25	13,1964	13,2090	+ 0,0126	+ 0,0115
	26	12,7962	12,8067	+ 0,0105	
365	27	13,0418	13,0569	+ 0,0151	+ 0,0153
	28	12,8488	12,8644	+ 0,0156	

Durch Schwefelammonium kein Zink in den Lösungen nachweisbar.  
Proben weiß beschlagen (o). Im Gefäß am Boden wenig weißer Niederschlag.



Tabelle 24. (Abb. 14.)

## Zink in Leitungswasser.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
30	11	12,7526	12,7545	+ 0,0019	+ 0,0034
	114	12,9635	12,9684	+ 0,0049	
61	122	12,8777	12,8828	+ 0,0051	+ 0,0063
	129	12,6474	12,6549	+ 0,0075	
91	130	12,9478	12,9485	+ 0,0007	+ 0,0016
	128	13,1194	13,1220	+ 0,0026	
122	125	12,8978	12,9027	+ 0,0049	+ 0,0071
	132	13,1436	13,1530	+ 0,0094	
153	117	13,0035	13,0101	+ 0,0066	+ 0,0079
	115	12,8803	12,8896	+ 0,0093	
181	113	12,5015	12,5059	+ 0,0044	+ 0,0056
	82	12,9250	12,9319	+ 0,0069	
212	126	12,6095	12,6200	+ 0,0105	+ 0,0091
	97	12,5826	12,5903	+ 0,0077	
242	77	12,6258	12,6348	+ 0,0090	+ 0,0114
	96	12,5010	12,5148	+ 0,0138	
273	118	12,9653	12,9700	+ 0,0047	+ 0,0077
	127	12,9778	12,9885	+ 0,0107	
303	138	13,0525	13,0626	+ 0,0101	+ 0,0120
	90	12,4197	12,4336	+ 0,0139	
334	119	12,8676	12,8741	+ 0,0065	+ 0,0068
	99	12,5924	12,5996	+ 0,0072	
365	81	12,6682	12,6696	+ 0,0014	+ 0,0083
	58	12,8338	12,8491	+ 0,0153	

Das verdunstete Wasser in den Gefäßen wurde durch Nachfüllen von Leitungswasser ersetzt.

In den Flüssigkeiten kein Zink in Lösung. Auf dem Boden der Gefäße wenig weißer Niederschlag.

Zink wenig farbig angelauten (o).



Tabelle 25. (Abb. 15.)

## Zink im künstlichen Seewasser.

Zusammensetzung der Lösung s. Tabelle 20.

Das verdunstete Wasser wurde durch künstliches Seewasser ersetzt.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	89	13,1241	13,1152	— 0,0089	— 0,0146
	102	12,6384	12,6180	— 0,0204	
61	138	12,3907	12,3883	— 0,0024	— 0,0083
	134	12,2496	12,2354	— 0,0142	
92	139	12,6264	12,5953	— 0,0311	— 0,0333
	137	12,6709	12,6354	— 0,0355	
123	135	12,6306	12,5710	— 0,0596	— 0,0470
	136	12,4955	12,4610	— 0,0345	
151	133	12,8138	12,7864	— 0,0274	— 0,0263
	12	12,9518	12,9266	— 0,0252	
182	87	12,2199	12,2199	0	— 0,0093
	88	12,9061	12,8874	— 0,0187	
212	22	12,9582	12,9279	— 0,0303	— 0,0305
	39	12,5197	12,4890	— 0,0307	
243	78	12,6135	12,5878	— 0,0257	— 0,0191
	86	13,1856	13,1730	— 0,0126	
273	91	12,6611	12,6350	— 0,0261	— 0,0223
	79	12,7674	12,7488	— 0,0186	
304	85	12,3938	12,3660	— 0,0278	— 0,0298
	52	12,7217	12,6898	— 0,0319	
335	76	13,0817	13,0795	— 0,0022	— 0,0253
	104	12,8725	12,8240	— 0,0485	
365	80	12,9897	12,9648	— 0,0249	— 0,0300
	33	12,8618	12,8267	— 0,0351	

In der Flüssigkeit kein Zink in Lösung.

Bis zur Versuchsdauer von 61 Tagen waren die Proben mit feinen abwaschbaren Kristallen bedeckt, und darunter grau angelaufen. Am Boden des Gefäßes war wenig weißer Niederschlag.

Bis 92 Tage waren die Proben mit weißer Schicht bedeckt, die sich durch Abreiben entfernen ließ.

Bei längerer Versuchsdauer war die weiße Schicht auf den Proben nicht mehr abwischbar. Sie wurde durch Abschaben mit Zink entfernt. Unter der Schicht befinden sich schwache örtliche Anätzungen.



Tabelle 26. (Abb. 16 und 23.)

## Zink in Zementwasser.

Herstellung des Zementwassers s. Tabelle 21.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 22 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	120	12,6696	12,6645	— 0,0051	— 0,0061
	123	12,9723	12,9652	— 0,0071	
61	131	13,0705	13,0718	+ 0,0013	+ 0,0098
	124	12,9747	12,9930	+ 0,0183	
92	83	13,0212	13,0160	— 0,0052	— 0,0211
	34	12,5820	12,5450	— 0,0370	
122	35	12,3917	12,3133	— 0,0784	— 0,0676
	36	12,6089	12,5520	— 0,0569	
153	40	12,3340	12,2261	— 0,1079	— 0,0931
	93	12,8180	12,7396	— 0,0784	
184	108	12,3602	12,3114	— 0,0488	— 0,0772
	105	12,8706	12,7650	— 0,1056	
212	106	12,8720	12,7936	— 0,0784	— 0,0952
	94	12,5928	12,4808	— 0,1120	
243	121	12,8174	12,7201	— 0,0973	— 0,0775
	95	13,0752	13,0174	— 0,0578	
273	92	12,5922	12,5564	— 0,0358	— 0,0620
	98	12,6328	12,5446	— 0,0882	
304	111	12,9237	12,8032	— 0,1205	— 0,1160
	112	13,1724	13,0608	— 0,1116	
334	109	12,5691	12,4298	— 0,1393	— 0,1105
	116	12,5925	12,5107	— 0,0818	
365	110	12,9298	12,7687	— 0,1611	— 0,1585
	37	12,5518	12,3959	— 0,1559	

Nach 190 Tagen wurde neues Zementwasser in die Gefäße gefüllt. Während der übrigen Zeit wurde das verdunstete Wasser durch destilliertes ersetzt.

Auf den Zinkproben bildeten sich bald nach dem Einhängen Gasblasen, später weiße Ausblühungen. Diese waren abwischbar; darunter zeigten sich geringe örtliche Anfressungen. Nach 273 Tagen war der weiße Beschlag auf den Proben nicht mehr abwischbar, die örtlichen Anfressungen waren stärker.



Tabelle 27. (Abb. 17 und 32.)

## Zink in Zementwürfeln.

Versuchsdauer: 364 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 29 und 30.

Lagerung in	Anordnung des Versuchs	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Leitungswasser	g A	11	15,2052	15,2887	+ 0,0835 } (o)	+ 0,1056 (o)
		12	15,3622	15,4900	+ 0,1278 } (o)	
	g B	41	9,6854	9,7666	+ 0,0812 } (o)	+ 0,0900 (o)
		42	10,0251	10,1238	+ 0,0987 } (o)	
	h A	13	15,4794	15,5265	+ 0,0471 } (o)	+ 0,0673 (o)
		14	15,3964	15,4840	+ 0,0876 } (o)	
	h B	43	9,8077	9,8786	+ 0,0709 } (o)	+ 0,0694 (o)
		44	10,2206	10,2885	+ 0,0679 } (o)	
Künstliches Seewasser	g A	15	15,4952	15,7635	+ 0,2683 } (o)	+ 0,2726 (o)
		16	15,3880	15,6649	+ 0,2769 } (o)	
	g B	45	10,0727	10,1418	+ 0,0691 } (o)	+ 0,0901 (o)
		46	10,0325	10,1437	+ 0,1112 } (o)	
	h A	17	15,4908	15,5849	+ 0,0941 } (o)	+ 0,0926 (o)
		18	15,4226	15,5138	+ 0,0912 } (o)	
	h B	47	9,8820	9,9376	+ 0,0556 } (o)	+ 0,0642 (o)
		48	9,9192	9,9921	+ 0,0729 } (o)	
Luft	A	19	15,8264	15,9150	+ 0,0886 } (o)	+ 0,1060 (o)
		20	15,5254	15,6488	+ 0,1234 } (o)	
	B	49	9,9540	10,0580	+ 0,1040 } (o)	+ 0,1152 (o)
		50	9,8572	9,9836	+ 0,1264 } (o)	

Abkürzungen s. Tabelle 22.

Auf i eine festhaftende und ohne Beschädigung der Proben nicht entfernbare Zementkruste (o).

a: In Leitungs- und Seewasser (Anordnung gA) weiße Kruste (o). In Luft und bei hA fast blank.

Bei den Seewasserproben war der Zement an der Oberfläche weiß und mürbe.

Im Zement in der Nähe der Proben war kein Zink nachweisbar.

Die Zinkproben hafteten sehr fest am Zement.



Tabelle 28. (Abb. 18 und 23.)

## Blei in destilliertem Wasser.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 22 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g		Art des Angriffs
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert	
30	121	29,6492	29,6498	+ 0,0006	0	I
	122	28,3442	28,3437	— 0,0005		
61	123	28,1808	28,1734	— 0,0074	— 0,0108	I
	124	29,7439	29,7296	— 0,0143		
92	125	30,1608	30,1443	— 0,0165	— 0,0179	I
	126	29,8718	29,8524	— 0,0194		
122	127	30,9079	30,8690	— 0,0389	— 0,0353	I
	82	29,9258	29,8940	— 0,0318		
153	89	30,4990	30,4474	— 0,0516	— 0,0563	I
	88	29,8780	29,8170	— 0,0610		
183	53	30,4467	30,3721	— 0,0746		I
	52	29,9878	28,9836	— 1,0042		II
214	81	31,1957	31,0877	— 0,1080		I
	80	31,2133	30,2891	— 0,9242		II
245	79	30,9740	30,8408	— 0,1332	— 0,1177	I
	78	30,4337	30,3314	— 0,1023		
273	90	28,7829	28,6466	— 0,1363	— 0,1311	I
	83	30,7958	30,6698	— 0,1260		
304	58	31,3088	31,1962	— 0,1126	— 0,1328	I
	86	30,8808	30,7278	— 0,1530		
334	87	31,8809	31,7530	— 0,1279	— 0,1537	I
	91	28,9028	28,7232	— 0,1796		
365	93	31,2438	31,0783	— 0,1655	— 0,1865	I
	85	31,1106	30,9030	— 0,2076		I und II

Angriff I: Das Blei läuft grau an, dann bilden sich auf ihm wurm- und haarförmige weiße Ausblühungen (bas. Karbonat). Die Flüssigkeit bleibt klar; an ihrer Oberfläche bildet sich keine weiße Haut. Blei ist in der Flüssigkeit nicht gelöst (Abb. 24).

Angriff II: Die Flüssigkeit wird sofort weiß getrübt. Auf dem Blei bilden sich weiße, später gelb und dunkel werdende Kristalle. Auf der Flüssigkeitsoberfläche liegt eine weiße Schicht, die langsam zu Boden sinkt und sich immer wieder erneuert (bas. Karbonat). Die Kristalle sind frei von Kohlensäure; sie sind teils glänzende quadratische Säulen (Bleihydroxyd), teils dunkle blättrige Kristalle (Bleioxyd). In der Flüssigkeit ist kein Blei in Lösung (Abb. 24—26).

Der Angriff II ist viel stärker als der Angriff I. Beide Angriffsarten können auch nebeneinander vorkommen.



Tabelle 29. (Abb. 19 und 23.)

## Blei in Leitungswasser.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 22 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
30	128	30,1321	30,1353	+ 0,0032	+ 0,0032
	129	30,6524	30,6555	+ 0,0031	
61	130	31,0584	31,0652	+ 0,0068	+ 0,0062
	131	27,8137	27,8194	+ 0,0057	
92	132	27,8503	27,8602	+ 0,0099	+ 0,0096
	133	29,4635	29,4728	+ 0,0093	
122	134	27,6461	27,6586	+ 0,0125	+ 0,0120
	115	30,1371	30,1486	+ 0,0115	
153	114	27,8356	27,8478	+ 0,0122	+ 0,0122
	113	30,4736	30,4859	+ 0,0123	
183	112	29,7217	29,7369	+ 0,0152	+ 0,0150
	111	27,2038	27,2187	+ 0,0149	
214	110	28,7042	28,7222	+ 0,0180	+ 0,0183
	109	30,0210	30,0396	+ 0,0186	
245	108	29,3682	29,3902	+ 0,0220	+ 0,0214
	107	30,3433	30,3642	+ 0,0209	
273	106	31,0278	31,0466	+ 0,0188	+ 0,0180
	105	30,4978	30,5151	+ 0,0173	
304	104	28,1624	28,1826	+ 0,0202	+ 0,0195
	103	30,4530	30,4718	+ 0,0188	
334	102	29,4569	29,4754	+ 0,0185	+ 0,0189
	101	30,8792	30,8985	+ 0,0193	
365	100	29,6027	29,6256	+ 0,0229	+ 0,0216
	99	30,4614	30,4817	+ 0,0203	

Nach 273 Tagen wurde das Leitungswasser erneuert.

Das Blei läuft dunkel graubraun an und zeigt mit der Zeit keine weitere Veränderung. Die Anlaufschicht ist ohne Beschädigung des Bleies nicht zu entfernen.

In der Flüssigkeit ist kein Blei nachweisbar.



Tabelle 30. (Abb. 20 und 23.)

## Blei in künstlichem Seewasser.

Zusammensetzung der Lösung s. Tabelle 20.

Das verdunstete Wasser wurde durch künstliches Seewasser ersetzt.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 21 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	168	33,0468	33,0448	— 0,0020	— 0,0025
	176	32,5414	32,5384	— 0,0030	
61	165	31,8036	31,8032	— 0,0004	— 0,0016
	181	30,2940	30,2912	— 0,0028	
92	178	30,3437	30,3400	— 0,0037	— 0,0032
	177	30,2524	30,2496	— 0,0028	
123	179	30,5600	30,5569	— 0,0031	— 0,0039
	180	30,4287	30,4240	— 0,0047	
151	182	30,3558	30,3509	— 0,0049	— 0,0017
	164	32,1199	32,1213	+ 0,0014	
182	141	28,3946	28,3931	— 0,0015	— 0,0036
	143	30,6709	30,6652	— 0,0057	
212	166	31,6554	31,6565	+ 0,0011	+ 0,0026
	167	33,0569	33,0610	+ 0,0041	
243	142	28,4960	28,4980	+ 0,0020	+ 0,0074
	120	29,8300	29,8428	+ 0,0128	
273	54	30,8792	30,8914	+ 0,0122	+ 0,0087
	119	30,8394	30,8447	+ 0,0053	
304	137	30,7350	30,7479	+ 0,0129	+ 0,0120
	140	29,8756	29,8868	+ 0,0112	
335	169	32,1767	32,1854	+ 0,0087	+ 0,0106
	136	28,6458	28,6583	+ 0,0125	
365	135	29,6326	29,6468	+ 0,0142	+ 0,0110
	144	30,6156	30,6234	+ 0,0078	

Blei grau angelauten; nur geringe örtliche Anätzungen. Mit der Zeit wird der graue Belag auf dem Blei, der nicht abwischbar ist, dichter. Am Boden der Gefäße wenig weißer Niederschlag.

Flüssigkeit wird durch  $H_2S$  schwach braun gefärbt.



Tabelle 31. (Abb. 21 und 23.)

## Blei in Zementwasser.

Herstellung des Zementwassers s. Tabelle 21.

Versuchsdauer: 365 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 2.

Temperatur: 15 bis 12 C°.

Versuchsdauer in Tagen	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
		zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
31	145	28,3215	28,0985	— 0,2230	— 0,2070
	146	29,0219	28,8309	— 0,1910	
61	172	31,9072	31,7031	— 0,2041	— 0,1506
	175	31,6117	31,5145	— 0,0972	
92	174	32,2902	32,0890	— 0,2012	— 0,1859
	173	32,0234	31,8528	— 0,1706	
122	171	31,7616	31,4412	— 0,3204	— 0,2223
	170	31,8716	31,7474	— 0,1242	
153	163	32,2847	32,1644	— 0,1203	— 0,1351
	162	31,7505	31,6005	— 0,1500	
184	161	32,4948	32,3696	— 0,1252	— 0,1350
	160	32,1055	31,9606	— 0,1449	
212	159	31,9923	31,3565	— 0,6358	— 0,5463
	147	30,3664	29,9095	— 0,4569	
243	148	30,3616	29,8432	— 0,5184	— 0,6419
	149	28,0172	27,2517	— 0,7655	
273	154	30,5047	29,9006	— 0,6041	— 0,6166
	152	30,7369	30,1078	— 0,6291	
304	157	28,4639	27,5602	— 0,9037	— 0,7402
	156	28,5103	27,9336	— 0,5767	
334	159	30,9109	30,3192	— 0,5917	— 0,7558
	153	28,8048	27,8849	— 0,9199	
365	151	29,3917	28,7090	— 0,6827	— 0,6930
	150	30,5503	29,8470	— 0,7033	

Nach 193 Tagen wurde das Zementwasser durch neues ersetzt.

Bleiprobe mit grauem Beschlag. Angriff gleichmäßig, an den Rändern etwas stärker.



Tabelle 32. (Abb. 22 und 33.)

## Blei in Zementwürfeln.

Versuchsdauer: 364 Tage.

Versuchsanordnung: Abb. 29 und 30.

Lagerung in	Anordnung des Versuchs	Nr. der Probe	Gewicht der Plättchen g		Gewichtsveränderung g	
			zu Beginn	zu Ende	Einzelwerte	Mittelwert
Leitungswasser	g A	21	36,6854	36,5425	— 0,1429	— 0,1553
		22	37,5996	37,4318	— 0,1678	
	g B	51	23,8490	23,7922	— 0,0568	— 0,0534
		52	23,7313	23,6812	— 0,0501	
	h A	23	36,9392	36,8656	— 0,0736	— 0,0719
		24	37,1770	37,1068	— 0,0702	
	h B	53	24,0164	23,9846	— 0,0318	— 0,0311
		54	24,0586	24,0282	— 0,0304	
Künstliches Seewasser	g A	25	37,1690	37,2529	+ 0,0839	+ 0,0972
		26	36,4606	36,5712	+ 0,1106	
	g B	55	24,5642	24,5083	— 0,0559	— 0,0527
		56	23,6355	23,5860	— 0,0495	
	h A	27	37,3762	37,3187	— 0,0575	— 0,0557
		28	36,5320	36,4780	— 0,0540	
	h B	57	23,5152	23,4844	— 0,0308	— 0,0288
		58	24,2571	24,2303	— 0,0268	
Luft	A	29	37,1040	37,0507	— 0,0533	— 0,0600
		30	34,3664	34,2996	— 0,0668	
	B	59	23,3858	23,3502	— 0,0356	— 0,0367
		60	24,0342	23,9964	— 0,0378	

Abkürzungen s. Tabelle 22.

i: scheinbar wenig verändert; mit rötlich-grauem Beschlag bedeckt.

a: Bei Anordnung gA: In Leitungswasser grau angelaufen (o); in Seewasser mit weißer Kruste bedeckt (teilweise abwischbar).

Bei Anordnung hA und A dunkel angelaufen (o).

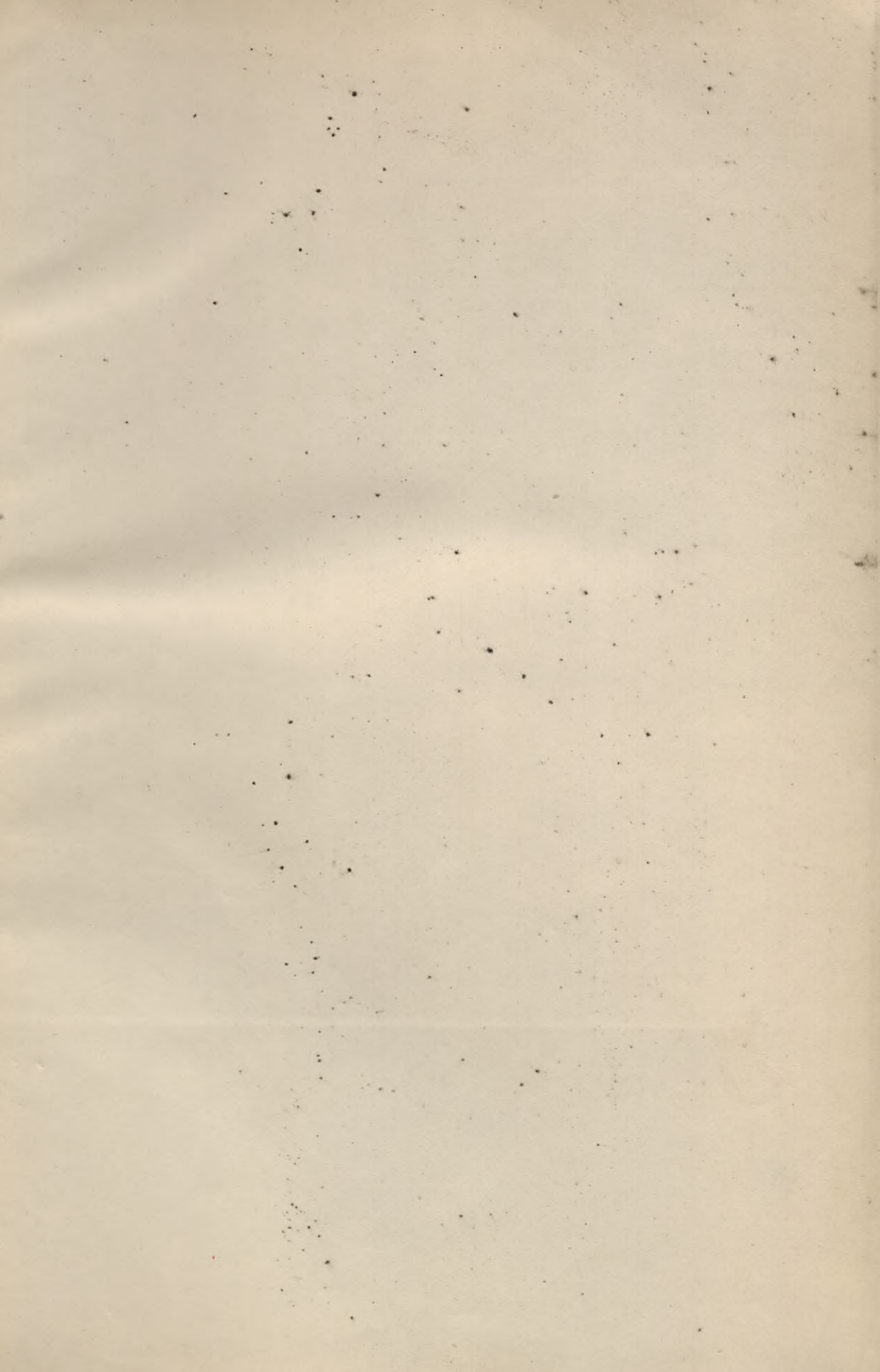
Bei den Seewasserproben war der Zement an der Oberfläche weiß und mürbe.

Der Zement in der Nähe der Bleiprobe war stark bleihaltig.







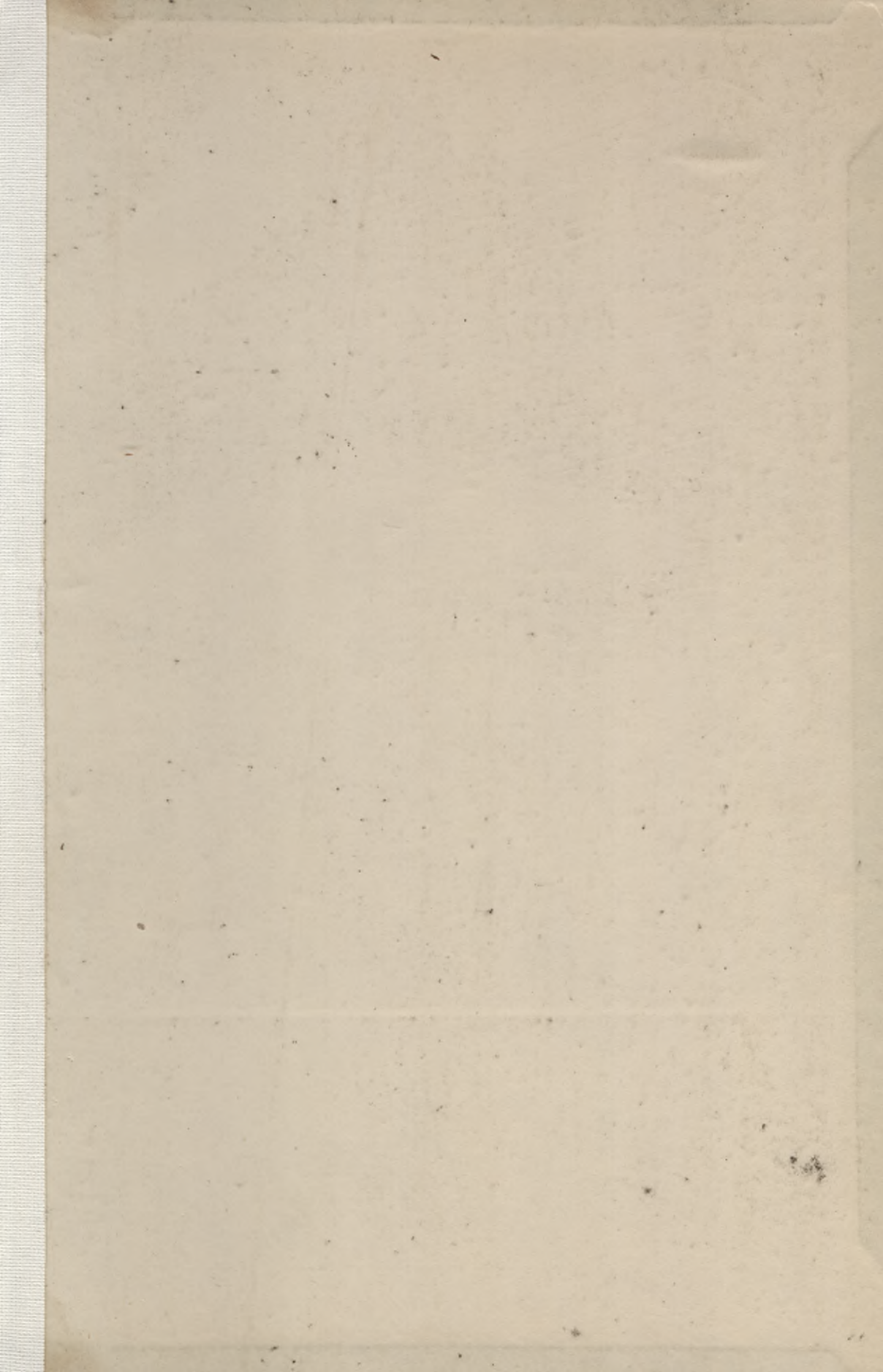




9000









Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307326

6

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313427

WYDZIAŁ POLITECHNICZNY

BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



-307179

5

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307327

4

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313428

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

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307328

8

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313429

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307329

3

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313430

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307330

10

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313431

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307331

11

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313432

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307332

12

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313433

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300775