

Der Beton

Herstellung, Gefüge und Widerstandsfähigkeit
gegen physikalische und chemische
Einwirkungen

Von

Dr. Richard Grün

Der Beton

Herstellung, Gefüge und Widerstandsfähigkeit gegen
physikalische und chemische Einwirkungen

Von

Dr. Richard Grün

Direktor am Forschungsinstitut der
Hüttenzementindustrie in Düsseldorf

Mit 54 Textabbildungen und
35 Tabellen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1926

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1926

ISBN 978-3-662-36201-3

ISBN 978-3-662-37031-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-37031-5

Dem Gedenken an
Hermann Passow
1865—1919

Vorwort.

Beton ist der vielseitigste, billigste, bequemste, beständigste und am schnellsten zu verarbeitende Baustoff der Welt.

Wo Kies oder Steine vorkommen, erlaubt er die Errichtung ungeheurer aus einem einzigen Stück bestehender Bauwerke, welche an Größe und Unvergänglichkeit die Pyramiden in den Schatten stellen.

Wenn längst unsere Kultur, wie alle vorhergegangenen Kulturen, vernichtet ist, werden unsere Hochhäuser, Schleusen, Eisenbetonbauten und Betontunnel noch als schmucklose, aber gewaltige Zeugen von einem industriellen Zeitalter erzählen, ja Eiszeiten, geologische Umwälzungen und das Verderblichste, des Menschen eigene Hand, die ganze untergegangene Städte als Steinbrüche benutzt und abgebrochen



Abb. 1. Römische Wasserleitung aus der Eifel nach Köln, 1,50 m hoch 100 km lang, erbaut um das Jahr 100 nach Christi Geburt, aus Romanzementbeton.

hat, werden die Spuren der Tätigkeit unserer Betonbauer nicht vertilgen können. Noch heute ist die aus Beton errichtete Wasserleitung der Trinkwasserversorgung Kölns, die von den Römern vor nahezu 2000 Jahren errichtet wurde, bis auf einige Unterbrechungen völlig erhalten und in den erhaltenen Stücken noch betriebsfähig. Die Unterbrechungen selbst sind durch gewaltsame Eingriffe durch Steinbruchbetriebe usw. hervorgerufen (Abb. 1).

Trotz dieser guten Beständigkeit ist der Beton nicht ohne Feinde, die im allgemeinen machtlos, ihn doch unter besonderen Umständen vernichten können. Der noch nicht erhärtete Beton kann von Innen heraus geschädigt werden, wenn untaugliche Stoffe verarbeitet wurden, oder äußere Einflüsse, starker Frost, große Hitze vermögen das neu errichtete Bauwerk zu zerstören.

Weit widerstandsfähiger ist das erhärtete, also zu Stein gewordene Kies-Zementgemisch. Gewaltsame Eingriffe werden nur geringe Opfer fordern, denn sie sind selten und ihnen trotz der Beton wie kein anderer Baustoff. Bei den Erdbeben in Japan und Amerika, bei der Explosion in Oppau hat Beton alle anderen Baustoffe an Widerstandskraft übertroffen. Beton ist das ideale Material zum Festungsbau.

Gefährlicher als gewaltsamer Tod ist die schleichende Krankheit, die ungesehen den gesunden Körper befällt und ihn langsam und unrettbar vernichtet. Schädliche Wässer, glasklar und fast geschmacklos, aber dennoch beladen mit für den Beton giftigen Stoffen, vermögen ihn langsam aber sicher und völlig zu zerstören.

Nur dem Chemiker enthüllt sich die Schädlichkeit dieser oft harmlos scheinenden Flüssigkeiten, die überall, als Grundwasser, Bergwerkswasser, Sickerwasser, besonders natürlich in chemischen Fabriken vorkommen.

Die Schäden durch solche Einflüsse sind gewaltig; allein bei der Interessen-Gemeinschaft der chemischen Fabriken Deutschlands beträgt die jährlich für Betonwiederherstellung auszugebende Summe über 1 Million Mark, obgleich doch die Ingenieure und Chemiker dieser Werke die Gefährlichkeit ihrer Wässer kennen und schon von vornherein ihre Bauten zu schützen versuchen. Dennoch ist kein Grund zur Besorgnis. Der Beton ist und wird seine Stelle als erster Baustoff nicht nur innehalten, sondern sein Anwendungsgebiet auf noch ungeahnte Gebiete ausdehnen.

Es gilt aber die Gefahr zu erkennen und ihr zu begegnen. Mittel dazu sind in Überfülle vorhanden, und, vorausgesetzt, daß richtig erkannt ist, woher die Gefährdung droht, wird die Anwendung dieser Mittel von Erfolg sein.

Das vorliegende Buch soll den Bauingenieur mit unterstützen bei allen Bauten, die nicht unter ganz normalen Bedingungen (und solche sind selten) errichtet werden müssen. Es behandelt den Einfluß des Aufbaues des Betons auf seine zukünftigen Festigkeiten, also Zuschlagsstoffe und Verarbeitungsart, dann die Einwirkungen auf den frischen und auf den erhärteten Beton, Frost, Hitze, Erschütterung und Druck und schließlich die wichtigsten, weil gefährlichsten, chemischen Einwirkungen.

Jede Besprechung ist mit Versuchsergebnissen aus den Laboratorien und Beispielen aus der Praxis belegt, Maßnahmen für die günstigste Arbeitsweise sind angeschlossen.

Die für den Schutz des Betons gegen chemische Einwirkungen im Handel befindlichen Abwehrstoffe sind zuletzt zusammenfassend besprochen und ein kurzes Kapitel über Wiederherstellungsarbeiten angefügt.

So wird das Büchlein dem in schwierigen Lagen befindlichen Betonbauer ein treuer Ratgeber sein und dazu beitragen, seinen Betonbauten dauernde Beständigkeit zu verleihen.

Düsseldorf, im September 1925.

Dr. phil. Richard Grün.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungen der Zeitschriftentitel	X
I. Aufbau des Betons	
1	
A. Einwirkung der Zuschlagsstoffe	1
1. Art der Zuschlagsstoffe	2
2. Verunreinigungen der Zuschlagsstoffe	4
3. Korngröße der Zuschlagsstoffe	5
B. Einwirkung der Zementart	14
C. Einwirkung der Verarbeitungsart	20
1. Mischungsverhältnis	20
2. Mischungsweise	20
3. Wasserzusatz und Stampfarbeit	21
II. Einwirkungen auf frischen, nicht erhärteten Beton . . .	
34	
Einwirkung von innen:	
A. Physikalische Einwirkungen	34
1. Lehmgehalt des Sandes	34
2. Schlammgehalt des Sandes	35
3. Traßzusatz	35
B. Chemische Einwirkung	36
1. Gehalt des Anmachwassers an natürlichen Bestandteilen	36
2. Künstliche Zusätze zum Anmachwasser	37
3. Salzgehalt der Zuschläge	38
Einwirkung von außen:	
A. Physikalische Einwirkungen	39
1. Frost	39
2. Hitze	40
3. Wasserüberflutung	41
4. Erschütterung	41
5. Druck	42
B. Chemische Einflüsse	42
1. der Luft	42
2. des Grundwassers (Gehalt an Säuren, Salzen, organ. Verbindungen)	43
III. Einwirkungen auf abgebandenen und erhärteten Beton . .	
44	
A. Physikalische Einwirkungen	45
Temperatureinwirkungen:	
1. Frost	45
2. Hitze und Austrocknung	46
3. Feuer	46
Mechanische Einwirkungen:	
4. Erschütterung	48
5. Zug und Druck	49
6. Stoß und Schlag	50
7. Abnutzbarkeit	50
8. Elektrizität	55

	Seite
B. Chemische Einflüsse	55
Einteilungen der chemischen Verbindungen	56
1. Basen	59
2. Säuren	65
a) Anorganische Säuren	65
b) Organische Säuren	79
3. Salze	87
a) Anorganische Salze	88
Sulfate = Salze der Schwefelsäure	88
Chloride = „ „ Salzsäure	102
Nitrate = „ „ Salpetersäure	108
Sulfide = „ „ Schwefelwasserstoffsäure	110
Karbonate = „ „ Kohlensäure	111
Fluoride = „ „ Flußsäure	112
Silikate = „ „ Kieselsäure	112
b) Organische Salze	113
Fette = Salze der Ölsäuren	113
Fette Öle und Fette	113
α) Pflanzenfette	114
β) Tierfette	115
4. Nichtfette Öle:	117
α) Erdöle	118
β) Braunkohlenteeröle	119
γ) Steinkohlenteeröle	121
δ) Ätherische Öle	122
5. Kolloidale Lösungen	122
6. Salzarme Wasser	123
7. Technisch wichtige — verschiedene Salze, Säuren und Basen enthaltende — Flüssigkeiten	124
a) Anorganische technische Flüssigkeiten	125
b) Organische technische Flüssigkeiten	134
C. Schutzmittel	137
1. Beimengungen	140
2. Anstrichmittel	145
a) Oberfläche ändernde (Zementestrich)	145
b) Aufliegende Schutzanstriche	148
3. Schutzschichtbildung	154
a) Betonspritzverfahren	154
b) Die Eironitverfahren	161
α) Das Eironitverfahren	162
β) Das Dekaferrverfahren	162
γ) Das Stahlbetonverfahren	162
δ) Das Brandtsche Verfahren	162
c) Die Plattenverkleidung	163
D. Wiederherstellungsarbeiten und Schutzmaßnahmen bei Flüssigkeitseinwirkungen	170
1. Art und Aussehen der Schäden	170
2. Maßnahmen zur Erhaltung	171
3. Wiederherstellungsarbeiten und Schutzmaßnahmen	171
Namenverzeichnis	175
Sachverzeichnis	176

Tabellenverzeichnis.

		Seite
Tabelle 1.	Festigkeiten von Basaltspalt- und Quarzkiesbeton	3
„	1a. Einwirkung verschiedener Zuschlagsstoffe	4
„	2. Schema zur Ermittlung der günstigsten Kornzusammensetzung (experimentelles Verfahren)	10
„	3. Vergleich der Korngrößen eines natürlichen Rheinkieses und eines Idealkieses nach Fuller	12
„	4. Chemische Zusammensetzung verschiedener Zemente	15
„	5. Festigkeiten der 3 Normenklassen nach dem Vorschlag des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten	15
„	6. Druckfestigkeiten für Portlandzement, Hochofenzement und Mischungen aus Portlandzement und Hochofenzement 1:3 N.S.	16
„	7. Festigkeiten hochwertiger Zemente	18
„	8. Prüfungsergebnisse verschiedener Handelszemente 1918—1925	19
„	9. Zusammenstellung von Normenfestigkeiten und Betonfestigkeiten für verschiedene Zementmarken und Zementarten	23
„	10. Setzmaß, Fließmaß und Druckfestigkeit von Betonen mit verschieden hohem Wassergehalt	28
„	11. Mischungsverhältnis der Zuschlagsstoffe für verschiedene Betonfestigkeiten	26—27
„	12. Flüssigkeitsgrad und Mischungsverhältnis der Zuschlagsstoffe nach v. Emperger	28
„	13. Leistungsfähigkeit des Gußbetonverfahrens	33
„	14. Verhalten schlammhaltiger Sande als Betonzuschlag	35
„	15. Einwirkung von Wasserüberflutung auf frisch eingestampften Beton	41
„	16. Einfluß der Kohlensäure auf die Erhärtung	43
„	17. Einfluß von Magnesiumsulfatlösung auf die Erhärtung	43
„	18. Verhalten der verschiedenen Zuschlagsstoffe bei Feueinwirkung	47
„	19. Einfluß von Natronlauge, Kalilauge und Kalkwasser auf die Erhärtung	60
„	20. Gehalt des Gaswassers an Ammoniumsalzen	61
„	21. Einfluß von Ammoniak und Ammoniumsalzen auf die Erhärtung	62
„	22. Einfluß von verschiedenen Säuren auf die Druckfestigkeit von geschütztem und ungeschütztem Beton	66
„	23. Einfluß verschiedener Säuren auf die Zugfestigkeit	66
„	24. Lagerung von Beton in Schwefliger-Säure-Atmosphäre	70
„	25. Einwirkung von Salpetersäure auf Beton	71
„	26. Verhalten verschiedener Zemente in Sulfatlösungen	99
„	27. Zugfestigkeiten von Portlandzement und Hochofenzement in Sulfatlösungen	101
„	28. Zugfestigkeiten von Portlandzement und Hochofenzement in Chloridlösungen	107
„	29. Zugfestigkeiten von Portlandzement und Hochofenzement in Nitratlösungen	110
„	30. Zugfestigkeiten von Portlandzement und Hochofenzement in Petroleum	120
„	31. Portlandzementbetonbauten in Meerwasser	131
„	32. Zusammenstellung verschiedener Mineralwässer	132
„	33. Übersicht über die Mörtelzusätze, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise	167
„	34. Übersicht über die Oberfläche verändernde Anstrichmittel, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise	168
„	35. Übersicht über die aufliegenden Anstrichmittel, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise	169

Abkürzungen der Zeitschriftentitel.

Allg. Brauer- u. Hopfen-Zg. . . .	Allgemeine Brauer- und Hopfenzeitung.
Am. Soc. f. Test. Mat. Standards.	Standards of the American Society for Testing Materials.
Bauing.	Der Bauingenieur.
Bautechn. Mitt. d. Firma H. Butzer, Dortmund	Bautechnische Mitteilungen der Firma H. Butzer, Dortmund.
Bautechnik	Die Bautechnik.
Beton Eisen	Beton und Eisen.
Chem. Zg.	Chemiker-Zeitung.
Chem. Zentralblatt	Chemisches Zentralblatt.
Deutscher Aussch. für Eisenbeton	Deutscher Ausschuß für Eisenbeton.
Dt. Bauzg.	Deutsche Bauzeitung.
Engg.	Engineering.
Engg. News.	Engineering News.
Engg. News.-Rec.	Engineering News Record.
Gas Wasserfach	Das Gas- und Wasserfach.
Grund Gerüstbau	Der Grund- und Gerüstbau.
J. Soc. Chem. Ind.	Journal of the Society of chemical Industry.
Mitt. Materialpr.-Amt	Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem.
Proc. Am. Inst. El. Eng.	Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers.
Proceedings A. S. T. M.	Proceedings of the American Society for Testings Materials.
Prot. d. Ver. d. P. Z. Fabrikanten	Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portlandzementfabrikanten.
Städt. Tiefbau	Der städtische Tiefbau.
Stahleisen	Stahl und Eisen.
Techn. Industrie	Technik und Industrie und Schweizer Chemikerzeitung.
Tonind.-Ztg.	Tonindustrie-Zeitung.
Wasser Abwasser	Wasser und Abwasser.
Z. angew. Chem.	Zeitschrift für angewandte Chemie.
Zentralbl. Bauverw.	Zentralblatt der Bauverwaltung.

Übersicht.

Beton ist ein Sandkiesgemisch, welches durch erhärteten Zement zu einem künstlichen Gestein verkittet ist.

Die Eigenschaften dieses Gesteins werden zunächst bestimmt durch:

I. den Aufbau des Betons in bezug auf Zuschlagsstoffe, Bindemittel und Verarbeitungsweise, und

II. die Einwirkungen auf den verarbeiteten, noch nicht erhärteten Beton, also Frost, Hitze, Wasser.

III. Das weitere Verhalten des Betons hängt nun nicht nur von den genannten bei seiner Entstehung maßgebenden Faktoren ab, sondern auch von den auf den erhärteten Beton wirkenden Kräften. Als solche seien Temperatur, Erschütterung, Stoß und vor allem chemische Einflüsse von Säuren, salzhaltigen Wässern u. dgl. genannt.

I. Aufbau des Betons.

I. Der Aufbau des Betons wird bestimmt durch

A. die Zuschlagsstoffe:

1. Art der Zuschlagsstoffe.
2. Verunreinigungen der Zuschlagsstoffe.
3. Korngröße.

B. die Bindemittel:

Art und Eigenschaften des Zements.

C. die Arbeitsweise:

Verarbeitungsart, nämlich

1. Mischungsverhältnis.
2. Mischungsweise.
3. Wasserzusatz und Stampfarbeit.

Diese verschiedenen, die endgültigen Eigenschaften des Betons bestimmenden Faktoren können in ihrer überragenden Mehrzahl bei der Herstellung des Betons durch Auswahl der Stoffe, Abänderung der Arbeitsbedingungen usw. willkürlich modifiziert werden.

Dadurch ist der Bauingenieur in der Lage, in einem sehr weiten Ausmaß die endgültigen Eigenschaften des Betons voraus zu bestimmen.

Die Wichtigkeit dieser genannten Faktoren und ihres Einflusses liegt also auf der Hand, ihre Einwirkung soll deshalb der Reihe nach besprochen werden.

A. Einfluß der Zuschlagsstoffe.

Der Einfluß der Zuschlagsstoffe auf den Beton ist von viel größerer Bedeutung, als häufig angenommen wird. Zementverbrauch, ferner Dichte, Elastizität und Druckfestigkeit des Betons hängen zu einem

sehr beträchtlichen Teil von den Zuschlagsmaterialien ab. Gewiß ist auch besonders für die Druckfestigkeit die Güte des Zementes von großer Bedeutung; die Wirkung der Zuschlagsstoffe wird aber leider meist erheblich unterschätzt.

Deshalb sei hier ausdrücklich auf die wichtige Rolle der Zuschlagsstoffe hingewiesen, obgleich es nicht Aufgabe dieses Buches sein kann, die hier in Betracht kommenden Verhältnisse ins einzelne gehend zu schildern. Für ein genaues Studium ist eine Durcharbeitung der ausgezeichneten Veröffentlichungen von Gary, Burchartz, Graf u. a. notwendig. Da diese Arbeiten aber so außerordentlich umfangreich sind, daß dem Praktiker ein schnelles Nachschlagen und Gegenwärtighalten unmöglich ist, werden im folgenden kurz einige Angaben über die Einwirkungsweise und einige Richtlinien über die Anforderungen an die Zuschlagsstoffe gegeben, die ihrerseits bei der Vielseitigkeit der Rohmaterialien und Anforderungen an den Beton natürlich nicht erschöpfend sein können, aber für die Praxis genügen.

1. Art der Zuschlagsstoffe.

Als Zuschlagsstoffe kommen in Betracht:

1. Flußkies und Flußsand.
2. Grubenkies und Grubensand.
3. Splitt und Quetschsand von
 - a) Hartgesteinen: Basalt, Gneis, Granit, Grauwacke, Grünstein, Quarzit, Quarz (Rheinkies),
 - b) Weichgesteinen: Kalkstein, Dolomit,
 - c) Sandsteinen.
4. Hochofenschlacke als
 - a) Stückschlacke,
 - b) Schlackensand.
5. Ziegelsteinschotter.
6. Bimssand.

Die Stoffe 5 und 6 sind nur für Leichtbeton, der geringe Festigkeiten aufzuweisen braucht, verwendbar.

Unter den Schwerbeton-Zuschlagsstoffen 1–4 ergeben die höchsten Festigkeiten die unter 1, 2, 3a und 4a genannten.

3b = Kalkstein und 4b = Schlackensand gibt im allgemeinen etwas geringere Festigkeiten, 3c = Sandstein ist nur für die nicht allzuhohen Druckbeanspruchungen unterliegenden Bauausführungen verwendbar.

Versuche Fullers¹⁾ zeigten für Splitt eine größere Haftfestigkeit des Zementes am Korn, dagegen eine etwas geringere Festigkeit und Dichte des Gesamtbetons. Bei Splittverwendung mußte etwas mehr feines Korn zur Füllung der Hohlräume zugefügt werden als bei rundkörnigem Kies.

Basaltsplitt.

Versuche Grüns führten zu fast den gleichen Ergebnissen in bezug auf die Festigkeiten von Basaltsplitt- und Quarzkiesbeton:

¹⁾ Engg. News.-Rec. Bd. 57, S. 599.

Tabelle 1.

1 : 7 G.-T. 20 cm -Würfel	E. P. Z. Sche.		E. P. Z. Bs.		H. O. Z. Rn.	
	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage
Rheinkies . . .	254	365	n. a.	n. a.	189	261
Basaltsplitt ¹⁾ . .	255	326	161	226	169	217
Normenfestigkeit		524		360		383

Kalksplitt.

Bei weiteren Versuchen Grüns ergaben geeignete Körnungen eines harten Kalksplittes im Mischungsverhältnis 1 : 5, 1 : 8 und 1 : 12 bessere Festigkeiten als Rheinkies.

Auch O. Schott hält harten Kalkstein für besser als alle anderen Gesteine, besonders in bezug auf Feuerbeständigkeit²⁾.

Ebenso erzielte das Materialprüfungsamt selbst in sehr stark verdünnten Mischungen noch gute Festigkeiten bei Verwendung von „Kalzit“ (Kalkstein mit hohem [98%] Gehalt an Kalziumkarbonat³⁾). [Siehe auch die amerikanischen Versuche über Feuersicherheit des Kalksteins auf Seite 47.]

Hochofenschlacke.

Stückschlacke.

Eingehende Versuche des Materialprüfungsamtes mit zahlreichen Hochofenschlacken führten Burchartz und Bauer zu dem Schluß: „Aus Hochofenschlacke, soweit sie die Eigenschaften der vorliegend geprüften aufweist, läßt sich guter und unter Umständen besserer Beton (Stampf- und Eisenbeton) herstellen als aus Kiesmaterial. Auch der aus zerfallender Schlacke bereitete Beton hat sich als brauchbar erwiesen.“

„Im Beton aus Hochofenschlacke verhält sich das Eisen ebenso wie in Kiesbeton. Auf das Rosten des Eisens im Beton hat die Schlacke keinen unmittelbaren Einfluß⁴⁾.“

Schlackensand.

Es gibt schweren und leichten Schlackensand. Schwerer Schlackensand kann wie gewöhnlicher Mauersand verarbeitet werden, leichter Schlackensand eignet sich dagegen nur für Mauerarbeiten oder für Leichtbeton.

Passow d. Ält. fand für Betone mit Traß- oder Hochofenschlackensandzusatz höhere Elastizität, als für Betone aus Kies allein⁵⁾.

Knaff wies nach, daß schwerer Schlackensand sich ebensogut als Betonzuschlag verwenden läßt wie gewöhnlicher Sand⁶⁾.

In großem Umfange wurden in neuerer Zeit nach der Kossel-Bauweise sowohl in Holland als auch in zahlreichen Städten Deutschlands (hauptsächlich Leipzig) Wohnhäuser aus Leichtbeton, der unter

¹⁾ 43,8% grober Splitt, 27,8% feiner Splitt, 28,4% Rheinsand.

²⁾ Schott, Otto: Kalkstein als Zuschlagsstoff für Beton und Eisenbeton. Zement 1925, S. 233. S. auch F. Eisemann, „Kalksteinbeton“, Beton u. Eisen 1925, S. 115.

³⁾ Baumarkt 1925, S. 659.

⁴⁾ Mitt. Materialpr.-Amt 1920, S. 149—163; 1916, H. 4/5, S. 157—195.

⁵⁾ Dr. Hermann Passow: Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Zerschmetterungsfestigkeit. Zement 1918, S. 279.

⁶⁾ Stahleisen 1912, S. 929.

Verwendung von Schlackensand oder Bimskies hergestellt worden war, auf mechanische Weise errichtet¹⁾.

Ziegelsteinschotter.

Ziegelsteinmehl vermag in die Erhärtung einzugreifen, da es schwach hydraulische Eigenschaften hat. Die Römer putzten ja schon viel mit einem Mörtel von Kalk und Ziegelsteinmehl. Demgemäß vermag auch Ziegelsteinschotter, der ja auch immer Mehl enthält, die Festigkeit von Beton zu erhöhen.

Bei Versuchen der Hollow Building Tile Association ergab der Ziegelbeton höhere Festigkeiten als der Kiesbeton und der Kalksteinbeton²⁾.

Bimssand.

Auch dieser läßt sich zu gutem Leichtbeton verarbeiten. An Druckfestigkeit werden von Bimsbeton gewöhnlich nur 20—30 kg/qcm verlangt. Im Rheinland werden Bimsdielen u. dgl. mit Kalk und Zement als Bindemittel in großem Umfange hergestellt. In Gegenden ohne Bimssandvorkommen werden nach dem Scholschen und ähnlichen Verfahren aus Hochofenschlacken hergestellte Leichtsteine als vollwertiger Ersatz für diese Bimssteine verwendet.

Allgemeines.

Eine Zusammenstellung über den Einfluß verschiedener Zuschlagsmaterialien auf die Druckfestigkeit gibt Mörsch³⁾ bei 45 Tage alten Betonkörpern, welche unter Verwendung eines Zementes hergestellt waren, der 382 kg Normalfestigkeit nach 28 Tagen in kombinierter Lagerung hatte.

Tabelle 1a.

Zement	Sand	Kies	Würfelfestigkeit	
			7,8% Wasser	9% Wasser
1	2 Rheinsand	3 Bimskies	134	120
1	2 Dresd. Grubensand	3 Rheinkies	238	191
1	2 Basaltsand	3 „	202	157
1	2 Kalksand	3 „	191	147
1	2 Basaltsand	3 Basaltschotter	233	197
1	1,5 Rheinsand	2 Rheinkies	282	264
1	3 Rheinsand	4 Rheinkies	146	138

2. Verunreinigungen der Zuschlagsstoffe.

Als solche Verunreinigungen oder Beimengungen gelten:

1. Lehm.
2. Schlamm organischer Herkunft.
3. Wasser.

1. Lehm, Ton, drückt die Festigkeiten des Betons herab, sobald mehr als Spuren in Betracht kommen.

Um einen Sand auf Lehmgehalt zu prüfen, genügt im allgemeinen das bekannte Verfahren, einige Handvoll Sand in ein Gefäß mit klarem Wasser zu werfen und umzurühren. Wird nach wenigen Minuten das Wasser wieder klar, so ist der Sand lehmfrei. Je stärker die bleibende Trübung, desto erheblicher der Lehmgehalt und desto schlechter der Sand.

¹⁾ Baumarkt 1925, S. 747.

²⁾ Tonind.-Ztg. 1925, S. 805; Brick and Clay Record, Nr. 11, Mai 1925.

³⁾ Prof. Dr. E. Mörsch: Der Eisenbetonbau. Stuttgart 1920, S. 55.

Will man einen Maßstab über den Einwirkungsgrad des Lehmgehaltes erhalten, so muß man den Sand mit dem Zement zu Probekörpern verarbeiten, deren Druckfestigkeit festzustellen ist. Dabei ist folgendes zu beachten.

Als Zement muß möglichst die für die Bauausführung vorgesehene Marke gewählt werden, da verschiedene Lehme verschieden auf verschiedene Zemente wirken.

Der Sand muß feucht verarbeitet werden, wobei sein Wassergehalt in Rechnung gestellt werden kann. Ein vorheriges Trocknen des Sandes ist unbedingt zu vermeiden, da der Lehmgehalt eines für die Untersuchung scharf getrockneten Sandes viel weniger ungünstig wirkt als derjenige des gleichen Sandes in ungetrocknetem Zustande. (Näheres siehe S. 34.)

Waschen lehmhaltiger Zuschlagsstoffe ist stets zu empfehlen. Ein Versuch muß Aufklärung geben, ob durch das Waschen auch der Lehm entfernt wird.

2. Schlamm organischer Herkunft, Kanalschlamm, Sumpfschlamm, Kohlenstaub ist stets auch in geringen Mengen schädlich. (Näheres siehe S. 35.)

3. Wassergehalt der Zuschlagsstoffe.

Falls das Wasser nicht besonders schädliche Bestandteile (Moorsäure oder sonstige Säure, verhältnismäßig selten) gelöst enthält, ist es ohne Nachteil, bewirkt aber ein Aufquellen des Sandes. Es müßte also beim Mischen nach Raumteilen diese Aufquellung berücksichtigt werden. Dies geschieht meist nicht; die Unterlassung ist aber ohne Nachteil, da sie zu einem etwas höheren Zementgehalt des Betons führt, diesen also in günstigem Sinne beeinflußt¹⁾.

3. Korngröße der Zuschlagsstoffe.

Von größter Bedeutung für Dichte und Festigkeit des Betons ist die Korngröße der einzelnen Zuschlagsstoffe und das richtige Verhältnis der einzelnen Korngrößenklassen zueinander.

Die beiden zu erfüllenden Anforderungen sind:

1. Geringste Hohlräume zwischen den Körnern,
2. Geringste Oberfläche der Zuschlagsstoffe.

Zu 1. Befinden sich zu viele und zu große Hohlräume zwischen den Körnern, so wird der Beton entweder zu wenig dicht oder es wird zu viel Zement verbraucht, um die Zwischenräume zu füllen. Der teure Zement dient also als Füllmaterial an Stelle des billigen feinen Sandanteils.

Zu 2. Sind im Gegensatz zu 1. nur kleinste Körner vorhanden, diese also infolgedessen sehr zahlreich, so benötigt ihre Einhüllung in Zement, da ihre ganze Oberfläche überzogen werden muß, große Mengen an Zement; der Zement wird also im Innern des Betonkörpers gleichsam verdünnt, da jedes kleine Sandkörnchen Zement verbraucht. Die Folge ist trotz erheblichen Zementverbrauchs schlechte Festigkeit.

Am besten werden die an einen günstig zusammengesetzten Zuschlag zu stellenden Anforderungen erfüllt, wenn die Korngröße verschieden

¹⁾ Litehiser, R. R.: Einfluß der Sandfeuchtigkeit auf das Betonmischungsverhältnis. Concrete, Januar 1925, S. 18. — Bertin, R. L., und G. E. Escher: Engg. News-Rec., Ref. Beton und Eisen 1925, S. 239.

ist, und zwar so, daß jeweils die kleinere Korngrößengattung ungefähr die Zwischenräume zwischen der nächst größeren ausfüllt, wobei für gleichzeitige Anwesenheit möglichst großer Anteile zu sorgen ist, denn die Dichte eines Betons nimmt mit wachsender Korngröße zu. Fuller hat festgestellt, daß bei gleichem Zementgehalt ein Beton mit der höchsten Korngröße $2\frac{1}{4}$ Zoll weniger wasserdurchlässig ist als ein Beton mit der höchsten Korngröße 1 Zoll (25 mm); dieser letztere ist wieder dichter als ein Beton mit der maximalen Korngröße $\frac{1}{2}$ Zoll¹⁾.

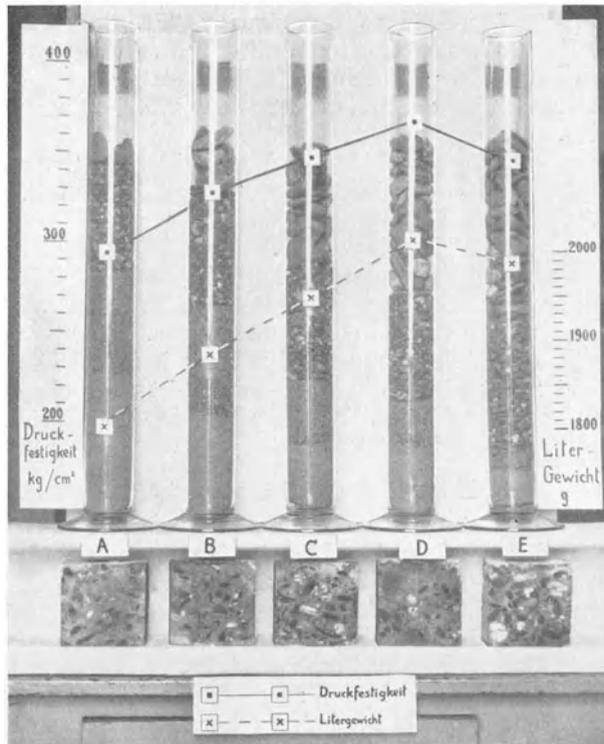


Abb. 2. Einwirkung verschiedener Gehalte an einzelnen Korngrößen auf Litergewicht der Kiese (---), Druckfestigkeit (—) und Gefüge der Betone. Druckfestigkeit: 1:7 Gewichtsteile nach 28 Tagen. — Kiese in die verschiedenen Korngrößen getrennt — Betone mit der Steinsäge durchschnitten.

Die weitgehende Abhängigkeit der Betondichte und Festigkeit vom Korngrößenverhältnis geht aus der Abb. 2 hervor. Es wurde ein normaler Rheinkies durch Absieben auf 4 Sieben in verschiedene Korngrößenanteile zerlegt und aus diesen durch Zusammenmischen verschiedene Kunstkiese hergestellt, die sich voneinander durch verschiedene Gehalt an den einzelnen Korngrößenanteilen unterscheiden. Die einzelnen Kunstkiese wurden mit dem gleichen Zement zu Betonkörpern

¹⁾ Fuller u. Thompson: Engg. News.-Rec. Bd. 57, S. 599. 1907.

verarbeitet und deren Festigkeit ermittelt. Diese Festigkeiten sind auf der Abb. 2 als Kurven eingefügt; die mit der Steinsäge durchschnittenen entsprechenden Betonkörper sind gleichfalls aufgestellt¹⁾. Die ungünstige Einwirkung zuviel feinen Kiesel zeigen die Mischungen A, B und C, während E den nachteiligen Einfluß des Mangels an feinen Bestandteilen (Sand) zeigt.

Eingehende Versuche über die günstigste Korngrößenverhältnisse wurden durchgeführt von Will. B. Fuller und Sandford E. Thompson:

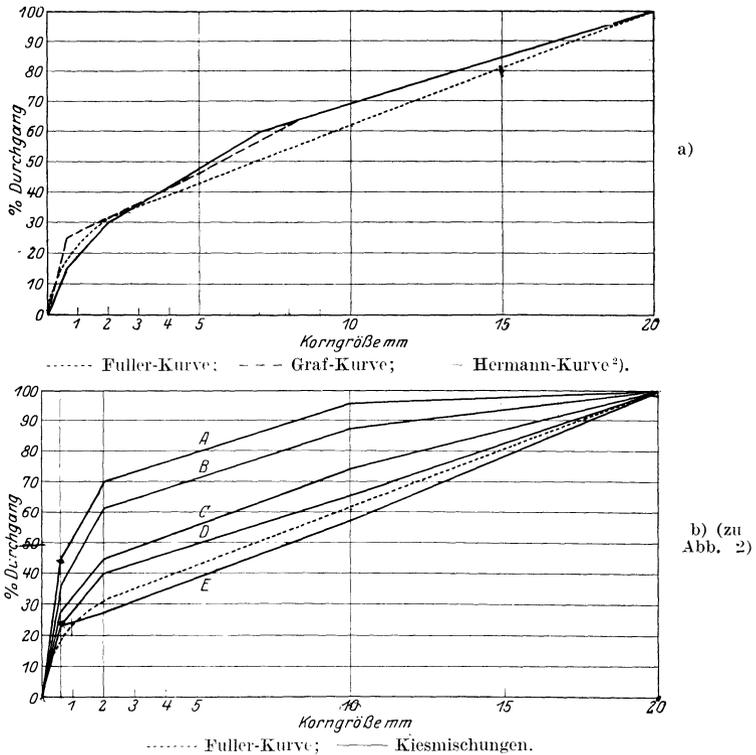


Abb. 3. Gegenüberstellung der Fuller-Hermann-Graf-Kurve (a) und der Fuller-Kurve mit den verschiedenen künstlich zusammengesetzten Kiessanden der Abb. 2 (b).

Gesetze der Zusammensetzung von Beton. Engg. News.-Rec. May 1907, S. 599; Dyckerhoff & Widmann (Spithaler, Gary): Deutscher

¹⁾ Dies Verfahren des Durchsägens der Betonproben zum Vergleich der Struktur verschiedener Betone erwies sich als praktisch und instruktiv und kann für die Erkenntnis der inneren Struktur verschiedener Betone empfohlen werden, da es das Auge, welches zumal vom Laboratorium aus so häufig ausgeschaltet und durch Formeln und Zahlen ersetzt wird, wieder in sein angestammtes und wichtiges Recht als bestes Beobachtungsorgan des Menschen einsetzt und der so wichtigen „praktischen Erfahrung“ zu ihrem Recht verhilft.

²⁾ Für die Ablesung der Graf'schen Kurve ist die Abszisse in 7 Teile eingeteilt zu denken, da die Graf'sche Kurve und die Korngrößen bis 7 mm umfaßt; die Kurven verlaufen gleich, da die maximale Korngröße für das Korngrößenverhältnis nebensächlich ist.

Ausschuß für Eisenbeton, H. 51. 1922; Otto Graf: Der Aufbau des Mörtels im Beton. Berlin, Julius Springer 1923; Hermann: Bauing. 1923, S. 18 u. a.

Fuller stellte als erster eine Kurve zur Bestimmung der zweckmäßigsten Zusammensetzung des Kieses auf, der von Graf und Hermann ähnliche Kurven gegenübergestellt wurden.

In Kurventafel Abb. 3a sind die 3 genannten Kurven und in Abb. 3b die Kurven für die oben in Abb. 2 wiedergegebenen Kiese zusammen aufgetragen. Die Kurven der schlechten Betone A und B, erheben sich weit über die Fullersche Kurve¹⁾, ein Zeichen, daß die Minderwertigkeit dieser Kiessande auf einem Gehalt an zuviel feinen Anteilen beruht. Mit fallendem Gehalt an feinem Sand nähern sich die Kurven der Fullerschen Kurve und gleichzeitig steigen die Festigkeiten des Betons. Der Kiessand E liegt unter der Fuller-Kurve, enthält also zuviel Grobes, wie dies auch Abb. 2 zeigt. Ein Vergleich der Sande auf Abb. 2 mit Betonkiesen aus der Praxis zeigt ohne weiteres, daß diese letzteren häufig den Sanden A und B gleichen, also zuviel Feines enthalten. Eine zweckmäßige künstliche Zusammensetzung des Kieses auf dem Bauplatze ist stets geboten, da die von den Gruben oder Baggerwerken gelieferten Sande kaum jemals den aus den Fuller-Graf-Hermannschen Kurven sich ergebenden Anforderungen entsprechen.

Ermittlung der günstigsten Kornzusammensetzung.

Die Ermittlung der günstigsten Zusammensetzung für den zur Verfügung stehenden Kies ist einfach und auf jedem Bauplatz auszuführen. Sie kann entweder graphisch oder durch den Versuch durchgeführt und darnach die Korrektur des vorhandenen Kieses vorgenommen werden.

1. Experimentelles Verfahren.

Dieses gründet sich auf Feststellung und Ausfüllung der Hohlräume und leistet dem Verfasser bei derartigen Bestimmungen seit langer Zeit gute Dienste.

Das Verfahren ist einfach wie folgt:

a) Kornanalyse des Kieses: Der Kies wird durch Absieben auf zur Verfügung stehenden Sieben beispielsweise:

Sieb A	10	mm	Lochweite
„ B	2	„	„
„ C	0,6	„	„

in 4 Fraktionen, nämlich

				Beispiel: ein Rheinkies
die Korngröße	0 — 0,6 mm	=	Körnung 0	= 41%
„	„ 0,6 — 2	„ =	„ 1	= 23%
„	„ 2 — 10	„ =	„ 2	= 13%
„	„ 10 — 20	„ =	„ 3	= 23%
				<u>100%</u>

geteilt.

Geht man von einer abgewogenen Menge aus und wiegt die erhaltenen Kornmengen, so hat man die ursprüngliche Zusammensetzung, die auf 100 umgerechnet wird. (Siehe obiges Beispiel für Rheinkies.)

¹⁾ Erklärung der Fuller-Kurve siehe Seite 10 u. ff.

b) Feststellung der günstigsten Zusammensetzung.

Die Möglichkeit der Feststellung der günstigsten Zusammensetzung sei an einem Beispiel weiter gezeigt, und zwar ist die Untersuchung des Rheinkieses, der auf Abb. 4 wiedergegeben ist, durchgeführt.

Man geht aus von der größten Körnung 3 (K. 3). Diese füllt man unter Einrütteln in ein Litermaß, welches voll gewogen wird. Die Gewichtsdifferenz zwischen leerem und vollem Litermaß ist das Litergewicht der Körnung, in diesem Falle (K. 3) = 1456 g¹).

Das mit der Kieskörnung 3 ausgefüllte Litermaß wird nun mit Wasser, das man langsam am Rand einlaufen läßt, gefüllt und erneut gewogen. Das Wasser füllt die Hohlräume aus, und die Zunahme des Gewichtes in Gramm ergibt die Hohlräume in Kubikzentimetern, d. h. das Porenvolumen (da 1 g Wasser 1 ccm einnimmt). Das gefundene Porenvolumen muß nun durch die nächst kleinere Körnung 2 (K. 2) ausgefüllt werden. Zu diesem Zwecke wird von K. 2 das Litergewicht bestimmt (1623) und es werden davon so viel Gramm der Körnung 3 zugefügt, als dem gefundenen Porenvolumen entspricht.

Würde beispielsweise bei Körnung 3 eine Gewichtszunahme durch die Wasserfüllung von 420 g erzielt, so müssen diesem Liter der Körnung 3 420 ccm der Körnung 2 zugesetzt werden. Bei einem festgestellten Litergewicht der Körnung 2 von 1623 g braucht man also zu der Ausfüllung 420 ccm = 681,7 g.

Zweckmäßigerweise nimmt man stets 10% mehr als zur Ausfüllung des Porenvolumens berechnet wurde, also hier $420 + 42 = 462$ ccm.

1000 ccm Körnung 2	wiegen	1623 g
462 „ „ „ „		750 „

Diese 750 g Körnung 2 werden nun mit 1 l der Körnung 3 gemischt und von der so entstandenen Mischung das Porenvolumen erneut durch Einfüllen in ein Litermaß, Abwiegen, Auffüllen mit Wasser und erneutes Abwiegen bestimmt.

Das Litergewicht der neuen Mischung K. 3 + K. 2 wurde mit 1763 g, das Porenvolumen mit 310 ccm gefunden. Es muß mit Körnung 1 (K. 1) ausgefüllt werden, deren Litergewicht ist also zu bestimmen und die erforderliche Kubikzentimeterzahl umgerechnet in Gramm zuzusetzen.

Ist das Porenvolumen der Mischung (K. 3 + K. 2) = 310 ccm und das Litergewicht der Körnung 1 (K. 1) = 1610 g, so benötigt man von Körnung 1 $310 + 31 = 341$ ccm = 550 g oder für die durch Mischung von K. 3 + K. 2 erhaltenen 2206 g 690 g K. 1.

Diese werden der Mischung (K. 3 + K. 2) zugesetzt; so entsteht die Mischung (K. 3 + K. 2 + K. 1), von der wieder das Litergewicht und das Porenvolumen durch Auffüllen mit Wasser zu bestimmen, und deren Hohlräume mit Körnung 0 auszufüllen sind.

Das Litergewicht von K. 3 + K. 2 + K. 1 = 1900, das Porenvolumen = 260 ccm und das Litergewicht der Körnung 0 = 1590 g. Es werden also benötigt von Körnung 0 = 455 g (einschließlich 10 % Zuschlag) für 1 l oder für die vorhandenen 2896 g 690 g K. 0.

¹⁾ Zweckmäßig ist es, 10 l Masse zu verwenden.

Tabelle 2.

Eigenschaften der Mischungen				Berechnung der zuzusetzenden nächstfeineren Körnung					Resultierende Mischung					
Körnung	Angewandte Menge	Litergewicht	Porenvolumen		Körnung	Litergewicht	Auf 1 l zuzusetzende Menge	auf die Gesamtmenge der Mischung (Sp. 2) zuzusetzende Menge	Menge der Komponenten g					Summe g
			g	ccm					ccm	g	K. 3	K. 2	K. 1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K. 3	1456	1456	420	462	K. 2	1623	462	750	750	1456	750	—	—	2206
K. 3 + K. 2	2206	1763	310	341	K. 1	1610	341	550	690	1456	750	690	—	2896
K. 3 + K. 2 + K. 1	2896	1900	260	286	K. 0	1590	286	455	690	1456	750	690	690	3586
K. 3 + K. 2 + K. 1 + K. 0	3586	2010	230	—	—	—	—	—	—	40,6%	20,9%	19,3%	19,2%	100%

Im ganzen wurden also gemischt:

1456 g	Körnung 3	=	40,6%
750 g	„	2	= 20,9%
690 g	„	1	= 19,2%
690 g	„	0	= 19,3%
3586 g		= 100,0%	

Da nun der zugesetzte Zement zur Körnung 0 zu rechnen ist, kann diese durch den Zement ersetzt werden ¹⁾. Ist beispielsweise das Mischungsverhältnis 1 : 5 in Aussicht genommen, so kann K. 0 auf 2,3% reduziert werden; es ergibt sich dann für den Kiessand:

40,6 = K. 3	49,0	gelieferter Rheinkies	23
20,9 = K. 2	25,2		13
19,2 = K. 1	23,1	} 25,8	23
2,3 = K. 0	2,7		41
83,0	100,0		

Weichen die Zusammensetzungen des ursprünglichen Kieses von denjenigen des neuen Idealkieses sehr erheblich ab, so ist eine Korrektur am Platze. Es läßt sich nach vorstehendem leicht berechnen, welche Körnung und in welchen Mengen diese zugefügt werden muß.

Bei dem angeführten Beispiel hat der Rheinkies also etwa 38% zu viel feine Anteile und 26% zu wenig grobe Körner. (Zusammenstellung Tabelle 2).

2. Graphisches Verfahren.

a) Die Siebanalyse wird wie unter 1a durchgeführt.

b) Das gefundene Körnungverhältnis wird in eine Kurventafel zusammen mit der Fullerschen Kurve eingetragen. Diese Kurve gibt die

¹⁾ Allerdings ist ein vollständiger Ersatz nicht nötig, da ja noch Raum zur Aufnahme eines Teiles des Zementes vorhanden ist, denn auch die dichteste Kiesmischung hat noch ein gewisses Porenvolumen. Im allgemeinen kann man aber dieses Porenvolumen außer acht lassen, da zuviel feinste Anteile infolge ihrer sehr großen Oberfläche schädlich wirken.

Zusammensetzung eines fertigen Betongemisches, also Zuschlag und Zement wieder. Sie ist in der Art erhalten, daß auf der Ordinate die Siebdurchgänge in Prozent an den verschiedenen Körnungen, auf der Abszisse die Größe dieser Körnungen aufgetragen sind, und zwar beginnt die feinste Körnung auf dem Schnittpunkt der Abszisse mit der Ordinate.

Aus dem räumlichen Abstand der Fuller-Kurve von der für den Kiesel sand gefundenen Kurve ist ohne weiteres die Abweichung der Kiesel sandzusammensetzung von einer idealen Zusammensetzung abzulesen; dabei ist aber zu berücksichtigen, daß in der Fuller-Kurve der Zement bereits enthalten ist. Je nach der Höhe des beabsichtigten Zementzusatzes ist also das Feinste des Sandes durch Zement zu ersetzen.

Auch hier sei zur schnellen Erklärung das obige Beispiel durchgeführt. Ist ein Mischungsverhältnis 1 : 5 Gewichtsteilen beabsichtigt, werden also auf 5 Teile Zuschlag 1 Teil Zement = 16,7% verwendet,

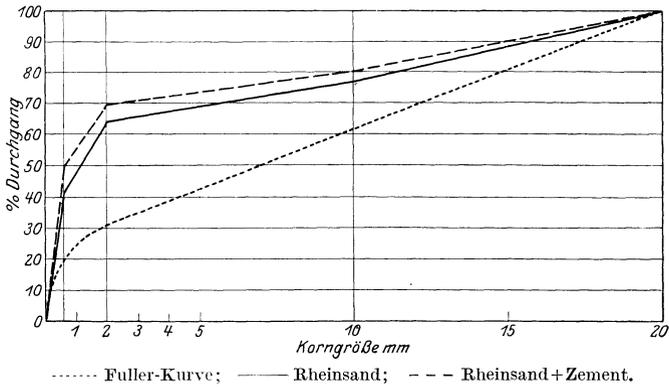


Abb. 4. Gegenüberstellung der Fuller-Kurve mit einem natürlichen Rheinsand und Ablesung der günstigsten Zusammensetzung.

so müssen, da der Zement unter die feinste Körnung fällt, zur Körnung 0 16,7% zugerechnet werden. Es ergeben sich dann für den Rheinsand und Rheinsand + Zement die in Abb. 4 der Fuller-Kurve gegenübergestellten Kurven: Der Kurvenverlauf des Rheinkiesandes zeigt auch hier wieder, daß dieser zu viel Feines enthält. Um der Fuller-Kurve zu entsprechen, muß der Anteil an Feinem vermindert, an Grobem erhöht werden gemäß Tabelle 3:

Das Maß der Erhöhung des Groben bzw. der Verminderung des Feinen gibt ohne weiteres ein Vergleich der Spalten 1 und 3. In der Praxis läßt sich durch Absieben diese Korrektur leicht durchführen.

Schwankt der Sand stark in der Zusammensetzung, wie dies häufig der Fall ist, so ist, hauptsächlich bei großen Bauwerken und bei Gußbeton, Aufstellung einer Siebtrommel, Trennung des Sandes und Zusammensetzung gemäß der Kurve erforderlich.

Allerdings braucht hier nicht mit 3 Sieben gearbeitet zu werden; 1 Sieb oder 2 Siebe sind meist ausreichend.

Tabelle 3.

Körnung	1	2	3	4
	Gefunden (Rheinkies)		Erstrebt (Fuller-Kurve)	
	ohne Zement	mit Zement	ohne ¹⁾ Zement	mit Zement (1:5)
3	23%	19,7%	46%	38%
2	13%	11,1%	37%	31%
1	23%	19,7%	13%	11%
0	41%	49,5%	4%	20%
	100%	100,0%	100%	100%

Erstes Anwendungsbeispiel.

Kurventafel Abb. 5 zeigt die Siebkurve eines Kieses im Vergleich zur Fuller-Kurve. (Die Siebkurve selbst muß natürlich durch Absieben auf mehr als 2, z. B. 4 Sieben festgestellt werden, siehe Seite 8.) Beim Schnittpunkt mit der Senkrechten kann abgelesen werden, daß

35% Anteile über 2 mm
und der Rest
65% „ unter 2 „

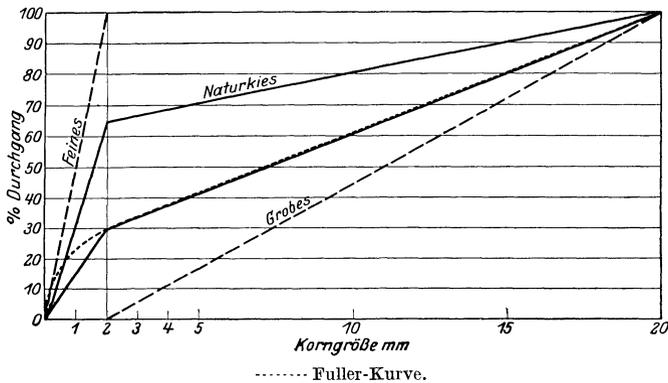


Abb. 5. Praktisches Beispiel für die Ablesung der richtigen Zusammensetzung eines Kiessandes aus dem Vergleich mit der Fuller-Kurve.

vorhanden sind, daß also die verschiedenen Korngrößen nicht in gleichen Anteilen in dem Kies vertreten sind, sondern daß von einer feinen Körnung besonders viel zugegen ist (Knick beim Schnitt der Kurve mit der Senkrechten), während der gerade Verlauf der Kurve vom Knick bis Schluß gleichmäßige Mischung der gröberen Anteile untereinander zeigt. Es genügt also, den Kies in Teile über und unter 2 mm zu zerlegen und die überschüssigen Anteile unter 2 mm beim Wiederausfüllen wegzulassen. Die Mischung der Anteile erfolgt dann im Verhältnis der Fuller-Kurve:

70% über 2 mm
30% unter 2 „ .

¹⁾ Die erstrebte Zusammensetzung ohne Zement ist aus der Fuller-Zusammensetzung erhalten durch Subtraktionen der gewählten Zementmenge 16,7% von der feinsten Körnung (20%) und Umrechnen auf 100.

Zweites Anwendungsbeispiel.

Auf Kurventafel Abb. 6 ist die Zusammensetzung eines anderen Kieses dargestellt, die 2 Knicke, also 2 Unregelmäßigkeiten, aufweist¹⁾. Um diesen Kies auf den Verlauf der Fuller-Kurve zu bringen, müssen deshalb 2 Siebe angewendet und die entstehenden 3 Fraktionen im Verhältnis der Fuller-Kurve gemischt werden.

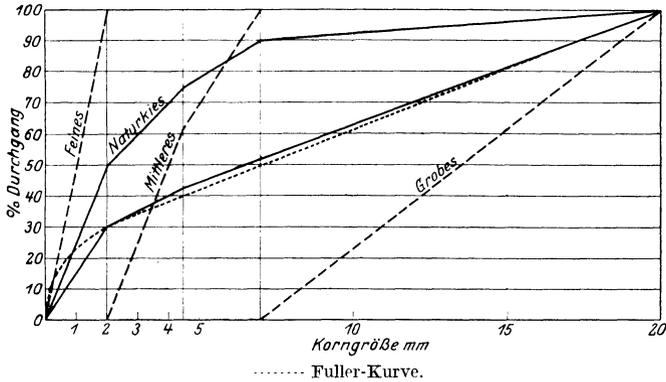


Abb. 6. Wie Kurventafel Abb. 5, jedoch mit einem anderen Kies.

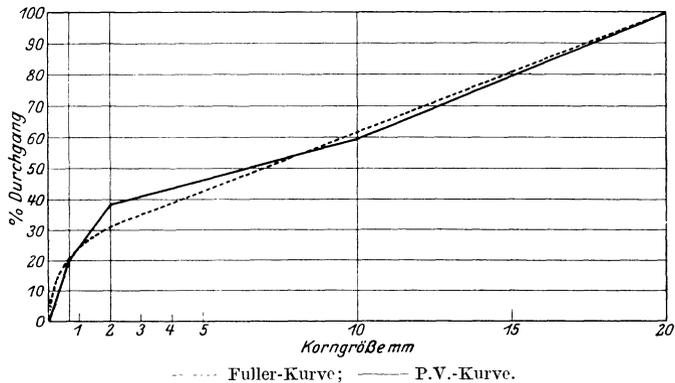


Abb. 7. Gegenüberstellung der Fuller-Kurve mit der Kurve einer Kieszusammensetzung, die auf experimentellem Wege (s. S. 8—10) gefunden wurde.

Der Kies besteht aus:

	groben Anteilen über 7 mm	mittleren Anteilen 7—2 mm	feinen Anteilen 2—0 mm
	10%	40%	50%
und ist zu mischen	50	20	30

In Kurventafel Abb. 7 ist die durch das unter 1 beschriebene experimentelle Verfahren (Seite 8—10) festgestellte beste Kiesmischung der Fuller-Kurve gegenüber gestellt. Der Kurvenverlauf zeigt die Übereinstimmung der nach dem experimentellen Porenraumfüllverfahren gefundenen Kiesmischung mit der Fuller-Kurve.

¹⁾ Der schwache Knick bei 4,5 mm spielt keine Rolle.

Hermann¹⁾ und Graf²⁾ haben, wie erwähnt, gleichfalls Kurven für die beste Zusammensetzung von Kies aufgestellt. Hermann kommt auf einen etwas höheren Gehalt an Feinem, da er das Porenvolumen der dichtesten Mischung mit Zement ausfüllt³⁾, (Anm. S. 10). Ein solcher etwas höherer Sandgehalt empfiehlt sich für Gußbeton, da er das Fließen des Betons erleichtert und die Entmischung verhindert. In der Graf'schen Kurve ist lediglich die Korngröße bis zu 7 mm berücksichtigt, da Graf von dem richtigen Gedanken ausgeht, daß nur die Zusammensetzung des Kittmörtels von ausschlaggebender Wichtigkeit ist.

Hat dieser die günstigste Zusammensetzung, so kann grober Zuschlag so lange zugegeben werden, als dieser von dem Mörtel umhüllt wird. Die Festigkeit wird von diesem groben Zuschlag, wenn dessen Eigenfestigkeit nicht die Betonfestigkeit unterschreitet, und wenn nicht zuviel zugefügt wird, nicht ungünstig beeinflusst.

Zusammenfassung. Die Korngröße des Zuschlagmaterials ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Güte und Dichte des Betons. Nur gemischt-körnige Zuschlagstoffe sind mit Vorteil brauchbar. Die größten Teile sollen der Verwendungsart angepaßt und möglichst groß sein; für Eisenbeton kann bis zu 30 mm, für unbewehrten Beton viel weiter gegangen werden etwa 100 mm. In Fundamentbeton können zur Ersparnis auch Steine größerer Abmessung eingelegt werden.

Die kleineren Abmessungen der Kornanteile werden zweckmäßig bestimmt durch von dem größten Anteil ausgehenden Versuch gemäß obigem Beispiel (S. 8), indem aus den zur Verfügung stehenden Zuschlagstoffen zunächst die Hohlräume der größten Stoffe bestimmt, diese mit der nächst feineren Körnung ausgefüllt werden u. s. f., oder indem die Siebkurve der Zuschlagsstoffe mit der idealen Siebkurve (Fuller, Hermann, Graf) verglichen und der Sand entsprechend durch Absieben verbessert und der Idealkurve möglichst angenähert wird (S. 10).

Die experimentell bestimmten Verhältnisse sollen nach Möglichkeit am ganzen Bauwerk, besonders wenn Dichte (wasserdichte Mauern oder Salzwassereinwirkung) verlangt wird, eingehalten werden. Traßzusatz ist, falls dichter und elastischer Beton verlangt wird, von Vorteil, ein Ersatz des Zementes durch Traß aber nicht ohne Abfall der Festigkeiten möglich. Deshalb ist der Traß als Zuschlag zu rechnen.

Es sei nochmals ausdrücklich betont, daß der Einfluß der richtigen Kornanteile auf die Güte des Betons von größter Wichtigkeit ist und leider meist unterschätzt wird.

B. Einfluß der Zementart.

Die verschiedenen Zemente unterscheiden sich zunächst, abgesehen von den Festigkeiten, nach ihrer Herstellungsweise in

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| 1. Portlandzemente, | } Hüttenzement, |
| 2. Eisenportlandzemente | |
| 3. Hochofenzemente | |

¹⁾ Bauing. 1923, S. 18. ²⁾ Der Aufbau des Mörtels im Beton, Berlin 1923.

³⁾ S. hierzu Kurventafel Abb. 3a. In dieser Abb. ist die Hermann-Kurve ohne Zement eingezeichnet. Mit Zementzusatz steigt sie über die beiden anderen Kurven.

4. Schlackenzemente,
5. Romanzemente,
6. Tonerdezemente (auch Schmelzzement, Ciment-Fondu, Alca-Zement genannt).

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung und Aufbereitungsart ordnen sich diese Zemente wie folgt (ungefähre Zahlen):

Tabelle 4.

	Portlandzemente	Eisenportlandzemente	Hochofenzemente	Schlackenzemente	Romanzemente	Tonerdezemente
SiO ₂	18 —27	20 —26	25 —30	28 —36	22—28	10%
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	6 —16	9 —19	11 —20	11 —17	9—16	50%
CaO	58 —67	54 —60	48 —58	40 —52	33—41	40%
MgO	0,5— 5	0,5— 5	0,5— 5	0,5—10	1—20	0%

Zu staatlichen Eisenbetonbauten zugelassen sind nur:

- Portlandzement,
- Eisenportlandzement,
- Hochofenzement und
- Tonerdezement.

Für den in Deutschland wenig wichtigen Schlackenzement und Romanzement ist eine Zulassung nicht zu erwarten.

Allgemeine Eigenschaften:

Diese sind von Portlandzement bekannt; nimmt man dessen Eigenschaften als Vergleichsmaßstab, so kann für die anderen Zemente allgemein folgendes gesagt werden.

Eisenportlandzemente. Gleiche Festigkeiten, etwas höhere Salzwasserbeständigkeit infolge des geringeren Kalkgehaltes.

Hochofenzement. Gleiche Festigkeiten, etwas längere Abbindezeit (6—7 Stunden gegen 4—6 Stunden bei Portlandzement), höhere Salzwasserbeständigkeit infolge des geringeren Kalkgehaltes.

Romanzemente. Niedrige Festigkeiten, meist kürzere Abbindezeit, höhere Beständigkeit in kohlenensäurehaltigem Wasser.

Tonerdezement. Im allgemeinen höhere Festigkeiten, besonders in der Anfangserhärtung, höhere Salzwasserbeständigkeit in zahlreichen Salzlösungen, z. B. in Magnesiumsulfatlösung, keineswegs aber in allen aggressiven Flüssigkeiten.

Die Festigkeiten der Zemente richten sich nach der Normenklasse, in welcher sie sich befinden. Nach einem Vorschlag d. V. D. P.-Z.-Fabrikanten sollen folgende Zemente in den Handel gebracht werden (Normen für hochwertige Zemente sind noch nicht aufgestellt):

Tabelle 5.

Zement	Zugfestigkeit nach		Druckfestigkeit kg je qcm nach			
	3 Tagen Wasser	7 Tagen Wasser	3 Tagen Wasser	7 Tagen Wasser	28 Tagen Wasser	komb.
Gewöhnlich. . .	—	12	—	120	200	250
Klasse A. . . .	—	17	—	170	280	350
Hochwertig. . .	20	—	250	320	400	450

Hochwertige Zemente.

Unter hochwertigen (hochfesten) Zementen werden nach dem jetzigen Sprachgebrauch Zemente mit besonders hoher Druckfestigkeit, in erster Linie in der Anfangserhärtung, verstanden. Diese Zemente eignen sich besonders für schnell fertigzustellende Bauten, da sie kürzere Ausschaltungsfristen beanspruchen. Es ist streng zu unterscheiden zwischen hochwertigen Portland-, Eisenportland- und Hochofenzementen einerseits und dem hochwertigen „Tonerdezement“¹⁾ andererseits. Die Preise der ersteren bewegen sich etwa 25% über dem entsprechenden Preis für normalen Zement, während der Tonerdezement, da er aus dem in Deutschland nicht in genügender Reinheit vorkommenden Bauxit erschmolzen wird, ein Vielfaches von Portlandzement kostet. Ein Vermischen (auch unfreiwillig) der 3 Zementarten Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement ist bei ihrer engen Verwandtschaft ohne Schaden möglich. Im Laboratorium der Norddeutschen Hütte wurden von Schnetter folgende Festigkeiten gefunden:

Tabelle 6.

Druckfestigkeiten für Portlandzement, Hochofenzement und Mischungen aus Portlandzement und Hochofenzement 1:3 N.S.

Bezeichnung	Druckfestigkeiten						
	3 Tage	7 Tage	28 Tage		3 Monate		6 Monate
			Wasser	Luft	Wasser	Luft	Luft
Portlandzement . .	196	281	380	393	390	373	456
Hochofenzement . .	177	266	316	397	296	339	396
1 Teil H.O.Z. . . . }	183	244	330	412	328	399	436
1 Teil P.Z. . . . }							
1 Teil H.O.Z. . . . }	229	271	365	403	298	352	437
2 Teile P.Z. . . . }							
2 Teile H.O.Z. . . . }	210	246	359	411	338	373	453
1 Teil P.Z. . . . }							
1 Teil H.O.Z. . . . }	214	289	323	421	402	410	418
4 Teile P.Z. . . . }							
4 Teile H.O.Z. . . . }	170	253	343	395	364	400	408
1 Teil P.Z. . . . }							

Die Zahlen zeigen kein ungünstiges Verhalten der verschiedenen Mischungen im Vergleich zu den reinen Zementen. Ein Zusammenmischen von Tonerde- einerseits, mit Portland-, Eisenportland- und Hochofenzement andererseits, muß dagegen vermieden werden:

¹⁾ Tonerdezement unterscheidet sich von allen anderen Zementen durch den hohen Tonerdegehalt. Der Name Tonerdezement ist aus diesem Grunde treffender als die gleichfalls gebräuchlichen Bezeichnungen: Schmelzzement, Ciment Fondu, und sollte allgemein eingeführt werden. — Diesen Vorschlag der Einführung des alleinigen Namens Tonerdezement statt Schmelzzement habe ich schon im Jahre 1924 (Tonind.-Ztg. S. 249) gemacht. Luftschitz stellt sich auf den gleichen Standpunkt (Luftschitz, H.: Hochwertige Zemente. Tonind.-Ztg. 1924, S. 577). Es gibt nämlich auch (bis jetzt nur in Schweden) geschmolzene Portlandzemente, die also füglich sich als „Schmelzzemente“ bezeichnen können, mit dem Tonerdezement aber nichts gemein haben. Auch Hochofenzemente bestehen aus erheblichen Anteilen einer Schmelze, der Hochofenschlacke.

Roger C. Morrisson¹⁾ fand schlechtes Verhalten von Mischungen mit 33 bis 67% Portlandzementanteil, d. h. bei Zusatz über $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ Portlandzement trat Versagen ein. Weniger und mehr Portlandzement blieb ohne Nachteil. Dennoch ist, da diese Grenzen in der Praxis kaum streng einzuhalten sind, beim Verarbeiten von Tonerdezement jegliche Möglichkeit des Hinzukommens anderer Zemente zu verhindern, auch die Werkzeuge sind von allenfalls anhaftenden Portlandzement- usw. Resten zu säubern.

Für verschiedene hochfeste Zemente aus dem Handel wurden vom Verfasser im Forschungsinstitut der Hüttenzementindustrie die Festigkeiten der Tabelle 7 bei völliger Raumbeständigkeit gefunden (Zahlen über das Verhalten in Sulfatwasser sind beigegefügt).

Bei Versuchen des Laboratoriums des Vereins deutscher Portlandzementfabriken, welche Aufklärung bringen sollten, ob die gleichen Festigkeiten mit gewöhnlichem Portlandzement bei Verwendung einer größeren Menge dieses Zementes entsprechend dem höheren Preis des hochwertigen Zementes zu erzielen seien, wurde von Haegermann²⁾ festgestellt, daß innerhalb gewisser Grenzen dieser Ersatz des hochwertigen Zementes durch gewöhnlichen Zement, wenn von diesem Zement mehr genommen wird, möglich ist. Mit gutem gewöhnlichen Portlandzement konnten die gleichen Festigkeiten bei Anwendung von $1\frac{1}{4}$ Gewichtsteilen erzielt werden wie mit hochwertigem Zement bei Anwendung von 1 Gewichtsteil.

Bei längerer Lagerung vor der Verarbeitung sinken die Festigkeiten hochwertigen Portlandzementes. Vom Verfasser wurde an einem hochwertigen Portlandzement, nach $\frac{1}{2}$ Jahr Lagerung auf dem Bauplatz, Festigkeiten beobachtet, die einem gewöhnlichen Portlandzement entsprachen. Sollten also ausnahmsweise hochwertige Portlandzemente längere Zeit gelagert sein, so ist Nachprüfung der Festigkeiten am Platz. Tonerdezement soll im Gegensatz ein Steigen der Festigkeiten bei Lagerung aufweisen. Die diesbezüglichen Versuche sind aber nicht unbestritten und bedürfen der Nachprüfung.

Gehler³⁾ berechnet die Ersparnis an Bauzeit bei Verwendung von hochwertigem Zement wie folgt:

- a) bei Bauten zu ebener Erde u. dgl. (21—7) Tage = 2 Wochen (gleich der Hälfte der Bauzeit bei Kleinbauten).
 b) bei mehrstöckigen Bauten mit kleiner Grundfläche $\frac{n \cdot 2 \text{ Tage}}{n \cdot 10 \text{ Tage}} = 20\%$ der Bauzeit; bei großer Baufläche weniger.

Bei Untersuchung normaler Zemente, die, soweit möglich, in den letzten Jahren fast nur aus dem Handel aufgekauft wurden, fand Verfasser die Werte der Tabelle 8.

Die Zahlen zeigen für das Jahr 1920 ein Zurückgehen der Festigkeit, von da an ein schnelles Ansteigen, also eine erhebliche Qualitätsverbesserung.

¹⁾ Concrete 1925, April, S. 128.

²⁾ Haegermann, Dr., Karlshorst: Über die Tätigkeit des Vereinslaboratoriums im Jahre 1924. Zement 1925, S. 575.

³⁾ Gehler: Hochwertige Zemente. Zement 1924, S. 206.

Tabelle 7.

Tagebuch-Nr.	Marke	Normensand 1:3				Rheinsand 1:3 (Wasserlagerung)			Rheinsand 1:3 (Lagerung in 5% MgSO ₄)			Bemerkungen				
		Zug 28 Tage Wasser	2	3	7	28	comb.	28 Tage	3 Mon.	6 Mon.	12 Mon.		28 Tage	3 Mon.	6 Mon.	12 Mon.
890	Ciment Fondu . . .	28	414	468	489	555	595	649	556	647	719	544	582	624	749	
403	Alca Schmelzement	28	486	541	568	576	661	—	—	—	—	—	—	—	—	
393	Ciment Fondu . . .	28	250	343	397	441	530	—	—	—	—	—	—	—	—	
933	Holderbank	32	366	399	443	503	601	570	631	613	704	536	541	515	556	
18	Standard	33	308	385	420	535	588	470	499	532	544	432	480	541	563	
977	Totiser P.Z.	27	160	195	360	490	561	431	487	554	623	417	442	455	500	
972	Thayngen	25	224	284	406	516	561	575	471	610	668	465	452	541	624	
866	Dyckerhoff Doppel .	34	247	279	402	458	532	443	599	606	592	438	516	584	548	
973	Grunnden	26	167	208	260	417	495	440	551	568	—	468	567	561	—	
946	Hochfester HOZ. . .	34	258	289	365	430	487	476	550	525	637	480	572	529	491	
947	Wicking	31	216	272	327	385	484	439	474	528	561	419	502	463	525	
934	Grandchamp	33	278	328	367	419	466	452	462	416	428	469	534	463	592	
112	Slite PZ.	29	219	246	348	447	460	302	378	454	463	319	337	363	339	
963	Stramberg	31	218	268	311	391	401	485	356	563	582	412	392	505	605	
966	Levie	—	—	—	—	—	—	242	329	339	403	290	325	345	388	
902	Nord.	—	—	—	—	—	—	163	258	299	322	161	209	199	219	
915	15% Klinker R 83% Schlacke R 2% Gips	—	—	—	—	—	—	235	301	329	391	245	319	342	402	
916	35% Klinker R 63% Schlacke R 2% Gips	—	—	—	—	—	—	371	441	472	556	378	416	478	480	
929	15% Klinker R 83% Schlacke M 2% Gips	—	—	—	—	—	—	202	298	335	451	225	302	347	425	
930	35% Klinker R 63% Schlacke M 2% Gips	—	—	—	—	—	—	329	486	494	566	349	434	395	465	

hochfeste
Zementenormale Port-
landzementenormale
Hochofen-
zemente mit
ver-
schiedenem
Klinker-
gehalt

Tabelle 8. Prüfungsergebnis verschiedener Handelszemente 1918—1925.

Zementart	Litergewicht		Spez. (Gewicht)	Rückstände in Proz. auf den Sieben von Maschen je qem		Abbindezeit		Zugfestigkeit 1:3			Druckfestigkeit 1:3			Verhältnis von Zug und Druck nach 28 Tagen		Anzahl der untersuchten Zemente
	ein-ge-laufen	ein-ge-rüttelt		900	5000	10 000	Anfang	Ende	nach 7 Tagen Wasser	nach 28 Tagen Wasser	komb. Wasser Lag.	nach 7 Tagen Wasser	nach 28 Tagen Wasser	komb. Wasser Lag.	Wasser	
1918 I	1066	1674	3,061	0,96	29,4	2 ²⁶	5 ³²	18	23	31	204	290	328	12	11	16
1919 II	1080	1791	3,058	0,63	32,4	2 ⁰⁶	6 ³⁴	19	24	34	187	285	344	12	10	18
1920 III	1134	1764	3,073	0,4	33,5	2 ²⁸	5 ²²	16,8	21	30,6	141	215	252	10,3	8,2	12
1921 IV	1068	1753	3,038	0,9	33,3	2 ⁵⁶	5 ⁶²	15	21	32	153	223	271	10	8	23
1922 V	1117	1797	3,065	1,06	39,2	3 ⁴⁸	6 ⁵⁹	17	22	30	163	252	302	11,3	9,7	12
1923 VI																
1924 VII	1090	1794	3,055	0,6	34,3	2 ⁴¹	5 ²⁸	20	26	34	211	302	345	11,7	10,1	46
1925 VIII I. Halbjahr	1095	1804	3,117	0,2	30,4	2 ⁴¹	4 ⁵⁴	19	25	34	213	309	348	12,6	10,3	37
Infolge Ruhrkampfes Bezug unmöglich gewesen.																
1918 I	999	1621	2,947	0,3	18,8	2 ⁵⁸	6 ³⁴	19	27	28	169	278	308	10	11	87
1919 II	1023	1740	2,955	0,34	23,82	3 ⁰⁷	7 ⁴⁰	20	28	30,9	166	294	316	11	10	87
1920 III	1025	1725	2,950	0,34	21,93	3 ⁵¹	7 ²²	18,7	26,3	29,3	139	253	281	9,6	9,5	96
1921 IV	1038	1718	2,955	0,55	7,5	2 ^{2,5}	3 ³⁸	20	27	31	165	270	309	10	10	96
1922 V	1030	1676	2,932	0,9	8,0	2 ^{2,7}	3 ²⁹	20,8	27	30	192	305	336	11,0	10,9	96
1923 VI	991	1635	2,906	0,75	8,9	2 ^{3,4}	5 ²¹	19	26	30	183	280	320	9,9	10,1	84
1924 VII	1003	1682	2,922	0,1	6,6	2 ^{2,7}	3 ⁰²	22	29	32	205	305	339	10,5	10,5	91
1925 VIII I. Halbjahr	1034	1720	2,995	0,1	6,6	2 ^{1,0}	5 ¹⁰	22	28	34	218	317	360	11,1	10,9	52

Portlandzement

Hochofenzement

C. Einfluß der Verarbeitungsart.

1. Mischungsverhältnis.

Dieses ist natürlich von großem Einfluß besonders auf die Festigkeit von Beton, welche mit steigendem Zementgehalt steigt. Es richtet sich nach den Anforderungen, welche an die Festigkeiten des Betons gestellt werden.

Mit zu hohem Zementzusatz zu arbeiten, hat keinen Zweck; durch geeignete Zusammensetzung des Kiessandes in bezug auf die Korngrößen, welche die Hohlräume auf ein geringstes Maß herabdrückt, und durch einen genügenden Gehalt an groben Stücken werden die Festigkeiten besser beeinflusst als durch allzu hohen Zementzusatz. Geeignet gekörnte Zuschläge bringen erhebliche Ersparnisse an Zement (siehe S. 8). Für Betonzwecke darf nicht zu pur gemischt werden, da Purmischungen leicht zur Schwindrißbildung neigen, welche unangenehm werden kann.

Bei Salzwassereinwirkung wurde bisweilen im Laboratorium schon festgestellt, daß sich die Mischungen mit einem mittleren Zementzusatz am besten verhalten, während die sehr zementreichen und die sehr zementarmen zuerst Treibneigung zeigten.

Diese Erscheinung ist so zu erklären:

Die zementreichen Mischungen (1 : 3) haben in ihrem Inneren keinen Platz zur Aufnahme der durch Sulfateinwirkung auftretenden Quell- oder Kristallisationsprodukte und zertreiben dadurch zuerst.

In eine zementarme Mischung (1 : 8) kann das Sulfatwasser bis in den Kern des Betons eindringen und so den Körper von innen heraus, an vielen Punkten angreifend, zerstören.

In die mittleren Mischungen (1 : 5) kann das schädliche Wasser nicht hemmungslos eindringen; trotzdem ist noch Platz für die auftretenden Quellprodukte, welche bei den zementreicheren Mischungen schon beim ersten Entstehen die Treiberscheinungen hervorrufen.

Trotz dieser Laboratoriumsbeobachtungen ist ein erheblicher Zementreichtum für praktisches Arbeiten in Sulfatwasser unbedingt nötig, allenfalls mit Traßzusatz, um den Beton zu dichten und gleichzeitig elastisch zu machen. Der Traß nimmt dann nicht nur den freien Kalk des Betons, sondern auch einen Teil der entstehenden inneren Spannungen auf.

2. Mischungsweise.

Auch diese ist von größter Wichtigkeit und erheblichem Einfluß auf die Güte des Betons und kann zu erheblicher Zementersparnis führen. Maschinenmischung ist der Handmischung überlegen und gibt wesentlich höhere Festigkeiten. Der schon in früheren Jahren in geeigneten Zentralstellen hergestellte Transportbeton hat in neuester Zeit in Amerika wieder in größerem Umfange Aufnahme gefunden und wird sich sicher bewähren. Seine Einführung in weiterem Maße auch in Deutschland wäre zu begrüßen, da durch die zentrale Mischung hauptsächlich bei kleineren Bauausführungen richtiges Verhältnis, guter Kies, vorzüg-

liche Mischung gewährleistet und Herrichtung von Mischbühnen und Arbeitskräfte gespart werden.

Bei langsambindenden Zementen ist kein Fehlschlag zu befürchten, zumal durch das Rütteln beim Transport nicht nur die Abbindezeit noch verzögert, sondern auch bessere Plastizität, Mischung und Dichte erreicht wird. Schnellastwagen würden rasche Verbringung an den Ort der Verwendung gestatten. Der geringe Wasserzusatz (7–10%), der mit transportiert werden muß, beeinträchtigt die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens nicht, zumal der Zement und Traß ohne Sackpackung lose zum Mischwerk kommen könnten (Abb. 8).



Abb. 8. Herstellung von Transportbeton (Betonwerk Magens & Co., Hamburg.)

3. Wasserzusatz und Stampfarbeit.

Der Wasserzusatz beeinflußt die Dichte und Festigkeit des Betons. Die höchsten Festigkeiten werden erzielt bei demjenigen Wasserzusatz, der dem Bedarf des Zementes entspricht (erdfeucht). Dieser Bedarf ist nicht sehr hoch, der wasserärmste Beton (Stampfbeton) kommt dem Optimum am nächsten. Höherer Wasserzusatz setzt die Festigkeiten herab, hauptsächlich in der Anfangserhärtung. Bei längerer Erhärtungsdauer findet in steigendem Maße ein Ausgleich statt. Man unterscheidet:

- a) Stampfbeton,
- b) plastischen Beton,
- c) Gußbeton,
- d) Spritzbeton.

a) Stampfbeton: (6—7 Gewichtsprozent Wasserzusatz). Der geringe Wasserzusatz gibt die besten Festigkeiten, vorausgesetzt, daß genügend Stampfarbeit aufgewendet wird. Stampfbeton steht dem plastischen Beton an Dichte nach.

Bei zahlreichen Eiseneinlagen kann er naturgemäß nicht angewendet werden.

Otto Graf¹⁾ hat zur Vorausberechnung der im Bauwerk zu erwartenden Festigkeiten eine Formel aufgestellt, bei welcher er ausgegangen ist von den Normenfestigkeiten, die bekanntlich an maschinell hergestellten Körpern aus erdfeuchtem Beton bestimmt werden. Kennt man also diese Normenfestigkeiten, so kann man nach der Grafschen Formel für jeden Wasserzusatz die Betonfestigkeit errechnen. Die Formel lautet:

$$K = \frac{Kn}{400} \left(\frac{A}{7^{2w}} + C \right).$$

Es werden eingesetzt:

für A	1300	für die Mindestfestigkeit
„	2600	„ „ Höchstfestigkeit
„ C	20	„ „ Mindestfestigkeit
„	40	„ „ Höchstfestigkeit
„ Kn	die Normenfestigkeit nach 28 Tagen	
„ w	$\frac{\% \text{ Wasser}}{\% \text{ Zement}}$ (Wasser-Zementfaktor).	

Nach dieser Formel wurden die Betonfestigkeiten für zahlreiche Zemente errechnet, von welchen gleichzeitig erdfeuchte Betonkörper 20 cm³ in eisernen Formen im Forschungsinstitut eingestampft wurden. Die Normenfestigkeiten der geprüften Zemente sowie ihre Betonfestigkeiten sind auf folgender Tabelle wiedergegeben (Tabelle 9).

Zur Verwendung kam normalisierter Rheinkies, dessen Zusammensetzung nach dem Porenvolumen errechnet war (S. 8). Die Korngrößen des Kiessandes waren:

0	bis	0,6 mm	15%
0,6	„	2 „	15%
2	„	10 „	25%
10	„	20 „	25%
20	„	40 „	20%

Die Zahlen zeigen, daß die Betonfestigkeiten ungefähr den Normenfestigkeiten gleich sind, m. a. Worten, daß trotz des verdünnteren Mischungsverhältnisses 1 : 7 der Kiesbeton infolge der günstigen Zusammensetzung des Kiessandes die Festigkeiten der Normenkörper 1 : 3 erreichte.

Die aus der Grafschen Formel abgeleiteten Festigkeiten sind in Abb. 9. eingetragen zusammen mit den tatsächlichen Festigkeiten. Die Kurven verlaufen annähernd gleich. Die gefundenen Festigkeiten liegen bei den Grafschen Maximalfestigkeiten, ein Zeichen, daß die Grafsche Formel sehr vorsichtig aufgestellt ist. Unter dem weiten Abstand der

¹⁾ Otto Graf: „Der Aufbau des Mörtels im Beton“, S. 28. Berlin 1923.

beiden Grafschen Kurven leidet deren Brauchbarkeit, handelt es sich doch um Festigkeitsspannungen von 120–275 kg = 50% der Maxi-

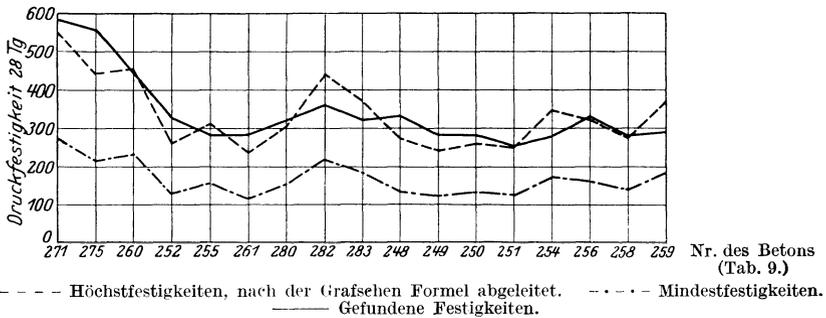


Abb. 9. Vergleich der nach der Grafschen Formel abgeleiteten Betonfestigkeiten mit tatsächlich gefundenen Betonfestigkeiten.

Tabelle 9.

Zusammenstellung von Normenfestigkeiten und Betonfestigkeiten für verschiedene Zementmarken und Zementarten.

Tagebuch-Nr.	Zement	Normenfestigkeit				Betonfestigkeit 1:7		
		3 Tage	7 Tage	28 Tage Wasser komb.	7 Tage	28 Tage	45 Tage	
Tonerdezemente.								
271	Alca-Zement	541	568	576	661	493,8	582,6	631,5
275	Ciment-Fondu	343	397	441	530	480,5	556,5	612,5
	Durchschnitt	442	483	509	596	487,2	569,6	622,0
Hochwertige Portlandzemente.								
260	Germania Spezial..	214	343	486	548	325,7	444,4	476,7
Normale Portlandzemente.								
252	Breitenburg	110	189	272	315	211,7	325,7	367,5
255	Heidelberg	126	208	313	376	197,5	287,7	320,0
261	Karlstadt	142	171	249	285	186,1	282,0	317,6
280	Balingen	145	215	332	370	226,0	321,5	368,9
	Durchschnitt	131	196	292	337	205,3	304,2	343,5
Eisenportlandzemente.								
282	Schalke	209	307	419	527	254,0	365,6	402,2
283	Schalke	178	232	391	449	237,4	321,9	333,3
	Durchschnitt	194	270	405	486	245,7	343,8	367,8
Hochofenzemente.								
248	Mannstaedt	122	197	275	327	221,2	335,2	392,7
249	Amberg	125	185	254	296	219,3	283,9	318,1
250	Rheinhausen	98	168	258	315	186,1	283,9	321,9
251	Concordia	138	195	257	303	192,7	257,6	306,7
254	Vienenburg	196	288	371	417	197,5	283,9	340,9
256	Mathildenhütte	212	272	360	391	227,9	333,3	351,6
258	Rheinhausen	130	176	289	335	172,8	282,0	316,2
259	Mathildenhütte	210	280	375	445	227,9	295,3	329,5
	Durchschnitt	154	220	305	354	205,7	294,4	334,7

malfestigkeit. Bei gutem Kies wie im vorliegenden Falle kann man ruhig die Graftsche Maximalkurve annehmen.

b) Plastischer Beton: (8–10 Gewichtsprozent Wasserzusatz) wird in Deutschland bei Eisenbetonbauten meist verwendet. Er hat gegenüber Stampfbeton den Vorteil, daß er besser in die Zwischenräume der Eiseneinlagen eindringt und leichter zu verarbeiten ist. Er gibt, auch bei geringerer Stampfarbeit, dichteren Beton als der Stampfbeton, allerdings aber auch etwas geringere Festigkeiten, hauptsächlich im Anfang der Erhärtung, und zwar weil er mehr Wasser enthält, als der Zement zum Abbinden und Erhärten gebraucht.

Goslich¹⁾ wies nach, daß abbindender Beton 1:3 nach 2 Tagen erst 5–6% Wasser gebunden hat und daß erst nach 28 Tagen 10% gebunden werden.

Der Wasserüberschuß ist nötig zum „Plastischmachen“ des Betons, also zur Erhöhung der Bewegungsfähigkeit der Zuschlagsbestandteile gegeneinander. Aus den Schalungsfugen läuft ein Teil dieses für den Abbinde-

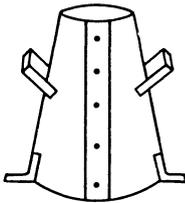


Abb. 10. Form für die Plumpsprobe.



Abb. 11. Messen des Plumpsmaßes.

prozeß überschüssigen Wassers wieder weg, ein Umstand, der für die Festigkeiten des Betons von Vorteil ist. Beim Einbringen plastischen Betons in die für die Betonprüfung vorgeschriebenen eisernen 200 oder 300 mm Würfelformen ist dieses Austreten des überschüssigen Wassers unmöglich, deshalb findet man bei Prüfung von plastischem Beton, der in diesen eisernen Formen erhärtet ist, geringere Festigkeiten, als sie im Bauwerk tatsächlich vorliegen.

Setzprobe.

Die Plastizität des Betons wird in Amerika mit dem hierfür gut geeigneten sog. slump-test, der Plumps- oder Setzprobe bestimmt. Da es in Deutschland eine ähnliche Probe nicht gibt und die Plumpsprobe ihren Zweck gut erfüllt, ist die Erfindung einer

¹⁾ Goslich: Zement 1923, S. 163.

neuen Methode zur Erreichung des gleichen Zieles überflüssig; deshalb sei die Annahme der Plumpsprobe¹⁾ ohne Abänderung in Deutschland empfohlen.

Die Ausführung der Plumpsprobe geschieht wie folgt:

1. Form. Als Form dient ein oben und unten offener Blechkonus, der oben 10 cm, unten 20 cm Durchmesser bei 30 cm Gesamthöhe hat. Der Konus ist mit Griffen und 2 Nasen versehen, auf welche der Anfertiger der Proben beim Arbeiten die Füße setzt. (Abb. 10 und 11.)

2. Anfertigen der Proben. In die mit den Füßen auf einer ebenen Unterlage festgehaltene Form wird das zu prüfende Betongemisch in Lagen von je $\frac{1}{4}$ der Höhe eingebracht, die mit einem etwa halbzölligen eisernen Stock durchgearbeitet werden. Nach Füllen der Form und Abstreichen des überstehenden Haufens wird diese vorsichtig nach oben abgehoben und neben den entstandenen Betonhaufen gestellt.

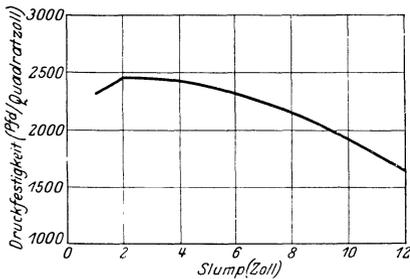


Abb. 12. Druckfestigkeit und Plumpsmaß. Proc. Ann. Concrete Inst. 1925, S. 50. (Amerikanische Feststellung.)

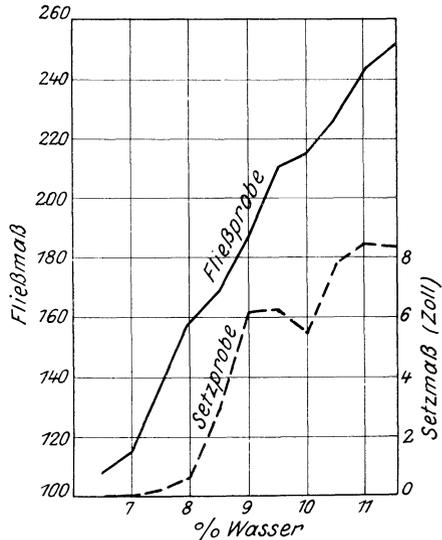


Abb. 13. Ansteigen des Setzmaßes mit dem Wassergehalt. Engg. News 1920, Bd. I, S. 1044. (Erklärung des Fließmaßes S. 29.)

3. Messen des Plumpsmaßes. Auf die Form wird nun eine Latte wagerecht über den Haufen weg aufgelegt und der Unterschied in cm zwischen ursprünglicher Höhe des Betons in der Form und dem Betonhaufen gemessen. Dies ist das Plumpsmaß oder Setzmaß. Es ist natürlich um so größer, je höher der Wasserzusatz war, hängt aber auch von Zement und Kies, Menge und Art ab und bildet einen praktischen genügend großen Gradmesser für die Plastizität des Betongemisches.

Vorstehende Kurven (Abb. 12 u. 13) zeigen das Fallen der Festigkeiten mit steigendem Setzmaß und das Ansteigen des Plumpsmaßes mit steigendem Wassergehalt.

¹⁾ Slumps heißt: plumpsen, ins Wasser fallen, ist also das gleiche Wort wie das in Süddeutschland gebräuchliche Wort „plumpsen“. Ich habe es deshalb mit diesem Wort übersetzt.

Tabelle II.

Zement I: Sand: Schotter bei einer Betonfestigkeit von 105 kg/cm². Zement I: Sand: Schotter bei einer Betonfestigkeit von 140 kg/cm².

Schotter mm	Flüssigkeitsgrad	Sand					Schotter mm	Flüssigkeitsgrad	Sand				
		0-0,6 mm	0-1,2 mm	0-2,4 mm	0-4,8 mm	0-10 mm			0-0,6 mm	0-1,2 mm	0-2,4 mm	0-4,8 mm	0-10 mm
ohne	I	2,8:0	3,2:0	3,8:0	4,4:0	5,1:0	ohne	I	2,2:0	2,6:0	3,0:0	3,5:0	4,1:0
	II	2,4:0	2,8:0	3,3:0	3,8:0	4,5:0		II	1,9:0	2,2:0	2,6:0	3,0:0	3,5:0
	III	1,9:0	2,2:0	2,6:0	3,0:0	3,6:0		III	1,5:0	1,7:0	2,0:0	2,3:0	2,7:0
	IV	1,4:0	1,6:0	1,8:0	2,1:0	2,5:0		IV	1,0:0	1,1:0	1,3:0	1,6:0	1,8:0
5-20	I	2,6:4,6	2,9:4,3	3,4:4,1	3,9:3,6	4,6:3,1	5-20	I	2,1:3,8	2,3:3,7	2,6:3,5	3,0:3,1	3,6:2,8
	II	2,3:4,0	2,6:3,8	2,9:3,6	3,4:3,2	4,1:2,8		II	1,7:3,3	1,9:3,2	2,2:3,1	2,6:2,8	3,0:2,4
	III	1,8:3,4	2,0:3,2	2,3:3,1	2,6:2,8	3,1:2,5		III	1,3:2,7	1,4:2,6	1,7:2,5	1,9:2,3	2,3:2,1
	IV	1,1:2,5	1,3:2,4	1,5:2,4	1,7:2,2	2,1:2,0		IV	0,8:1,9	0,9:1,9	1,0:1,8	1,2:1,7	1,5:1,6
5-25	I	2,4:5,3	2,7:5,2	3,1:5,0	3,5:4,7	4,3:4,3	5-25	I	1,9:4,5	2,1:4,9	2,4:4,9	2,7:4,6	3,4:3,6
	II	2,1:4,7	2,4:4,5	2,7:4,4	3,1:4,1	3,7:3,7		II	1,6:3,9	1,8:3,8	2,1:3,7	2,4:4,0	2,8:3,2
	III	1,6:3,9	1,8:3,8	2,1:3,7	2,4:3,5	2,9:3,3		III	1,2:3,1	1,3:3,1	1,5:3,0	1,8:2,9	2,1:2,7
	IV	1,1:2,9	1,2:2,8	1,4:2,8	1,6:2,7	1,9:2,5		IV	0,7:2,2	0,8:2,2	1,0:2,3	1,1:2,1	1,3:2,0
5-40	I	2,4:6,0	2,7:5,9	3,1:5,8	3,5:5,4	4,1:5,1	5-40	I	1,9:5,0	2,1:4,9	2,4:4,9	2,7:4,6	3,2:4,4
	II	2,0:5,4	2,3:5,3	2,7:5,2	3,0:5,0	3,5:4,6		II	1,6:4,4	1,7:4,3	2,0:4,2	2,4:4,0	2,7:3,8
	III	1,6:4,4	1,8:4,3	2,0:4,3	2,3:4,1	2,7:3,9		III	1,1:3,5	1,3:3,5	1,4:3,5	1,7:3,4	2,0:3,2
	IV	1,0:3,3	1,1:3,2	1,3:3,2	1,5:3,1	1,8:2,9		IV	0,7:2,5	0,8:2,5	0,9:2,5	1,0:2,4	1,2:2,3
5-50	I	2,8:6,9	2,4:6,8	2,8:6,8	3,1:6,6	3,7:6,4	5-50	I	1,7:5,8	1,9:5,7	2,1:5,8	2,4:5,6	2,8:5,5
	II	1,8:6,2	2,0:6,1	2,4:6,1	2,7:6,0	3,1:5,7		II	1,4:5,0	1,5:5,0	1,8:5,0	2,0:4,9	2,3:4,7
	III	1,4:5,1	1,6:5,0	1,8:5,0	2,0:5,0	2,4:4,8		III	1,0:4,1	1,1:4,1	1,2:4,1	1,4:4,1	1,7:3,9
	IV	0,8:3,8	1,0:3,8	1,1:3,8	1,3:3,8	1,5:3,7		IV	0,6:2,9	0,7:2,9	0,7:3,0	0,8:2,9	1,0:2,9
10-25	I	2,8:5,2	3,1:5,1	3,6:4,8	4,2:4,6	4,8:4,1	10-25	I	2,2:4,4	2,5:4,2	2,8:4,1	3,3:3,8	3,8:3,4
	II	2,4:4,5	2,6:4,5	3,1:4,3	3,6:4,0	4,1:3,6		II	1,9:3,8	2,1:3,7	2,4:3,6	2,8:3,4	3,2:3,1
	III	1,9:3,9	2,1:3,7	2,4:3,6	2,8:3,4	3,2:3,1		III	1,4:3,1	1,5:3,0	1,8:3,0	2,1:2,8	2,4:2,5
	IV	1,3:2,8	1,4:2,8	1,6:2,7	1,9:2,6	2,2:2,4		IV	0,9:2,2	1,0:2,2	1,1:2,2	1,3:2,0	1,5:1,9
10-40	I	2,8:5,8	3,1:5,7	3,5:5,5	4,1:5,3	4,7:4,9	10-40	I	2,2:4,9	2,5:4,8	2,8:4,7	3,2:4,6	3,7:4,2
	II	2,4:5,2	2,7:5,1	3,1:5,0	3,5:4,8	4,1:4,4		II	1,9:4,3	2,1:4,2	2,4:4,1	2,7:4,0	3,1:3,7
	III	1,9:4,3	2,1:4,2	2,4:4,2	2,7:4,0	3,1:3,7		III	1,4:3,5	1,5:3,4	1,7:3,4	2,0:3,3	2,3:3,1
	IV	1,2:3,2	1,4:3,2	1,6:3,1	1,8:3,0	2,1:2,9		IV	0,9:2,5	1,0:2,5	1,1:2,4	1,3:2,4	1,5:2,3
10-50	I	2,7:6,6	3,0:6,6	3,4:6,5	3,9:6,4	4,4:6,0	10-50	I	2,1:5,6	2,3:5,5	2,6:5,5	3,0:5,4	3,5:5,1
	II	2,3:5,9	2,6:5,9	2,9:5,8	3,3:5,6	3,7:5,5		II	1,7:4,8	2,0:4,8	2,2:4,8	2,5:4,7	2,9:4,4
	III	1,8:4,9	2,0:4,8	2,2:4,8	2,6:4,8	3,0:4,5		III	1,3:4,0	1,4:3,9	1,6:3,9	1,8:3,9	2,1:3,8
	IV	1,2:3,7	1,3:3,7	1,5:3,7	1,7:3,6	1,9:3,5		IV	0,8:2,9	0,9:2,9	1,0:2,9	1,2:2,9	1,3:2,8

Zement I: Sand : Schotter bei einer Betonfestigkeit von 210 kg/cm².

Schotter mm	Flüssig- keits- grad	Sand				
		0—0,6 mm	0—1,2 mm	0—2,4 mm	0—4,8 mm	0—10 mm
ohne	I	1,5:0	1,7:0	2,0:0	2,3:0	2,7:0
	II	1,2:0	1,4:0	1,7:0	1,9:0	2,3:0
	III	0,9:0	1,0:0	1,2:0	1,4:0	1,6:0
	IV	0,5:0	0,6:0	0,7:0	0,8:0	0,9:0
5—20	I	1,3:2,7	1,5:2,6	1,7:2,5	1,9:2,4	2,3:2,1
	II	1,0:2,3	1,2:2,2	1,4:2,2	1,6:2,0	1,9:1,8
	III	0,7:1,7	0,8:1,7	0,9:1,7	1,1:1,6	1,3:1,4
	IV	0,3:1,0	0,4:1,0	0,5:1,0	0,5:1,0	0,6:0,9
5—25	I	1,2:3,1	1,3:3,1	1,5:3,0	1,8:2,9	2,1:2,7
	II	0,9:2,7	1,1:2,6	1,2:2,6	1,4:2,5	1,7:2,3
	III	0,6:2,0	0,7:2,0	0,8:2,0	0,9:1,9	1,1:1,8
	IV	0,3:1,2	0,3:1,2	0,4:1,2	0,5:1,2	0,6:1,2
5—40	I	1,1:3,6	1,2:3,5	1,5:3,5	1,7:3,4	2,0:3,2
	II	0,9:3,0	1,0:2,9	1,2:2,9	1,4:2,9	1,6:2,7
	III	0,6:2,2	0,7:2,2	0,8:2,2	0,9:2,2	1,1:2,1
	IV	0,3:1,4	0,3:1,3	0,4:1,4	0,5:1,4	0,5:1,3
5—50	I	1,0:4,1	1,1:4,1	1,2:4,1	1,4:4,1	1,6:4,0
	II	0,8:3,4	0,9:3,4	1,0:3,5	1,1:3,4	1,3:3,4
	III	0,5:2,6	0,6:2,6	0,6:2,7	0,7:2,6	0,9:2,6
	IV	0,2:1,6	0,3:1,6	0,3:1,7	0,4:1,7	0,4:1,7
10—25	I	1,4:3,1	1,5:3,0	1,8:2,9	2,1:2,8	2,4:2,6
	II	1,1:2,6	1,3:2,6	1,5:2,5	1,7:2,4	2,0:2,2
	III	0,8:2,0	0,8:2,0	1,0:1,9	1,1:1,9	1,3:1,8
	IV	0,4:1,2	0,4:1,2	0,5:1,2	0,6:1,2	0,7:1,1
10—40	I	1,4:3,5	1,5:3,4	1,7:3,4	2,0:3,3	2,3:3,1
	II	1,1:3,0	1,2:2,9	1,4:2,9	1,6:2,8	1,9:2,6
	III	0,6:2,2	0,8:2,2	1,0:2,2	1,1:2,1	1,3:2,0
	IV	0,4:1,4	0,4:1,4	0,5:1,4	0,6:1,3	0,7:1,3
10—50	I	1,3:4,0	1,4:4,0	1,6:4,0	1,9:3,9	2,1:3,8
	II	1,0:3,4	1,2:3,4	1,3:3,3	1,5:3,3	1,7:3,2
	III	0,7:2,6	0,8:2,5	0,9:2,6	1,0:2,6	1,1:2,5
	IV	0,4:1,6	0,4:1,6	0,5:1,6	0,5:1,6	0,6:1,6

III. Feuchter Beton
150—150
150—180

IV. Flüssiger Beton
100—50 mm
200—250 mm

Zement I: Sand : Schotter bei einer Betonfestigkeit von 176 kg/cm².

Schotter mm	Flüssig- keits- grad	Sand				
		0—0,6 mm	0—1,2 mm	0—2,4 mm	0—4,8 mm	0—10 mm
ohne	I	1,8:0	2,1:0	2,4:0	2,9:0	3,3:0
	II	1,5:0	1,8:0	2,1:0	2,4:0	2,8:0
	III	1,1:0	1,3:0	1,6:0	1,8:0	2,1:0
	IV	0,7:0	0,8:0	0,9:0	1,1:0	1,3:0
5—20	I	1,6:3,2	1,8:3,1	2,1:3,0	2,4:2,7	2,9:2,4
	II	1,3:2,8	1,5:2,7	1,7:2,6	2,0:2,4	2,8:2,2
	III	1,0:2,2	1,1:2,2	1,3:2,1	1,5:2,0	1,8:1,8
	IV	0,5:1,4	0,6:1,4	0,7:1,4	0,8:1,4	1,0:1,3
5—25	I	1,5:3,7	1,7:3,7	2,0:3,5	2,2:3,4	2,7:3,1
	II	1,2:3,3	1,4:3,2	1,6:3,1	1,9:3,0	2,2:2,7
	III	0,9:2,6	1,0:2,5	1,1:2,5	1,3:2,4	1,6:2,3
	IV	0,5:1,7	0,6:1,7	0,6:1,7	0,7:1,6	0,9:1,5
5—40	I	1,4:4,2	1,6:4,1	1,9:4,1	2,2:4,0	2,5:3,8
	II	1,2:3,7	1,3:3,6	1,5:3,6	1,8:3,5	2,1:3,3
	III	0,9:2,9	0,9:2,8	1,1:2,8	1,3:2,8	1,5:2,6
	IV	0,5:1,9	0,5:1,9	0,6:1,9	0,7:1,8	0,8:1,8
5—50	I	1,3:4,9	1,4:4,8	1,6:4,9	1,9:4,8	2,2:4,7
	II	1,1:4,3	1,2:4,2	1,3:4,3	1,6:4,2	1,8:4,1
	III	0,7:3,3	0,8:3,3	0,9:3,4	1,1:3,3	1,2:3,3
	IV	0,4:2,2	0,4:2,2	0,5:2,2	0,6:2,2	0,6:2,2
10—25	I	1,8:3,7	2,0:3,6	2,3:3,5	2,6:3,3	3,0:2,9
	II	1,4:3,2	1,6:3,1	1,9:2,9	2,2:2,9	2,5:2,6
	III	1,0:2,5	1,2:2,5	1,3:2,4	1,6:2,3	1,8:2,2
	IV	0,6:1,6	0,7:1,6	0,8:1,6	0,9:1,6	1,0:1,5
10—40	I	1,7:4,1	1,9:4,1	2,2:4,0	2,5:3,9	2,9:3,6
	II	1,5:3,6	1,6:3,6	1,8:3,5	2,1:3,4	2,3:3,2
	III	1,0:2,9	1,2:2,8	1,3:2,8	1,5:2,7	1,8:2,6
	IV	0,6:1,9	0,6:1,9	0,8:1,8	0,9:1,8	1,0:1,8
10—50	I	1,7:4,7	1,8:4,7	2,1:4,7	2,4:4,6	2,7:4,4
	II	1,4:4,1	1,5:4,1	1,7:4,1	2,0:4,0	2,3:3,9
	III	1,0:3,2	1,1:3,2	1,2:3,2	1,4:3,2	1,6:3,1
	IV	0,5:2,1	0,6:2,1	0,7:2,2	0,8:2,2	0,9:2,1

I. Stampfbeton
285—265
15—35

II. Plastischer Beton
225—200
75—100

III. Feuchter Beton
150—150
150—180

IV. Flüssiger Beton
100—50 mm
200—250 mm

Da infolge der anderen Prüfungsweise der Amerikaner die amerikanischen Kurven auf deutsche Verhältnisse schwer zu übertragen sind,

Tabelle 10.

Setzmaß, Fließmaß (S. 29) u. Druckfestigkeit von Betonen mit verschieden hohem Wassergehalt. S. auch Abb. 14 u. 15.

Nr.	Wasser %	Setzmaß cm	Fließmaß		Druckfestigkeit 28 Tage kg/cm ²
			neuer Durchmesser	alter Durchmesser · 100.	
1	5	0		130	210
2	6	0		120	272
3	7	1,6		137	275
4	8	3,0		158	230
5	9	7,0		192	182
6	10	14,4		212	151
7	11	19,0		228	110
8	12	20,0		257	—

wurden aus einem normalisierten Rheinsand (S. 22) Betone mit verschiedenem Wassergehalt hergestellt, das jeweilige Plumpsmaß gemessen und die Festigkeiten gleichzeitig hergestellter Körper geprüft. Vorstehende Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse, welche in Kurventafel Abb. 15 übersichtlich aufgetragen sind.

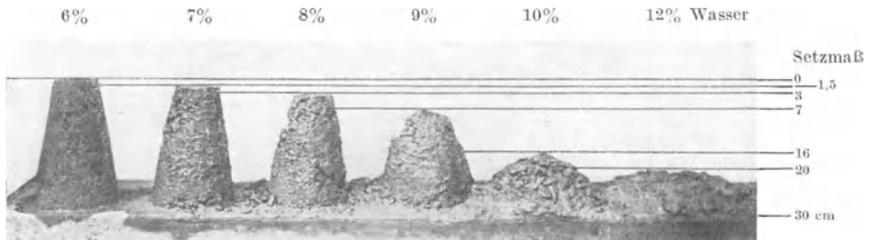


Abb. 14. Setzproben aus Betonen mit verschieden hohem Wassergehalt.

Nach v. Emperger¹⁾ ist die normale Betonfestigkeit nach einer Woche von 90 kg/cm² im Würfel und 120 kg/cm² im Balken (entsprechend der alten Vorschrift von 170 kg/cm² nach 6 Wochen im Würfel) zu erwarten bei folgenden Flüssigkeitsgraden und folgendem Verhältnis von Sand und Kies:

Tabelle 12.

Zement	I. Erdfeucht 2—4 cm Setzung		II. Weich 7—10 cm Setzung		III. Flüssig 15—20 cm Setzung		Korngrößen mm
	Sand	Kies	Sand	Kies	Sand	Kies	
1:	3,5	—	3,0	—	2,3	—	0—5
1:	3,0	3,1	2,6	2,8	1,9	2,3	0—20
1:	2,8	3,9	2,4	3,5	1,8	2,4	0—25
1:	2,7	4,6	2,4	4,0	1,7	3,4	0—40
1:	2,4	5,6	2,0	4,9	1,4	4,1	0—50

¹⁾ Beton und Eisen 1925, S. 211.

Die weitgehende Einführung der Setzprobe in den Vereinigten Staaten hat zur Folge gehabt, daß dort auch für den Betonbau Richttafeln geschaffen wurden, aus welchen, wenn nur die Korngröße und der gewünschte Flüssigkeitsgrad des Betongemisches, also das Setzmaß, bekannt ist, für jede gewünschte Festigkeit das notwendige Mischungsverhältnis ohne weiteres abgelesen werden kann. Die von Emperger auf deutsche Verhältnisse umgerechneten und in Beton und Eisen¹⁾ veröffentlichten Tafeln sind auf Seite 26, 27 wiedergegeben.

Zu bemerken ist, daß in Amerika die Festigkeitsprüfung des Betons in Zylinderform ($300 \times 150 \text{ mm } \varnothing$) große Verbreitung gefunden hat, und daß die obengenannten Zahlen an solchen Zylindern ermittelt wurden. Dennoch steht der Übertragung auf unsere Verhältnisse nichts im Wege. Die Herstellung von Betonzyklindern, die in Amerika in Pappformen schnell und billig angefertigt werden, wäre auch bei uns zu erwägen.

Fließprobe.

Ein anderes Verfahren, die Plastizität eines Betons zu bestimmen, ist die gleichfalls in Amerika übliche Fließprobe. Zu ihrer Durchführung dient ein Tisch, dessen Platte durch einfache Drehung einer Kurbel gehoben und fallen gelassen werden kann. (Hubhöhe 12,5 mm; Abb. 16.) Auf die Tischplatte kommt der zu prüfende Beton in eine konische Form, welche vor Beginn des Versuchs entfernt wird²⁾. Die Kurbel

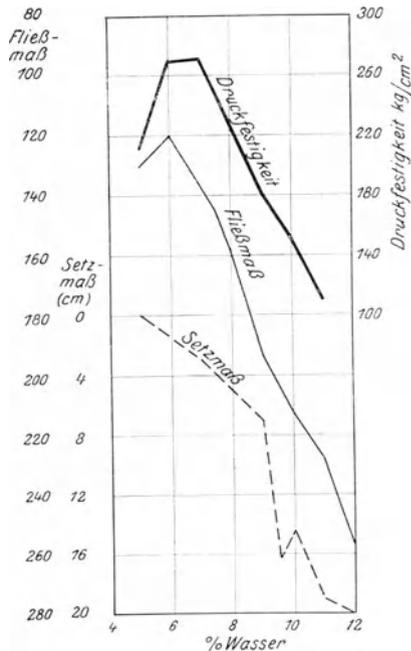


Abb. 15. Beziehung zwischen Wassergehalt, Fließmaß, Setzmaß und Druckfestigkeit zu Tabelle 10.



Abb. 16. Fließtisch zur Bestimmung der Plastizität des Betons.

¹⁾ Beton und Eisen 1925, S. 118.

²⁾ Übliche Maße der Form: oberer Durchmesser 20 cm, unterer Durchmesser 30 cm, Höhe 15 cm für grobe Mischungen; oberer Durchmesser 10 cm, unterer Durchmesser 15 cm, Höhe 7,5 cm für feine Mischungen und Zement.

wird darauf 15mal gedreht, wodurch der Tisch 15mal erschüttert wird. Dadurch fließt der Betonkuchen auseinander. Der endgültige Durchmesser des auseinandergelassenen Kuchens wird an verschiedenen Stellen gemessen, das Durchschnittsmaß gibt einen Anhalt für die Plastizität: je flüssiger der Beton, desto größer das Maß.

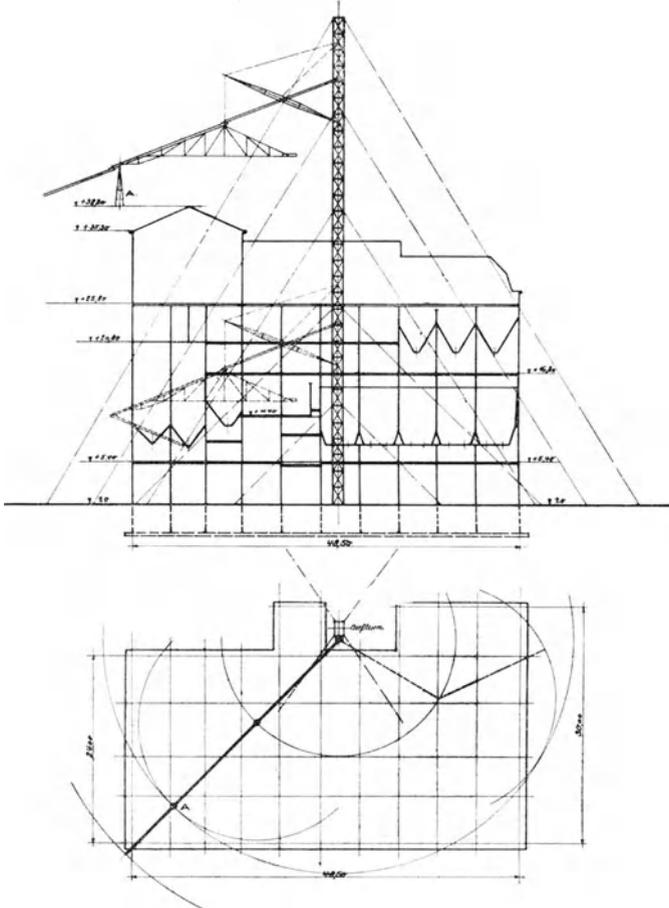


Abb. 17. Plan einer Gußbetonanlage.
(H. Butzer, Kohlenwäsche in Dortmund.)

Das Fließmaß errechnet sich $\frac{\text{neuer Durchmesser}}{\text{Anfangsdurchmesser}} \cdot 100$.

Einige Zahlen mit dazugehörigen Festigkeiten, die aus Versuchen des Verfassers stammen, finden sich in Tabelle 10 und Kurventafel Abb. 15.

c) Gußbeton (12–15 Gewichtsprozent Wasserzusatz) ist die neuzeitlichste Verarbeitungsweise von Beton, da sie nicht nur erhebliche

Lohnersparnisse, sondern auch eine Verkürzung der Bauzeit ermöglicht und eine Verbesserung der Qualität des Betons in bezug auf Gleichmäßigkeit und Dichte im Gefolge hat.

Die Gußbetonherstellung ist in Amerika seit Jahren für alle Zwecke vom Einfamilien-Häuserguß bis zum Riesenbauwerk in Anwendung, vermochte sich aber, trotzdem schon 1912 Franzius und Probst auf

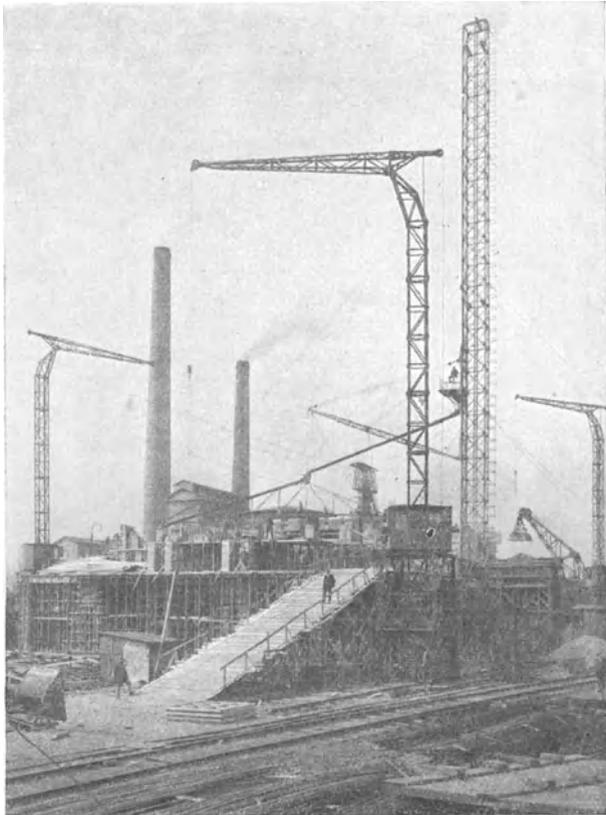


Abb. 18. Ansicht einer Gußbetonanlage.
(H. Butzer, Kohlenwäsche in Dortmund.)

ihre großen Vorteile hinwiesen, in Deutschland nicht einzuführen. Erst in jüngster Zeit sind mehrere große Firmen zur Erstellung von Bauwerken nach dem Gußverfahren übergegangen. Es ist zu hoffen, daß infolge der guten Erfahrungen bei diesen Bauwerken das Gußverfahren, das zweifellos die Bauweise der Zukunft darstellt, sich so schnell wie möglich allgemein in Deutschland einführt, zumal da durch das vorzügliche Werkchen von Probst und Bethke „Das Wesen des Gußbetons“ die notwendigen wissenschaftlichen Unterlagen für umfangreichere Anwendung des Gußbetons geschaffen sind.

Die wichtigste Eigenschaft des Gußbetons ist das „Fließen“. Um das „Fließen“ zu ermöglichen, benötigt er einen verhältnismäßig hohen Wasserzusatz. Dieser Wasserzusatz ist aber nicht allein maßgebend für die Fließfähigkeit, sondern auch hier ist die Kornzusammensetzung von der größten Bedeutung. Es muß für genügenden Anteil an feinerem Sand gesorgt werden. Allzu sandarme Betone fließen nicht oder benötigen allzuviel Wasser, um das Fließen zu ermöglichen. Hoher Wasserzusatz schädigt aber bekanntlich die Festigkeiten. In bezug auf Korngröße richtig zusammengesetzter Beton braucht zur Fließfähigkeit verblüffend wenig Wasser, gibt also trotz seiner Gießbarkeit gute Festigkeiten. Es muß versucht werden, mit dem geringsten Wasser-Zementfaktor¹⁾ eine noch gießbare Mischung zu erzielen²⁾.

Zweckmäßig ist es, wenn die Menge des Sandes im Zuschlagsmaterial rund 40% (bis 7 mm) beträgt, da Mangel an Sand Entmischung im Gefolge hat. Sandüberschuß andererseits ist nachteilig, da sandreicher Beton viel Wasser zur Erreichung der Gießfähigkeit erfordert. Hierdurch und durch die allzu große Oberfläche des Sandüberschusses werden die Betonfestigkeiten bekanntlich erniedrigt. Bethke fand, daß auch für den Gußbeton die Einhaltung der Fuller-Kurve für die Kornzusammensetzung „sehr gute Resultate“ zeitigte (siehe S. 57). Kiessand mit etwas höherem Sandgehalt ergab bei dem Guß einer Kohlenwäsche mit Hochofenzement bei einem Setzmaß von 22 cm (siehe S. 24) sehr guten Beton³⁾. Ein Hinausgehen über einen Sandgehalt von 67% wird von H. Butzer für unbedingt unstatthaft gehalten⁴⁾.

Verteilungsweise des Gußbetons und Aufstellung des amerikanischen Insley-Gießturms von 63 m Höhe zeigen Abb. 17 und 18.

Bei dem abgebildeten Bau wurde nach durchschnittlich 4 Wochen, in eiligen Fällen nach 3 Wochen, entschalt; der Beton machte einen weitgehend monolithischen Eindruck ohne starke Ausprägung der lästigen und schädlichen Arbeitsfugen.

Eine bemerkenswerte Großausführung von Gußbeton ist auch der Bau des Don-Pedro-Dammes (Schwergewichtsspermauer) in Kalifornien, welche 200 000 m³ Beton fassen wird in einem Mischungsverhältnis: 1 Teil Zement, 3 Teile Sand, 6 Teile Kies von 1–6 cm Korngröße, 3 Teile Steinschlag von 6–35 cm Korngröße. Innen und außen werden 1,5 m starke Dichtungsschichten, etwas fetter 1 : 2 : 4 : 2, angebracht; Leistung 900 m³ Beton in 8 Stunden⁵⁾.

Die Leistungsfähigkeit des Gußbetonverfahrens übertrifft also, wie auch die folgenden Zahlen beweisen, weit diejenige der Stampfmethoden, sie beträgt⁶⁾:

1) Der Wasser-Zementfaktor $W = \frac{\text{Wasserzusatz}}{\text{Zementgehalt}}$ muß möglichst niedrig gehalten werden, da mit seinem Ansteigen die Festigkeit des Betons sinkt.

2) Bethke: Wesen des Gußbetons, S. 57. Berlin: Julius Springer 1924.

3) Firma H. Butzer, Dortmund.

4) „Anwendung von Gußbeton bei Industriebauten.“ Bautechn. Mitt. der Firma H. Butzer, Dortmund, 1. Jahrg., H. 5/6.

5) Beton u. Eisen 1925, S. 178.

6) Bethke: S. 2.

Tabelle 13.

	Land	Erforderliche Betonmasse m ³	Leistung in m ³ /St.
Hetch-Hetchy-Mauer	Amerika	365 000	125
St.-Antonio-Talsperre	Spanien	270 000	38
Barberine-Talsperre	Schweiz	150 000	32
Schleuse Geestemünde	Deutschland	70 000	50

Die Zahlen zeigen, daß die bei Errichtung von Gußbetonbauten zu lösende Hauptaufgabe die Organisation, d. h. die fristgemäße Aufstellung der Schalungen, Einbringen der Eisen usw. ist, denn für derartige Betonmassen, wie sie beim Gießen die Mischmaschinen liefern, muß auch Platz geschaffen werden, damit der Gießvorgang nicht unnötig unterbrochen wird¹⁾.

d) Spritzbeton. Dieser steht zwischen plastischem und Gußbeton. Vorteilhaft wirkt die große Gewalt, mit der die einzelnen Teile aufgeschleudert werden. Geeignete Mischung: nicht zu große Körner und nicht zu starke Abweichung in der Größe bei dichtester Lagerung und entsprechenden hohem Zementzusatz ist besonders wichtig; es wird dann ein billig und gleichmäßig zu verteiler, dabei dichter, fester und gleichmäßiger Beton erzielt. (Näheres siehe S. 13 u. 154.)

e) Preßbeton. Preßbeton wird vor allem verwendet zum Verschließen von Rissen, Hinterfüllen undichter Bauwerke, im Bergwerk zur Hintergießung von Schachtausmauerungen, für Dichtungszwecke und zur Erhaltung alter Bauwerke, deren Fundamente, beispielsweise durch Verfaulen der Pfahlroste infolge Senken des Grundwasserspiegels ins Wanken geraten sind. So wurde ein 23 m langer Riß in der Schleuse Dankersen durch Preßbeton einwandfrei geschlossen (Aug. Wolfsholz Preßzementbau A. G., Berlin W 9). Das Verfahren beruht auf Einpressen geeignet zusammengesetzter Zement-Sandbrühe unter hohem Druck und erlaubt völlige Ausfüllung aller Hohlräume mit der erhärtenden Masse in einer so einwandfreien und durchgreifenden Weise, wie sie bisher nicht möglich war; die Möglichkeit der Erhaltung von Bauwerken, die bisher nicht oder nur mit hohen Kosten zu retten waren, ist dadurch in verhältnismäßig einfacher Weise gegeben.

Zusammenfassung zu I. „Aufbau des Betons“.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß die hauptsächlichsten Eigenschaften des Betons von seinem Aufbau, also von Zuschlagsstoffen, Zement, Wasserzusatz und Verarbeitungsart abhängen, m. a. Worten: Für den Beton ist, wie beim einzelnen Menschen, das in ihm bei der Erzeugung gelegte Erbgut von ausschlaggebender Wichtigkeit. Trotzdem also nach abgeschlossenem Stampfvorgang die Möglichkeit der willkürlichen Beeinflussung von außen auf den Beton gering ist, hängt seine weitere Entwicklung zu recht erheblichem Teil von äußeren und inneren Einwirkungen ab, die sich teilweise nicht künstlich beein-

¹⁾ Siehe Carbotz, Dr. Georg: Massenförderung bei neueren Betongroßbauten. Tonind.-Zg. 1925, S. 195.

flüssen lassen, zum anderen Teil aber durch Maßnahmen bei der Herstellung gelenkt werden können. Da diese „Entwicklung“ des Betons für seine Güte und Lebensdauer von ausschlaggebender Bedeutung ist, sei sie im folgenden weiter ins einzelne gehend besprochen.

II. Einwirkungen auf frischen, nicht erhärteten Beton.

Auf den in die Schalung eingebrachten noch unabgebundenen Beton können verschiedene Einwirkungen sich geltend machen, und zwar zunächst solche von innen heraus, die sich herleiten aus Bestandteilen des Zuschlagsmaterials (z. B. Lehm), oder solche des Anmachwassers (z. B. Salzgehalt). Außerdem können auch äußere Einflüsse (Frost, Erschütterung) wirken. Beide Arten sollen in der gegebenen Reihenfolge besprochen werden.

Einwirkung von innen.

A. Physikalische Einwirkung.

1. Lehmgehalt des Sandes.

Meist wird der Einfluß des Lehmgehaltes rein physikalisch aufgefaßt, d. h. nur die Einwirkung des feinen Kornes in Rechnung gezogen. Die folgenden Ausführungen zeigen, daß der Lehm auch in den chemischen Erhärtungsvorgang einzugreifen vermag.

Lehmgehalt des Sandes wirkt immer herabsetzend auf die Festigkeiten des Betons, wenn Lehm oder Ton in dem Sand enthalten ist, welcher schon längere Zeit Wassereinwirkung ausgesetzt war. Der Grund für diese Tatsache ist der Gehalt des Tones an kolloiden Bestandteilen; diese stören den Erhärtungsprozeß des Zementes. Kolloide Bestandteile kommen aber nur in einem Lehm vor, welcher längere Zeit feucht gelegen hat, also plastisch geworden ist; durch Hitzeeinwirkung werden die Kolloide zerstört und vermögen sich bei Wasserzusatz nicht sofort wieder zu bilden. (Vgl. den Mauk- oder Faulprozeß in der Töpferei, dem der Ton vor der Verarbeitung unterworfen werden muß, um ihn „plastisch“, d. h. reich an Kolloiden zu machen.) Aus diesem Grund müssen lehmhaltige Sande, wenn sie auf ihre Brauchbarkeit als Betonsande geprüft werden sollen, im feuchten Urzustand verarbeitet werden.

Ein vorheriges Trocknen ist, wie Grün¹⁾ gezeigt hat, unzulässig, denn dies gibt falsche Ergebnisse, da durch das Trocknen die schädlichen Bestandteile des Lehmes in der Untersuchungsprobe zerstört und wesentlich höhere Festigkeiten gefunden werden, als sie je im Großen zu erhalten sind. Auch neuere Untersuchungen bewiesen das verhältnis-

¹⁾ Grün, R.: Über die Einwirkung von Verunreinigungen im Sand auf die Betonfestigkeit. Zentralbl. Bauverw. 1924, S. 4.

mäßig günstige Verhalten trockenen und das nachteilige feuchten Lehm¹⁾.

Die Untersuchung auf Brauchbarkeit ist bei allen lehmhaltigen Sanden durchzuführen. Stark lehmhaltige Sande sind auszuschneiden oder vor der Verarbeitung zu waschen. Eine einfache Vorprüfung auf den Lehmgehalt des Sandes ist das Einwerfen in klares Wasser und Umrühren. Je trüber das Wasser nach dem sofort vor sich gehenden Absetzen des Sandes wird, desto lehmhaltiger ist der Sand.

2. Schlammgehalt des Sandes.

Schlamm aus Sümpfen, Kanälen usw. stört infolge seiner kolloiden Natur den Abbindeprozeß noch bedeutend weitgehender als Lehm. Für solche schlammhaltigen Sande ist ein Waschen unbedingt nötig. Aber auch dieses vermag die häufig sehr fest haftenden schleimigen Schmutzteile nicht zu entfernen, erst durch scharfes Erhitzen werden sie zerstört. Da dieses in der Praxis ausgeschlossen ist, werden schlammstoffhaltige Sande am besten nicht benutzt.

Nachfolgende Tabelle gibt Aufschluß über die hier herrschenden Verhältnisse :

Tabelle 14. Verhalten schlammhaltiger Sande als Betonzuschlag (1 : 5 Gewichtsteile) mit Portlandzement. (Versuche des Verfassers.)

1. Im Urzustand. 2. Nach dem Waschen. 3. Nach dem Waschen und Erhitzen.

Sand	% Schlammgehalt nach Spillner ²⁾	1. Sand ungew.			2. Sand gewaschen			3. Sand gewaschen und scharf getr.			Festigkeitszunahme in % f. d. 3 Tg. — Festigkeiten
		3 Tg.	7 Tg.	28 Tg.	3 Tg.	7 Tg.	28 Tg.	3 Tg.	7 Tg.	28 Tg.	
A.	6,5	87	125	212	105	151	221	125	202	275	+ 43,5%
B.	9,4	102	138	239	113	191	254	157	253	340	+ 53,7%
C.	9,1	131	172	244	140	197	281	172	242	292	+ 37,0%
D.	3,7	128	208	248	142	219	286	157	214	275	+ 22,7%

Andere Verunreinigungen wirken ganz verschieden, z. B. Zuckerkörner vernichtend, Schieferbeimengungen festigkeitsmindernd. Beim Bau des Düsseldorfer Hafens wurde mit Petroleum durchtränkter Kiessand (von Petroleumtanks) verwendet, ohne daß eine Abnahme der Druckfestigkeit festgestellt worden wäre³⁾.

3. Traßzusatz.

Traßzusatz wird häufig dem Mörtel gegeben, um ihn dichter, elastischer und widerstandsfähiger gegen angreifende Salze zu machen. Wird der Traß als Ersatz des Zementes gerechnet, so erniedrigt er naturgemäß die Festigkeiten des Betons, da Traß nicht das gleiche Erhärtungsvermögen hat wie Zement, diesen also in bezug auf die Festigkeiten nicht vollwertig zu ersetzen vermag⁴⁾. Bei Zusatz des Trasses ohne Veränderung des Bindemittelgehaltes führt der Traßzusatz zu einer

¹⁾ May, Peter: Praktische Winke für Zement und Beton. Berlin 1925, S. 22.

²⁾ Organischer Schlamm aus städtischen Abwässern.

³⁾ May, Peter: Praktische Winke für Zement und Beton. Berlin 1925, S. 65.

⁴⁾ Burchartz, Prof.: Mitt. Materialpr.-Amt 1920, S. 174.

Erhöhung der Festigkeiten und Dichte¹⁾. Sollen einem Beton durch den Traßzusatz bessere Eigenschaften verliehen werden, ist also eine Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, Durchdringung oder Sulfatwasser beabsichtigt, so muß der Traß dem Zuschlag zugerechnet werden; dadurch erhöhen sich allerdings die Kosten. Es ist aber nicht angängig, einen höherwertigen Beton herzustellen bei gleichzeitiger Verbilligung durch Ersparnisse an Bindemittel, wie dies bei Ersatz eines Zementanteils durch Traß geschieht. Der Ersatz von Zement durch Traß führt stets zu geringeren Festigkeiten.

Die neuerdings behauptete Möglichkeit, daß Traß durch Steinmehl ersetzt werden könne, wird von Burchartz durch eingehende Versuche widerlegt²⁾.

Bei Ersatz des Bindemittels ist es zweckmäßig, nicht über $\frac{1}{3}$ des Bindemittels durch Traß zu ersetzen (Gewichtsteile). Bei Zusatz von Traß genügen zur Erhöhung der Dichte und der Elastizität etwa 10–15% des Bindemittelgehaltes als Zusatz. Ist erhöhte Beständigkeit gegen schädliche Salzwässer erforderlich, so sind bei Portlandzement-Beton 30%, bei Hochofenzement-Beton 15% des Bindemittelgehaltes ausreichend.

Im letzteren Falle ist der höhere Zusatz bei Portlandzement-Beton notwendig, um den beim Abbinden des Portlandzementes freiwerdenden Kalk zu binden.

Auch Si-Stoff kann an Stelle des Trasses zur Erhöhung der Dichte und Salzwasser- und Säurebeständigkeit des Betons verwendet werden³⁾.

B. Chemische Einwirkung.

1. Gehalt des Anmachwassers an natürlichen Bestandteilen.

Im Anmachwasser können naturgenmäßig Salze, Säuren oder Basen gelöst sein, die dann den Abbindevorgang in ganz verschiedener Weise beeinflussen. Erwünscht ist ein Gehalt des Anmachwassers an gelösten Bestandteilen, der den Gehalt eines normalen Brunnenwassers übersteigt, nicht, da diese den Abbindevorgang ungünstig beeinflussen können, zum mindesten aber die Sachlage komplizieren. In Betracht kommen solche außergewöhnlichen Bestandteile des Anmachwassers vor allem am Meer (Meerwasser), in chemischen und Zuckerfabriken, Bergwerken usw. und in vulkanischen Gegenden. Die hauptsächlich möglichen Verunreinigungen seien kurz besprochen.

1. Säuren. Alle Säuren (Salzsäure, Schwefelsäure, Essigsäure) stören den Abbindevorgang empfindlich, und deshalb sind sauer reagierende Wässer (siehe S. 59, Anm.) zu vermeiden, im Notfall müssen sie durch Einwerfen von Kalk neutralisiert werden.

2. Basen. (Natronlauge, Kalkwasser usw.) Diese künden sich durch

¹⁾ Grün, Rich.: Traßzusatz zur Erhöhung der Salzwasserbeständigkeit des Betons. Zement 1921, S. 474; 1922, S. 149.

²⁾ Burchartz, Prof.: Zement 1925, S. 336.

³⁾ Grün, R.: 1921, D. R. P. 362 023. — Kaiser, Prof., Darmstadt: Si-Stoff als Zement- und Kalkzusatz. Tonind.-Zg. 1925, S. 208.

Blaufärbung von rotem Lackmuspapier an. Sie sind unschädlich, können aber nachteilig wirken durch Beschleunigung des Abbindevorganges, so daß der Zement bei ihrer Gegenwart zum Schnellbinder wird.

3. Salze. Sauer reagierende Salze sind schädlich; alkalisch oder neutral reagierende Salze meist nicht, auch dann nicht, wenn sie den abgebundenen Beton bei längerer Einwirkung zu zerstören vermögen, da sie bei dem Abbindevorgang ihrerseits vom Beton vernichtet werden. Auch sie vermögen allerdings die Abbindezeit zu verändern. Vorversuche sind deshalb am Platze. Mit Meerwasser z. B., ebenso mit Schachtlaugen aus Kalibergwerken, welche bekanntlich den erhärteten Beton zu zerstören vermögen, kann in vielen Fällen unbedenklich der Beton angemacht werden, bisweilen wird sogar seine Widerstandsfähigkeit gegen die gleiche, für den erhärteten Beton schädliche Flüssigkeit erhöht. Bei Eisenbeton sind allzu konzentrierte Salzlösungen als Anmachflüssigkeiten zu vermeiden, da sie zum Rosten der Eiseneinlagen führen können.

4. Organische Verbindungen setzen meist die Festigkeit herab, werden aber bisweilen zur Erhöhung der Dichte zugesetzt.

Zucker ist äußerst gefährlich, ganz geringe kaum zu schmeckende gelöste Mengen vernichten die Erhärtungsfähigkeit. Nach Versuchen von Burchartz¹⁾ haben sehr geringe Zuckermengen im Anmachwasser 0,1% günstigen Einfluß auf die Festigkeiten; bei 0,25 proz. Zuckermenge ergaben die Eisenportlandzemente und Hochofenzemente noch höhere Festigkeiten als die gleichzeitig mit Wasser angemachten; bei höherem Zuckergehalt wurden zunächst die Anfangsfestigkeiten ungünstig beeinflusst, und es trat mit steigendem Zuckerzusatz wachsendes Treiben auf.

Bestätigt werden obige Angaben durch Untersuchungen, die im Materialprüfungsamt des Lewis-Inst. in Chicago an gegen 6000 Festigkeitsproben zur Untersuchung der Einwirkung verschieden verunreinigter Wässer auf die Festigkeit von Portlandzementbeton bis 2 $\frac{1}{2}$ Jahre durchgeführt wurden. Es kamen 68 Wassersorten (Meer, Laugen, Sumpf-, Bergwerks-, Mineralwasser, Kochsalzlösung, städtisches und gewerbliches Abwasser) zur Prüfung. (Zucker nicht). In bemerkenswertem Maße schädlich (Herabsetzung der Festigkeiten nach 28 Tagen auf unter 85%) waren nur saure Wässer, kohlen-saure Mineralwässer, Abwässer aus Farbenfabriken und Gerbereien und Wässer mit über 5% Kochsalz. Verhältnismäßig harmlos erwiesen sich übelriechende Wässer aus Schlachthöfen, Sümpfen, Kohlen- und Gipsgruben, Gas- und Getreidewäschen²⁾.

2. Künstliche Zusätze zum Anmachwasser.

Öl wird in feinsten Verteilung bisweilen zugesetzt, um den Beton wasserdicht zu machen. Ölzusatz drückt die Festigkeit herab; bei genügend feiner Verteilung ist dieser Festigkeitsverlust aber gering.

¹⁾ Burchartz, Prof., und V. Rodt: Einfluß von Zucker auf das Abbinden und Erhärten von Zement. Zement 1924, S. 509.

²⁾ Duff A. Abrams: Concrete, Juni 1924; Auszug: Bauing. 1925, S. 153.

Seife wird angewandt an Stelle von Öl, da sie ja ein Alkali(Natrium)salz der Fettsäuren ist; auch sie setzt die Festigkeiten herab, ihre Anwendung ist, da der Vorteil gering und bestritten ist, selten, meist werden Spezialpräparate verwendet (siehe Schutzmittel).

Chlorkalzium wird zugesetzt zum Ölfestmachen des Betons. Beliebte ist das Clorkalzium zum Betonieren bei Frost, da es die Abbindezeit beschleunigt, die Festigkeiten erhöht und bis zu einem gewissen Grade das Gefrieren verhindert. Verschiedene zum Betonieren bei Frost in den Handel kommende Präparate mit Phantasienamen enthalten als wirksamen Bestandteil Chlorkalzium.

O. Graf hat festgestellt, daß die Abbindezeiten verschiedener Zemente, die bei 18° innerhalb 5—12 Stunden abbanden, bei 1° auf 15—80 Stunden verlängert wurden. Nur die Abbindezeit von Tonerdezement wurde wenig beeinflußt. Bei Verwendung von Chlorkalziumlösung von 5 und 10° B. wurden bei — 2° die Abbindezeiten wieder kurz, aber in ganz verschiedener Weise, so daß Graf zu dem Schluß kommt: „Die Größe des Chlorcalciumzusatzes, der die jeweils erforderliche Wirkung einleitet, muß für jeden Zement besonders festgestellt werden¹⁾.“

Zu hoher Chlorkalziumzusatz ruft Treiben hervor²⁾.

Abrams stellte in bezug auf Festigkeiten bessere Wirkung des Chlorkalziumzusatzes bei Luft- als bei Wasserlagerung fest³⁾.

Soda wird gleichfalls bei Frost oder bei dringenden Arbeiten (Wasserabdichtung) zugesetzt. Es beschleunigt die Abbindezeit, erniedrigt aber nach Versuchen des Verfassers die Festigkeiten hauptsächlich bei hohem Zusatz bedeutend, ist jedoch für die Eiseneinlagen unschädlich, da es kein Rosten herbeiführt.

Wasserglas wird gleichfalls bisweilen zur Beschleunigung des Abbindens dem Anmachwasser zugesetzt. Haegermann fand nur geringe beschleunigende Wirkung, dagegen Sinken der Festigkeiten, besonders in kombinierter Lagerung:

von 564 kg/qcm auf	432 kg	bei	1/4%	Zusatz zum Wasser
	„ 376 „	„	2%	„ „ „

Nach 2, 3 und 7 Tagen waren die Festigkeitsvermindungen geringer⁴⁾.

Kochsalz, das gleichfalls als Zusatzmittel benutzt wird, ist wegen seiner geringen Gefrierpunktserniedrigung bei gleichzeitiger Herabsetzung der Festigkeit unzweckmäßig.

3. Salzgehalt der Zuschläge.

Manche Zuschläge enthalten lösliche Salze, so beispielsweise Meeresande Salzbeimischungen. Diese sind unschädlich; bedenklicher ist der Sulfatgehalt von Schlacken aller Art, welche bei Verbrennungsvorgängen

¹⁾ Graf, Otto: Erhärtungsbeginn und Bindezeit verschiedener Zemente bei niedriger Temperatur ohne und mit Chlorkalzium. Zement 1925, S. 213.

²⁾ Burchartz, Prof.: Mitt. Materialpr.-Amt 1910, S. 338. Kühl, Prof., u. Ulrich: Vom Chlortreiben. Zement 1925, S. 859.

³⁾ Abrams: Calciumchloride as an Admixture in Concrete. Proceedings A. S. T. M. 1924, S. 781.

⁴⁾ Haegermann, Dr., Karlshorst: Über die Tätigkeit des Vereinslaboratoriums 1924. Zement 1925, S. 574.

entstanden sind (also nicht Hochofenschlacke). Grün stellte gefährliche Gehalte verschiedener Koksaschen an Gips fest, welche zu Treiben führen können, und empfiehlt, Schlacken mit einem Gehalt an löslichen Salzen über 1,5% vor Verwendung auf Treibeigenschaften zu prüfen¹⁾.

Koksaschen und Kohlschlacken sind deshalb vor der Verwendung zu untersuchen, evtl. durch längeres Lagernlassen im Regen auszulaugen.

Nitzsche fand bedenkliche Raumvergrößerung und empfiehlt bei über 1% Gips und 0,2% löslichen Sulfaten die Verwendung von Hochofenzement²⁾.

Bei Verarbeitung von Posidonienschieferschlacke, die erhebliche Mengen Gips enthält, mit Portlandzement wurden starke Treiberscheinungen festgestellt, die zur Vernichtung eines großen Gebäudes führten. Bei Verwendung von Romanzement und Hochofenzement blieben die Treiberscheinungen aus (Erfahrungen des Verfassers).

Einwirkung von außen.

Wesentlich wichtiger als die Einwirkungen von innen sind die Einwirkungen auf den noch nicht erhärteten Beton von außen, da sie vielseitiger sind und häufiger auftreten. Es kommen in Betracht: als physikalische Einwirkungen:

Frost, Hitze, Austrocknung, Erschütterung und Druck,

als chemische Einwirkungen:

diejenigen der Luft und des Grundwassers.

A. Physikalische Einwirkungen.

1. Frost.

Bei Frost kann Beton nicht erhärten. Gefriert also ein nicht erhärteter Beton, so bleibt die Erhärtung aus und setzt erst wieder ein, nachdem der Frost aufgehört hat. Einem gefrorenen Beton ist genügend reichliche Zeit zum Auftauen zu lassen, da der Frost unter Umständen weit in das Innere des Beton hineingedrungen sein kann, und der Auftauungsprozeß hauptsächlich bei großen Massen äußerst langsam verläuft. Der aufgetaute Beton ist noch nicht erhärtet, da die Erhärtung während der ganzen Frostperiode geruht hat. Täuschungen sind also leicht möglich; mit Zeit darf hier nicht gespart werden. Die Festigkeiten werden durch das Gefrieren leicht geschädigt, hauptsächlich wenn das Abbinden schon im Gang war, als der Frost einsetzte, oder wenn der Frost sehr stark war, da dann die auftreibende Wirkung des Frostes das Betongefüge lockert. Abblätterungen der oberen Schichten sind dann häufig.

Auch bei Tonerdezement wurde durch Frost eine, wenn auch geringere Verzögerung der Erhärtung beobachtet. Da aber Tonerdezement beim Abbinden in den ersten 24 Stunden eine verhältnismäßig große Wärme-

¹⁾ Grün, R.: Schlacken als Betonzuschläge. Zement 1919, S. 441.

²⁾ Eurich, W. u. H., u. H. Nitzsche (Techn. Hochschule Darmstadt): Die Bedeutung der schwefelsauren Salze der Kohlschlacken für die Beständigkeit der Schlackebetonzeugnisse. Zement 1925, S. 390.

menge entwickelt, wird nur starker Frost diese Verzögerung herbeiführen, da bei schwachem Frost die freiwerdende Abbindewärme das Absinken der Temperatur des Betons unter 0° zunächst verhindert, vorausgesetzt, daß die Zuschlagsstoffe nicht sehr kalt waren. Auch aus Portlandzement wird beim Erhärten Wärme frei; die Wärmemenge ist aber geringer und tritt erst nach einigen Tagen auf, ihre Wirkung ist deshalb weniger günstig in obigem Sinn. Der Tonerdezement ist außer den Vorteilen, die ihm die auftretende Abbindewärme gewährt, an sich auch während des Abbindens unempfindlicher gegen Frost.

Mit Chlorkalzium oder Kochsalz u. dgl. versetztes Anmachwasser darf nach amerikanischen Forschungen für Tonerdezement nicht verwendet werden ¹⁾.

Abhilfe bietet das Anwärmen der Zuschlagsstoffe und des Wassers oder Chlorkalziumzusatz u. dgl. zum Anmachwasser bei P.Z. oder H.O.Z., Bedeckthalten des Bauwerkes mit Strohmatten.

Anwärmen des Anmachwassers allein hat wenig Erfolg, da die verwendete Wassermenge und also die dem Beton zugeführte Wärmemenge nur gering ist. Zweckmäßig ist es, bei gelindem Frost, die Zuschläge und den Zement in geheizten Schuppen (mindestens $+10^{\circ}$) längere Zeit zu lagern. Bei stärkerem Frost ist Anwärmung der Zuschlagsstoffe auf beheizten Blechen, Verwenden hölzerner Schiebkarren usw., heißes Anmachwasser mit Chlorkalziumzusatz, der bezgl. Höhe und Einwirkung an Ort und Stelle auszuprobieren ist, und sofortiges Bedecken des Betons mit Strohmatten unumgänglich ²⁾.

Zu wenig beachtet wird meist die Tatsache, daß Temperaturen über 0° bis 10° die Erhärtung um so stärker verlangsamen, je näher sie bei 0° liegen. A. Gessner stellte bei Erhärtung von Beton bei 0 bis $+5^{\circ}$ Erhärtungsverzögerungen fest, welche zu Festigkeiten führten, die bei hochfestem Zement nicht einmal die Hälfte, bei normalem Portlandzement nur ein Drittel derjenigen Festigkeiten ergaben, die bei Temperaturen von $15-20^{\circ}$ erreicht wurden; demnach sollen „bei Eintritt kalter Witterung in ähnlicher Weise wie bei Frosttagen für je 2 Tage, deren mittlere Tagestemperatur unter $+5^{\circ}$ liegt, ein ganzer Tag den üblichen Ausschaltungsfristen zugezählt werden“ ³⁾. Bei „vollen“ Frosttagen (Temperatur unter 0°) ist für jeden einzelnen Frosttag den Ausschaltungsfristen 1 Tag zuzuzählen.

Wird Beton aus hochfestem Zement, wenigstens in den ersten 48 Stunden, Gelegenheit zu normalem Erhärten gegeben, so vermag auch starker Frost ihn nicht mehr erheblich zu schädigen ⁴⁾.

2. Hitze.

Feuchte Hitze, soweit sie auch dem Menschen erträglich ist, schadet nichts, um so mehr aber trockene Hitze, wenn der Beton nicht gegen

¹⁾ Engg. 1924, 393; Auszug: Bauing. 1925, S. 153.

²⁾ Quietmeyer, F.: Über das Betonieren bei Frost. Grund- u. Gerüstbau 1925, S. 61.

³⁾ Gessner, Prof. A.: Über die Erhärtung von Beton bei niedrigen Temperaturen über dem Nullpunkt. Beton u. Eisen 1925, S. 161.

⁴⁾ Gessner, Zement 1925, S. 598.

Austrocknung geschützt ist. Der Schutz muß sehr sorgfältig vorgenommen werden, da der Beton leicht bei Hitzeeinwirkung sein Wasser verliert und dann, ohne zu erhärten, austrocknet. Die Festigkeitsabfälle können außerordentlich groß sein, auch Schwindrisse treten auf. Die Nacherhärtung eines während oder kurz nach dem Abbinden austrocknenden Betons durch spätere Befeuchtung ist gering, der Schaden also schwer gutzumachen. Sonnenbestrahlung muß demnach unbedingt von frischem Beton durch nasse Sandauflage u. dgl. abgehalten werden. Starke Bestrahlung führt nicht nur zu geringen Festigkeiten, sondern auch zu ziemlich tief gehenden Abblätterungen und Mürbwerden.

3. Wasser-

überflutung sofort nach Einbringen schädigt Beton immer, indem sie die Festigkeiten vermindert. Unter Umständen kann sogar der Zement herausgeschwemmt werden. Der Wasserzutritt muß deshalb verhindert werden, bis Erhärtung festgestellt ist.

Um über die noch recht ungeklärten Verhältnisse einen Überblick zu gewinnen, wurden Normkörper 1 : 5 vor dem Erhärten, verschieden lange Zeiten nach dem Einschlagen (die Körper wurden, um den Verhältnissen der Praxis näher zu kommen, nur mit 20 Hammerschlägen von Hand eingeschlagen) in Wasser gebracht und zur Hälfte überflutet. Es ergaben sich als Druckfestigkeiten nach 3 Tagen (Versuche des Verfassers):

Tabelle 15. Einwirkung von Wasserüberflutung auf frisch eingestampften Beton.

(Die Körper [1:5 Opt.] wurden V-Stunden nach der Anfertigung in Wasser gesetzt und nach 3 Tagen geprüft.)

V =		1	2	3	4	5	24 Stunden
P.Z.	Df.	8	8	11	13	n. a.	n. a. kg/qcm
H.O.Z.	Bn.	20	20	26	26	30	42 „
H.O.Z.	Mt.	10	15	15	18	18	25 „

Bei Anfertigung von Schüttbodyen unter Wasser ergeben sich naturgemäß noch geringere Festigkeiten, da nicht nur die eben beschriebene Schädigung durch Überfluten auftritt, sondern auch jede Stampfarbeit wegfällt und die Verdichtung durch das eigene Gewicht des Betons sehr zurücktritt, da der Auftrieb des Wassers das zur Wirkung kommen des Betongewichtes größtenteils verhindert. Es muß mit Herabsetzung der Betonfestigkeit bis zu einem Drittel eines an Land eingefüllten Betons gerechnet werden¹⁾.

Beton, der infolge stärkerer Stampfarbeit und höheren Zementzusatzes dichter war als derjenige der obigen Tabelle, wurde durch Einbringen in Wasser 4 Stunden nach dem Anfertigen nicht oder kaum geschädigt (siehe S. 43, Tab. 17).

4. Erschütterung

ist ohne Nachteil, wenn sie einsetzt, bevor das Abbinden zu weit fortgeschritten ist. Sie verbessert sogar den Beton in erheblichem Maß,

¹⁾ Versuche des Verfassers.

da sie eine dichtere Lagerung der Zuschlagsmittel herbeiführt und den Zement weitgehender aufschließt. Mit Transportbeton, d. h. Beton, der fabrikmäßig im Betonwerk hergestellt und in fertig gemischtem und angefeuchtetem Zustand im Auto auf den Bauplatz gefahren wird, sind gute Erfahrungen gemacht worden, da er gleichmäßig gut gemischt und besonders dicht und billig ist (S. 21). In Amerika ist Transportbeton in weiten Kreisen und in großem Umfange eingeführt. Es wäre zu wünschen, daß sich auch in Deutschland diese vorzügliche Verarbeitungsart mehr einbürgerte. Zweifellos verdankt der Transportbeton einen guten Teil seiner vorzüglichen Eigenschaften der Erschütterung auf dem Transport. Natürlich darf die Erschütterung nicht unbegrenzte Zeit sich fortsetzen, sonst wird sie schädlich.

Bestätigt wurden diese theoretischen Überlegungen und praktischen Erfahrungen durch Versuche von Duff A. Abrams ¹⁾. Nach deren Ergebnissen hatten Vibrationen keinen oder nur geringen Einfluß auf die Festigkeiten vorher gestampfter Betonkörper, erhöhten aber die Festigkeiten einfach eingefüllten Betons erheblich bis zu den Festigkeiten gestampften Betons.

Auch stoßweise Erschütterung erwies sich, allerdings nur bei trockenen Mischungen, als nützlich bei ganz frischem Beton. Bereits 2—4 Stunden alter Beton wurde durch die stoßweise Erschütterung in trockener und nasser Mischung verbessert.

Die Zweckmäßigkeit der Arbeitsweise, durch Erschütterungen der Schalungswände den eingefüllten Beton zum „Setzen“ und „Wasserabgaben“ zu veranlassen, ist dadurch erwiesen.

5. Druck

ist von Vorteil, da er höhere Festigkeiten im Gefolge hat infolge des dichteren Gefüges und des Wasseraustrittes, die er herbeiführt. Bei großen Bauwerken, die rasch hochgeführt werden, wird der Druck, der von den überlagernden Betonmassen auf den darunterliegenden noch nicht erhärteten Beton ausgeübt wird, zweifellos von günstiger Wirkung sein ²⁾.

B. Chemische Einflüsse

1. der Luft.

Der chemische Einfluß der Luft als solcher ist gering. Von den in normaler Luft befindlichen Gasen ist Kohlensäure das einzige, welches auf den Beton einzuwirken vermag, und zwar wirkt es nicht schädlich, da Lösungsvorgänge, wie sie bei kohlensäurehaltigem Wasser eintreten können, ausgeschlossen sind.

Körper, welche einerseits in mit Kohlensäure angereicherter Atmo-

¹⁾ „Einfluß von Vibrationen, stoßweisen Erschütterungen und Druck auf frischen Beton.“ Bauing. 1925, S. 345.

²⁾ Grün, R.: Festigkeitszunahme von Beton bei Erhärtung unter Belastung. Zement 1921, S. 597. — Duff A. Abrams: Einfluß von Druck auf frischen Beton. Bauing. 1925, S. 345.

sphäre, andererseits in gewöhnlicher Luft erhärteten, zeigten bei Versuchen des Verfassers nach 3 Tagen folgende Unterschiede:

Als schädlich wirkende Beimengungen der Luft sei Schwefeldioxyd (d. i. die schweflige Säure der Rauchgase) und Chlorgenannt. Diese Gase werden aber

Tabelle 16.

	Druckfestigkeit nach 3 Tagen	
	in gewöhnlicher Luft erhärtet	in CO ₂ -Atm. erhärtet
Portlandzement Df.	208	187
Portlandzement Ae. (Mittel aus 3 Körpern)	202	204

kaum zur Einwirkung auf abbindenden Beton kommen, da dieser, wenn solche Gase auftreten sollten, stets noch in der Schalung und somit eine Einwirkungsmöglichkeit kaum gegeben ist.

2. des Grundwassers.

Sulfathaltige Grundwässer, welche abgebundenem Beton schweren Schaden zufügen können, sind für den abbindenden Beton im allgemeinen nicht schädlicher als normale Grundwässer. Auch die schädliche Einwirkung höher konzentrierter Bergwerkswässer scheint verhältnismäßig gering zu sein.

Körper aus Portlandzement und Hochofenzement, die 4 Stunden nach dem Einschlagen in 10 proz. Magnesiumsulfatlösung gesetzt wurden und in dieser erhärteten, zeigten folgende Festigkeiten (Versuche des Verfassers):

Tabelle 17.

	Abbindezeit Ende	Druck nach 3 Tagen		
		normal erhärtet	nach 4 Stunden in 10% Mg SO ₄	nach 4 Stunden in Wasser
P.Z. P.	3 St.	198	220	231
P.Z. K.	6 „	183	232	220
H.O.Z. A.	6 „	165	198	190
H.O.Z. R.	8 „	206	185	186

Mittel aus 3 Körpern. Eine geringe Herabsetzung der Festigkeit durch die Überflutung ist nur aufgetreten bei dem Zement mit der längsten Abbindezeit.

Trotz dieser verhältnismäßig geringen Einwirkung der Salzlösungen ist Wasserzutritt als solcher während des Abbindevorganges möglichst zu vermeiden, denn die schädliche Einwirkung des Wassers kann durch saure oder organische Bestandteile bis zur Zerstörung des Betons erhöht werden. Im Industriegebiet wurden im Mischungsverhältnis 1 : 5 aus einem der besten deutschen Portlandzemente hergestellte Pfeiler, die 2 Stunden nach der Herstellung teilweise überflutet wurden, an den mit Wasser in Berührung gewesenen Sockeln völlig zerstört, weil das Wasser geringe Mengen eines schwefelhaltigen organischen Körpers enthielt, die wahrscheinlich aus einer benachbarten chemischen Fabrik stammten¹⁾. (Siehe auch S. 41, Tab. 15.)

Dem Beton ist, wenn irgend durchführbar, vor dem Überfluten Zeit zum Erhärten zu lassen.

¹⁾ Grün, R.: Eine Zerstörung frischen Betons durch salzhaltiges Wasser. Bauing. 1925.

Zusammenfassung zu „II: Einwirkungen auf frischen, nicht erhärteten Beton“.

Die Einwirkungsmöglichkeiten auf frischen, an Ort und Stelle verbrachten Beton vor seiner Erhärtung sind verhältnismäßig gering, zumal die Zeit von der Einbringung in die Schalung bis zum Erhärten mit 12—16 Stunden kurz ist. Am wichtigsten ist die Beeinflussung der Abbindezeit durch Zusätze zum Anmachwasser und der Einfluß der Temperatur auf die Erhärtung (Frost).

Wichtiger als alle die genannten Einflüsse sind im allgemeinen die Einwirkungen von außen auf den erhärteten Beton, da diese längere Zeit, Jahre und Jahrzehnte, einzuwirken vermögen.

III. Einwirkungen auf abgebundenen und erhärteten Beton.

Es ist streng zwischen Abbinden und Erhärten zu unterscheiden. Das Abbinden setzt eine oder mehrere Stunden nach dem Anmachen ein und führt dazu, daß der Mörtel seine Plastizität verliert und erstarrt. Der erstarrte, also abgebundene Mörtel ist aber noch nicht hart, darf also noch nicht beansprucht werden. Bei einem normalen Zement beginnt die Abbindezeit nach etwa 1—3 Stunden, d. h. der Beton fängt an zu erstarren. Nach etwa 6—7 Stunden ist die Erstarrung vollkommen geworden und durch die ganze Masse ausgedehnt (Ende der Abbindezeit). Nach dieser Zeit erst treten die ersten Anzeichen von Erhärtungen ein; nach 24 Stunden ist ein normaler Beton bereits erhärtet, d. h. er setzt einem eindringenden Meißel erheblichen Widerstand entgegen, ist steinartig und klingt beim Anschlagen.

Die Verhältnisse sind also die folgenden:

1. Der unabgebundene Beton (die ersten 0—3 Stunden) ist gegen Stoß, Schlag, Erschütterung unempfindlich, da er nachgibt (Breiform).

2. Der abgebundene, aber noch nicht erhärtete Beton (etwa 3—18 Stunden) hat die Plastizität des unabgebundenen Betons verloren, seine Empfindlichkeit ist außerordentlich groß, da dieser zwar erstarrte, aber noch nicht erhärtete Beton mechanische Beanspruchungen nicht zu überstehen vermag. Er kann mit einem Gelatinepudding verglichen werden, welcher zwar im Gegensatz zu der noch warmen flüssigen Puddingmasse seine Form zu wahren imstande ist, der aber leicht zerschnitten werden kann, ohne nach erfolgter Zerschneidung die Öffnung wieder zu schließen (Puddingbeschaffenheit).

3. Der erhärtete — also steinähnlich gewordene Beton — (bei gutem Beton kann schon 24 Stunden nach dem Anmachen von Erhärtung gesprochen werden) hat eine gegen mechanische Formänderung schon recht erhebliche Widerstandskraft; diese wächst dauernd mit der fortschreitenden Erhärtung, und zwar am Anfang der Erhärtungszeit schneller als gegen das Ende zu.

Auch die Widerstandskraft gegen andere physikalische Einflüsse (Frost, Hitze, Austrocknung), sowie gegen chemische Beanspruchung (Salzwasser, Säure) ist nach erfolgter Erhärtung stark gewachsen, dennoch können diese Faktoren Schädigungen herbeiführen, besonders wenn sie besonders intensiver Natur sind (starke Kälte, konzentrierte Lösungen) oder lange Zeit hindurch einzuwirken vermögen (Einwirkung sulfathaltigen Grundwassers usf.).

Die verschiedenen Einwirkungsarten sind wieder im Nachfolgenden der Reihe nach besprochen, und zwar zunächst die physikalischen Einwirkungen:

Frost, Hitze und Austrocknung, Feuer.

Erschütterung, Zug und Druck, Stoß und Schlag, Abnutzbarkeit, Elektrizität, dann die ungleich wichtigeren chemischen Einflüsse der

Basen, Säuren, Salze und organischen Verbindungen.

Schutzmaßnahmen sind jeder Besprechung angefügt, die im Handel vorkommenden Schutzmittel sind in einem besonderen Kapitel behandelt.

A. Physikalische Einwirkungen.

Temperatureinflüsse.

1. Frost.

Einen wirklich erhärteten Beton vermag Frost nicht mehr zu schädigen; lediglich die Weitererhärtung wird durch Sinken der Temperatur unter 0° verhindert. Als eine Schädigung ist dieses Zurückhalten aber nicht zu betrachten, es muß nur bei der Berechnung der Ausschaltungsfristen und der voraussichtlichen Festigkeit des Betons berücksichtigt werden (s. S. 39 u. 40).

Beton, bei welchem infolge niederer Temperatur die Erhärtung noch mangelhaft ist, kann durch starken Frost geschädigt werden, indem das eingeschlossene Wasser gefriert und zu Absprengungen führt. Deshalb ist auch junger Beton vor starkem Frost zu schützen.

Niedere Temperaturen, welche nicht unter 0° sinken, verzögern gleichfalls die Erhärtung. A. Gessner stellte fest, daß beim Erhärten von $0-5^\circ$ noch nicht die Hälfte der Festigkeiten erreicht werden wie bei Erhärten bei $15-20^\circ$; und zwar bei gewöhnlichem und bei hochwertigem Portlandzement¹⁾.

Es wurden gefunden:

Beim Erhärten bei	0—5°	15—20°
	nach 5 Tagen	
für hochfesten Portlandzement	92 kg/qcm	207 kg/qcm
für gewöhnlichen Portlandzement	26	74

Nach 14 Tagen waren die Unterschiede geringer, der Portlandzement hatte

bei 0—5°	bei 15—20°
81 kg je qcm	115 kg je qcm

¹⁾ Gessner, A., Prag: Beton u. Eisen 1925, S. 161.

Druckfestigkeit; die niedrigen Temperaturen bis 0° herab schädigen also besonders die Anfangsfestigkeit.

Auch Haegermann stellte gegenüber bei 20° gelagerten Körpern an solchen, die bei $14,5^\circ$ gelagert waren, Zurückbleiben um 25% nach 2 Tagen und 12% nach 3 Tagen fest. Zwischen anderen Betonproben, die bei $18-20^\circ$ gelagert waren und solchen, welche $5-7^\circ$ (mit Nachtfrost) ausgesetzt waren, zeigte sich nach 30 Tagen Unterschiede von 30—66%. Tonerdezement verhielt sich günstiger¹⁾.

Aus Festigkeitszahlen des Laboratoriums darf also nur mit Vorsicht auf die Festigkeit des Betons im Freien geschlossen werden.

2. Hitze

vermag gut erhärteten Beton nur bei hohen Temperaturgraden zu schädigen.

Junger Beton (unter 4 Wochen) muß entweder gegen Hitze geschützt werden, oder die Austrocknung ist zu verhindern, da die Schädigung dadurch eintritt, daß dem Beton durch die Hitzeeinwirkung das zum Weitererhärten nötige Wasser entzogen und so diese verhindert wird. Bei älterem Betonputz kann trockne Hitze noch Schwindrisse herbeiführen.

Bei Erhitzung von Zugkörpern während 120 Stunden im elektrischen Ofen zeigten sich erhebliche Festigkeitsabfälle schon bei 150° . Die verschiedenen Zementarten verhielten sich ähnlich; die Festigkeiten bei einem Portlandzement, der sich am besten verhalten hatte, betragen:

Erhitzt 120 Stunden auf	Anfangsfestigkeit: 25 kg/qcm	Erhitzt 120 Stunden auf	Anfangsfestigkeit: 25 kg/qcm
150°	15 kg/qcm	250°	7 kg/qcm
200°	14 „	300°	9 „

Es betrug der Abfall bei 5tägiger Erhitzung auf 150° 40—65%; bei 14tägiger Erhitzung auf 600° waren alle Körper völlig zermürbt²⁾. Es ist anzunehmen, daß bei größeren Betonmassen, wie sie allein in der Praxis vorkommen, die Schädigungen vermutlich geringer sind.

3. Feuerwirkung.

Von größter Wichtigkeit ist bei Einwirkung höherer Hitzegrade das Zuschlagsmaterial, welches ja den Hauptbestandteil des Betons ausmacht, denn natürlich können Zuschläge, die sich im Feuer rasch verändern, aber beispielsweise ausspringen oder platzen, keinen gegen Hitze sehr widerstandsfähigen Beton geben.

Bei den Brandproben an Eisenbetonbauten, die von Gary für den Deutschen Ausschuß für Eisenbeton³⁾ ausgeführt wurden, stellte Gary fest, daß zwischen feuerbeanspruchten und nicht von Feuer berührten Betonkörpern, soweit sie Basalt und Granit als Zuschlag enthielten, keine wesentliche Druckfestigkeitsunterschiede waren,

¹⁾ Haegermann, Dr., Karlshorst: Über die Tätigkeit des Vereinslaboratoriums im Jahre 1924. Zement 1925, S. 574.

²⁾ Nitzsche: Zementmörtel in hohen Temperaturen. Zement 1924, S. 447.

³⁾ Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, Heft 33, 1916; Heft 41, 1918.

während Kiesbeton ein Viertel seiner Festigkeit verloren hatte. (Platzen der Quarzkörner. Der Verfasser.) Amerikanische Versuche an 15 Fuß 8 Zoll hohen belasteten Säulen, von denen 12 Fuß = etwa 4 m in einem eigens zu diesem Zwecke gebauten Ofen starker Feuerwirkung ausgesetzt waren und welche teilweise mit Wasser bespritzt wurden, ergaben folgende bestimmte Reihenfolge für die Güte der Zuschlagsstoffe:

Tabelle 18.

	Erscheinungen.	Beurteilungen.
1. Quarzkies Feuerstein	Springen und Absplittern.	Kieselsäurereiche Gesteine im allgemeinen ganz ungeeignet.
2. Sandstein Granit		Etwas besser als Quarz.
3. Kohlschlacken	Springt nicht, leitet aber die Wärme zu gut.	Schützt die Eisen nicht.
4. Hochofenschlacken		Besser als 1—3.
5. Kalkstein	Bei sehr langer Brenndauer Kalzinieren.	Sehr haltbar, gut isolierend.
6. Ziegelsteinstücke		Sehr gut.
7. Basalt, Trachyt		Gut.

Feines Korn erwies sich besser als grobes¹⁾.

Nach den eingangs erwähnten „Brandproben“, die an zu diesem Zwecke errichteten 2stöckigen Eisenbetonhäusern vorgenommen wurden, kommt Gary zu dem Schluß: „Beide Versuchshäuser haben bei den wiederholten scharfen Brandproben unter ungünstigsten Umständen eine auch für viele Fachleute überraschende Widerstandsfähigkeit erwiesen. — Ganz besonders die Eisenbeton- und auch die Kunststeintreppe haben sich vorzüglich bewährt.“ (Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, Heft 41.)

Auch Brandversuche an einem Lagerhaus der Buderusschen Eisenwerke, die unter gleichzeitiger hoher Belastung durchgeführt und bei welchen Temperaturen über 1000° erreicht wurden, erwiesen „trotz der übergroßen Inanspruchnahme der Baustoffe“, daß „die Hitze den Zusammenhang der Bauteile nicht bis zum Einsturz lösen konnte“²⁾.

Nach Mörsch³⁾ reicht die gewöhnliche Betondeckung von einigen Zentimetern hin, um das Eisen vor der für seine Tragfähigkeit gefährlichen Temperatur in gewöhnlichen Brandfällen zu schützen.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika wurden 1917 (neugeprüft 1922) bereits Normen für die Prüfung der Feuerbeständigkeit von Bauteilen aufgestellt, in welchen Erhitzungsdauer, Temperaturhöhe, Art und Zeit der Wasserbespritzung für die heißen Bauteile usw. genau festgelegt sind⁴⁾.

Nach Versuchen über die Feuerbeständigkeit von Beton, die in dem

¹⁾ Proceedings of the Am. Concrete Institute 21 (1925), 284.

²⁾ Gary: Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, H. 46.

³⁾ Mörsch, Prof. E.: Der Eisenbetonbau. I. Bd., S. 153. 5. Aufl. 1920.

⁴⁾ Am. Soc. f. Test. Mat. Standards 1924, S. 732.

oben erwähnten Ofen unter Belastung durchgeführt wurden, kam das Komitee zu folgenden Schlüssen¹⁾:

Säulen: Falls das Zuschlagsmaterial Neigung zum Platzen im Feuer zeigt, sind möglichst runde Säulen zu verwenden. Bei eckigen Säulen sind die Kanten zu brechen. Die senkrechte Bewehrung soll durchaus gebunden und beim Stampfen in den Formen so an ihrem Platz gehalten sein, daß sie stets $1\frac{1}{2}$ Zoll (= 3,75 cm) von der Oberfläche entfernt bleibt. Unter besonderen Bedingungen, also bei Feuergefährlichkeit sind über dem Eisen außerdem noch 2,5 cm Betonmaterial nötig.

Balken und Binder: Die Unterseite von wichtigen Tragebalken soll $1\frac{1}{2}$ Zoll Schutzbeton unter dem Eisen haben. Auch hier ist in Fällen der Feuergefährlichkeit, wie bei den Säulen, besondere Überdeckung nötig. Von der Seite sollen die Eisen gleichfalls $1\frac{1}{2}$ Zoll entfernt sein. Winkelbügel in den Balken, wo die Bewehrung starken Druckbeanspruchungen ausgesetzt ist, sind von Vorteil.

Bei unwichtigen Säulen kann bisweilen weniger schützendes Material verarbeitet werden, weil die Folgen von Beschädigungen nicht ernst sind.

Platten: Die Schutzdeckung von Platten und Wänden muß $\frac{3}{4}$ Zoll (18,8 mm) sein, wenn nicht platzender Zuschlag verarbeitet wird, sonst 1 Zoll (= 25 mm). Falls längere Dauer einer Feuersbrunst zu gewärtigt ist, muß eine stärkere Schutzschicht vorgesehen und Zuschläge vermieden werden, die springende Bestandteile enthalten, wenn nicht die Platte mit einer zweiten Schicht von Eiseneinlagen gebunden ist. Die größere Dichte eines Betons aus Material, das springt, ist nicht wirksam, wenn es nicht so zusammengehalten ist, daß es nicht abfallen kann.

Dichtes Geflecht und dünne Betonstellen müssen an solchen Stellen, wo schnelle Erhitzung Brüche durch ungleiche Ausdehnung hervorrufen können, vermieden werden.

Dehnungsfugen: Diese müssen so dicht zusammengeschlossen werden, daß nicht an Säulen und Boden von ungleichmäßiger Erhitzung Schädigungen bei schwerem Feuer auftreten können.

Mechanische Einwirkungen:

4. Erschütterung

Ist gefährlich bei abgebundenem, aber noch nicht genügend erhärtetem Beton: sie lockert das Gefüge, trennt die Steine des Zuschlages aus dem Verband, und der bereits abgebundene Zement ist nicht mehr imstande, diese erneut einzubinden. Ist die Erschütterung also nicht zu vermeiden, so muß eine Verlängerung der Abbindezeit herbeigeführt werden. Dies geschieht am besten durch Zusatz von Traß oder Ziegelmehl, auch Si-Stoff gemischt mit gemahlener Hochofenschlacke²⁾ wirkt in gleicher Weise. Getraßte Betone schleppen in der Abbindezeit und haben keinen so festen Punkt des Abbindeendes wie die normalen Zementbetone. Sie vermögen also, allenfalls nach Abschluß der Stampfperiode noch gelockerte Körner des Zuschlages erneut einzubinden.

¹⁾ Proceedings of the American Concrete Institute Bd. 21, S. 284. 1925.

²⁾ D. R. P. 362023.

Diese Verhältnisse kommen in Betracht besonders bei Talsperrenbauten u. dgl., wo Feldbahnen auf dem frisch eingebrachten Beton verlegt werden müssen und dieser erst verhältnismäßig spät zur Ruhe kommt.

5. Zug und Druck.

Zug- und Druckfestigkeiten hängen ab:

1. von dem Zement,
2. von dem Zuschlagsmaterial,
3. von der Verarbeitungsart,
4. von den Erhärtungsbedingungen und dem Abbinden des Betons.

Die hier obwaltenden Verhältnisse sind ausführlich schon auf Seite 2—33 besprochen. Hinzugefügt sei nur, daß natürlich der Beton mit steigendem Alter immer härter wird, und zwar steigt die Festigkeit schneller an bei höheren Temperaturen (also im Sommer) als bei niedriger Außentemperatur. Praktisch muß die nach etwa höchstens 4 Wochen erreichte Festigkeit den an das Bauwerk gestellten Anforderungen genügen.

Vergleichsversuche bei Lagerung eines Hochfenzementbetons 1 : 3 N.S.¹⁾ einmal im Laboratorium, das andere Mal im Brutschrank bei stets gleicher Temperatur von 21° C ergaben erhebliche Festigkeitsanstiege für die Brutschranklagerung, da hier nachts die Temperatur nicht sinken konnte wie im Laboratorium²⁾.

Aufbewahrt bei	Zug				Druck		
	3		7	28	3	28 Tg.	
	W.	L.		W.	komb.	L.	L.
gewöhnlicher Temperatur	9	15	19	24	28	122	282
21°	14	17	26	26	28	158	308

(Vorausberechnung der zu erwartenden Betondruckfestigkeit aus der Normenfestigkeit nach der Grafschen Formel siehe S. 22.)

Hochfeste Zemente in nicht zu mageren Mischungen bei richtig gewähltem Zuschlag ergeben schon nach erheblich kürzerer Zeit als gewöhnliche Zemente (3—7 Tage) einen Beton, der ausgeschalt und bis zu einem gewissen Grade beansprucht werden kann.

Wird bei Zug- und Druckeinwirkung die Zug- und Druckgrenze überschritten, so wird der Beton zerstört. Bei Zugeinwirkung ist die Zerstörung endgültig. Bei Druckeinwirkung kann, falls der Beton seine Form nicht wesentlich geändert hat, nochmals eine Nacherhärtung eintreten, vorausgesetzt, daß einige Feuchtigkeit vorhanden ist. Die Erklärung für diese Tatsache ist, daß durch den Druck Zementkörner, welche noch in dem Beton unhydratisiert vorhanden waren, vermahlen werden, die sich dann hydratisieren und erneut abbinden. Die so auftretende Nacherhärtung vermag natürlich die ursprüngliche Festigkeit nicht mehr zu erreichen. Um eine Zerstörung des Betons zu vermeiden, ist mit gutem Zement und vor allem mit gutem Zuschlagsmaterial zu arbeiten, da die obenerwähnte Nacherhärtung praktisch kaum Interesse hat.

1) Normensand. 2) Versuche des Verfassers Januar 1911.

6. Stoß und Schlag.

Die Einwirkung von Stoß und Schlag ist zwar ähnlich der Druckeinwirkung, keineswegs aber gleich mit dieser. Zwar kann ein Stoß mit plötzlich auftretendem Druck verglichen werden; der Vergleich trifft aber nicht völlig zu, denn bei elastischem Beton kann ein Stoß in Schwingungen umgesetzt werden, da der Beton nur stellenweise nachgibt. Der gleiche Schlag vermag einen unelastischen Beton, trotz höherer Druckfestigkeiten, zu zerstören, da Reißbildung eintritt. Als Vergleich sei das Verhalten von Glas und Zelluloid genannt. Das Glas hat eine sehr große Härte und Druckfestigkeit, die dem Zelluloid nicht annähernd in gleichem Maße innewohnt. Dennoch wird Zelluloid einen Stoß ohne Schädigung ertragen, dem Glas sofort erliegt.

Traß-, auch Ziegelmehl-Zusatz vermag den Beton gegen Stoß zu sichern, da Traß den Beton infolge seines weichen Kornes elastisch macht.

Die Druckfestigkeit wird allerdings durch einen hohen Traßgehalt gleichzeitig herabgesetzt; diese Herabsetzung wird in den meisten Fällen aber ohne Bedeutung sein. Zwar sind die hohen Druckfestigkeiten der Betone aus hochfesten Zementen für manche Zwecke begehrenswert; die hierbei entstehenden glasharten, aber auch spröden Betone vermögen jedoch keineswegs allen Zwecken zu dienen, denn die Druckfestigkeit ist nicht der einzige Ausdruck für die Güte eines Betons.

Passow fand, daß die Druckfestigkeit nicht der Zerschmetterungsfestigkeit proportional ist, sondern daß Betone mit geringen Druckfestigkeiten hohe Zerschmetterungspunkte, also gute Elastizität, haben können. Besonders stellte er Heraufsetzung des Zerschmetterungspunktes durch Traß und Hochofenschlackensand fest¹⁾.

Außer durch Hochofenschlacke und Traßzusatz kann die Stoßfestigkeit eines Betons auch durch geeignetes grobkörniges Zuschlagsmaterial, z. B. Ziegelbrocken erhöht werden. Elastische Zuschläge ergeben naturgemäß auch elastischere Betone als spröde Zuschläge. Auch hier muß in der Praxis mehr Wert auf das Zuschlagsmaterial und seine Eigenschaften gelegt werden, als das bisher üblich ist.

7. Abnutzbarkeit.

Diese wird im allgemeinen der Widerstandsfähigkeit gegen Stoß und Schlag gleichgestellt. Entsprechend sind auch die keineswegs einheitlichen älteren Prüfmethoden alle auf Schlagbeanspruchung aufgebaut.

Bausinger benutzte eine Schleifscheibe; Gary dagegen das Sandstrahlgebläse, Föppl einen Rammbaren und das Materialprüfungsamt Dahlem nach amerikanischem Muster eine Trommel. Die Gewichtsverluste der Körper gaben jeweils das Abnutzungsmaß²⁾.

Bei Versuchen des Verfassers mit hochwertigen und gewöhnlichen Zementen, die in der Rütteltrommel vorgenommen wurden, zeigten sich Gewichtsabnahmen der gerüttelten 71 mm³ Körper, welche den in Parallele gesetzten Druckfestigkeiten zwar in ganz großen Umrissen

¹⁾ Passow: Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Zerschmetterungsfestigkeit. Zement 1918, S. 279.

²⁾ „Abnutzbarkeit natürlicher Gesteine.“ Mitt. Materialpr.-Amt 1915, S. 387.

entsprachen, aber auch hier hatten, wie bei den Zerschmetterungspunkt-feststellungen Passows manche in bezug auf Druckfestigkeit minder gute Zementbetone geringere Gewichtsverluste, also größere Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung als andere druckfestere. Enttäuschend war der Abnutzungswiderstand einiger Zemente mit besonders hohen Druckfestigkeiten, im Vergleich zu Zementen mit geringeren Druckfestigkeiten. Kurventafel Abb. 19 zeigt die Ergebnisse und die Tatsache, daß der Widerstand gegen Abnutzung nicht proportional mit wachsender Druckfestigkeit ansteigt.

Besonders reich ist die amerikanische Literatur an Arbeiten über Abnutzung, da diese naturgemäß für die dort in weitestem Umfange eingeführten Betonstraßen von größter Wichtigkeit ist. Da auch bei uns die Betonstraßen die Straßen der Zukunft sein werden, sei einiges vom Wichtigsten aus den umfangreichen schwer zugänglichen amerikanischen Arbeiten angeführt:

Anfangs wurden Versuchsmethoden gewählt, die Stoß und Schlag als Beanspruchungsart hatten.

1. Prüfung mit Stollenhämmern¹⁾. Ein Hebel, der am Ende 8 Zapfen mit Gleitschutz-Stollen trägt, die hammerartig auf einen Betonklotz treffen, wird durch eine Nase 90 mal je Minute gehoben und aus 4 Zoll Höhe auf den zu prüfenden Klotz (Zylinder von 6 Zoll Durchmesser) fallen gelassen. Der Gewichtsverlust wird bestimmt und dient als Maßstab. Wichtigste Ergebnisse:

1. Der Abnutzungskoeffizient wird hauptsächlich durch die feinen Anteile des Zuschlages beeinflusst.

2. Bei guter Beschaffenheit des feinen Anteils und weniger guter des groben ist Mischung 1 : 2 : 3 empfehlenswert.

3. Bei weniger guter Beschaffenheit des feinen Anteils und guter des groben kann Mischung 1 : 2 : 4 genommen werden.

4. Zwischen der so festgestellten Abnutzbarkeit und der Druckfestigkeit bestehen keine Beziehungen.

2. Prüfung in der Mühle²⁾. In einem zu diesem Zwecke hergestellten kugelmühlenartigen Behälter werden eigens hergestellte Be-

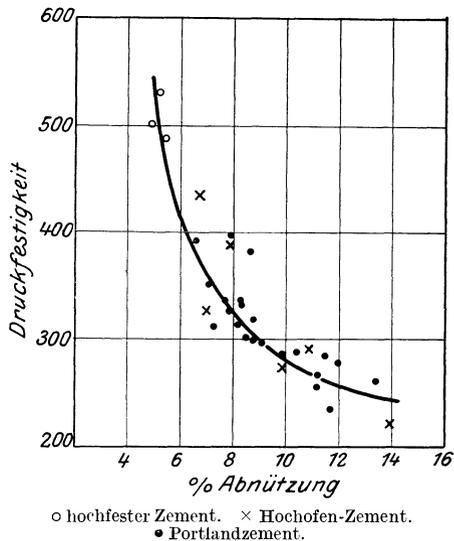


Abb. 19. Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Abnutzungswiderstand.

¹⁾ „Impact Tests on Road Concrete.“ Engg. News-Rec. Bd. 2, S. 128. 1920.

²⁾ Talbot-Jones Rattler, Abrams: Proc. A. S. T. M. 1921, S. 1013.

tonplatten (gleichsam als Panzerplatten) eingebaut und in die Mühle Stahlkugeln

10 Stück von $3\frac{3}{4}$ Zoll und
135 „ „ $1\frac{7}{8}$ „

eingebraucht. (Gewicht 200 lbs.). Die Maschine macht dann 1800 Umdrehungen (30 je Minute), 900 nach jeder Seite, der Maßverlust der Platten ist Maß für die Abnutzung. Wichtige Schlüsse aus den 10 000 Untersuchungen:

1. Hoher Wasserzusatz beim Anmachen vermehrte die Abnutzbarkeit.
2. Zwischen Druckfestigkeit und Abnutzbarkeit bestehen bestimmte Beziehungen, die sich durch eine Formel ausdrücken lassen.

3. Die höchste Druckfestigkeit haben Lava, Flint und Klinker, denen mittlere Abnutzung gegenüber steht.

Mittlere Druckfestigkeit haben Granit, Kalkstein, Kies, Hochofenschlacken und Basalt, welche dementsprechend etwas größere Abnutzung zeigen mit Ausnahme von Granit, der eine besonders geringe Abnutzung aufweist.

Sandstein hatte auffallend gute Druckfestigkeit.

3. Prüfung auf Radstöße¹⁾. Ein beschwerter, an der Unterseite mit zwei Vollgummistreifen versehener Kasten wird gehoben und auf den Betonklotz fallen gelassen. Hubhöhe und Fall sollen betragen:

bei $\frac{1}{8}$ ''	$\frac{1}{2}$ ''	$\frac{7}{8}$ ''	Hubhöhe
800	1000	1500	mal

Die Belastung des Kastens entspricht dem Hinterrad eines 5 Tonnenwagens.

Wichtige Schlüsse: 6—8'' (= 15—20 cm) dicke Betonplatten (1 : $1\frac{1}{2}$: 3) sind für modernen Lastwagenverkehr geeignet, 4'' (= 10 cm) Platten unzulänglich.

4. Prüfung durch Hammerapparat²⁾. Ein 10 lbs.- (= 4,5 kg) Gewicht fällt von einer bestimmten Höhe auf eine Stahlkugel, die auf der Mitte der Probe liegt. Die Probe ist 6'' (= 15 cm) dick bei 20'' (= 51 cm) Durchmesser und liegt auf einem dreieckigen Lager auf Gummipuffern.

Fallhöhe, Gewicht und Probengröße sind variabel, sie geben stets vergleichbare relative Werte.

Maß ist die Zahl der zur Zerstörung führenden Schläge. Wichtigste Schlüsse:

1. Schlagfestigkeit wächst mit Abnahme der groben Zuschläge.

2. Es besteht eine Beziehung zwischen Schlagfestigkeit und Druckfestigkeit.

3. Es gibt für jede grobe Zuschlagsart eine besonders geeignete Korngröße, für die es wieder einen passenden Zementzusatz gibt.

4. Die wichtigste Arbeit ist von Jackson u. J. T. Pauls³⁾.

¹⁾ Engg. 1922, S. 172. ²⁾ Proceeding of the Am. Concr. Inst. 21 (1925), 148.

³⁾ Proceedings of the American Society for Testing Materials Bd. 24/II., S. 864—910 (1924); als (vorläufige) Veröffentlichung aus dem U. S. Bureau of Public Roads bekanntgegeben. Auszug: Zement 1925, S. 344.

Es wurden die verschiedenen Prüfmethode für Zuschlagsstoffe und Betone auf Abnutzung verglichen.

Gearbeitet wurde in folgender Weise:

Auf einer kreisförmigen Bahn von 625 Fuß (= 190 m) Umfang wurden in 62 Abschnitten die zu prüfenden Betone aus dem gleichen Zement hergestellt; dann wurden 2 einspurige mit Elektromotoren betriebene Wagen mit 2 Rädern, die durch auf Eisenschienen laufende Rädern gestützt und gelenkt wurden, 50 000 und 75 000 mal umlaufen gelassen. Diese Beanspruchung entsprach dem mehrjährigen Verkehr einer belebten Autostraße. Die Abnutzung in der Laufspur wurde mit einem Apparat, der die Tiefe der eingefressenen Laufspur gegenüber der unveränderten Straße zu messen erlaubte, festgestellt; schließlich wurde an Gipsabgüssen die endgültige Abnutzung gemessen. Die Räder hatten Gummibereifung, die bei einer Versuchsreihe ohne, das andere Mal mit Kettengleitschutz versehen waren. Ohne Gleitschutz wurde fast keine Abnutzung, mit Gleitschutz erhebliche Beschädigung des Betons festgestellt (6–25 mm Tiefe).

Die wichtigste Tafel, welche graphisch 1. die Elastizitätskoeffizienten und Druckfestigkeiten, 2. Verhalten des Zuschlags bei Prüfung nach dem „Standard Deval abrasion test“ (dieser bedient sich einer Trommel, s. S. 50), 3. Abnutzung des Betons gemessen mit dem Talbot-Jones Rattler, 4. den mit der geschilderten „Jackson-Methode“ bei Gleitschutzanwendung festgestellten Abnutzungsmaß gegenüberstellt, ist in Übersetzung und Umrechnung auf S. 54 wiedergegeben (Kurventafel Abb. 20).

Sie zeigt, daß weder die Deval-Prüfung noch der Talbot-Jones-Rattler imstande ist, das tatsächliche Abnutzungsmaß eines Betons zu bestimmen, und daß die von Abrams und anderen behaupteten direkten Beziehungen zwischen Druckfestigkeit und Abnutzungsmaß nicht bestehen.

Als wichtigste Schlüsse sind gezogen:

1. Wenn die groben Zuschläge dem Muttermörtel gleich oder überlegen sind, wird das Abnutzungsmaß durch den Muttermörtel bestimmt.

2. Weiche Steine als grober Zuschlag haben natürlich eine große Abnutzung des Betons im Gefolge, auch wenn der Muttermörtel gut ist. Steine mit einer Abnutzbarkeit über 7% sollen für Straßen nicht benutzt werden¹⁾.

3. Kieszuschlag ist dem Bruchsteinzuschlag gleichwertig.

4. Kies- und kieselhaltige Stoffe sind kalkhaltigen Zuschlägen überlegen.

5. Rundkörnige Kiese sind ebenso gut wie teilweise oder ganz eckiges Material.

6. Geringe Mengen von Schiefer im Groben haben hohe und unregelmäßige Abnutzung zur Folge.

7. Die übliche Abnutzungsprüfung (welche sich einer Trommel bedient [S. 50]) gibt kein Maß für den tatsächlichen Abnutzungswiderstand grober Zuschläge.

8. Hochofenschlacke eignet sich gut, wenn ihr Raumgewicht je Kubikfuß 70 lbs. = 1122 g/l beträgt.

9. Große Mengen leichter, schaumiger Bestandteile in Hochofenschlacken ergeben große Abnutzung.

10. Bessere Ergebnisse werden mit kleinerer Schlackenkörnung erzielt.

11. Als Ersatz für Natursand sind Hochofenschlacken und Quetschsande im allgemeinen ungeeignet.

12. Kupfer- und Bleischlacken sind als Zuschlag brauchbar.

¹⁾ Über die amerikanischen Abnutzungsnormen für Zuschlagsstoffe siehe A. S. T. M. Standards 1924.

17. Ein Zusatz von Kalkhydrat, wie er in der Arbeit angewandt wurde (12 Vol.-Proz. des Zementgehaltes), erhöht die Abnutzung nicht.

18. Die Erhöhung des Zementgehaltes über das Verhältnis 1 : 2 (Sand) gibt keine wesentliche Beeinflussung der Abnutzung, dagegen zeigen magere Mischungen merkliche Zunahme der Abnutzung.

19. Unter gleichen Bedingungen ist sowohl eine sehr trockene als auch eine sehr nasse Mischung schlechter als eine von mittlerer Konsistenz.

8. Elektrizität.

Bei Versuchen der Materialprüfungsanstalt Darmstadt über den elektrischen Widerstand von Beton zeigte O. Berndt, daß magerer Beton einen größeren Widerstand aufwies als fetter, der Widerstand mit steigender Temperatur abnahm, und daß Kiessandbeton einen größeren Widerstand aufwies wie Schotterbeton.

Jedoch waren die Widerstandsgrößen verhältnismäßig so gering, daß nur künstlich ausgetrockneter Beton als Isolator angesehen werden kann. Eine ungünstige Beeinflussung der Druckfestigkeit durch den Stromdurchgang fand nicht statt¹⁾.

Versuche des gleichen Forschers mit bewehrtem Beton zeigten eine Erhöhung des Gleitwiderstandes der Eiseneinlagen um 11—37% nach Elektrizitätseinwirkung unter gleichzeitiger Verrostung der Eisen bis zur Ribbildung im Beton. Teilweise hatte narbiges Anfressen der Eisen stattgefunden, während die ohne Elektrizitätswirkung gewesenen Eisen völlig rostfrei geblieben waren. Blitzschlagähnliche Entladungen schädigten den Beton nicht; auch an Stellen, wo der Blitz gezwungen war, das Eisen zu verlassen und durch den Beton zu gehen, entstanden nur verglaste Blitzröhren ohne Schädigungen des Betons. Bei feuchtem Beton blieb die Blitzröhrenbildung aus, ein Zeichen, daß hier der Stromübergang auf großer Querschnittsfläche erfolgt war. Ein Mürbewerden des Betons, wie es in amerikanischen Arbeiten behauptet worden war²⁾, wurde niemals festgestellt, Schädigung durch vagabundierende Ströme ist kaum zu erwarten, da diese lange vor Einwirkung auf den Beton eiserne Rohrleitungen usw. schädigen, also erkannt und beseitigt werden, ehe eine Einwirkung auf die Eiseneinlagen des Betons möglich ist.

B. Chemische Einflüsse.

Die wichtigste Einwirkungsart, welche für die Praxis bez. des erhärteten Betons in Betracht kommt, ist der Einfluß chemischer Körper. Das Abbinden des Betons wird herbeigeführt hauptsächlich durch chemische Umsetzungen; diese sind mit dem Schluß der Abbindezeit nach 6 oder 8 Stunden keineswegs beendet, sondern sie setzen sich dauernd weiter fort, was im Ansteigen der Festigkeiten, deren zeitweise geringem Fallen um wenige Prozent und Wiederansteigen zum Ausdruck kommt. Der Beton ist also in chemischem Sinne keineswegs ein „toter Körper“, sondern es finden dauernd in ihm weitere Um-

¹⁾ „Versuche über den elektrischen Widerstand von unbewehrtem Beton.“ Deutscher Ausschuß für Eisenbeton 1911, H. 6. — Berndt, Wirtz u. Preuß: Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton. Deutscher Ausschuß für Eisenbeton 1912, H. 15.

²⁾ Kundson: Elektrol. Zersetzung von Eisenbeton. Proc. Am. Inst. El. Engg. 1907, S. 33. — Langsdorf: Engg. News-Rec. 1909, S. 458, usf.

setzungen statt. Es ist natürlich, daß bei dieser Sachlage auch chemische Verbindungen, falls diese von außen herantreten können, in diese chemischen Reaktionen einzugreifen, diese unter Umständen zu verändern oder neue einzuleiten vermögen.

Führen die herbeigeführten Veränderungen zu einer Zersetzung des kittenden Zementes, so tritt Schädigung und schließlich Zerfall des Betons ein. Die besprochene Einwirkungsart kann nur stattfinden, wenn Flüssigkeit zugegen ist, denn die hier in Betracht kommenden Reaktionen finden nur in Lösung statt. Zwar kommen in der Natur 3 Aggregatzustände vor,

1. der feste (z. B. Eis),
2. der flüssige (z. B. Wasser) und
3. der gasförmige (z. B. Dampf).

Feste Körper vermögen aber in den Beton nicht einzudringen, und trockne Gase sind ohne Wirkung.

In Fällen, wo feste Körper auf den Beton schädlich einwirken (z. B. sulfathaltige Erze und Kohlenschlacken), ist es stets das Wasser, welches die schädlichen Bestandteile (in diesem Falle Sulfat) aus den festen Stoffen herausgelöst und dem Beton zugeführt hat.

Einteilung der chemischen Verbindungen.

Alle chemischen Körper, welche überhaupt in Betracht kommen, seien deshalb nach ihrer Einteilung in die verschiedenen chemischen Klassen, ohne besondere Trennung in feste, flüssige und gasförmige besprochen und dieser Besprechung eine kurze Erklärung der Klasseneinteilung vorausgeschickt.

Alle chemischen Körper lassen sich einteilen in:

Basen, Säuren, Salze. (Dazu kommen noch gewisse organische Körper, die nicht den Charakter von Basen, Salzen oder Säuren haben und unschädlich für Beton sind.)

Die Basen sind alkalisch reagierende Verbindungen von Metallen (z. B. Natrium, Eisen), welche das Bestreben haben, sich mit Säuren zu Salzen zu verbinden. Sie neutralisieren Säuren zu Salzen.

Die Säuren sind sauer reagierende wasserstoffhaltige Verbindungen von Metalloiden (z. B. Chlor, Schwefel), welche das Bestreben haben, sich mit Basen zu Salzen zu verbinden. Sie lösen Metalle zu Salzen.

Die Salze sind die Endprodukte der Verbindung von Base und Säure. Zementbeton kann man als Salz bezeichnen, das einen Basenüberschuß (Kalk) enthält.

Aus diesen einfachen Beziehungen läßt sich ohne weiteres folgendes ableiten:

1. Basen suchen sich durch Aufnahme von Säuren oder Säureresten zu Salzen abzusättigen. Sie „ätzen“: Seifenstein, Natronlauge.

2. Säuren suchen sich durch Aufnahme von Basen und Basenresten, die sie mit Gewalt an sich reißen, zu Salzen abzusättigen. Sie „brennen“: Schwefelsäure, Essig.

3. Salze aus ungefähr gleich starken Basen und Säuren sind gesättigte Verbindungen; sie ätzen nicht und brennen nicht, sind also verhältnis-

mäßig indifferent — die ätzenden und brennenden Eigenschaften der sie bildenden Basen und Säuren sind in ihnen infolge der durchgeführten Absättigung gebrochen: Kochsalz (Natriumchlorid) aus Natronlauge (ätzende Base) und Salzsäure (brennende Säure).

Der abgebundene Zement im Beton als „basische“ Verbindung wird natürlich durch die ihm verwandten Basen nicht verändert.

Säuren dagegen lösen ihn auf. Aus Salzen sucht er, da er noch den Charakter einer Base hat, mit Gewalt den Säurerest herauszureißen. Dies gelingt ihm besonders leicht, wenn dieser Säurerest an eine schwächere Base gebunden ist als die der Kalk darstellt, z. B. Magnesia, Eisen. Der Kalk „überwältigt“ dann die schwächere Base und nimmt ihr ihren Säurerest weg.

Wirkt nun der herausgerissene und dem Beton bei diesem Vorgang einverleibte Säurerest z. B. raumvergrößernd (Sulfat aus schwefelsauren Salzen), so tritt Zertreiben des Betons ein.

Öle.

Eine besonders für die Praxis wichtige Klasse von Flüssigkeiten bilden die Öle, die sich von den anderen bisher besprochenen Flüssigkeiten dadurch unterscheiden, daß sie ihren flüssigen Formzustand nicht der Gegenwart von Wasser verdanken. Da sie teilweise als Salze angesprochen werden können, seien sie, obgleich sie sich von den wässrigen Flüssigkeiten in vielen grundlegenden Eigenschaften (Verbrennbarkeit) unterscheiden, unter „Salzen“ besprochen.

Es gibt 2 Arten von Ölen.

1. Fette Öle, z. B. Pflanzen- oder Tieröle. Diese stellen Salze einer Ölsäure (Stearinsäure, Palmitinsäure usw.) dar mit einer Base (Glyzerin).

Sie werden, da die Base „Glyzerin“ schwächer ist als die Base „Kalk“, durch den Kalk des Betons aufgespalten und wirken, da sich der Kalk mit der Fettsäure zu einem neuen Salz (der „Seife“) verbindet, schädlich. „Ranzige“ Fette enthalten bereits freie Fettsäure und wirken deshalb besonders nachteilig.

2. Mineralöle. Die aus Naphtha und Kohle durch Destillation gewonnenen Öle sind in der Mehrzahl chemisch indifferent und bleiben ohne Einwirkung.

Besprechung der einzelnen chemischen Verbindungen und Lösungen.

Die einzelnen chemischen Körper, die zur Einwirkung auf Beton kommen, sind nach folgender Einteilung behandelt (die in Klammer beigefügten Zahlen verweisen auf die Seite):

1. Basen:

1. Natronlauge (Natriumhydroxyd, Seifenstein) (59).
2. Kalilauge (Kaliumhydroxyd) (60).
3. Ammoniakwasser (Salmiakgeist, Gaswasser) (61).
4. Kalkwasser (Kalkteig, Ätzkalk) (63).
5. Barytwasser (Bariumhydroxyd) (64).
6. Strontiumhydroxyd (64).
7. Alkalische Wässer (64).

2. Säuren:

a) anorganische:

1. Salzsäure (65).
2. Schwefelsäure (Vitriolöl) (67).
3. Schweflige Säure (69).
4. Salpetersäure (70).
5. Phosphorsäure (72).
6. Schwefelwasserstoff (73).
7. Kohlensäure (75).
8. Chlor (77).
9. Brom (78).
10. Jod (78).
11. Flußsäure (78).

b) organische:

12. Essigsäure (Eisessig) (79).
13. Milchsäure (80).
14. Ameisensäure (81).
15. Formaldehyd (81).
16. Gerbsäure (81).
17. Zucker (82).
18. Gärflüssigkeiten (82).
19. Fruchtsäure (84).
20. Weinsäure (84).
21. Oxalsäure (85).
22. Alkohol (86).
23. Methylalkohol (Methanol) (87).

3. Salze:

a) anorganische Salze:

Sulfate:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Natriumsulfat (Glaubersalz) (89). | 8. Zinksulfat (100). |
| 2. Kaliumsulfat (93). | 9. Aluminiumkaliumsulfat (Alaun) (101). |
| 3. Ammoniumsulfat (93). | 10. Aluminiumsulfat (101). |
| 4. Kalziumsulfat (95). | 11. Bleisulfat (101). |
| 5. Strontiumsulfat (98). | 12. Mangansulfat (101). |
| 6. Kupfersulfat (Kupfervitriol) (98). | 13. Eisensulfat (Eisenvitriol) (102). |
| 7. Magnesiumsulfat (Bittersalz) (98). | 14/15. Nickel- u. Kobaltsulfat (102). |

Chloride:

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Natriumchlorid, Kochsalz (103). | 7. Quecksilberchlorid, Sublimat (106). |
| 2. Kaliumchlorid (104). | 8. Eisenchlorid (107). |
| 3. Ammoniumchlorid (104). | 9. Natriumbromid (107). |
| 4. Kalziumchlorid (104). | 10. Bariumchlorid, Zinkchlorid, Manganchlorid, Aluminiumchlorid (107). |
| 5. Strontiumchlorid (105). | |
| 6. Magnesiumchlorid (105). | |

Nitrate:

- | | |
|--|---|
| 1. Natriumnitrat, Natronsalpeter, (Chilesalpeter) (108). | 4. Kalziumnitrat, (Kalksalpeter) (109). |
| 2. Kaliumnitrat (108). | 5. Nickelnitrat, Bleinitrat (110). |
| 3. Ammoniumnitrat (108). | |

Sulfide (110).

Karbonate:

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Natriumkarbonat (Soda) (111). | Ammoniumkarbonat (111). |
| Kaliumkarbonat (Pottasche) (111). | |

Fluoride (112).

Silikate:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| Natriumsilikat (Natronwasserglas) (112). | Kaliumsilikat (Kaliwasserglas) (112). |
|--|---------------------------------------|

Andere Salze:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| Kaliumdichromat (112). | Kaliumpermanganat (113). |
|------------------------|--------------------------|

b) organische Salze:

Fette Öle und Fette (113).

4. Nichtfette Öle (117).

α) Erdöl (118).

β) Braunkohlenöl (119).

γ) Steinkohlenteeröle (121).

δ) Ätherische Öle (122).

5. Kolloidale Lösungen (122).

6. Salzarme Wässer (123).

7. Technisch wichtige, verschiedene Salze, Säuren und Basen enthaltende Flüssigkeiten (124).

- a) anorganische technische Flüssigkeiten:
- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. Bergwerkswasser (125). | 6. Meerwasser (127). |
| 2. Chlorkalk (125). | 7. Mineralwasser (132). |
| 3. Gaswasser (125). | 8. Naphthalinwasser (134). |
| 4. Grundwasser (126). | 9. Pökellauge (134). |
| 5. Heißes Wasser (127). | 10. Quellwasser (134). |
- b) organische technische Flüssigkeiten:
- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 11. Bier (134). | 17. Moorwasser (136). |
| 12. Grünfutter (135). | 18. Rübensaft (137). |
| 13. Heringslake (135). | 19. Sauerkraut (137). |
| 14. Jauche, Urin, Fäkalien (135). | 20. Schlempe (137). |
| 15. Melasse (136). | 21. Sirup (137). |
| 16. Milch (136). | 22. Wein (137). |

1. Basen.

Basen sind Lackmuspapier blau färbende¹⁾, alkalisch reagierende Verbindungen, die mit Säuren Salze bilden und dadurch die Säure abstopfen. Sie können gewissermaßen als das Gegenteil der Säuren bezeichnet werden. Da Beton ein Körper ist, in welchem die basischen Eigenschaften weitaus überragen, indem im Beton die starke Base Kalk mit der schwachen Säure Kieselsäure verbunden, außerdem noch überschüssiger Kalk vorhanden ist, können Basen dem Beton als wesensverwandt nicht viel anhaben und bleiben stets unschädlich, wenn sie nicht mit anderen schädlichen Salzen, z. B. Sulfaten, vermischt sind, was allerdings bisweilen vorkommt.

Es sind unter Basen besprochen:

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Natronlauge. | 5. Barytwasser. |
| 2. Kalilauge. | 6. Strontiumhydroxyd. |
| 3. Ammoniakwasser. | 7. Alkalische Wässer. |
| 4. Kalkwasser. | |

1. Natronlauge.

Laugen in chemischem Sinne sind stark ätzende Auflösungen der Alkalien (Kaliumhydroxyd, Natriumhydroxyd) in Wasser. Fälschlich werden auch bisweilen in der Praxis stark konzentrierte Lösungen verschiedener neutraler Salze als Laugen bezeichnet, so z. B. die Magnesiumchloridlösung, welche zur Steinholzherstellung gebraucht wird.

¹⁾ Die Prüfung einer Flüssigkeit auf ihre Reaktion gegen Lackmus ist einfach und sollte auch von Laien stets durchgeführt werden. Lackmuspapier ist in jeder Apotheke für ein paar Pfennige zu haben.

Es färben:

Basen: blau (unschädlich, wenn nicht mit schädlichen Salzen vermischt).

Säuren: rot (stets schädlich).

Salze: verschieden.

Saure Salze: rot (schädlich).

Basische Salze: blau (meist unschädlich).

Neutrale Salze: entweder gar nicht, oder blau oder rot;

wenn rot: schädlich,

„ blau: meist unschädlich,

„ gar nicht: verschieden.

Daraus folgt, daß blaue Verfärbung meist auf Unschädlichkeit, vor allem wenn keine Mischsalze vorliegen, schließen läßt; rote Verfärbung zeigt stets Schädlichkeit an. Keine Farbänderung läßt keinen Schluß zu, nicht verfärbende Salze können unschädlich (Kochsalz) oder sehr schädlich (Natriumsulfat) sein.

kurzweg als „Lauge“ oder die in der Kaliindustrie abfallenden konzentrierten Lösungen als „Endlaugen“. Allgemein nennt man auch die bei Kristallisationsprozessen nach dem Auskristallisieren des reinen Produktes übrigbleibenden Salzlösungen „Mutterlaugen“. Über die Einwirkungsweise dieser verschiedenen sogenannten Laugen, die sich aus den verschiedensten Salzen zusammensetzen können, ist unter diesen, sie bildenden Salzen von Fall zu Fall nachzusehen.

Natronlauge ist eine Lösung von Ätznatron in Wasser, die chemische Bezeichnung ist Natriumhydroxyd (NaOH). Dies kommt in Stücken oder in weißen, fingerdicken runden Stangen in den Handel. Das technische Produkt heißt Seifenstein. Natriumhydroxyd ist neben Kaliumhydroxyd die stärkste bekannte Base; es löst sich in jedem Verhältnis unter Wärmeentwicklung in Wasser; es gibt deshalb verdünnte und stark konzentrierte Lösungen.

Alle Lösungen ätzen kräftig, lösen deshalb organische Stoffe unter Zerstörung auf; deshalb Vorsicht bei der Verarbeitung, hauptsächlich auf die Augen. Kaliumoxyd und Natriumoxyd werden auch „Alkalien“ genannt.

Vorkommen. Natronlauge wird in chemischen Fabriken für zahlreiche Reaktionen, ferner in großem Ausmaß zur Seifenfabrikation, Farbenfabrikation und Kunstseideherstellung verwendet; sie dient außerdem zum Abbeizen von Ölfarbenanstrichen.

Wirkungsweise. Als starke Base wirkt das Natriumhydroxyd in seinen Lösungen nicht nachteilig auf Beton.

Versuche. Bei Versuchen mit 5 proz. Natronlauge fand Grün¹⁾ nach 1 Jahr bei Portlandzement und Hochofenzement 1 : 5 keine wesentliche Veränderung. Bei weiteren Versuchen Grüns ergaben sich für die einzelnen Basen mit 1 proz. Lösungen nach 1 Jahr folgende Zahlen:

Zugfestigkeit; die Körper waren 1 : 3 mit Rheinsand eingeschlagen und kamen nach 7 Tagen in die Lösung:

Tabelle 19.

	Wasser	Kalilauge	Natronlauge	Kalkwasser
Portlandzement	42	41	37	40
Hochofenzement	39	42	38	34

Eine Schädigung durch Kalilauge blieb also aus; mit Natronlauge traten geringe Festigkeitsrückgänge ein, die aber praktisch ohne Bedeutung sind.

Erfahrungen. Portlandzementputz 1 : 1 auf Ziegelmauerwerk hat sich auf Gewerkschaft Siegfried während über 9 Jahre in Behältern $3 \times 3 \times 2$ m, die zur Aufbewahrung von Kalilauge dienen, bewährt.

Maßnahmen. Keine besonderen Maßnahmen.

2. Kalilauge.

Lösung von Ätzkali (K_2O) in Wasser. Chemische Bezeichnung: Kaliumhydroxyd (KOH), eng verwandt mit Natriumhydroxyd.

Wirkungsweise, Versuche, Erfahrungen, Maßnahmen wie Natronlauge.

¹⁾ Handb. S. 51.

3. Ammoniakwasser.

Ammoniakwasser ist eine Lösung des Gases Ammoniak (NH_3) in Wasser, in welchem es sich begierig in großen Mengen löst. Die konzentrierte Lösung des Ammoniaks in Wasser heißt Salmiakgeist (nicht zu verwechseln mit Salmiak NH_4Cl , der sehr schädlich ist; siehe diesen). Je nach der Menge des gelösten Ammoniaks riecht das Ammoniakwasser mehr oder weniger stark nach Ammoniak. Der Geruch ist stechend, zu Tränen reizend (Vorsicht). Das für die Praxis wichtigste hierhergehörige Wasser ist das Gaswasser, dessen Zusammensetzung stark schwankt, da sie sich nach den zur Verkokung kommenden Kohlen richtet. Im nachfolgenden seien einige Analysen wiedergegeben, um die Unterschiede zu zeigen¹⁾.

Tabelle 20.

Bestandteile in 1 Liter gemessen in Gramm	Zwickauer Kohle	Ruhrkohlen	Saarkohlen	Englische Cannelkohle
Ammoniumthiosulfat . .	1,036	5,032	0,296	2,80
Schwefelammonium . .	0,340	6,222	1,428	3,03
Ammoniumbikarbonat .	1,050	2,450	—	—
Ammoniumkarbonat . .	4,560	33,120	5,856	39,16
Ammoniumsulfat . . .	0,462	1,320	—	0,19
Chlorammonium . . .	19,495	3,745	1,926	14,23
Ferrosyanammonium .	0,26	0,35	0,12	0,41
Rhodanammonium . .	1,32	1,52	0,98	1,80

Vorkommen. Ammoniak entsteht in Gasfabriken und Kokereien bei der Verkokung von Steinkohle. Es ist dem Rohgas beigemischt und wird aus diesem herausgewaschen. Das Waschwasser enthält das Ammoniak, bisweilen auch Ammoniumsalze. Der Salmiakgeist wird außer in der chemischen Industrie verwendet zum Abbeizen von Ölfarbenanstrichen, in stark verdünntem Zustand beim Hausputz zum Reinigen von Ölfarbenanstrichen (Türen, Simsens usw.).

Wirkungsweise. Ammoniak wirkt nicht nachteilig auf Beton. Bisweilen sind aber in dem Ammoniak der Kokereien oder Gasfabriken noch schädliche Salze, besonders Ammonsalze vorhanden; dann ist natürlich nachteilige Einwirkung zu erwarten. Vorsicht ist deshalb bei Ammoniak stets geboten.

Versuche. Donath fand bei gelbem frischem Gaswasser, welches neben Ammoniak Schwefelammon und Ammoniumkarbonat enthielt, keinen nachteiligen Einfluß bei Luftabschluß, hält aber Schädigung bei Luftzutritt für möglich²⁾.

Nach Untersuchung des Materialprüfungsamtes der Technischen Hochschule Dresden hat die Festigkeit von Betonwürfeln, die in Gasreinigungskästen eingebettet waren, zugenommen³⁾. Grün fand bei einjähriger Lagerung von Betonkörpern 1 : 3 folgende Zugfestigkeiten:

¹⁾ Haas, Chem. Zg. 1922, S. 39.

²⁾ Zentrabl. hydr. Zemente 1911, S. 47.

³⁾ Tonind.-Zg. 1923, S. 346.

Tabelle 21.

	Wasser	Ammoniak 1%	Ammonium- nitrat 5%	Ammonium- sulfat 5%	Ammonium- chlorid 5%
Portlandzement	42	41	29	21	32
Hochofenzement	39	37	29	18	26

also keine Schädigung durch Ammoniak, wohl aber eine solche durch Ammonsalze, besonders durch Ammoniumsulfat.

Erfahrungen sind in vielen Fällen im günstigsten Sinne gemacht worden. Ein 30 auf 50 m großer Eisenbetonhälter, der aus Portlandzementbeton 1:4 hergestellt und mit Siderosthen-Lubrose geschützt war, hat sich im Gaswerk Tiefstak seit über 18 Jahren gut bewährt¹⁾.

Beim Abbruch eines 75 m³ fassenden Ammoniakbehälters wurde nach 15jähriger Benutzung festgestellt, daß der Putz nicht angegriffen, der Kern fest und die Eisen rostfrei waren²⁾.

Eine einzige bekannte Beschädigung eines Gaswasserbehälters wird auf den Gehalt desselben an Ammoniumsalzen, vor allem aber auf unsachgemäße Herstellung des Behälters, zurückgeführt³⁾. 3 Gasreiniger auf der Zeche Hannover (Krupp) mit 7×7 m Grundfläche aus dem Jahr 1916, und 3 weitere auf Zeche Radbod aus dem Jahre 1918 mit 9×9 m Grundfläche haben sich gut bewährt⁴⁾; ebenso ein Reiniger von 3,9×4,9 m Grundfläche und 2 m Höhe in Altenburg. Die Ersparnis bei letzterem wurde gegenüber einem Gußeisenplattenbehälter auf einen sehr erheblichen Betrag berechnet.

Maßnahmen. Bei der Herstellung von Beton, welcher Ammoniakwasser ausgesetzt wird, ist stets auf große Dichte zu achten. Kommt Gaswasser zur Einwirkung, besonders beim Behälterbau, so sei, da das Gaswasser oft Spuren schädlicher Salze enthält, folgendes Arbeitsverfahren empfohlen, welches auch für Behälter für andersartige verdächtige Flüssigkeiten mit Erfolg angewendet werden kann:

1. Gute Fundierung, um Setzungen zu vermeiden, da auch geringe Risse Rosten des Eisens im Gefolge haben.

2. Reichliche Armierung, gleichfalls zum Hintanhalten von Reißbildung. Die Armierung soll möglichst in zahlreiche kleine Querschnitte aufgeteilt sein.

3. Dichtestes Korngefüge der Zuschläge, um einen dichtesten Beton zu erzeugen, bei genügender Anwesenheit der groberen Körnungen, welche günstig auf die Verteilung des anwesenden Zementes einwirken. Auf die richtige Verteilung der einzelnen Korngrößen im Zuschlag ist mehr Wert zu legen als dies bisher geschieht, sie ist unter Umständen wichtiger als die Güte des Zementes und von größter Bedeutung für die Qualität des Betons (siehe S. 8ff.).

4. Auftragen einer Deckschicht von etwa 10mm Stärke und ungefähr

¹⁾ Mitteilung des Werkes. ²⁾ Mitteilung des Deutschen Beton-Vereins.

³⁾ Ott: Chem.-Zg. 1917, S. 161; 1918, S. 195; Haas 1922, S. 39.

⁴⁾ Erbaut von Dr. C. Otto & Co., Bochum; Aufsatz von Roßberg, A.: Gas Wasserfach 1923, S. 154; sowie 1922, S. 239; Ref.: Tonind.-Zg. 1923, S. 346.

der gleichen Zusammensetzung wie der Kernbeton, aber ohne grobe Stücke, vorausgesetzt, daß es sich um Eisenbeton handelt. Bei Stampfbeton muß diese Deckschicht fetter sein. Die Schicht ist auf die noch feuchte und im Erhärten begriffene rauhe Fläche des Kernbetons aufzutragen, nachdem dieser gründlich genäßt und von lockerer Anlagerung befreit ist.

5. Aufbringen einer zweiten Deckschicht auf die erste, solange diese noch feucht ist, im Mischungsverhältnis 1 : 1, in einer Stärke von 1,5 bis 2 mm. Dieser Putz darf nicht zu feucht angemacht werden, um Schwindung zu vermeiden und ist nach Eintritt genügenden Abbindens durch Stahlkellen zu glätten. Er ist sehr gut feucht zu halten; Staub und Zugluft muß ferngehalten werden.

Als zweite Deckschicht kann auch reine Zementschicht aufgetragen und mit weichem Handbesen verfeßt werden. Bei letzterer Arbeitsart muß aber ein nicht zum Schwinden neigender Zement herangezogen werden. Längeres Stehen des Behälters an der Luft vor Benutzung, um den freien Kalküberfluß in kohlen sauren Kalk überzuführen und wiederholte Füllung mit Wasser zur Beschleunigung dieser Reaktion und zur Auslaugung, ist wichtig.

6. Anstrich von Preolit, Siderosthen, Inertol od. dgl., falls der Beton in sehr kurzer Zeit in Benutzung genommen werden soll, um den jungen Beton vor schnellem Zutritt des Wassers zu schützen.

4. Kalkwasser.

Kalkwasser ätzt als Base. Stärker ätzend ist das aus dem gebrannten Kalk (Kalziumoxyd) entstehende Kalkhydrat, das mit Wasserüberschuß den zur Mörtelbereitung verwendeten Kalkteig bildet. Die chemische Formel des trocknen Kalkhydrates ist $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (trocken gelöschter Kalk). Das Kalkhydrat löst sich nur in geringen Mengen in Wasser und gehört mit dem Barium- und Strontiumhydroxyd zu den alkalischen Erden; diese sind viel schwächere Basen als das Kalium- und Natriumhydroxyd.

Vorkommen. Entsteht auf jedem Bauplatz, wo gebrannter Kalk mit Wasser übergossen wird, durch Auflösung des gelöschten Kalkes in Wasser. Gelöschter Kalk wird nicht nur zur Mörtelbereitung, sondern auch in großem Umfange in chemischen Fabriken zur Neutralisation von Säuren, in Leimfabriken und Gerbereien zur Aufspaltung organischer Verbindungen verwendet.

Wirkungsweise. Ohne Einwirkung, da Kalkhydrat selbst einen Bestandteil des Betons bildet.

Versuche. Die Versuche siehe unter „Natronlauge“, S. 60, Tab. 19; sie zeigen keine wesentliche Beeinflussung der Betonfestigkeiten.

Erfahrungen. Betongruben zur Aufbereitung von gelöschtem Kalk haben sich bewährt. Die schon berichtete Zerstörung von Kalkgruben in Leimfabriken ist wohl auf andere Ursachen als auf die Kalkeinwirkung zurückzuführen. Verfasser hat Klärbehälter zur Aufnahme von Kalkhydratwasser mit zahlreichen übelriechenden organischen Resten in Leimfabriken gesehen, die nach Jahren keinerlei Angriffe zeigten.

Maßnahmen. Keine besonderen Maßnahmen.

5. Barytwasser (*Bariumhydroxyd*).

Die chemische Formel für Bariumhydroxyd, dessen Auflösung im Wasser das Barytwasser darstellt, ist $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Dies ist eng verwandt mit Kalziumhydroxyd und verhält sich genau wie dieses.

Vorkommen in chemischen Fabriken und Laboratorien durch Auflösung von Ätzbaryt.

Wirkungsweise, Versuche, Erfahrungen, Maßnahmen wie Kalkwasser.

6. Strontiumhydroxyd, $\text{Sr}(\text{OH})_2$.

Für dieses gilt genau das gleiche, was früher von Bariumhydroxyd gesagt ist, da die sog. „Alkalischen Erden“: Bariumoxyd, Strontiumoxyd, Kalziumoxyd (Ätzkalk) nahe verwandt sind. (Siehe deshalb unter Barytwasser.)

7. Alkalische Wässer (Mineralwässer).

Alkalische, einfache und alkalisch-muriatische Säuerlinge. Diese sind eigentlich keine Basen im chemischen Sinne, sie seien aber, da sie alkalisch reagieren und alkalisch genannt werden, hier mitbesprochen. (Über Mineralwässer siehe auch S. 132.)

Die alkalischen Wässer sind stets sehr stark verdünnte Lösungen, die zahlreiche Salze und Basen, vor allem Natriumkarbonat und Kalziumkarbonat, daneben lösliches Natriumsulfat in verschiedenen Mischungsverhältnissen enthalten.

Vorkommen. Alkalische Wässer sind Naturerzeugnisse, welche für Heilzwecke verwendet werden. Als Beispiele seien Appolinaris, Karlsbader, Fachinger, Neuenahrer, Emser und Selterswasser genannt.

Wirkungsweise. Die hauptsächlich in alkalischen Wässern vorkommenden Salze Natrium- und Kalziumkarbonat sind ohne schädliche Wirkung. Nachteilig wirken können die Sulfate, besonders, wenn die Lösungen zur Gewinnung der Brunnensalze eingedampft werden und so die Konzentration sich erhöht. Von größerer Bedeutung kann die Kohlensäure werden, hauptsächlich wenn viel schnellströmendes Wasser dauernd mit dem Beton in Berührung kommt, da sie den Kalk des Zementes auflöst und so das Betongefüge zerstört.

Versuche. Siehe unter Kohlensäure (S. 75).

Erfahrungen. Kohlensäurehaltige Wässer haben häufig Beton zerstört. Siehe Kohlensäure und Sulfate sowie Mineralwässer (S. 75, 88, 132).

Maßnahmen. Es empfiehlt sich, dicht zu arbeiten, um ein Eindringen der Salze in den Beton zu vermeiden, denn auch bei chemischer Wirkungslosigkeit der Salze kann bei sehr undichtem Beton, besonders bei heißen Lösungen der Kristallisationsdruck der Salze, die sich im Gefüge des Betons ausscheiden, Abblätterung hervorrufen, oder an Eisenanlagen können Rosterscheinungen auftreten.

Bei Anwesenheit von viel Kohlensäure und schneller Strömung großer Mengen ist außerdem Zusatz von Traß oder einer anderen Puzzolane, in schwierigen Fällen kalkarmer Zement anzuraten. Auch hier ist dichtes Gefüge und undurchlässige Oberfläche nötig, sowie Schutz des jungen Betons durch Anstrich.

2. Säuren:

a) **anorganische**¹⁾. Alle freien Säuren greifen Beton an und zerstören ihn im Laufe der Zeit, wenn nicht durch Verschlämmung u. dgl. Schutzschichtbildung eintritt. Die Zerstörung erfolgt dadurch, daß die Säure mit der Base des Zementes, dem Kalk, ein Salz bildet; dieses wird dann, da die meisten Kalksalze wasserlöslich sind, aus dem Beton herausgelöst, und dieser zerfällt infolge der hierdurch bewirkten Auflösung des kittenden Zementes. Bei Schwefelsäure können außerdem noch Treiberscheinungen auftreten, wie sie auch bei den Sulfaten beschrieben sind.

Besonders schädlich sind starke und heiße Säuren. Die bekanntesten stärkeren Säuren sind Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure. Weniger schädlich sind die schwächeren Säuren wie Schwefelwasserstoff und Kohlensäure.

Es sind unter anorganischen Säuren besprochen:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Chlorwasserstoffsäure oder Salzsäure. | 6. Schwefelwasserstoff. |
| 2. Schwefelsäure und unterschweflige Säure (wie Schwefelsäure). | 7. Kohlensäure. |
| 3. Schweflige Säure. | 8. Chlorwasser. |
| 4. Salpetersäure. | 9. Bromwasser. |
| 5. Phosphorsäure und Superphosphat | 10. Jodwasser. |
| | 11. Flußsäure. |

1. Chlorwasserstoffsäure, Salzsäure.

Chlorwasserstoffsäure, Salzsäure (HCl) ist ein Gas, dessen wässrige Lösung in der Praxis kurzweg als „Salzsäure“ bezeichnet wird. Die konzentrierte Lösung entwickelt an der Luft farblose, zum Husten reizende Dämpfe. Die Salze der Salzsäure heißen Chloride oder salzsaure Salze oder chlorwasserstoffsäure Salze.

Vorkommen. Sie tritt auf in Laboratorien und chemischen Fabriken und wird für zahlreiche Reaktionen benutzt.

(Werke: Farbenfabriken, Färbereien, Beizereien, Verzinkereien.)

Wirkungsweise. Die Salzsäure führt den Kalk des Betons in Kalziumchlorid über. Da dieses ganz besonders leicht in Wasser löslich ist, wirkt die Salzsäure besonders stark zerstörend, nur sehr verdünnte Lösungen bleiben einige Zeit ohne Einfluß.

Versuche. Während Fugenputz aus purem Portlandzement 1proz. Schwefelsäure noch vertrug, wurde er durch gleichkonzentrierte Salzsäure und Salpetersäure zerstört²⁾. Grün stellte fest, daß von 5proz. Salzsäure Betonkörper nach 1 Woche stark angefressen, nach 4 Monaten völlig zerstört waren, während mit Beton-Murolineum (Dröse & Fischer) behandelte Körper gleicher Herstellungsart nicht angegriffen wurden. Versuche des Material-Prüfungsamtes Lichterfelde (Prüfungszeugnis Nr. 59 844 und 61 793) zeigten für verschiedene Säuren folgende Ergebnisse für Beton 1 : 4 Portlandzement:

¹⁾ Ein Teil der anorganischen Säuren wird auch Mineralsäuren genannt. Mineralsäuren heißen solche Säuren, welche als Mineralbildner auftreten, z. B. Schwefelsäure in Gips, Salzsäure in Kochsalz und Kainit usw., Salpetersäure in Salpeter.

²⁾ Erdmenger: Tonind.-Zg. 1878, S. 379.

Tabelle 22.

Lagerung 14 Tage Luft, dann 38 Tage Säure	Unbehandelter Beton	Mit Murolineum behandelter Beton
Salzsäure 0,5%	Druckversuche unmöglich	177 kg je qcm
Salpetersäure 0,5%	Körper zerstört	209 „ „ „
Schwefelsäure 0,5%	197 kg je qcm	240 „ „ „
Essigsäure 1,0%	177 „ „ „	250 „ „ „

Während der Lagerung wurde das Bad 4 mal erneuert.

Grün erhielt folgende Zahlen für verschiedene Zementarten in ungeschütztem Beton:

Tabelle 23.

	Wasser	Salzsäure 1%	Salpeter- säure 1%	Schwefel- säure 1%	Essigsäure	Oxalsäure
Portlandzement	42	36	36	41	39	40
Hochofenzement	39	31	41	40	38	40

Darnach ist Salzsäure weitaus am schädlichsten, etwas weniger Salpetersäure, Schwefelsäure bei der geringen Konzentration von 1% noch unschädlich, ebenso Essigsäure und Oxalsäure. (Die Versuche sind als Laboratoriumsversuche nur als Vergleich der einzelnen Säuren brauchbar. In der Praxis bei stets erneuerter strömender Säure wird der Beton stärker geschädigt.)

Erfahrungen. Nachdem durch die schwach sauren Abwässer einer Färberei deren Fußboden einmal zerstört worden war, hat sich eine weitere Ausführung in Portlandzement 1 : 1, die sehr sorgfältig erfolgt war, mehrere Jahre gehalten. (Protokolle des Vereins D.P.Z.-Fabrikanten.)

Ohne Zerstörungerscheinungen blieb ein 30 m³ fassender Behälter aus Eisenbeton (Eisenportlandzement 1 : 4 Elb-Travekies) mit 120 mm Wandstärke, der dauernd gefüllt ist mit einer 60° C warmen Lösung von Zinksulfat und Natriumsulfat mit einem Gehalt von 3% freier Salz- und Salpetersäure. Der Putzmörtel erhielt Ceresitzzusatz und Asphaltanstrich und ist durch Holzverkleidung gegen mechanische Beschädigung geschützt (Mitteilung des Hochofenwerkes Lübeck).

In einem Säureaufbewahrungsraum der Verzinkerei Hilgers wurde der Betonfußboden durch die abtropfende Salzsäure wiederholt beschädigt, auch nachdem ein Asphaltüberzug angebracht war. Die Aufbringung von Awa-Asphalt schaffte Abhilfe, der Boden hielt sich gut¹⁾.

Maßnahmen gegen Salzsäureeinwirkung sind stets notwendig. Gegen sehr verdünnte Säurelösungen (unter 0,15%) genügt, falls nicht Hitze und schnelle Strömung auftritt, Fluatierung und Schutzanstrich. Bei höheren Konzentrationen ist Fluatierung, Murolineum, Awa-Patent-Mörtelzusatz²⁾, Schutzanstrich Awa-Asphalt, Preolit, Margalith od. dgl. nötig. Bei stärkerer Säure muß zur Verkleidung mit Stellplatten, Knauffischen Platten oder Bi-Platten der Steinzeugwarenfabrik Friedrichsfeld, Glastafeln oder Klinkern od. dgl. gegriffen werden, die mit säurefestem Kitt auszufugen sind. Als Kitt kommt der Spezialkitt der

¹⁾ Bautechnik 1923, S. 223.

²⁾ Beton Eisen 1923, S. 139.

Steinzeugwarenfabrik Friedrichsfeld b. Mannheim oder der dauernd plastische Kitt von K. Gössel, Karlsruhe i. Baden oder Glycerin-Bleiglätte-Kitt (aus 5 kg trockener Bleiglätte durch inniges Vermischen mit $\frac{1}{2}$ l Glycerin vom spez. Gewicht 1,2; Abbindezeit 1—2 Stunden) in Betracht.

2. Schwefelsäure (alter Name: Vitriolöl).

Schwefelsäure (H_2SO_4) ist in konzentriertem Zustand eine ölige Flüssigkeit, die sich beim Mischen mit Wasser erhitzt. Verdünnte Schwefelsäure sieht aus wie Wasser; in Bergwerkswässern und Moorwässern führt sie saure Reaktion (Rotfärben von blauem Lackmuspapier S. 59) herbei. Ihre Salze heißen schwefelsaure Salze oder Sulfate (Vitriole).

Vorkommen. In den meisten chemischen Fabriken und Laboratorien, außerdem in Bergwerks- und Haldenwässern, sowie in Kanälen, wo sie sich aus den Sulfiden der Erze, Verbrennungsschlacken, Kohlen oder aus Schwefelwasserstoff durch Oxydation bei Luftzutritt bildet, ferner in Moorwasser.

Wirkungsweise. Die S. bildet aus dem Kalk des Betons Kalziumsulfat (Gips). Da dies in Wasser bekanntlich schwer löslich ist, wird es nicht so leicht aus dem Betonverband herausgelöst wie das z. B. bei der Einwirkung von Salzsäure entstehende sehr leicht lösliche Kalziumchlorid. Deshalb vermag es die Poren des Betons zu verstopfen und eine Schutzschicht zu bilden. Die Schwefelsäure ist deshalb bei geringen Konzentrationen unschädlicher als Salz- und Salpetersäure.

Bei längerer Einwirkung, die vermehrte Gipsbildung im Gefolge hat, wird aber Gipstreiben herbeigeführt, welches den Beton zersprengt.

Versuche. Die geringere Schädlichkeit der verdünnten Schwefelsäure wird durch die Versuche und die Praxis bewiesen (siehe Versuche unter Salzsäure S. 65 u. 66, Tab. 23).

Bei Untersuchungen von J. C. Witt ¹⁾ zeigte sich, daß 5% SO_3 noch keinen ernstlichen Verlust an Festigkeit verursachten. Bei höherem Gehalt (9—10%) fand Festigkeitsrückgang und Zerfallen des Zementes statt.

Ein Zusatz von bis zu 20% — auf das Zementgewicht bezogen — Si-Stoff (Abfall der Alaunfabrikation) machten nach Versuchen H. Kaisers ²⁾ Portlandzementbeton widerstandsfähiger gegen Schwefelsäure.

Mohr ³⁾ fand bei Portlandzement teilweise ungünstigen Einfluß von Traßzusatz, Hochofenzemente waren bei seinen Versuchen widerstandsfähiger als die Portlandzemente, auch wenn diese letzteren getraßt waren.

Erfahrungen. Zerstörungerscheinungen zeigten sich nach 5 Monaten an den Eisenbetonbehältern einer Sulfit-spritzfabrik, die mit einer 100° heißen Flüssigkeit von 0,3% Schwefelsäuregehalt gefüllt waren, trotz Auskleidung mit Steinzeugplatten (die zweifellos nicht dicht gehalten hatten). Auch an den von der gleichen Flüssigkeit durchrieselten Neutralisationstürmen traten nach 8 Monaten Schäden auf ⁴⁾.

¹⁾ Chem. Zentralblatt 1923, Bd. IV, S. 450.

²⁾ Bauing. 1923, S. 391; Grün, D. R. P. 362 023.

³⁾ Mohr: Bauing. 1925, S. 288. ⁴⁾ Handbuch S. 54.

Bewährt hat sich ein Kanal (ausgeführt von Dyckerhoff & Widmann, A.-G.) zur Aufnahme von 30proz. 50° C heißer Schwefelsäure, der mit säurefesten Steinzeugplatten in Portlandzement, ausgefugt mit säurefestem Kitt, ausgekleidet war ¹⁾.

In Iserlohn wurden von den sauren Beizwässern der Metallwaren-Industrie, welche trotz Verbotes dem städt. Leitungsnetz zugeführt worden waren, die Zementröhren der städt. Kanalisation nach einigen Jahren völlig zerstört, und zwar auch unter dem zum Schutz angebrachten Asphaltüberzug.



Abb. 21. Durch Einwirkung von Schwefelsäure zerstörter Pfeiler. (Aufn. Prof. Mohr, L'hafen.)

In Osnabrück wurde durch Moorwasser, welches aus einem schwefelkieshaltigen Moorboden stammte, ein Kanal hauptsächlich an den Stellen des wechselnden Grundwasserstandes zerstört. Der gleiche Kanal blieb an denjenigen Stellen, die in Kies gebettet waren, erhalten ²⁾.

Pfeiler, gemauert aus säurefesten Klinkern in Portlandzementmörtel, die eine Bühne zur Aufnahme von Schwefelsäurekesseln trugen, wurden durch die abtropfende Schwefelsäure schwer beschädigt. Der Mörtel trieb und sprengte ganze Mauerwerksteile ab. Teilweise mußten die Pfeiler ganz entfernt werden; soweit der Kern noch gut war, wurde er nach Entfernen des schlechten Mauerwerks und mehrwöchentlichem

Stehenlassen des guten Kernes zur allenfallsigen Beobachtung weiterer Treiberscheinungen mit einem Eisengestell ummantelt und das abgebrochene Mauerwerk durch Hochofenzement-Beton 1 : 4 ersetzt (Abb. 21 und 22). Der Beton wurde durch sorgfältige Abdeckung gegen Säurezutritt möglichst geschützt und mehrmals mit Inertol gestrichen ³⁾.

Diese geschilderten Maßnahmen bewährten sich gut, neue Zerstörungen traten nicht auf.

Maßnahmen. Abhilfe wie bei Salzsäure (S. 66).

Für Reparaturarbeiten an Bauwerken, welche der Schwefelsäure oder

¹⁾ Handbuch S. 54. ²⁾ „Steinzeug“, Verlag v. Oldenbourg.

³⁾ Goebel: Bauing. 1925, S. 297.

Sulfatbeschädigung ausgesetzt sind, ist folgendes zu beachten: Bei Schwefelsäure- oder Sulfatbeschädigung ist ein langes Stehenlassen der Bauteile vor Aufbringung neuen Betons usw. erforderlich, da die Treiberscheinungen auch nach Aufhören des Sulfatzutritts noch weitergehen. Ihr Endpunkt muß abgewartet werden. Bei Einwirkung von Säuren, die nicht zu Treiben führen (Salpetersäure), ist dieses Abwarten unnötig.

3. Schweflige Säure.

Schweflige Säure ist ein unsichtbares aber stark stechend riechendes, erstickend wirkendes Gas, welches sich verhältnismäßig leicht durch Aufnahme von Sauerstoff zu Schwefelsäure oxydiert. SO_2 in wässriger Lösung H_2SO_3 . Es löst sich leicht in Wasser zu einer farblosen, stechend riechenden Flüssigkeit. Die Salze heißen Sulfite (nicht Sulfide S. 73).

Vorkommen. Entsteht bei der Verbrennung von Schwefel, kommt deshalb in Rauchgasen vor, besonders wenn diese aus stark schwefelhaltigen Kohlen (Saarkohlen, engl. Kohlen) stammen. Aus dem gleichen Grund entsteht sie in großen Mengen bei der Röstung (Erhitzung an der Luft zur Entfernung des Schwefels) von schwefelhaltigen Erzen (solche Erze nennt man Kiese). Technisch wird sie in ungeheuren Mengen hergestellt zur Schwefelsäurefabrikation aus Kiesen, Gips oder Schwefel.

Wirkungsweise. Schweflige Säure wird vom Beton beispielsweise aus Rauchgasen leicht als schwefligsaurer Kalk (Kalziumsulfite) aufgenommen, das sich bald zu Kalziumsulfat (Gips) oxydiert. Die Einwirkungsweise ist also genau die gleiche wie bei Schwefelsäure, sie tritt aber, da schweflige Säure ein Gas ist, während Schwefelsäure eine Flüssigkeit darstellt, an ganz anderen Orten und in anderer Weise auf (Tunneldecken).

Versuche. Grün hat Mörtelkörper 1 : 5 in einem dicht verschlossenen Kasten gelagert, in welchem an jedem zweiten Tag Schwefel verbrannt

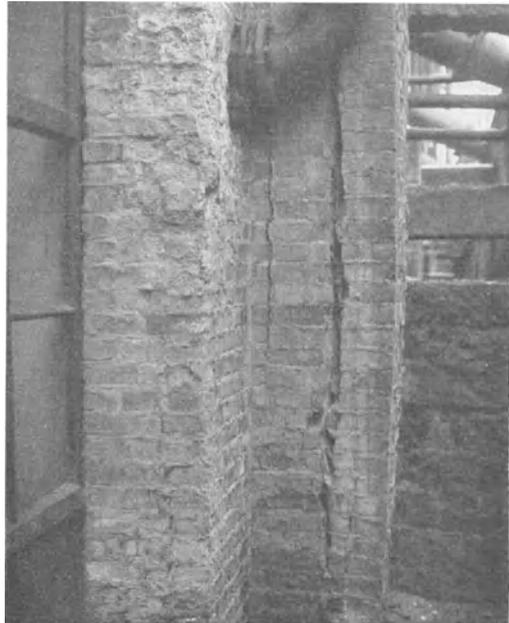


Abb. 22. Durch Bildung von Sulfat zerstörter Pfeiler aus Klinker in Zementmörtel. (Aufn. Prof. Mohr u. Goebel.)

und auf diese Weise eine stark schwefligsäurehaltige Atmosphäre hergestellt wurde. Die Körper wurden von Zeit zu Zeit in Wasser getaucht. Die in der Säureatmosphäre gelagerten Körper zeigten gegenüber den an gewöhnlicher Luft gelagerten Körpern erhebliche Festigkeitssteigerungen.

Tabelle 24. Lagerung von Beton in schwefliger Säure-Atmosphäre.

Zement	Lagerung	Zugfestigkeit			Druckfestigkeit		
		7 Tage	28 Tage	3 Mon.	7 Tage	28 Tage	3 Mon.
P.Z. Ae.	in Luft	12	13	21	65	88	117
” ”	gasförmig schwefl. Säure	—	19	46	—	111	213
H.O.Z. Aa.	Luft	17	17	25	88	116	140
” ”	gasförmig schwefl. Säure	—	25	43	—	133	234

Die Körper wurden eingeschlagen mit Normalsand und nach 7 Tagen in die schweflige Säure-Atmosphäre gebracht.

Die Festigkeitssteigerungen sind auf das Zunehmen der inneren Spannung zurückzuführen. Voraussichtlich wäre bei Fortdauer der Versuche eine Zersprengung der Körper eingetreten. Sie zeigen, daß Beton gegen die Einwirkung der schwefligen Säure beständiger ist als viele Natursteine. Die weitgehenden Zerstörungserscheinungen am Kölner Dom beispielsweise sind zurückzuführen auf die schweflige Säure aus den Lokomotiven des nebenan gelegenen Hauptbahnhofs.

Erfahrungen. In verschiedenen Tunneln der Eifel wurden die Betonwölbungen durch die Rauchgase so gründlich zerstört, daß Wiederherstellung nötig war, die in Hochofenzementbeton ausgeführt wurde ¹⁾.

Maßnahmen. Bei gasförmiger schwefliger Säure (Rauchgase) genügt im allgemeinen dichtes Arbeiten, um Risse zu vermeiden und Eindringen des Gases in das Innere des Betons besonders zu den Eisen zu verhindern, kalkarmer Zement ist vorteilhaft, Fluatierung anzuraten.

Liegt die schweflige Säure z. B. in chemischen Fabriken in wässriger Lösung vor, so sind die gleichen Maßnahmen wie bei Schwefelsäure zu treffen.

4. Salpetersäure.

Salpetersäure (HNO_3) ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die stark verbrennend wirkt. Besonders rauchende Salpetersäure, die infolge des in ihr gelösten Stickoxydes fuchsrot aussieht und rote Dämpfe entweichen läßt, zerstört sofort durch Oxydation (Verbrennung) alle organischen Körper.

Vorkommen. Gleichfalls in chemischen Fabriken, Sprengstoff- und Düngerfabriken.

Wirkungsweise. Obgleich die Salpetersäure eine etwas schwächere Säure als die Schwefelsäure ist, wirkt sie schädlicher als diese auf Beton,

¹⁾ Mitteilung von J. Meerkamp, Duisburg.

da sie das Kalziumoxyd des Betons in das sehr leicht lösliche Kalziumnitrat überführt, also auflöst.

Versuche. Mohr ¹⁾ lagerte Portlandzement und Hochofenzement in 0,5 und 2,5 proz. Salpetersäure und fand Schädigung sämtlicher Zemente in folgenden Zahlen:

Tabelle 25.

Mischungsverhältnis	1:1:0	1:2:0	1:3:0	1:4:0	1:1:0,25	1:2:0,25	1:3:0,25	1:4:0,25
0,5 proz. Salpetersäure.								
P.Z. A	523	528	501	201	655	533	509	316
„ B	543	651	384	220	462	497	427	255
H.O.Z. C	520	521	347	171	—	—	—	—
„ E	325	—	—	159	—	—	—	—
„ D	697	—	—	285	—	—	—	—
2,5 proz. Salpetersäure.								
P.Z. A	435	445	320	53	481	365	453	247
„ B	459	432	300	165	319	393	328	158
H.O.Z. C	422	441	229	95	—	—	—	—
„ E	223	—	—	139	—	—	—	—
„ D	434	—	—	144	—	—	—	—

Die Körper waren erst im Alter von 28 Tagen in die Flüssigkeit gekommen.

Erfahrungen. Durch nitrose Gase, aus welchen sich unter Einwirkung von Wasserdampf Salpetersäure bildete, wurden an einem Schornstein auf der Badischen Anilin- und Sodafabrik tiefgehende Zerstörungen des Zementmörtels hervorgerufen, die die völlige Abtragung des Schornsteins erzwangen. Der Gehalt des Mörtels an Salpetersäure war auf 20% gestiegen (Abb. 23). Die Wiederherstellung wurde mit säurefesten Steinen in Hochofenzementmörtel 1:3 durchgeführt, bei gleichzeitiger Einbringung eines säurefesten Futters in Steulerkitt; das Mauerwerk wurde außerdem mit Inertolanstrich versehen. Dennoch sind seit einigen Jahren Zerstörungserscheinungen aufgetreten, die allerdings diesmal einen erneuten Abbruch des Schornsteins nicht erzwingen werden; die Zerstörungserscheinungen verliefen infolge der Schutzmaßnahmen nur langsam ²⁾.



Abb. 23. Durch nitrose Gase beschädigter Schornstein. (Aufn. Prof. Mohr, L'hafen.)

Die außerordentlich starke Zerstörungskraft der Salpetersäure be-

¹⁾ Bauing. 1925, S. 290.

²⁾ Mohr u. Goebel: Bauing. 1925, S. 294.

weisen auch besonders starke Zerstörungen, die durch ganz verdünnte Lösungen an einer Stützmauer hervorgerufen wurden (Abb. 24).

Auch Salpetersäuretürme, die 25 m hoch und 6 m im Durchmesser sind, werden durch Salpetersäure völlig zerstört¹⁾. Bei der Wiederher-

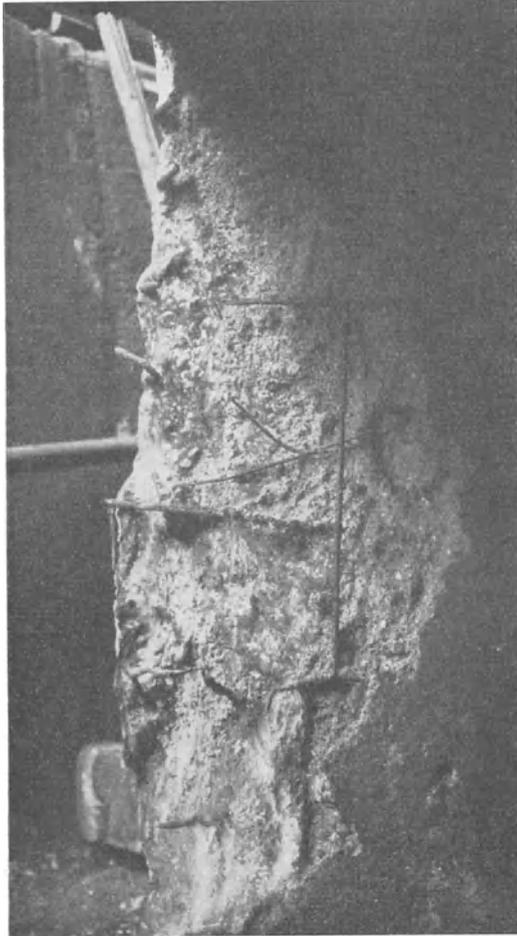


Abb. 24. Zerstörungen an einer Stützmauer durch stark verdünnte Salpetersäure. (Aufn. Prof. Mohr, L'hafen.)

sache die Sulfate und die Spuren von Schwefelsäure die beobachtete schädliche Wirkung hervorrufen.

Versuche. Nicht vorhanden.

Erfahrungen. In seit 15 Jahren, allerdings mit mehrjähriger Unterbrechung, zur Superphosphatlagerung benutzten Räumen wurde bei

der Herstellung wurden die Fundamente durchbrochen ausgeführt, um überall den Beton beobachten zu können; außerdem und vor allen Dingen wurde durch Anbringung geeigneter Tropfschalen und Decksteine der Zutritt der Säure zum Beton verhindert¹⁾.

Maßnahmen. Wie bei Salzsäure (S. 66).

5. Phosphorsäure, Superphosphat.

Das Superphosphat hat stets geringe Mengen freier Phosphorsäure, außerdem Sulfate (Gips und Ferrosulfat), die bei Zutritt von Wasser gefährlich werden können.

Vorkommen. Phosphorsäure kommt hauptsächlich vor in Superphosphat, einem Düngemittel, das durch Behandlung mit Schwefelsäure aufgeschlossen ist.

Wirkungsweise. Wie Säure und Sulfate. Die schädliche Wirkung der Phosphate ist wohl sehr gering. Im Superphosphat wird in der Haupt-

¹⁾ Mohr u. Goebel: Bauing. 1925, S. 285, 298.

Nachforschung festgestellt, daß hauptsächlich an den Kanten der Stützpfeiler der Zement herausgelöst war. Die Kiesel ließen sich mit der Hand herauskratzen. Eine tiefgehende Schädigung, die zur Unbrauchbarkeit geführt hätte, war aber nicht vorhanden¹⁾.

Maßnahmen. Schutz des Betons durch Anstrich (Preolith, Inertol usw.) und Holzverschalung zur Verhinderung der Beschädigung bei gleichzeitiger Verhinderung von Wasserzutritt.

6. Schwefelwasserstoff.

Schwefelwasserstoff (H_2S) ist ein sehr giftiges, übelriechendes Gas (nach faulen Eiern), das sich in Wasser zu Schwefelwasserstoffwasser löst. Im chemischen Sinne ist es eine schwache Säure, seine Salze heißen „Sulfide“.

Sowohl der Schwefelwasserstoff als auch die Sulfide neigen zur Verbindung (Oxydation) mit dem Sauerstoff der Luft, wobei dann Schwefelsäure bzw. Sulfate entstehen.

Vorkommen. Außer in chemischen Fabriken in Kanalwässern, wo Schwefelwasserstoff entsteht bei der Verfaulung schwefelhaltiger organischer Stoffe; bei der Granulation von Hochofenschlacke mit Wasser tritt gleichfalls Schwefelwasserstoff, bei Luftgranulation schweflige Säure auf.

Wirkungsweise. Die Gefährlichkeit des Schwefelwasserstoffs beruht auf der genannten Neigung zur Oxydation; die eintretenden Umsetzungen und Schäden sind die bei Schwefelsäure beschriebenen.

Sulfide und Schwefelwasserstoff, die sich infolge Luftabschluß nicht oxydieren können, sind verhältnismäßig ungefährlich.

Allerdings hat Rodt²⁾ nachgewiesen, daß auch Schwefelwasserstoff wie jede freie schwache Säure lösliche Kalksalze zu bilden, also den Beton bei Gegenwart von Wasser auszulaugen vermag (Bildung von Kalziumsulfhydrat).

Versuche. Gary³⁾ stellte fest, daß Schwefelwasserstoff auf Kalk und Zementmörtel einwirkt, und daß das entstehende Endglied stets das Oxydationsprodukt Kalziumsulfat (schwefelsaurer Kalk, Gips) ist. Erschwert wurde der Angriff, wenn an Stelle des Kalkhydrats Kalziumkarbonat vorlag.

Erfahrungen. In einem Brauereikanal, der schwefelwasserstoffhaltige Abwässer wegführte, wurde der obere Teil der ihn bildenden Betonröhren zerstört. Der Beton war mit Sulfat angereichert, welches durch Oxydation des Schwefelwasserstoffes entstanden war (Bericht Heyer).

An dem 4 km langen und 1 m breiten Fäkalienzuleitungskanal der Stadt Dortmund aus Portlandzementbeton nach dem Riesefeld Lippe traten nach zweijährigem Bestehen Gewölbeeinstürze von 5–2 m Länge ein. Auch die Entlüftungsschächte waren teilweise zerstört. Die von der

1) Mitteilung von Dr. A. Schuster in Firma Zimmer, Mannheim.

2) V. Rodt: Die Einwirkung von Schwefelwasserstoff auf Kalkmörtel, Zementmörtel und Beton. Mitt. a. d. Staatl. Materialpr.-Amt Dahlem. Zement 1925, S. 481.

3) Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, H. 52. Ernst & Sohn, Berlin 1922.

Flüssigkeit bedeckten Teile blieben erhalten (Bericht Kiesler, Düsseldorf).

Der mächtige Eisenbetonbehälter, in welchem sich auf der Dortmunder Union der wassergranulierte Schlackensand mit dem heißen schwefelwasserstoffhaltigen Granulationswasser sammelt, ist bis heute nach 10 Jahren trotz des hohen Schwefelwasserstoffgehaltes des Wassers noch nicht zerstört. Dieses Bauwerk ist aus Hochofenzement errichtet.

Gensbauer berichtet über Zerstörungen von Eisenbeton aus Portlandzement durch Granulationsgase. Grün wies nach, daß eine Anreicherung mit Sulfat eingetreten war, die auf Einwirkung der bei der Granulation entstehenden Gase von schwefliger Säure (entstanden durch Verbrennen von Schwefel und Schwefelwasserstoff der Schlacke) auf den Beton zurückzuführen ist; denn an Stellen, wo nur Schwefelwasserstoff vorhanden war, traten nur geringe Schädigungen auf¹⁾.



Abb. 25. Betonkanal, beschädigt durch Sulfatbildung im Beton.

In Australien wurden an einem Wellenbrecher nach $4\frac{1}{2}$ Jahren Zerstörungserscheinungen festgestellt, die auf Schwefeleinwirkung infolge Zersetzung von Seetangen zurückgeführt werden²⁾.

In einem städtischen Betonkanal in Gelsenkirchen waren erhebliche Zerstörungen eingetreten, und zwar hauptsächlich in und über der Wasserlinie. Die Untersuchung des noch unzerstörten Betons ergab einen Sulfatgehalt (SO_3) von 0,29 bzw. 0,30%, während der zerstörte Beton 1,51 bzw. 1,51% SO_3 aufwies (siehe Abb. 25). Die Sulfatbildung war durch eine benachbarte chemische Fabrik hervorgerufen. Die Wiederherstellung erfolgte in Hochofenzementbeton in dichtester Mischung³⁾.

¹⁾ Beton Eisen 1923, S. 27 u. 267.

²⁾ Chem. Zentralblatt Bd. I, S. 440. 1924. — J. Soc. Chem. Ind. Bd. 42, S. 433 bis 434. 1923 (Adelaide, Univ.).

³⁾ Erfahrung des Verfassers.

Der große Abwasserkanal der Bad. Anilin- und Sodafabrik, der aus Eisenbeton bestand, wurde durch den Schwefelwasserstoff weitgehend zerstört. Der Kanal war an Sohle und Seitenwänden mit Knauff'schen Platten in Zementmörtel 1 : 2 belegt gewesen, die Kanaldecke bestand aus Eisenbeton 1 : 4. Die Platten waren in großem Umfange abgefallen, der Verlegungsmörtel in eine weiche Masse verwandelt, teilweise auch hinter den scheinbar noch feststehenden Platten. Die Platten hatten sich mit einer Schicht von reinem Schwefel überzogen. Auch die Decke war tiefgehend zerstört, das Bewehrungseisen in brüchiges Schwefel-eisen verwandelt.

Eine Analyse des Verlegungsmörtels der Platten zeigte bei 31,7% CaO, den enormen Gehalt von 51,3% SO₃ (Schwefelsäureanhydrid), also nicht nur völlige Umwandlung des Kalkes in Kalziumsulfat (Gips), sondern noch einen SO₃-Überschuß von 6%, der zweifellos auch die Tonerde und das Eisen in Sulfat verwandelt hat, so daß also in dem „Mörtel“ nur noch Gemische der einzelnen Sulfate mit abgeschiedener Kieselsäure vorlagen.

Die Wiederherstellung wurde nach Entfernung der morschen Teile, tüchtiger Durchwässerung und Wartezeit im Mischungsverhältnis 1 : 4 G.T. mit Hochofenzementbeton durchgeführt, und zwar wurden statt der Knauff'schen Platten Sandsteinplatten 120 × 95 × 15 cm gewählt, die mit Teer getränkt waren und mit Teer vergossen wurden. Die Decke wurde in säurefestem Klinkermauerwerk mit Hochofenzementmörtel zugewölbt, die Fugen mit Kitt verstrichen. Außerdem wurde durch zahlreiche Lüftungsschächte (alle 30 m) für genügenden Abzug der Gase gesorgt; die Schwefelablagerungen sind nun auch ausgeblieben¹⁾.

Maßnahmen. Die Beschädigungen treten nur da auf, wo Luft zu Schwefelwasserstoff hinzukommt und diesen zu Schwefelsäure oxydiert. Zu dieser Oxydation sind offenbar Mikroorganismen notwendig, welche nur in Kanälen, in Meeren u. dgl. einwirken können (Schwefelbakterien), die aber beispielsweise bei Granulationsbehältern nicht vorkommen. Infolgedessen muß dafür gesorgt werden, daß entweder Luft in die gefährdeten Kanäle nicht eindringen kann, oder aber durch sehr starken Luftzug muß der Schwefelwasserstoff dauernd entfernt und der Beton entsprechend geschützt werden. Die Abhilfe ist im übrigen die gleiche wie bei Schwefelsäure (S. 67).

7. Kohlensäure.

Kohlensäure, Kohlenstoffdioxid CO₂, ist ein farbloses Gas, das schwerer wie die Luft ist (Erstickungsgefahr in Gärkellern, Hundsgrotte auf Capri) und sich in Wasser in um so größeren Mengen auflöst, je höher der Druck ist, der auf der Flüssigkeit lastet. Deshalb ist in Meerwasser in tieferen Lagen erheblich mehr Kohlensäure gelöst als in den Oberflächenschichten.

Das Perlen von Sekt, Bier und Sodawasser nach Lösen des Verschlusses beruht auch auf dem Entweichen der Kohlensäure nach Aufhebung

¹⁾ Mohr u. Goebel: Bauing. 1925, S. 287 u. 295.

des Druckes, da infolge der Druckverminderung die Flüssigkeit die vorher gelöste Kohlensäure nicht mehr festzuhalten vermag.

Vorkommen. Kohlensäure kommt hauptsächlich in Mineralquellen in großen Mengen vor. Auch das gewöhnliche Quellwasser enthält in vulkanischen Gegenden häufig recht erhebliche Kohlensäuremengen, auch wenn die Vulkane seit vielen Jahrzehntausenden erloschen sind (z. B. Rheinland, Bonn, Andernach). In der Luft kommt gleichfalls Kohlensäure in geringen Mengen vor, die aber genügen, um freien Kalk von abge bundenem Mörtel und Beton wenigstens auf der Oberfläche in kohlen sauren Kalk überzuführen, da der freie Kalk des Betons als starke Base eine große Affinität (chemische Verwandtschaft) zur Kohlensäure hat und mit ihr das Salz: das Kalziumkarbonat (kohlen saures Kalzium, kohlen saurer Kalk) zu bilden trachtet.

In gebundenem Zustand kommt die Kohlensäure als kohlen saurer Kalk in ungeheuren Mengen als gebirgsbildender Bestandteil vor (Kalksteingebirge, Kreide). Sie wird bei zahlreichen chemischen Prozessen aus diesen Gesteinen freigemacht und kommt in Stahlflaschen komprimiert für Bierpressionen, Sodawasserbereitung in den Handel.

Sie entsteht bei der Verbrennung von Holz, Koks und Kohlen (daher der Name), sowie bei Gärprozessen (Wein, Bier).

Wirkungsweise. Als Säure wirkt die Kohlensäure natürlich nur in wässriger Lösung als Mineralwasser, Moorwasser, Gärflüssigkeit (gasförmige Kohlensäure ist unschädlich) wie jede andere Säure, indem sie den Kalk des Betons herauslöst. Dabei führt sie ihn über den Umweg kohlen saurer Kalk, der in Wasser unlöslich ist, in doppeltkohlen sauren Kalk über, welcher sich leicht auflöst. Natürlich ist für diese Reaktion ein großer Überschuß notwendig, nur große Mengen kohlen säurehaltigen Wassers wirken also schädlich (Strömung) und diese nur, wenn sie längere Zeit einwirken, da Kohlensäure eine sehr schwache Säure ist.

Versuche. Bei bis 4jähriger Lagerung verschieden vorbehandelter Betonkörper im Stadtpumpbrunnen Bonns, dem alljährlich etwa $2\frac{1}{2}$ Millionen cbm kohlen säurehaltiges Wasser entnommen werden, zeigte sich, daß alle Körper an Gewicht eingebüßt hatten. Am besten bewährt hatten sich die mit Fluaten und Oxalsäure angestrichenen sowie die Körper aus dem kalkarmen Romanzement ¹⁾. Bei anderen Versuchen in einem Säuerling des Brohltals zeigten Traß enthaltende Betonkörper besseres Verhalten als die traßfreien ²⁾.

Die Wände der Wasserbehälter der Stadt Leipzig wurden von R. Wolle in den Jahren 1900—1909 mit Portlandzement und Romanzement verputzt und mit und ohne Anstrich mit verschiedenen Schutzmitteln beobachtet.

Nach 9 Jahren wurde folgender Befund festgestellt:

Portlandzement-Beton mit u. ohne Fluatierung:	Starke Zerstörung.
Romanzement-Beton ohne Fluatierung:	Fast keine Einwirkung.
„ „ mit Fluatierung:	Völlig unberührte Erhaltung.
Siderosthen-Lubrose-Anstrich:	Bewahrung beim Schutz alter Putzflächen.

¹⁾ Schiffner: Prot. d. Ver. d. P.Z.-Fabrikanten 1899, S. 121.

²⁾ Wagner: Prot. 1900, S. 180.

Inertol:

Bewährung wie bei Siderosthen
(während der hier nur 2 Jahre
dauernden Beobachtung).

Erfahrungen. Der Portlandzementputz von 3 großen Hochbehältern im Rheinland war nach 8, 9 und 21 jähriger Benutzung stark zerstört. Die Analyse ergab:

8,01% Kalziumoxyd,
10,01% Eisenoxyd,
25,84% Tonerde,

ein Zeichen, daß der Kalk zum größten Teil herausgelöst, das Eisen des Wassers dagegen ausgefallen war¹⁾.

Nur 9 mg Kohlensäure im Liter enthaltendes, aber sehr weiches, also salzarmes Quellwasser zerstörte in Eisfeld die Betonwände des Hochbehälters auf 10 cm Tiefe²⁾.

Gegen das 30 mg Kohlensäure im Liter enthaltende, also stark aggressive Leitungswasser Frankfurt a. Main, welches Portlandzementbeton schon in 1 Jahr zerstörte, bewährte sich von 46 Anstrichen, welche probeweise in dem 30 000 m³ fassenden Hochbehälter angebracht wurden, Inertol weitaus am besten³⁾.

Maßnahmen. Maßnahmen zum Schutz nur notwendig bei Anwesenheit von ständig sich erneuerndem kohlenensäurehaltigem Wasser. Gasförmige Kohlensäure oder stehendes Wasser sind ohne Einfluß.

Im allgemeinen genügt dichtes Arbeiten, kalkarmer Zement (Hochofenzement oder Romanzement) ist vorzuziehen. Auch ein Laufenlassen des Wassers über Brocken von kohlenäurem Kalkstein, um die freie Kohlensäure in unschädlichen doppeltkohlenäuren Kalk überzuführen, ist vorteilhaft, besonders wenn städtisches Leitungswasser in Betracht kommt, da die Kohlensäure auch für das eiserne Rohrnetz von Nachteil ist und auf diese Weise entfernt wird. Bei stark kohlenensäurehaltigem Wasser ist Inertolanstrich allenfalls mit vorausgehender Fluatierung anzuraten.

8. Chlor.

Das Chlorwasser bzw. der Chlorkalk wird hergestellt durch Einleiten des grünlich aussehenden Chlorgases in Wasser bzw. Kalkwasser; es riecht erstickend.

Vorkommen. Chlor wird in chemischen Fabriken zu Bleichzwecken u. dgl. besonders als Chlorwasser oder Chlorkalk benutzt.

Wirkungsweise. Chlorwasser zerstört alle organische Substanzen durch Oxydation (Verbrennen). Dabei bildet sich, wie auch bei längerem Stehen des Chlorwassers, Salzsäure. Die Einwirkungsweise des Chlorwassers ist demgemäß diejenige von verdünnter freier Salzsäure, also zerstörend.

Versuche. Portlandzementkörper wurden im Laufe eines Jahres zu Chlorkalkbrei, dessen wirksamer Bestandteil bekanntlich Chlor ist, zerstört; Hochofenzementbeton bewährte sich besser⁴⁾.

¹⁾ Handbuch S. 56. ²⁾ Wasser Abwasser Bd. 4, S. 96. 1911.

³⁾ Scheelhase: Tonind.-Zg. 1908, S. 1546. ⁴⁾ Baumarkt 1908, S. 643.

Erfahrungen. Die Betonfüße von Bromerzeugungstürmen wurden durch heiße Endlaugung und freies Chlor und Brom im Verlauf von 4 Jahren unter Ribbildung und Zerbröckelung des 2 cm starken Putzes zerstört¹⁾.

Chlorkalkkammern in Eisenbeton haben sich nach Hademverski, wenn sie mit einem Schutzanstrich von Steinkohlenteer, in welchem Asphalt gelöst war, geschützt waren, seit 18 Jahren bewährt. Besonders gute Erfahrungen wurden mit einem Hochofenzement gemacht²⁾.

Für Chlorierungsapparate, in welchen Kalkmilch mit Chlor gemischt wird, wurden nicht einmal Schutzanstriche verwendet²⁾.

Maßnahmen. Sorgfältige Arbeitsweise, Verwendung kalkarmen Zements und geeigneter Schutzanstrich machen nach den Erfahrungen der Praxis auch Eisenbeton selbst für stark der Chloreinwirkung ausgesetzte Bauwerke geeignet.

9. Brom.

Brom ist ein flüssiges Metalloid (wie Quecksilber ein flüssiges Metall ist), das braune Dämpfe ausstößt und stark verbrennend wirkt. Es löst sich in Wasser (gleich Chlor) zu Bromwasser und wirkt auf Beton wie Chlor bzw. Chlorwasser unter Bildung von Bromwasserstoffsäure, die Ähnlichkeit mit Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) hat, aber etwas schwächer ist als diese und seltener vorkommt. Die Salze der Bromwasserstoffsäure heißen Bromide oder Bromsalze.

Vorkommen. In der chemischen Industrie als Oxydationsmittel.

10. Jod.

Jod bildet kleine glänzende braune Blättchen und wirkt schwächer verbrennend als Brom. Es löst sich schwer in Wasser und bildet allmählich die Jodwasserstoffsäure, welche Ähnlichkeit hat mit der Bromwasserstoffsäure und Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure), aber ganz bedeutend schwächer ist als diese. Die Salze der Jodwasserstoffsäure heißen Jodide oder Jodsalze (z. B. Jodkali).

Versuche und Erfahrungen liegen bei der Seltenheit des Jods nicht vor, die Abwehrmaßnahmen werden die gleichen sein wie bei Brom, infolge der schwächer sauren Eigenschaften der Jodwasserstoffsäure sind aber ihre Angriffsfähigkeiten voraussichtlich erheblich geringer; genügend dicht verarbeiteter Beton wird ihr also schon widerstehen, eine einfache Fluatisierung und Anstrich ist anzuraten.

Vorkommen. Wie Brom, auch als Heilmittel.

11. Flußsäure.

Fluorwasserstoffsäure ist ein Gas, welches sich in Wasser zu einer rauchenden, stark ätzenden Flüssigkeit löst, die auf der Haut schwere Verbrennungserscheinungen hervorruft und infolge ihrer enormen Angriffsfähigkeit auf Glas usw. in Paraffin- oder Platinflaschen aufbewahrt werden muß. Ihre Salze heißen Fluoride.

¹⁾ Angabe der Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft Eisleben.

²⁾ Zement 1925, S. 68.

Vorkommen. Flußsäure wird aus Flußspat hergestellt und dient zum Ätzen von Glas, in höchst verdünnter Lösung als Konservierungsmittel für Marmelade und Fruchtsaft.

Wirkungsweise. Flußsäure ist die einzige Säure, welche aus dem Beton nicht den Kalk, sondern die Kieselsäure, und zwar zu Kieselfluorwasserstoffsäure auflöst.

Versuche und Erfahrungen unbekannt.

Maßnahmen. Bei der stark lösenden Wirkung der Flußsäure ist Schädigung des Betons bei verdünnten Lösungen zum mindesten auf der Oberfläche zu erwarten. Schutz ist deshalb am Platz, der besonders gut, in schwierigen Fällen durch gegen den Beton isolierte Bleiplatten vorgenommen werden muß, falls man nicht eine oberflächliche Schädigung und zeitweise Ausbesserung in Kauf nehmen will.

Andere Schutzmittel werden durch die Flußsäure zerstört.

b) Organische Säuren. Auch die organischen, d. h. kohlenstoffhaltigen und durch Verbrennen zerstörbaren Säuren vermögen Beton anzugreifen in der gleichen Weise wie die anorganischen, indem sie mit dem Kalk des Betons ein Salz bilden und ihn dabei evtl. auflösen. Die organischen Säuren sind aber ausnahmslos schwächere Säuren als die hauptsächlichsten anorganischen Säuren (Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure), ihre angreifende Wirkung ist deshalb geringer, aber dennoch, zumal da bei Beton oft lange Zeiträume der Einwirkung in Betracht kommen, sehr zu beachten.

Unter organischen Säuren sind besprochen:

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 12. Essigsäure. | 19. Fruchtsäfte. |
| 13. Milchsäure. | 20. Weinsäure. |
| 14. Ameisensäure. | 21. Oxalsäure. |
| 15. Formaldehyd. | 22. Alkohol. |
| 16. Gerbsäure. | 23. Methylalkohol. |
| 17. Zucker. | 24. Ölsäure (siehe Öle, S. 113). |
| 18. Gärflüssigkeiten. | |

12. Essigsäure.

Die Essigsäure (CH_3COOH), in konzentriertem Zustand Eisessig genannt, ist das Oxydationsprodukt von gewöhnlichem (Äthyl-)Alkohol, aus welchem sie leicht unter Luftzutritt entsteht. (Schnellessigfabrikation aus Sprit, Weinessigherstellung aus Traubenwein.) Sie ist eine farblose Flüssigkeit, der Eisessig erstarrt bei niedriger Temperatur zu schönen, farblosen Nadeln (daher der Name). Der in der Nahrungsmittelindustrie gebrauchte Essig ist verdünnte Essigsäure mit allerlei würzenden Bestandteilen. Die Salze der Essigsäure heißen Azetate.

Vorkommen. Essigsäure tritt beim Sauerwerden organischer Substanzen (Bier, Wein), sowie bei der Holzdestillation und in der chemischen Großindustrie auf. Sie ist die stärkste organische Säure und wird nicht nur für zahlreiche chemische Prozesse, sondern auch zum Konservieren von Nahrungsmitteln (saure Gurken) usw. in großen Mengen verwendet.

Wirkungsweise. Essigsäure löst den Kalk des Betons zu leicht löslichem Kalziumazetat und zerstört ihn dadurch.

Versuche. Der Zementmörtel (1 : 5) von in 2% Essigsäure eingelagerten Zugkörpern wurde im Verlaufe eines Jahres nach Versuchen Grüns ge-

	Portlandzement	Hochofenzement
Lagerung in Wasser	20	16
Lagerung in Essigsäure	7	14

schädigt, und zwar bei Portlandzement erheblich stärker als bei Hochofenzement¹⁾.

Bei anderen Vergleichsversuchen Grüns zwischen Tonerdezement, Portlandzement und Hochofenzement trat eine fast sofortige Zerstörung der verwendeten Tonerdezemente (Ciment Fondu aus Frankreich und deutscher Tonerdezement) auf, zu einer Zeit, als in der 5proz. Essigsäure die Portlandzement- und Hochofenzementkörper keine Einwirkung zeigten.

Erfahrungen. Die zerstörende Wirkung der Essigsäure ist aus Essigfabriken und chemischen Fabriken längst bekannt.

Maßnahmen. Bei sehr verdünnten Säuren und seltener Einwirkung gibt dichtes Arbeiten und einfacher Teeranstrich genügenden Schutz. Bei Behälterbau genügt gegen verdünnte kalte Säure Inertolanstrich, der sich bewährt hat. Starke und verdünnte heiße Säure verlangt Plattenverkleidung mit Auskittung der Fugen (siehe Salzsäure usw.). (Kein Tonerdezement!)

13. Milchsäure.

Milchsäure $\text{CH}_3 \cdot \text{CHOH} \cdot \text{COOH}$, kommt als sirupöse 50proz. Flüssigkeit in den Handel. Ihre Salze heißen Laktate.

Vorkommen. Milchsäure entsteht beim Sauerwerden von Milch, Bier, Sauerkraut, Saftfutter und bei Zersetzung zahlreicher organischer Substanzen (Käsebereitung) neben zahlreichen anderen ähnlichen Säuren.

Wirkungsweise. Sie verwandelt im Beton den freien und den lose gebundenen Kalk unter Verdrängung der schwächeren Kieselsäure in das schwerlösliche Kalksalz.

Versuche. Bei Versuchen wurden sowohl Portlandzement als auch Hochofenzement, letzterer etwas weniger, sowohl durch saure Milch als auch durch Sauerkraut und Milchsäure im Verlauf eines Jahres geschädigt. Bei Lagerung von Sauerkraut in kleinen Betonbehältern unterblieb die ordnungsgemäße Gärung durch den Kalkeinfluß des Betons²⁾.

Erfahrungen. Bei zu frisch in Benutzung genommenen großen Betonbehältern auf Fehmarn war das Kraut nicht genügend durchgegoren, während in den älteren Betonbehältern die Gärung gut war. Das Kraut zeigte an den Wänden grüne Verfärbung (Eisensulfidbildung aus dem Eisen des Zementes), die bei Entnahme der Masse verschwand. Auch Pitchpineholzverkleidung, selbstredend auch Glasplattenbelag, hat sich bewährt³⁾, ebenso Awa-Zusatz⁴⁾.

In Futtertürmen aus Eisenbeton in vielen Ausführungen hat sich Beton durch Jahre beständig erwiesen. Die Verwandlung des Grases anstatt in Heu in Dauerfutter in diesen Türmen hat mannigfache Vor-

¹⁾ Handbuch S. 58.

²⁾ Grün: Einfluß von Milchsäure auf Beton. Beton Eisen 1923, S. 287.

³⁾ Handbuch S. 59. ⁴⁾ Bautechnik 1923, S. 223.

züge, die in Amerika seit langem, in Deutschland leider noch nicht genügend erkannt sind¹⁾. Die weitgehende Einführung der Grünfüttertürme wäre sowohl vom Standpunkt des Betonbauers als auch vor allem im Interesse der Landwirtschaft zu begrüßen²⁾.

Maßnahmen. Bei verdünnter Milchsäure (chemischen Fabriken, Molkereien) ist Schutz des Betons durch Antaquid od. dgl. Zusatz und Fluatierung am Platz; bei intensiver Inanspruchnahme unter gleichzeitiger mechanischer Abnutzung: Plattenbelag.

Gegen Sauerkraut genügt Awa-Mörtelzusatz³⁾ oder Holzverkleidung.

Gegen Saftfutter ist ein Schutz nicht unbedingt nötig, dennoch ein langes Stehenlassen vor Inbetriebnahme und Fluatierung oder Tartrisierung (Anstrich mit Weinsäurelösung) zu empfehlen.

14. Ameisensäure.

Die Ameisensäure (HCOOH) hat einen erstickenden Geruch, ist farblos auch in wässriger Lösung. Ihre Salze heißen Formiate. Sie ist ein Oxydationsprodukt von Formaldehyd, welches als giftiges Gas zur Desinfektion von Wohnräumen (Wanzen, ansteckende Krankheiten) verwendet wird.

Vorkommen. Ameisensäure wird nach ihrem Vorkommen in den Ameisen, aus welchen sie früher gewonnen wurde, so genannt. Ihre konzentrierte Lösung zieht Blasen auf der Haut, in verdünnter wässriger Lösung wird sie in Papierfabriken und zum Konservieren organischer Körper verwendet.

Wirkungsweise. Als sehr schwache Säure ist ihre zerstörende Wirkung gering, immerhin aber vorhanden.

Versuche nicht vorhanden.

Erfahrungen unbekannt.

Maßnahmen. Dichtes Arbeiten und ein einfacher Schutzanstrich wird in den meisten Fällen genügen.

15. Formaldehyd.

Formaldehyd ist ein erstickend wirkendes Gas, das in wässriger Lösung, aus der es durch Erhitzen frei gemacht werden kann, unter dem Namen Formalin u. dgl. bekannt ist. Es vermag sich zu Ameisensäure zu oxydieren, und seine Lösung hat dann die gleichen Eigenschaften gegenüber Beton wie diese (siehe oben).

Vorkommen. Formaldehyd wird für die Tötung von Bakterien bei Verseuchung von Wohnungen und zur Konservierung organischer Präparate verwendet.

Wirkungsweise. Formalin als Gas ist natürlich unschädlich, auch die wässrige Lösung wird wenig Einfluß haben.

16. Gerbsäure.

Gerbsäure (Digallussäure) kommt meistens nur in verdünnten Lösungen (Tannin) zur Einwirkung und ist eine schwache Säure.

¹⁾ Handbuch S. 59.

²⁾ Weiteres Schrifttum siehe: Techn. Auskünfte des Betonvereins 1923; Zement 1923, S. 115; 1924, S. 101; Zentralblatt 1924, S. 437; Baumarkt 1925, S. 12.

³⁾ Bautechnik 1923, S. 223.

Vorkommen. In der Eichenlohe, zum Gerben von Häuten zu Leder.

Wirkungsweise. Zerstört allmählich durch Herauslösen des Kalkes den Beton, die Gerbbrühe verdirbt dabei selbst, vor allem durch den Eisengehalt des Zementes, der Schwarzfärbung herbeiführt.

Versuche nicht vorhanden.

Erfahrungen. Durch Inertol geschützter Beton hat sich in jahrelangem Gebrauch bewährt. Neuerdings werden auch die drehbaren Fässer für Schnellgerbung, die früher mit sehr kurzer Lebensdauer aus Holz hergestellt wurden, in Eisenbeton ausgeführt¹⁾.

Maßnahmen. Schutz des Betons: Bei Fußboden durch wasserabweisenden Zement (Biber, Awa usw.)

Bei Behältern das gleiche oder Inertol oder Margalitanstrich od. dgl.²⁾.
17. Zucker.

Zucker ($C_6H_{12}O_6$), ein Kohlenhydrat, ist eine schwache Säure. Es gibt verschiedene Arten von Zucker: Milchzucker, Traubenzucker usw., Rohr- und Rübenzucker. Der letztere, der auch in der Formel ausgedrückt ist, ist der häufigste und wichtigste. Die Salze des Zuckers heißen Saccharate.

Vorkommen. Nicht nur rein in Werken zur Herstellung von Zucker, Mus und Süßigkeiten, sondern auch in Zuckerrohr, Rüben, Sirup, Most, Melasse, also auf Gutshöfen usw.

Wirkungsweise. Als Säure löst der Zucker den Kalk des Betons zu Kalziumsaccharat und zerstört das Gefüge.

Versuche. In 20 proz. Zuckerlösung gelagerter Beton gab an diese im Verlauf von 3 Monaten erhebliche Kalkmengen unter Lockerung des Betongefüges ab (Donath).

Auch schon 3 proz. Zuckerlösung erniedrigte die Festigkeiten eines 1:5 angemachten Betons bei einjähriger Lagerung um etwa 13%³⁾.

Erfahrungen. Melasse, die zeitweise auf + 50° erhitzt wurde, hat im Verlauf eines Jahres den Zementputz eines Behälters zerstört. Wiederherstellung mit Traßzusatz bewährte sich³⁾.

Ein Eisenbetonfußboden war durch ständige Befeuchtung mit Sirup zerstört worden³⁾. Mächtige Melassebehälter der Fabrikanlage Kronos in Eleonis wurden mit Kesslerschen Fluaten gegen die Melasseeinwirkung geschützt⁴⁾.

Maßnahmen. Ein Schutz des Betons ist hauptsächlich bei feuchtem Zucker oder zuckerhaltigen Stoffen, oder gar bei Flüssigkeiten unbedingt nötig.

Schutzanstriche genügen, wenn keine mechanische Beanspruchung auftritt, andernfalls ist Zusatz wasserabweisender Stoffe und Fluatierung nötig⁵⁾. In schwierigen Fällen (heiße Lösung, mechanische Einwirkung) Plattenbelag.

18. Gärungsflüssigkeiten.

Die Gärung verläuft ganz verschieden, je nach der Art der zur Vergärung kommenden Stoffe, den Gärungsbedingungen (Temperatur,

¹⁾ Kohrt: Beton Eisen 1924, S. 169.

²⁾ Beton Eisen 1923, S. 115.

³⁾ Grün: Handbuch S. 62.

⁴⁾ Beton Eisen 1924, S. 193.

⁵⁾ Dt. Bauztg. 1924, S. 168.

Konzentration) und der Bakterien- oder Hefeart. Demgemäß führt sie zu verschiedenen, oft aber ähnlichen Zwischen- und Endprodukten, die aber meist Alkohol enthalten, während Kohlensäure als Nebenprodukt entweicht.

Vorkommen. Die Gärung tritt bei allen kohlenhydrathaltigen Flüssigkeiten auf, in welche Hefen als Gärungserreger eingebracht werden.

Wirkungsweise. Neben dem 1. gewöhnlichen (Äthyl-) Alkohol können noch entstehen 2. höhere Alkohole und 3. ätherische Öle (Bouquetstoffe des Weins), 4. Gerbsäure (Rotwein), 5. Essigsäure (saurer Mosel), 6. Milchsäure (Kefirgärung), 7. primäre Phosphate, 8. Lupulinsäure Buttersäure usw. Die Stoffe 4.—8. sind an anderer Stelle besprochen, ihre Wirkung ist meist gering, da sie nur in geringen Mengen vorhanden sind, nur Essigsäure und Milchsäure vermögen in stärkerer Konzentration aufzutreten und können dann schädigend wirken. 2. und 3. werden leicht durch den Beton verdorben (siehe Weinsäure). Der Alkohol ist unschädlich, nicht aber die Essigsäure (siehe diese); vor allem ist von Nachteil die schädigende Einwirkung des alkalischen Betons auf den Gärungsprozeß, der gestört wird. Beton für Gärbottiche muß deshalb immer von der Gärflüssigkeit durch geeignete Ummantelung ferngehalten werden.

Versuche. Versuche haben stets die schädliche Beeinflussung des Betons und der Gärflüssigkeit dargetan. Paraffinabschluß des Betons hat sich als unbrauchbar erwiesen, da sich unter der Paraffinschicht Blasen bilden, die mit einer übelriechenden Flüssigkeit gefüllt sind und das Paraffin von der Betonunterlage abheben und so die Schicht zerstören¹⁾. Auch Teeranstriche bewährten sich nicht.

Erfahrungen. Ungeschützter Beton der Gärbottiche einer Sulfitfabrik wurde schon nach 5 Monaten zerstört.

Mit Ebonplatten ausgekleidete Eisenbetonbehälter haben sich in der Holstenbrauerei in Altona seit einem Jahrzehnt bewährt²⁾.

Ebenso hat die Aluminiumauskleidung von Gärgefäßen der Schultzeiß-Patzenhofer Brauerei allen Anforderungen entsprochen.

Glasauskleidung eignet sich hier nicht, da wegen der Glätte des Glases die Hefe nicht haftet. Vielleicht ist an Mattglas zu denken.

Nach dem Verfahren Rostock & Baerlicher, Klosterneuburg, werden Gärkeller mit einem Gesamtfassungsraum bis 20 000 hl, Einzelbottiche bis 30 hl hergestellt, die auf 50 cm hohen Sockeln stehen, damit unter den Sockeln kalte Luft zur gleichmäßigen Hefeablagerung durchstreicht. Auch Lagertanks für 0,8 Atm. Überdruck werden nach dem gleichen Verfahren erbaut³⁾.

Maßnahmen. Der Beton muß bei Behälterbau völlig von der Gärflüssigkeit abgehalten werden. Dann ist die Herstellung von Gärbottichen ohne weiteres möglich und ratsam. Bei Biergärbottichen geht man zweckmäßig nicht über 600 hl, bei anderen Bottichen nicht über 3000 hl. Hierdurch wird im ersten Falle die Hefeentwicklung nicht geschädigt,

¹⁾ Handbuch für Eisenbeton Bd. V, 3. Aufl., S. 287.

²⁾ Besichtigung des Verfassers. ³⁾ Zement 1923, S. 115.

im zweiten Falle ein Reißen und Schwinden der Gefäße vermieden¹⁾. Der Abschluß des Betons kann mit Erfolg geschehen durch:

1. Imprägnierung.
2. Auskleidung.
3. Einsetzen eines neutralen Gefäßes.

1. Nach Schuhmacher und Koch, Berlin, wird Pech mit der Lötlampe eingebrannt.

Ein anderes Imprägnierungsverfahren ist das der Standfaßwerke Klosterneuburg, Wien, nach dem seit über einem Jahrzehnt viele Gär- und Lagerbottiche erbaut werden.

Der Mammutanstrich von Coblitz & Koch, Berlin, wird bei 200° auf die heiße Wand aufgebracht.

2. Ebonplatten (eine Asphaltart), (Borsarie-Zürich), werden eingesetzt und an den Rändern verschmolzen.

Aluminiumplatten beeinträchtigen gleichfalls die Gärung nicht, müssen aber gegen die alkalische Wirkung des Betons vor Verlegung geschützt werden.

3. Durch Einbringen von Streckmetall und schichtenweises Aufbringen einer Schutzmasse entsteht ein neutrales Gefäß im Innern des Betonbehälters (Dornkaat-Verfahren).

Handelt es sich nicht um Gefäße, sondern nur um auftropfende Gärflüssigkeiten (Fußboden), so genügt dichtes Arbeiten mit Awa-, Biber- u. dgl. Zusatz, allenfalls Plattenbelag.

19. Fruchtsäfte.

Diese enthalten allerlei organische Säuren, welche sich wie Weinsäure verhalten (siehe diese weiter unten). Bisweilen sind die Fruchtsäfte mit Flußsäure haltbar gemacht. Diese wird dann bei Behälterbau durch den Beton bzw. die Glasplatten im Laufe der Zeit abgestumpft, und die Säfte verderben. Es ist in solchen Fällen von der Betonverwendung abzusehen.

Vorkommen. Aus verschiedenen Früchten.

20. Weinsäure.

Die Weinsäure und ihr saures Salz, der Weinstein, stellen weiße, in Wasser lösliche Pulver dar. Die Salze heißen Tartrate.

Vorkommen. Im Wein als saures, weinsaures Kalium (Kaliumtartrat), (Weinstein), in Fruchtsäften, Fruchtwein und in konzentriertem Zustand in chemischen Fabriken.

Wirkungsweise. Da das Kalziumsals der Weinsäure, welches sich naturgemäß bei der Einwirkung auf Beton bildet, sehr schwer löslich ist, ist die Weinsäure auch verhältnismäßig unschädlich, zumal sie in der Praxis (Wein usw.) nur in sehr verdünnten Lösungen vorkommt.

Versuche sind unbekannt.

Erfahrungen. Weinfässer aus Beton haben sich seit 50 Jahren bewährt²⁾. In Ländern mit erheblicher Erzeugung billiger Weine wird

¹⁾ Riederer: Allg. Brauer- u. Hopfen-Zg. 1921, Nr. 236.

²⁾ Schäfer: Baumarkt 1920, S. 167.

dieser in großen Mengen in Betonbehältern aufbewahrt, und zwar dienen nicht nur in Zement gemauerte unterirdische Behälter für diesen Zweck, sondern auch überirdisch angelegte zylindrische Gefäße aus Eisenbeton. Vor Ingebrauchnahme wird der Innenputz tartrisiert oder silikatisiert.

In Bordeaux befinden sich in einem Keller 52 viereckige Eisenbetonbehälter mit 6 mm Glasauskleidung zur Aufnahme von je 400 hl, insgesamt also 20 000 hl Wein. In Roquecourbe befinden sich zahlreiche Weinbehälter für je 550 hl, in Debreczin solche bis 800 hl und in Saint Couat sind durch Aufbau 3stöckiger Behälter 2500 hl Wein auf nur 41 qm Bodenfläche untergebracht¹⁾.

Ein vor 12 Jahren in Kingstown aus 8 Zellen $5,10 \times 3,90 \times 3,35$ m ausgeführten Weinbehälter hat sich bis auf eine Zelle gut gehalten; die Innenseite der Zellen war nur mit fettem Zementmörtel verputzt²⁾.

Maßnahmen. Nötig ist eine der unter 1. u. 2. im folgenden erwähnten Vorbehandlungen oder Glasauskleidung.

1. Tartrisieren: Die sauber gewaschenen Wände werden mit einer 25 proz. Lösung von Weinsäure 3 mal nach jedesmaligem Trocknen angestrichen und der Behälter mit Wasser gefüllt, einige Tage stehen gelassen. Auf 1 qm sind etwa 160 g Lösung nötig³⁾.

2. Silikatisieren (dieses hat sich gleich dem Tartrisieren in Spanien bewährt): Die Wände (oder Fußböden) werden mit 25 proz. Lösung von Kaliwasserglas (35° Bé) gestrichen, einige Tage trocknen gelassen, der Anstrich mit 40 proz. Lösung wiederholt und nach nochmaligem Trocknen mit 50 proz. Lösung nachgestrichen, darauf gut ausgewaschen⁴⁾.

3. Glasauskleidung ist bei Behälterbau für unsere deutschen wertvollen Weine, welche durch die Einwirkung des Betons leiden würden, notwendig.

21. Oxalsäure (Kleesäure).

Sowohl die Oxalsäure als auch das Kleesalz (oxalsaures Kali) sind weiße Pulver, die sich leicht in Wasser lösen. Ihren Namen hat die Kleesäure vom Vorkommen im Sauerklee. Ihre Salze heißen Oxalate.

Vorkommen. Wird in Bleichereien und chemischen Fabriken, hauptsächlich in Form ihres sauren Salzes, des giftigen Kleesalzes, gebraucht.

Wirkungsweise. Da das von der Oxalsäure mit Kalk gebildete Kalziumoxalat völlig unlöslich ist und bei seiner Bildung keine Raumvermehrung hervorruft, kann die Säure nicht lösend oder Treiben erregend auf den Beton wirken und ist unschädlich.

Versuche. Bei Lagerung von Körpern in Oxalsäure wurden keine Festigkeitsabfälle, im Gegenteil Zunahmen festgestellt⁵⁾.

Erfahrungen. Nachteilige Erfahrungen sind nicht bekannt.

Maßnahmen. Maßnahmen sind nicht nötig, bei Eisenbeton natürlich starke Überdeckung und dichte Mischung, um Rosten des Eisens hintanzuhalten. Oxalsäure kann bisweilen zum Anstreichen von Beton, um

¹⁾ Zement 1923, S. 115.

²⁾ Beton Eisen 1923, S. 243.

³⁾ Handbuch S. 60.

⁴⁾ Mastbaum: Chem.-Zg. 1921, S. 561.

⁵⁾ Handbuch S. 58

dessen freien Kalk in unlösliches Kalziumoxalat zu binden und die Salzwasserbeständigkeit zu erhöhen, dienen. Nicht zu vergessen ist, daß Oxalsäure giftig ist, zum Anstrich von Nahrungsmittelbehältern u. dgl. also nicht verwendet werden darf.

22. Alkohol (Äthylalkohol).

Reiner Alkohol (C_2H_5OH) ist eine brennbare, farblose Flüssigkeit, die leichter beweglich ist als Wasser und wasserentziehend wirkt. Der genießbare Alkohol als Äthylalkohol ist wohl zu unterscheiden von Methylalkohol, der zu dauernden Gesundheitsstörungen oder zum Tod führt.

Alkohol vermag als Säure Salze zu bilden, die Alkoholate heißen.

Vorkommen. Entsteht bei der alkoholischen Gärung von Stärke und Zucker und wird wegen seiner anfeuernden und berauschenden Wirkung aus allerlei zucker- und stärkehaltigen Stoffen (Weintrauben, Äpfel, Kirschen, Kartoffeln, Gerste) hergestellt. In den direkt durch Gärung entstehenden Flüssigkeiten sind nur wenige Prozent Alkohol enthalten, da dieser für die die Gärung erzeugenden Hefen ein Gift ist und sie abtötet. Hoch alkoholhaltige Getränke (Schnaps) oder reiner Alkohol werden gewonnen aus den vergorenen Flüssigkeiten durch Destillation; Alkohol hat einen niedrigeren Siedepunkt als Wasser (76° gegen 100°). entweicht deshalb beim Erhitzen und wird in der Vorlage als Sprit u. dgl. aufgefangen (z. B. Kognak aus Wein).

Wirkungsweise. Chemisch vermag Alkohol, da er eine äußerst schwache Säure ist, Beton nicht zu schädigen. Er unterstützt aber nicht, wie Wasser, die Erhärtung des Betons, und dieser nimmt deshalb nicht in ihm an Festigkeit zu. Absoluter oder auch sehr hochprozentiger Alkohol entzieht dem Beton einen Teil seines Wassers, führt deshalb zu Festigkeitsrückgängen und nimmt auch dichtem Beton durch Austrocknung seine Flüssigkeitsdichtung (Auslaufen anfangs dichter Behälter).

Versuche. Bei Versuchen wirkte absoluter Alkohol ohne Zerstörung des Betons festigkeitsmindernd¹⁾.

Erfahrungen. Leichentröge einer Universitätsanatomie ließen trotz Plattenauskleidung den mit Phenol und Formaldehyd versetzten Alkohol entweichen. Sehr dichtes erneutes Verlegen der Platten brachte Abhilfe²⁾.

Maßnahmen. Bei Fußböden u. dgl. ist von Zeit zu Zeit für Durchnässung zu sorgen, falls absoluter Alkohol in Betracht kommt, um den Beton vor zu großer Austrocknung zu schützen.

Bei Behälterbau ist verdünnter Alkohol unter 50% ohne Nachteil. Bei stärkerem Alkohol ist die Dichtung nur durch das Brandtsche Verfahren oder durch sehr sorgfältig und eng verlegte Platten in besonderem Kitt möglich, da die meisten Imprägnierungs- und Anstrichmittel (Margalit, Inertol) versagen, da sie sich auflösen, und unge-schützter Beton nicht dicht zu halten vermag³⁾.

Für Schnaps, Wein, Bier kommt als schädlicher Bestandteil nicht der Alkohol, sondern die Säure, Kohlensäure und der Zucker in Betracht.

¹⁾ Grün: Handbuch S. 62. ²⁾ Schäfer: Baumarkt 1920, S. 665.

³⁾ Aussprache im Deutschen Beton-Verein 1909.

23. Methylalkohol (Methanol).

Methylalkohol (CH_3OH), neuerdings Methanol genannt, um die Verwechslung mit Äthylalkohol zu verhindern, ist ein furchtbares, zunächst berauschendes, dann zur Erblindung und zum Tod führendes Gift.

Vorkommen. Kommt im Holzteer und bei zahlreichen chemischen Prozessen vor.

Wirkungsweise. Als Säure ist Methanol so schwach, daß es nicht auf den Beton einzuwirken vermag (siehe Alkohol).

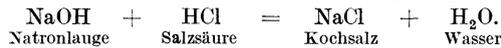
3. Salze:

In chemischem Sinne gibt es: saure, basische und normale Salze.

Saure Salze enthalten freie Säure, sie sind deshalb den entsprechenden Säuren in ihrem Verhalten ähnlich; wenn sie auch etwas schwächer wirken, erübrigt sich ihre Besprechung, da das unter den einzelnen Säuren Gesagte für sie maßgebend ist.

Basische Salze, die selten vorkommen, verhalten sich wie die entsprechenden normalen Salze und sind dort nachzuschlagen.

Normale Salze enthalten weder freie Säure noch Basen. Der Bildungsgang eines Salzes sei an einem Beispiel gezeigt:



Es bildet sich also aus der Base: Natronlauge und der Säure: Salzsäure, das Natronsalz: Natriumchlorid, auch salzsaures Natrium oder Kochsalz genannt.

Die ursprünglichen Eigenschaften der aufbauenden Stoffe, nämlich der Base: ätzend und der Säure: verbrennend sind in dem Kochsalz verschwunden. Es hat also ganz andere Eigenschaften als wie die Aufbaustoffe, es ist u. a. auch unschädlich für Beton, da die Lösungsmöglichkeit der Säure durch das „Abstumpfen“ mit der Base erloschen ist.

Salzhaltige Flüssigkeiten sind deshalb viel weniger gefährlich als säurehaltige, und es ist irreführend und falsch, dann von „säurehaltig“ zu sprechen, wenn nur ein Salz vorhanden ist. Säurehaltige Wässer sind nur solche, die freie Säure enthalten. Eine Flüssigkeit, die beispielsweise schwefelsaures Natrium = Natriumsulfat enthält, ist nicht schwefelsäurehaltig, sondern sulfathaltig. Wirklich säurehaltige Wasser kommen in der Natur selten vor, da allenfalls auftretende Säure sich stets sofort mit dem allenthalben vorkommenden Kalk zu Kalziumsalz, also z. B. Schwefelsäure zu Kalziumsulfat (Gips) absättigt. Moorwasser ist eine der wenigen, in der Natur vorkommenden Flüssigkeiten, welche freie Säure (Schwefelsäure) enthalten kann, und zwar deshalb, weil Hochmoore infolge der geologischen Bodenverhältnisse völlig frei sind von Kalk: Die aus dem Schwefelgehalt der Pflanzen durch Oxydation entstehende Schwefelsäure kann sich deshalb nicht abstumpfen.

Unter den normalen Salzen gibt es nun solche, die neutral reagieren, andere die sauer und schließlich solche, die basisch reagieren¹⁾.

¹⁾ Saure Reaktion zeigt sich durch Rotfärben von blauem Lackmuspapier, basische durch blaue Farbe, neutrale durch Unverändertbleiben. Eine kleine Vorprobe bei unbekanntem Wasser ist zu empfehlen; die Reaktionsprüfung durch einfaches Befeuchten ist von jedem Laien leicht auszuführen. (Siehe Seite 59.)

Saure Reaktion zeigt, daß in dem Salz die Säure stärker ist; solche Salze sind ohne weiteres gefährlich für Beton, da in dem Salz die Säure sich leicht frei machen kann (Kupfersulfat).

Basische Reaktion zeigt, daß die Base stärker ist. Solche Salze werden meist unschädlich sein, da Beton ja selbst ein basischer Körper ist und gleiche Pole sich abstoßen (Natriumkarbonat oder Soda).

Neutrale Reaktion zeigt ungefähr gleiche Stärke von Base und Säure an; es kommt dann auf die Eigenschaften des Säurerestes an, der die Einwirkungsfähigkeit des Salzes bestimmt (Natriumchlorid ungefährlich, Natriumsulfat gefährlich).

Eine kurze Besprechung der Einwirkungsmöglichkeit der einzelnen Säurereste in neutralen Salzen sei vorweggenommen.

Sulfate (Salze der Schwefelsäure) sind stets gefährlich, da sie zur Bildung des Kalziumaluminiumsulfats, also zu Treiberscheinungen, führen.

Chloride und Nitrate sind viel weniger schädlich, hauptsächlich dann, wenn eine starke Base (Natrium, Kalium) an ihrer Bildung beteiligt ist, welche infolge ihrer „Stärke“ den Säurerest sehr festhält. Bei schwachen Basen (Kupfer, Quecksilber) werden sie gefährlicher wegen der Möglichkeit des Freiwerdens der Säure.

Karbonate (kohlen saure Salze), sowie die Salze der anderen schwachen Säuren (organische Säuren) sind meist unschädlich (Ausnahme: die Fette), und zwar um so mehr, je schwächer die sie bildende Säure ist.

Von der Basenseite her sind nur die Salze des Ammoniums schädlich, und zwar entspricht ihre Schädlichkeit ohne Ausnahme der Schädlichkeit der Säure, da das Ammoniak durch den Kalk des Betons aus seinen Verbindungen vertrieben, die Säure also gleichsam frei gemacht wird und als solche schädlich wie alle Säuren wirkt. —

Nach diesen als allgemeinen Richtlinien notwendigen und nützlichen Vorbemerkungen soll in die Besprechung der einzelnen Salze eingetreten werden.

Die Salze werden besprochen gruppiert nach den Säuren, da diese für die Schädlichkeit ausschlaggebend sind, und in den einzelnen „Säureunterabteilungen“ in der Reihenfolge des periodischen Systems.

a) Anorganische Salze.

Als Säure-Unterabteilungen sind behandelt:

Sulfate	(Salze der Schwefelsäure).
Chloride	(„ „ Salzsäure),
Nitrate	(„ „ Salpetersäure),
Sulfide	(„ „ Schwefelwasserstoffsäure),
Karbonate	(„ „ Kohlensäure),
Fluoride	(„ „ Flußsäure),
Silikate	(„ „ Kieselsäure).

Sulfate

sind, soweit sie wasserlöslich sind, gefährlich, da sie zur Bildung des treibenden Kalziumaluminiumsulfats führen. Wasserunlöslich ist nur

Bariumsulfat (Schwerspat), kaum löslich ist Bleisulfat. Besprochen sind:

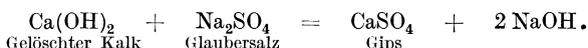
- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Natriumsulfat (Glaubersalz), | 8. Zinksulfat, |
| 2. Kaliumsulfat, | 9. Aluminiumkaliumsulfat (Alaun), |
| 3. Ammoniumsulfat, | 10. Aluminiumsulfat, |
| 4. Kalziumsulfat, | 11. Bleisulfat, |
| 5. Strontiumsulfat, | 12. Mangansulfat, |
| 6. Kupfersulfat (Kupfervitriol), | 13. Eisensulfat (Eisenvitriol), |
| 7. Magnesiumsulfat (Bittersalz), | 14. Nickelsulfat, |
| | 15. Kobaltsulfat. |

1. Natriumsulfat.

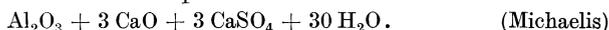
Natriumsulfat (Glaubersalz, schwefelsaures Natron) Na_2SO_4 , enthält meist 10 Mol. Kristallwasser (= 56%), das bei Berechnung der Konzentration in Betracht zu ziehen ist. Es trägt seinen Namen nach dem Chemiker Glauber, sieht weiß aus und löst sich leicht in Wasser.

Vorkommen. Findet sich in Meerwasser, Salzablagerungen aus alten Meeresteilen, also in Kalilagerstätten, und demgemäß kommt es auch bei Meeresbauten, in konzentrierter Form in Kalibergbauten sowie in Kalisalze oder Sole verarbeitenden Fabriken zur Einwirkung.

Wirkungsweise. Bei der Einwirkung auf Beton verbindet sich der Kalk desselben mit dem Schwefelsäurerest des Natriumsulfats zu Kalziumsulfat nach der Formel:



Der entstandene Gips führt zu Gipstreiben, da sich aus ihm und der Tonerde des Zementes das Kalziumaluminiumsulfat, eine alaunähnliche Verbindung, bildet, welche mit 30 Molekülen Wasser auf 1 Molekül Verbindung, also mit einem großen Überschuß an Wasser kristallisiert. Infolge dieses großen Wassergehaltes hat natürlich die neuentstandene Verbindung unverhältnismäßig viel mehr Platz nötig als die alten Bestandteile. Sie verschafft sich diesen Platz, indem sie das Gefüge des Betons zersprengt; der hierzu nötige große Kristallisationsdruck ist bei jeder Kristallbildung ohne weiteres vorhanden; es sei nur an die großen Kräfte erinnert, die beim Gefrieren von Wasser auftreten. (Zersprengung von stärksten Gefäßen und Wasserleitungsrohren.) Die Zusammensetzung des Kalziumaluminiumsulfats entspricht vermutlich der Formel:



Nach Zersprengung des Betons kann das Wasser in dessen Inneres eintreten. Da nun das Kalziumaluminiumsulfat nicht wasserbeständig ist, zerfällt es durch den Wasserzutritt wieder zu Gips und Tonerdehydrat, welches letzteres sich in schleimiger Form ausscheidet, während der Gips auskristallisiert. Die Zerstörung eines Betons in dieser Form¹⁾ geht bei allen Sulfatzerstörungen in gleicher Weise vor sich.

Die Sulfatzerstörung ist die gefährlichste und am häufigsten auftretende Betonzerstörung. Da ihr Auftreten an das Befallenwerden des Betons mit einer Krankheit erinnert und da die Kristalle des Kalziumaluminiumsulfats feine weiße Nadeln bilden, die eine gewisse

¹⁾ Der Zerstörungsmechanismus ist nicht unbestritten. Die wiedergegebene Theorie erklärt aber den Zerstörungsvorgang: 1. Treiben, 2. Zerfall, zur Genüge.

Ähnlichkeit haben mit den krankheitserregenden Spaltpilzen, die man wegen ihrer Stäbchenform Bazillen nennt, hat Michaelis, der Entdecker des Kalziumaluminiumsulfats, scherz- und vergleichshalber diesen „Zementbazillus“ genannt, ein Name, der ihm heute noch häufig beigelegt wird.

Abb. 26 zeigt den Zementbazillus nach Passow in starker Vergrößerung. Seine Wirkung geht aus der Bilderreihe hervor, die einen Körper in verschiedenen Stadien der Zerstörung wiedergibt.

Der Grad der Einwirkung hängt ab von folgenden Faktoren:

1. Konzentration der Sulfatlösung,
2. Mörteldichte und Mischungsverhältnis,
3. Zementart und Zuschlagsmaterialien,
4. Einwirkungsdauer und -art.

Zu 1. Konzentrierte Lösungen wirken stets energischer als wie verdünnte; das Nachlassen der schädlichen Wirkung nimmt aber keines-

wegs ab in gleichem Maß mit dem fallenden Salzgehalt, d. h. gegenüber einer 5proz. Lösung ist eine 1proz. Lösung nicht etwa nur $\frac{1}{5}$ so wirksam, sondern ihr Einfluß ist unverhältnismäßig viel größer, da der Beton dem Wasser das Sulfat entzieht und sich damit anreichert; infolgedessen vermögen durch diese Konzentration des Salzes im Beton auch stark verdünnte Lösungen, wenn sie stets erneuert werden, ebenso stark zu wirken als wie stärkere Lösungen. Selbst Wasser mit

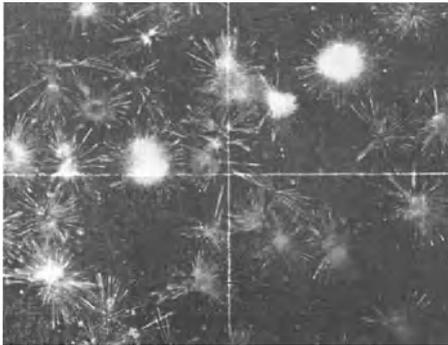


Abb. 26. Kalziumaluminiumsulfat, das sich im Beton bei Sulfateinwirkung bildet und ihn zerstört. (Zementbazillus.)

nur 1000 mg im Liter (0,1%) Natriumsulfat zerstören noch Beton in nur wenig längerer Zeit als 5proz. Lösungen.

Zu 2. Es ist nachgewiesen, daß beim Vergleich verschiedener Mischungsverhältnisse beispielsweise die Körper 1 : 3 und 1 : 8 zuerst zugrunde gehen, diejenigen 1 : 5 am längsten aushalten. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die dichtesten Körper 1 : 3 in ihrem Innern keinen Platz für den auskristallisierten Kalkalaun haben und infolgedessen sofort zertreiben. In den etwas poröseren Körpern 1 : 5 ist etwas Platz vorhanden, so daß trotz Bildung des Kalkalauns zunächst dieser Platz ausgefüllt und der Körper nicht zertrieben wird, da die auftretenden Spannungen von dem Beton eben noch ertragen werden können. Diesen letzteren vermag der Körper 1 : 8, trotz genügenden Innenraumes infolge seiner geringeren Festigkeit nicht mehr zu widerstehen, er zertrübt gleichfalls bald. Aus diesem Verhalten darf aber nicht geschlossen werden, daß Beton in Salzwasser in einem mittleren verdünnten Mischungsverhältnis hergestellt werden soll, denn die oben geschilderten

Versuche sind mit dem sehr porösen Beton ergebenden Normalsand, der einem Sand der Praxis nicht entspricht, durchgeführt; im Laufe der Zeit würden die Körper 1 : 5 gleichfalls zertrieben sein. Zweckmäßig ist es stets, ziemlich fett zu arbeiten (1 : 3 bis 1 : 2) und unter allen Umständen — das ist von der allergrößten Wichtigkeit — ein Zuschlagsmaterial auszuwählen, das einen möglichst dichten Beton ergibt (S. 8 u. f.). Dann wird das Salzwasser an dem Eindringen in den Beton überhaupt gehindert und vermag nicht auf diesen zu wirken.

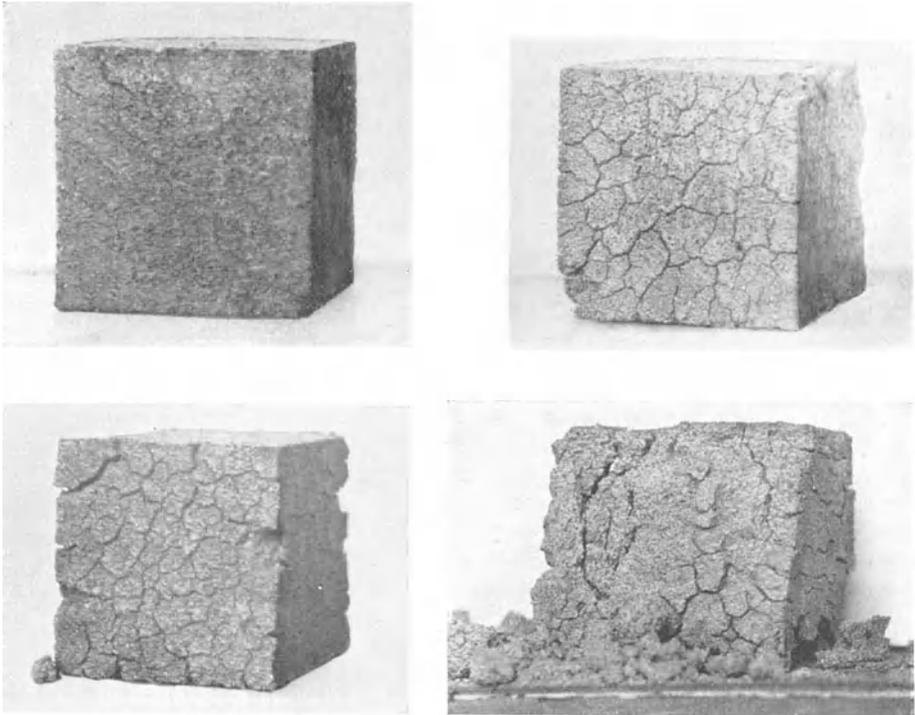


Abb. 27. Kranker Betonkörper in verschiedenen Stadien.
Zerstörung durch Sulfateinwirkung.

Versuche. Bei Versuchen sowohl mit konzentrierten Natriumsulfatlösungen¹⁾ als auch mit nur 1 proz. Lösung²⁾ wirkten diese auf alle Zementarten zerstörend, auf Hochofenzement aber erheblich weniger und später als auf Portland- und Eisenportlandzement. Aber auch die verschiedenen Hochofenzemente unter sich verhalten sich verschieden,

¹⁾ Guttman: Kali 1916, Nr. 22.

²⁾ Passow z. Schönberg: Mitt. d. chem.-techn. Versuchsstation Blankenese. Tonind.-Zg. 1917, S. 393. — Passow: P.Z. u. H.O.Z. 1915, S. 30. — Derselbe: Leitfaden über H.O.Z. 1914, S. 45. — Müller: Zement 1915, S. 239.

es gibt weniger und stärker widerstandsfähige¹⁾; von besonderer Haltbarkeit sind die Spezialhochofenzemente²⁾.

Erfahrungen. Die Pfeiler der Elbbrücke in Magdeburg, die zu einer gewissen Berühmtheit gekommen sind, fingen gleich nach ihrer Herstellung an zu wachsen und sind unter völligem Zerreißen nach und nach 8 cm höher geworden. Sie mußten abgebrochen werden. Als Grund für die Zerstörung erwies sich der Gehalt des schnellströmenden Grundwassers an Natriumsulfat. Dieses enthielt auf den Liter 1700 mg SO₃, entsprechend 3020 mg Na₂SO₄, d. h. 0,3% wasserfreies Natriumsulfat, welches den fehlerhafter Weise aus Portlandzement ungeschützt hergestellten Beton in so kurzer Zeit trotz der starken Verdünnung völlig zerstört hatte³⁾. Bei den Versuchen für den Neubau erwies sich Erzzement und Hochofenzement dem Portlandzement in dem betr. Grundwasser als überlegen⁴⁾.

Maßnahmen. Die Maßnahmen richten sich völlig nach der Konzentration der Lösung und der Einwirkungsweise (schnellfließend, Tropfwasser, stehend, heiß, kalt).

Bei konzentrierten Lösungen oder bei verdünnten Lösungen, die schnell fließen, sich also dauernd erneuern, ferner bei dauerndem Auftropfen auch verdünnter Lösungen, falls eine Verdunstung möglich ist, findet eine Anreicherung des Betons, der dem Sulfat ja den Schwefelsäurerest entzieht, statt, und ein energisch wirkender Schutz ist am Platz.

1. Der Schutz hat zunächst zu bestehen in einer weitgehenden Fernhaltung der Flüssigkeit vom Beton. Diese kann erzielt werden durch Plattenbelag oder Klinkerverkleidung; bei Pfeilern durch geeignete Abdeckung, die mit Tropfnasen versehen sein muß, um ein Herunterrieseln des Salzwassers an dem Beton zu vermeiden, und in Fällen geringerer Beanspruchungen durch Anstrich mit Inertol, Siderosthen usw. (der von Zeit zu Zeit zu erneuern ist — alle 4—5 Jahre wird meist genügen). Auch Umstampfen des Betons mit einer Lehmschicht, Aufkleben von Teerpappe und Asphaltanstrich in bis viermaliger Wiederholung oder Umkleidung mit Mauerwerk in dichten guten Ziegeln (Klinkern) unter Verwendung von Mörtel aus kalkarmem Zement evtl. mit Traßzusatz oder Erzzement ist in schwierigen Fällen, d. h. bei starkem Salzgehalt, hohem Druck oder ständigen Zufluß neuer Lösung am Platz.

2. Gleichzeitig ist für den Beton selbst kalkarmer Zement zu verwenden, der, um größere Dichte zu erzielen, noch mit einem Traßzusatz, der bei H.O.Z. 10—20% des Zementgewichtes betragen soll, verarbeitet werden kann. Auch Tonerdezement wird verwendbar sein, obgleich nach Haegermann⁵⁾ und Erfahrungen des Verfassers dieser in Alkalisulfaten (also Natrium- und Kaliumsulfat) nicht so beständig

¹⁾ Grün: Einfluß der chemischen Zusammensetzung der Schlacken und Klinker auf Erhärtung und Sulfatbeständigkeit. Zement 1923, S. 297.

²⁾ Grün: Handbuch S. 45. — Nitzsche: Techn. Ind. (Zürich) 1919, S. 81.

³⁾ Dr. Henneking: Zentralbl. Bauverw. 1922, S. 141.

⁴⁾ Dr. Henneking: Zentralbl. Bauverw. 1922, S. 168. ⁵⁾ Zement 1925, S. 204.

ist wie in Magnesiumsulfatlösung. Sehr stark verdünnte Lösungen 1000 mg SO_3 im Liter (also 0,1%), sind noch als gefährlich im obigen Sinne zu betrachten.

3. Sinkt der Sulfatgehalt unter 500 mg, so ist die Gefährlichkeit nur noch unter besonderen Umständen (Konzentrationsmöglichkeit durch Verdunsten usw.) erheblich. Im allgemeinen wird dann dichtes Arbeiten möglichst mit kalkarmem Zement, bei Portlandzement Verwendung mit Traßzusatz, genügen. Auch hier bringt ein Schutzanstrich größere Sicherheit, da er den besonders empfindlichen jungen Beton vor dem Sulfatzutritt schützt. Wird später der Schutzanstrich durch mechanische oder sonstige Einwirkungen zerstört, so wird der Beton genügend gefestigt sein, um jetzt den verdünnten Lösungen widerstehen zu können. Der Beton selbst ist natürlich aus guten Zuschlagsmaterialien, die in bezug auf die Korngröße im richtigen Verhältnis stehen müssen (S. 8), mit genügendem Zementzusatz (350 kg auf 1 cbm) herzustellen. Gutes Stampfen bei ziemlich plastischer Beschaffenheit muß weiter für genügende Dichte sorgen. Reiner Gußbeton ist, wenn der Beton Gelegenheit hat, von Zeit zu Zeit stark auszutrocknen, zu vermeiden.

2. Kaliumsulfat.

K_2SO_4 , schwefelsaures Kalium, ist kristallwasserfrei und weiß. Es kommt seltener vor als das Natriumsulfat, verhält sich aber sowohl, was *Vorkommen, Verwendungsart, Einwirkungsweise* und *Maßnahmen* gegen seine Schädigungen betrifft, genau wie dieses, da ja alle Salze von Kalium und Natrium sich in weitaus den meisten Beziehungen völlig gleich verhalten. Eine besondere Besprechung erübrigt sich demgemäß (siehe Natriumsulfat, S. 89).

3. Ammoniumsulfat.

Ammoniumsulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ist ein weißes Salz, das sich beim Erhitzen verflüchtigt und sich leicht in Wasser löst; es enthält kein Kristallwasser. Das „Radikal“ Ammonium hat viele Ähnlichkeit mit dem Alkalimetallen Kalium und Natrium, ist auch eine Base und bildet gleich diesen eine Lauge: das Ammoniumhydroxyd, den Salmiakgeist, der gleich diesen ätzende Eigenschaften hat und deshalb beispielsweise zum Abbeizen von Ölfarbe usw. verwendet wird. Das flüchtige Ammoniumhydroxyd wird aber im Gegensatz zu Kalium- und Natriumhydroxyd leicht durch stärkere Basen aus seinen Salzen ausgetrieben, die sich dann mit dem übrigbleibenden Säurerest verbinden. Infolgedessen wirken alle Ammonsalze auf Beton, da in diesen die Base Kalziumhydroxyd enthalten ist oder sich leicht abspaltet, wie eine freie Säure, also, falls es sich um Ammonsalze starker Säuren (Schwefelsäure, Salzsäure usw.) handelt, sehr verderblich. Auch Ammonsalze schwacher Säuren wirken noch schädlich, falls die Säuren selbst lösliche Salze mit dem Kalziumhydroxyd zu bilden vermögen, da sich der Kalk dann löst (Ammoniumazetat, d. i. essigsäures Ammonium). Unschädlich sind nur solche Ammonsalze, mit deren Säurerest der Kalk ein unlösliches Salz bildet, also Ammoniumoxalat, Ammoniumfluorid und Ammoniumkarbonat, diese wirken sogar unter Umständen günstig,

da sie den freien Kalk des Betons in unlösliches Kalziumoxalat, Fluorkalzium oder Kalziumkarbonat überführen¹⁾.

Vorkommen. In chemischen Fabriken, bei der Düngerfabrikation, in Kokereien, Sprengstoffwerken.

Wirkungsweise. Die Einwirkungsweise des Ammoniumsulfats ergibt sich nach obigen Ausführungen von selbst. Unter dem Einfluß des freien Kalkes oder der leicht aufspaltbaren Kalkverbindungen des Betons entweicht Ammoniak, und der bleibende Schwefelsäurerest verbindet sich mit dem Kalk zu Gips, welcher Gipstreiben des Betons (Bildung des Kalkalauns) herbeiführt. Der Beton zerfällt unter Treiberscheinungen.

Versuche. Bei Lagerung von Betonkörpern aus Portlandzement und



Abb. 28. Betonwand einer Abwasserrinne, durch Ammonsulfat zerstört.

Hochofenzement trat bei konzentrierter Ammoniumsulfatlösung schon nach 24 Stunden starker Ammoniakgeruch auf. Die Festigkeiten der Körper sanken schnell, in den starken Lösungen wurden die Körper schon nach 3 Monaten völlig zerstört²⁾. Das als gefährlich bekannte Magnesiumsulfat wirkte in dieser Zeit kaum sichtbar.

Zwischen technischer und chemisch reiner Ammonsulfatlösung war kein Unterschied, auch die Körper aus niedrigkalkigen Hochofenzementen erweichten in den stärkeren Lösungen völlig unter gleichzeitigem Wachsen.

Bei Versuchen von Mohr in 0,5 und 2,5proz. Ammonsulfatlösung zeigten Hochofenzement-Körper und Portlandzement-Körper mit Traß viel geringere Treiberscheinungen als Portlandzement-Körper, besonders ein Hochofenzement hatte sich gut gehalten. In allen Körpern hat sich der Sulfatgehalt angereichert, während sich erhebliche Mengen Kalk und Sesquioxide gelöst hatten, aus den Portlandzementen reichlicher als aus den Hochofenzementen. „Alle Körper trugen aber den Todeskeim in sich“³⁾.

Aus den Ergebnissen einer Schnellmethode schließt Mohr, daß auch Tonerdezement, wenn auch in geringerem Maße wie Portlandzement und Hochofenzement, angegriffen werden wird³⁾.

¹⁾ D. R. P. 368 266. ²⁾ Grün: Zement 1921, S. 425.

³⁾ Mohr: Bauing. 1925, S. 288.

Erfahrungen. In einem chemischen Werk wurden die Betonwände von Sandsteinrinnen, welche selten von Abwässern der Ammonsulfatfabrik bespült wurden, schwer beschädigt (Abb. 28 u. 29). Dabei war der magere Unterbeton (1 : 10) sehr viel weitgehender zerstört als der fettere dichtere Oberbeton (1 : 6). Die Wiederherstellung erfolgte nach Entfernung des alten Betons und Abwarten bis zum Aufhören der nachträglichen Absprengungen in Hochofenzementbeton mit Rheinkies, der durch Sandsteinplattenbelag noch besonders geschützt wurde¹⁾.



Abb. 29. Betonwand über einer Abwasserrinne aus Sandstein, durch ammonisulfathaltiges Wasser zerstört.

Maßnahmen. Unbedingter Schutz gegen Zutritt auch schwacher Ammonsulfatlösung ist geboten. Als solcher Schutz sind Sandsteinplatten, Knauffsche Platten oder Klinker anzusehen. Diese sind in dichtem Mörtel mit möglichst schmalen Fugen zu verlegen, die Fugen sind mit säurefestem Kitt zu dichten. Auch nur periodische Befeuchtung ist gefährlich, unter Umständen gefährlicher als dauernde Berührung.

4. Kalziumsulfat (Gips).

Kalziumsulfat (CaSO_4) kommt in der Natur als Gipsstein und Anhydrit vor. Ersterer wird zum Brennen des mit Wasser abbindenden Gipses, letzterer zur Schwefelsäureherstellung benutzt. Kalziumsulfat.

¹⁾ Goebel: Bauing. 1925, S. 297.

löst sich nur schwer und langsam in Wasser, und zwar in kälterem Wasser leichter als in heißerem.

Vorkommen. In chemischen Fabriken, Gipsgruben usw., in Kohlen-schlacken, aus welchem es sich leicht durch Regenwasser herauslöst; ferner in Neutrallauge der Sulfitspriffabriken.

Kalziumsulfat entsteht ferner in Schwefelkiesgruben durch Einwirkung von Wasser auf den Kies (Schwefelsäure) und Umsetzung des säurehaltigen Wassers mit dem Kalk der Gangart zu Gips = Gipswasser.



Abb. 30. Beton einer Abwasserrinne, durch Sulfate zerstört.

Kalzium gehört zu den Erdalkalien zusammen mit Strontium und Barium.

Wirkungsweise. Trotz der geringen Löslichkeit des Gipses in Wasser ist Kalziumsulfat dem Beton gefährlich, da bei der energischen Einwirkung des Sulfatrestes auf Beton die geringen Gipsmengen des Gipswassers, falls dies sich immer erneuert, zur Zerstörung völlig genügen.

Versuche. Nach Versuchen Guttmanns hat eine Schachtlauge, die neben wenig Magnesiumchlorid und viel Natrium- und Kaliumchlorid Gips enthielt, den Festigkeitsanstieg von Eisenportlandzement und

Hochofenzementbeton wenig aufgehalten. Grün fand durch Gipswasser Schädigungen, besonders von Portlandzementbeton, nämlich nach 1 Jahr:

	Portlandzement	Hochofenzement
Wasser	19,5	16,0
Gipswasser	9,0	14,5
(Mittel aus 4 Körpern 1:5)		

also stärkere Schädigung des Portlandzementes¹⁾.

Mohr fand Festigkeitsanstiege, die häufig die Vorzeichen des Zertreibens sind, da sie die wachsende innere Spannung des Betons erkennen lassen²⁾.

Erfahrungen. Bach und Framm stellen fest, daß die umfangreichen Zerstörungen des Emschertunnels, die von außen nach innen erfolgt

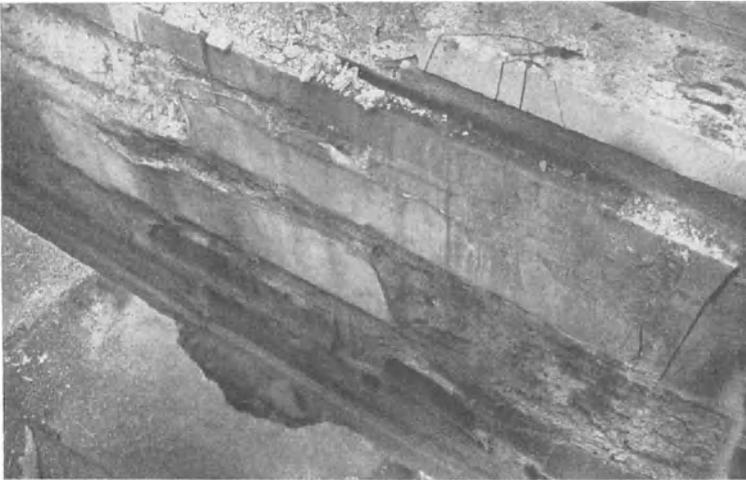


Abb. 31. Betonrinne, zerstört durch Ammonsalzwirkung.

waren, auf den Gipsgehalt der Sickerwasser, die aus Schlackenhalden stammten, wo sie den Gips aufgenommen hatten, zurückzuführen waren³⁾.

Sickerwasser in einem Bergwerk, welches 1,578 g Salz im Liter enthielt, die zu 36,15% aus Kalziumsulfat und zu 1,55% aus Magnesiumsulfat bestanden, zerstörten einen Stollen aus Betonplatten nach 4—5 Jahren. Ein anderes Sickerwasser mit nur 1,0478 g Salz im Liter, mit 46,48% Kalziumsulfat und 10,91% Magnesiumsulfat, das aus Eisenzenzen stammte, wirkte noch schneller zerstörend⁴⁾.

Das heiße Ablöschwasser von Braunkohlenasche zerstörte im Laufe von 4 Jahren eisenbewehrte Pfeiler aus Portlandzementbeton in einem

¹⁾ Handbuch S. 43. ²⁾ Bauing. 1925. S. 290.

³⁾ Helbing u. Bach: Mitteilungen über die Beobachtung von Betonbauten. Emscher-Genossenschaft 1919.

⁴⁾ Loebell: Prot. 1901. S. 111. — Handbuch S. 40.

Aschenkeller¹⁾. Verkleidung der Pfeiler mit Klinker in Hochofenzement schaffte Abhilfe. Auch im Neutrallaugebehälter einer Sulfitfabrik war nach 5 Monaten der Portlandzementputz völlig zerstört¹⁾.

Maßnahmen. Kalkarmer Zement, Tonerdezement, dichtes Arbeiten und Traßzusatz (siehe Natriumsulfat).

5. Strontiumsulfat.

Strontiumsulfat (SrSO_4), ein weißes Salz, hat als Erdalkalisalz große Ähnlichkeit mit Kalziumsulfat. Es löst sich gleichfalls schwer in Wasser.

Vorkommen. In chemischen Fabriken u. s. f., viel seltener als Kalziumsulfat.

Wirkungsweise. Grün stellte bei Versuchen die gleichen Schädigungen durch Strontiumsulfat fest wie durch Kalziumsulfatwasser.

Maßnahmen. Maßnahmen siehe Kalziumsulfat.

6. Kupfersulfat.

Kupfersulfat (CaSO_4), Kupfervitriol, schwefelsaures Kupfer, ist ein blaues Salz, das sich in Wasser leicht löst und mit 5 Mol. Wasser kristallisiert.

Vorkommen. In chemischen Fabriken für Beizzwecke, für Herstellung von Dauerelementen (Telegraphendienst), bei der Oxydation von Kupferkies an der Luft.

Wirkungsweise. Wie alle Sulfate führt das Kupfersulfat Umwandlung des Kalkes in Gips, also Gipstreiben herbei (siehe Natriumsulfat).

Versuche. Kleinlogel stellte schon bei 2proz. Kupfersulfatlösung Zerstörung fest. Grün fand höhere Beständigkeit, wie folgende Zahlen zeigen:

Zugfestigkeit 1:3	Portlandzement	Hochofenzement
Wasser	42	39
5proz. Kupfersulfatlösung	37	41

Erfahrungen. Erfahrungen unbekannt.

Maßnahmen. Wie bei den anderen Sulfaten.

7. Magnesiumsulfat.

Magnesiumsulfat, schwefelsaure Magnesia, Bittersalz, MgSO_4 , ein weißes Salz, trägt seinen Namen von seinem bitteren Geschmack. Sein Vorkommen im Meerwasser verursacht vor allen Dingen dessen Unbekömmlichkeit beim Genuß (Durchfall).

Das gewöhnliche Bittersalz kristallisiert mit 7 Mol. = 51% Wasser, (zu berücksichtigen bei Versuchen), der Kieserit mit nur 1 Mol.

Vorkommen. Im Meerwasser und infolgedessen im Steinsalz- und Kali-bergbau und in den Kaliwerken, in manchen Quellen (Hunjady Janos), die dann als Abfuhrmittel dienen.

Wirkungsweise. Das Magnesiumsulfat ist für Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement neben Natriumsulfat und Ammoniumsulfat das gefährlichste Sulfat, da die Magnesia, an welche in ihm der Schwefelsäurerest gebunden ist, eine schwächere Base ist als der Kalk. Infolgedessen setzt sich im Magnesiumsulfat der Kalk be-

¹⁾ Handbuch S. 48.

sonders leicht an die Stelle der Magnesia, d. h. er verbindet sich mit dem Sulfatrest zu Gips, während die Magnesia gallertartig ausfällt (schmierige Beschaffenheit des Betons bei MgSO_4 -Zerstörung).

Versuche. Bei umfassenden Versuchen mit Natrium- und Magnesiumsulfat von 0,5–20% fand Nitzsche, daß sowohl die einzelnen Zemente als auch die Zementarten sich verschieden verhielten. Hochofenzement war aber viel widerstandsfähiger als Portlandzement¹⁾.

Bei Vergleichsversuchen Muths mit 10proz. Magnesiumsulfatlösung trieb nach 28 Tagen der Portlandzement und der Eisenportlandzement, nach 3 Monaten waren auch die Hochofenzemente zerstört, nur die Spezialhochofenzemente²⁾ hatten ausgehalten, aber auch diese waren nach 1 Jahr zerfallen³⁾.

Guttman fand bei Versuchen mit Handelszementen, daß der Hochofenzement den Eisenportlandzement und den Portlandzement an Beständigkeit übertrifft, schließt aber auf Grund seiner Beobachtungen auch nur auf eine relative Beständigkeit⁴⁾.

Auch Grün fand eine erhebliche größere Beständigkeit der Hochofenzemente gegenüber den Portlandzementen und zeigt die starke Abhängigkeit der Beständigkeit der Hochofenzemente von der Zusammensetzung der Schlacken und Klinker; er empfiehlt Hochofenzemente, die statt Portlandzementklinker Erzzementklinker enthalten⁵⁾.

Andere Versuche Grüns führten zum gleichen Ergebnis der höheren Beständigkeit des Hochofenzementes gegenüber dem Portlandzement. Es wurden folgende Zahlen gefunden (Lagerdauer 1 Jahr):

Tabelle 26.

Lagerung	Spez. Hochofenzement D.	Hochofenzement R.	Hochofenzement A.	Hochofenzement D.	Hochofenzement O.	Hochofenzement T.	Portlandzement H.	Portlandzement G.	Misch-Verhältnis
Wasser . . .	269	352	328	332	375	300	348	339	} 1 : 3
Na_2SO_4 . . .	296	331	326	230	69	299	43	48	
MgSO_4 . . .	271	337	294	282	177	264	172	202	
Wasser . . .	45	79	68	50	35	36	28	64	} 1 : 8
Na_2SO_4 . . .	47	46	72	0	0	0	0	0	
MgSO_4 . . .	8	0	0	4	0	0	0	0	

Über das Verhalten verschiedener hochfester Zemente in 5proz. Magnesiumsulfatlösung geben andere neuere Versuche Grüns Aufschluß gemäß der Tabelle 7 auf Seite 18; zum Vergleich sind einige normale Zemente beigelegt.

Die Zahlen zeigen, daß der Tonerdezement keine Festigkeitsrückgänge aufweist, während bei den meisten anderen hochfesten Zementen Festigkeitsabfälle vorhanden sind. Diese allerdings deuten an, daß mit

¹⁾ Techn. Ind. (Zürich) 1919, H. 7/8.

²⁾ H.O.Z. mit geringem Gehalt besonderen Klinkers, also ganz besonders kalkarme Zemente.

³⁾ Passow: H.O.Z. und P.Z. 1. Heft. Berlin 1915.

⁴⁾ Kali 1916, Nr. 22. ⁵⁾ Zement 1923, S. 297.

einer Zerstörung mancher der Zemente zu rechnen ist. Besonders schwer geschädigt sind die gewöhnlichen Portlandzemente.

Erfahrungen. Bittersalzlösung hat einen 250 mm starken Fußboden 1 : 4 Portlandzement mit einem Glattstrich von 20 mm 1 : 2 mit sofort nach der Inbetriebnahme beginnender Zerstörung zermürbt¹⁾.

Nach Mitteilung der Berginspektion Staßfurt wirken nach ihren Erfahrungen schwefelsaure Salze auf gewisse Sorten Zement zerstörend ein, und zwar um so mehr, je höher der Gehalt des Zements an Ätzkalk ist; Traßzusatz verzögert die Zerstörung.

Nach Bergrat Gröbler sind im Kalibergbau Hochofenzemente die einzige Rettung und werden für Schachtanlagen usw., die mit Salzlösungen in Berührung kommen, ausschließlich benutzt²⁾. In ganz besonders schwierigen Fällen hilft man sich mit Sorelzement (gebrannte Magnesia und Magnesiumchlorid), der aber keine Eiseneinlagen verträgt und nicht völlig wasserbeständig ist. Bei Vergleichsversuchen zwischen Portlandzement-Traß- und Hochofenzementbeton bei Lagerung in Magnesiumsulfat stellten Helbing und von Bülow enorme Anreicherung des Portlandzement-Traßbetons mit SO₃ fest (Portlandzement allein wurde nicht untersucht) und kamen zu dem Schluß, daß Betone von Portlandzement und Traß oder von Hochofenzement widerstandsfähiger sind als reine Portlandzementbetone, und daß vielfach ein sachgemäß ausgeführter Beton aus Portlandzement-Traß oder aus gutem Hochofenzement ohne weitere Schutzmittel standhalten wird³⁾.

Maßnahmen. Möglichste Fernhaltung des Magnesiumsulfats vom Beton ist zu erstreben, kalkarmer Zement wird länger Beständigkeit haben als gewöhnlicher Portlandzement. Auch Tonerdezement ist in wichtigen Fällen trotz seines hohen Preises von Vorteil. Die Abwehrmaßnahmen sind die gleichen wie die bei Natriumsulfat und dort nachzusehen. Im allgemeinen ist bei Magnesiumsulfat mit einer noch höheren Zerstörungskraft zu rechnen wie bei Natriumsulfat, die Maßregeln zur Erhaltung des Bauwerkes sind also noch sorgfältiger zu treffen.

8. Zinksulfat.

Zinksulfat, schwefelsaures Zink, Zinkvitriol (ZnSO₄) ist ein weißes Salz, das mit 7 Mol. Wasser kristallisiert.

Vorkommen. In Beizereien, Färbereien, chemischen Fabriken.

Einwirkungsweise schädlich wie Kupfersulfat.

Versuche. Die Schädigung wurde durch Grün als ungefähr gleich mit Kupfersulfat bei Versuchen erkannt (s. Tab. 27, S. 101).

Erfahrungen. Runde Eisenbetonbehälter mit 50 qm Bodenfläche und 200 cbm Inhalt zeigten erst nach 5 Jahren Abblätterungen des Wandputzes infolge der Wirkung der darin aufbewahrten schwach sauren Lösung von Zinksulfat und Natriumsulfat. Der Beton war 1 : 4 aus Eisenportlandzement hergestellt.

¹⁾ Mitt. der Gewerkschaft Siegfried.

²⁾ Mitt. in der Sitzung des wissenschaftlichen Ausschusses der Zementindustrie. Heidelberg 1920.

³⁾ Baudir. Helbing u. Obering. von Bülow: Chemische Angriffe auf Beton. (Mitt. der Emscher-Genossenschaft.) Bauing. 1925, S. 76.

Maßnahmen. Als Maßnahmen zur Sicherung des Betons wird bei verdünnten Lösungen dichtes Arbeiten, Verwendung von kalkarmem Zement und Schutzanstrich genügen. Bei stärkeren Lösungen die gleichen Maßnahmen wie bei Natriumsulfat, Seite 89.

9. Kaliumaluminiumsulfat.

Kaliumaluminiumsulfat $KAl(SO_4)_2 + 12 aq$ (Kalialaun) ist ein weißes, wie die Formel zeigt, stark wasserhaltiges Salz. Es gibt verschiedene Alaunarten, z. B. auch Natronalaun, die alle in Verhalten und Wirkung gleich sind. Alaune lösen sich leicht in Wasser, können also konzentrierte Lösungen bilden.

Vorkommen. In Färbereien, chemischen Fabriken, Gerbereien.

Wirkungsweise. Die Wirkung ist ähnlich wie diejenige von Kalium- oder Natriumsulfat, nur etwas schwächer, da aus dem Alaun, wenn der Sulfatrest an den Kalk des Betons geht, sich Aluminiumhydroxyd als Gallerte abscheidet, welche die Poren des Betons verstopft und so eine Schutzschicht bildet.

Versuche. Vergleichsversuche Grüns zwischen den verschiedenen Sulfaten ergaben die Zahlen der nebenstehenden Tabelle für einjährige Lagerung 1:3.

Maßnahmen. Maßnahmen wie bei Zinksulfat.

10. Aluminiumsulfat.

$Al_2(SO_4)_3$ das mit 18 Mol. Wasser zu kristallisieren vermag, verhält sich in jeder Beziehung wie Alaun, siehe diesen.

11. Bleisulfat.

$PbSO_4$, ein weißes schweres Salz, löst sich äußerst schwer in Wasser und wirkt deshalb verhältnismäßig weniger schädlich als die leichter löslichen Sulfate; dennoch kann es natürlich in besonderen Fällen, gleich Gipswasser, zu Treiberscheinungen führen (siehe dieses).

Maßnahmen. Maßnahmen wie bei Zinksulfat.

12. Mangansulfat und Manganisulfat.

$MnSO_4 \cdot 4 aq$ und $Mn_2(SO_4)_3$, rosa bzw. dunkelgrüne Salze, die sich in Wasser zu Mangansulfat lösen, wirken wie andere Sulfate (siehe Alaun).

Aus geröstetem Spateisenstein ausgewaschenes Mangansulfat hat in einem gegen Wasserzutritt nicht geschützten Silo zur Aufbewahrung dieses Erzes den Beton bis zum Bröckligwerden zerstört. In dem mürben Beton wurden Mangan- und Magnesiumverbindungen festgestellt¹⁾.

Maßnahmen. Maßnahmen wie bei Zinksulfat.

Tabelle 27.

Zugfestigkeiten in Wasser	Portlandzement	Hochofenzement
Wasser	42	39
Lösung 5proz. (außer Kalziumsulfat)		
Kaliumsulfat	27	39
Natriumsulfat	35	41
Kalziumsulfat (gesätt.)	36	37
Strontiumsulfat	35	34
Magnesiumsulfat	31	35
Aluminiumsulfat	40	37
Alaun	34	42
Eisensulfat	32	43
Zinksulfat	39	39
Kupfersulfat	37	41
Mangansulfat	41	40
Nickelsulfat	38	35

¹⁾ Mitt. Materialpr.-Amt 1923, S. 8.

13. Eisensulfat.

Eisensulfat kommt in 2 Formen vor:

1. als Ferrosulfat, schwefelsaures Eisenoxydul, Eisenoxydulsulfat, Eisenvitriol $\text{FeSO}_4 + 7 \text{ aq}$, grünes Salz,

2. als Ferrisulfat, schwefelsaures Eisenoxyd, Eisenoxydsulfat, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 9 \text{ aq}$, weißes Salz.

Beide Salze lösen sich in Wasser leicht und können infolgedessen konzentrierte Lösungen bilden, die, zumal das Eisen nur eine schwache Base ist, sehr schädlich wirken (siehe Alaun).

Betonpfeiler einer 7 Jahre im Betrieb gewesenen Ofenhalle eines Gaswerkes, welche durch umfangreiche Ablagerungen alter Gasreinigungsmasse hindurchführten, waren so weitgehend zerstört worden, daß die Senkungen zum Bruch mehrerer Rauchgasabzugskanäle und infolgedessen zum Stillstand des Betriebes führten. Aus der Gasreinigungsmasse hatten sich bei der durch die Gasofenhitze gesteigerten Untergrundtemperatur Gips und Eisensulfat im Grundwasser gelöst, durch welche die Zerstörung herbeigeführt worden war¹⁾.

Vorkommen. In chemischen Fabriken, bei der Kupfergewinnung.

Maßnahmen. Maßnahmen wie bei Magnesiumsulfat, Seite 98.

14. Nickelsulfat.

$\text{NiSO}_4 + 7 \text{ aq}$, grünes in Wasser leicht lösliches Salz.

Vorkommen. In chemischen Fabriken und aus schwefelhaltigen Nickelerzen.

Wirkung und Maßnahmen wie bei Alaun usw.

15. Kobaltsulfat.

$\text{CoSO}_4 + 7 \text{ aq}$, rotes in Wasser lösliches Salz.

Vorkommen. In chemischen Fabriken und bei der Kobaltgewinnung.

Wirkung und Maßnahmen siehe Alaun.

Die Chloride

— die Salze der Salzsäure — Chlorwasserstoffsäure, sind wesentlich weniger gefährlich als die Sulfate, da sie naturgemäß zur Bildung des treibenden Kalziumaluminiumsulfats nicht zu führen vermögen. Nur die Chloride von solchen Basen, die schwächer sind als Kalk, können nachteilig wirken, da hier die Möglichkeit vorliegt, daß der Kalk sich an die Stelle dieser schwächeren Base setzt und dabei als Chlorid in Lösung geht. Alle Chloride außer Silber- und Bleichlorid sind in Wasser leicht löslich.

Bromide — Salze der Bromwasserstoffsäure und Jodide, Salze der Jodwasserstoffsäure — verhalten sich ähnlich; eine besondere Besprechung ist überflüssig.

¹⁾ Hundeshagen, Dr. F., Stuttgart: Über seltsame Ursachen der Zerstörung von Betonpfeilern in dem Unterbau der Ofenhalle eines Gaswerkes. Zement 1925, S. 157.

Besprochen sind:

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Natriumchlorid, | 6. Magnesiumchlorid, |
| 2. Kaliumchlorid, | 7. Quecksilberchlorid, |
| 3. Ammoniumchlorid, | 8. Eisenchlorid, |
| 4. Kalziumchlorid, | 9. Natriumbromid, |
| 5. Strontiumchlorid, | 10. Bariumchlorid, Zinkchlorid,
Manganchlorid, Aluminiumchlorid. |

1. Natriumchlorid.

Natriumchlorid, salzsaures Natrium, chlorwasserstoffsäures Natron, Kochsalz, NaCl , kristallisiert mit wenig eingeschlossener Mutterlauge in den bekannten weißen Salzkristallen, ist das häufigst vorkommende, dem Menschen unentbehrliche Salz.

Vorkommen. Im Meerwasser und infolgedessen in den aus demselben entstandenen Ablagerungen, die von Steinsalz- und Kalibergwerken ausgebeutet werden. In vielen Quellen (Solen von Dürkheim, Hall, Reichenhall, Berchtesgaden, Nauheim usw.) und in chemischen Fabriken.

Wirkungsweise. Nennenswerte Einwirkung ist nicht zu erwarten.

Versuche. 10proz. Lösungen von Natriumchlorid veränderten bei Einwirkung auf Beton 1 : 3, 1 : 5 und 1 : 8 den Festigkeitsanstieg während der Versuchsdauer von 6 Jahren nicht, gleichgültig, ob Portlandzement oder Hochofenzement verwendet wurde¹⁾. Muth kam an Hand großen Zahlenmaterials gleichfalls zu dem Ergebnis, daß Natriumchlorid ohne nachteiligen Einfluß ist²⁾. Vergleichsversuche mit Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement in gesättigten Lösungen von Natriumchlorid und Kaliumchlorid ergaben für beide Salze nur geringe Festigkeitsminderungen, für Kaliumchlorid etwas mehr als für Natriumchlorid³⁾.

Erfahrungen. In Bernterode haben sich $4 \times 6 \times 2$ m große Portlandzement-Betonbehälter seit 7 Jahren bewährt; in diesen wurden Flüssigkeiten bei Temperaturen von $12-25^\circ$ aufbewahrt, die folgende Zusammensetzung hatten:

10—12,5	Vol.-%	Kaliumchlorid,
20—25	„	Natriumchlorid,
1,2— 2,5	„	Magnesiumchlorid,
0,5	„	Gips ⁴⁾ .

Maßnahmen. Gefährlich werden können Kochsalzlösungen nur durch ihren Gehalt an anderen schädlichen Salzen. Solche schädliche Salze wie Magnesiumchlorid und Gips kommen häufig in Kochsalzlaugen vor, es muß also zunächst eine Untersuchung Aufklärung geben über die Natur der vorliegenden Lösung, falls deren Zusammensetzung unbekannt ist. Bei reinen Kochsalzlösungen, die höchstens Spuren von Beimengungen obengenannter Art zeigen, genügt dichtes Arbeiten, um Zerstörung durch den Kristallisationsdruck eingedrungener Salzlösung zu verhindern. Bei Eisenbeton ist das Eisen mindestens 40 mm zu überdecken.

¹⁾ Mitt. Dr. Schruff: Vulkan, Duisburg.

²⁾ Passow: H.O.Z. Leitfaden 1913, S. 45.

³⁾ Guttman: Kali 1916, Nr. 22. ⁴⁾ Landmann: Handbuch S. 46.

2. Kaliumchlorid.

Vorkommen. Chlorkalium, salzsaures Kali, KCl , ein dem Natriumchlorid sehr ähnliches Salz, welches gleich diesem, nur seltener, vorkommt.

Wirkungsweise. Da Wirkung usw. genau der des Natriumchlorids entsprechend, kann auf dieses verwiesen werden.

3. Ammoniumchlorid.

Chlorammon, salzsaures Ammoniak, Salmiak, NH_4Cl sublimiert beim Erhitzen und löst sich sehr leicht in Wasser.

Vorkommen. In chemischen Fabriken, für Düngerherstellung.

Wirkungsweise. Wie alle Ammonsalze wird das Ammoniumchlorid durch den freien Kalk des Betons zersetzt, es entweicht Ammoniak, und der Kalk wird unter Zerstörung des Betons als Kalziumchlorid herausgelöst.

Versuche. Grün stellte fest, daß heiße Ammoniumchloridlösung (5%) Beton sofort durch Erweichen zerstörte, während er durch heiße Ammonsulfatlösung zunächst nicht verändert wurde. Auch 28 Tage Lagerung setzte die Zugfestigkeit von 30 kg auf 14 kg herab¹⁾. Die Versuche Mohrs ergaben gleichfalls eine Schädigung aller Zementarten, der Beton war nach mehrmonatiger Lagerung in 0,5- und 2,5proz. Ammonchloridlösung in der Festigkeit wenig geschädigt, aber von Sprüngen durchzogen und dem Untergange geweiht. Traßzusatz zu Portlandzement wirkte etwas bessernd²⁾.

Erfahrungen. Das Ammoniumchlorid ist, da das sich bei seiner Einwirkung bildende Kalziumchlorid leichter löslich ist als das unter dem Einfluß des Ammonsulfats sich bildende Kalziumsulfat, noch schädlicher als das Ammonsulfat; wenn es auch nicht zu Treiberscheinungen führt, erweicht es doch den Beton um so schneller. Schutz gegen seinen Zutritt muß dem Beton deshalb unter allen Umständen gewährt werden.

Maßnahmen. Maßnahmen siehe unter Ammoniumsulfat.

4. Kalziumchlorid.

Chlorkalzium, salzsaures Kalziumoxyd (nicht zu verwechseln mit Chlorkalk) ist ein weißes, stark wasseranziehendes (hygroskopisches) Salz, das infolgedessen an der Luft zerläuft. Äußerst leicht in Wasser löslich.

Vorkommen. In Ablagerungen des Meerwassers und in der Kalifabrikation.

Wirkungsweise. Einwirkung ist nicht vorhanden, da schon theoretisch eine Umsetzung des Kalkes aus dem Beton mit dem Kalziumchlorid ausgeschlossen erscheint.

Versuche. Unter den zahlreichen veröffentlichten Versuchen mit verschiedenen Salzen finden sich keine, die mit Kalziumchlorid vorgenommen wurden, zweifellos weil eine Einwirkung nie festgestellt wurde.

Bei Versuchen Grüns wurden geringe Festigkeitsrückgänge festgestellt. Aus der Praxis sind keine Fälle nachteiligen Verhaltens bekannt.

¹⁾ Zement 1921, S. 425.

²⁾ Prof. Mohr: Bauing. 1925, S. 284.

Maßnahmen. Als Maßnahme kommt bei Eisenbeton Schutz der Eisen-
einlagen durch genügende Überdeckung mit dichtem Beton in Betracht.

5. Strontiumchlorid (SrCl_2) und Bariumchlorid (BaCl_2).

Kommen seltener vor als Kalziumchlorid, und zwar nur in chemischen
Fabriken.

Sie verhalten sich als Chloride der Erdalkalien genau wie Kalzium-
chlorid. Bariumchlorid wirkt in großem Umfange dichtend durch Bil-
dung des unlöslichen Bariumsulfats aus dem Kalziumsulfat des Zementes,
vermag aber die Festigkeiten zu schädigen durch Auflösung des Gipses
zu Kalziumchlorid.

6. Magnesiumchlorid.

Magnesiumchlorid, Chlormagnesium, salzsaure (chlorwasserstoff-
saure) Magnesia, MgCl_2 , vermag mit 6 Mol. Wasser zu kristallisieren zu
einem weißen Salz, das sich sehr leicht in Wasser löst.

Vorkommen. Im Meerwasser und infolgedessen auch in den Ablage-
rungen des Meerwassers in den Steinsalzbergwerken und der Kaliindu-
strie, bei der Steinholzherstellung.

Wirkungsweise. Die Einwirkungsweise des Magnesiumchlorids ist
noch nicht ganz klar¹⁾, Schädigung ist aber sicher nachgewiesen,
allerdings ist sie erheblich schwächer als diejenige des Magnesiumsulfats.

Passow stellte fest, daß 25 proz. Magnesiumchloridlösung während
6 Monaten 6 Hochofenzementbetone nicht angriff, 6 Portlandzement-
betone dagegen zerstörte²⁾. Guttman fand schädigende Wirkung auf
Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement; während
aber die beiden ersten zerstört wurden, wurde beim Hochofenzement-
beton die Festigkeit nur herabgesetzt³⁾.

Versuche. In der Stadt Schönebeck a. d. Elbe wurde ein Be-
tonrohrkanal durch die Abwässer zerstört, welche 10,9% Magnesium-
chlorid und 1,4% Magnesiumsulfat (ohne Kristallwasser) enthielten.
Auch der Goudronanstrich hatte den Beton nicht zu schützen ver-
mocht⁴⁾.

An anderer Stelle wurde Rabitzauskleidung aus Portlandzement-
beton 1 : 2 nach 3—4 Jahren zerstört von einer etwa 80° heißen Roh-
lage folgender Zusammensetzung:

22—22,5	Vol.-%	Kaliumchlorid,
23,7—28	,,	Natriumchlorid,
1,3— 1,5	,,	Magnesiumchlorid,
0,6	,,	Gips.

Die Zerstörung ist offenbar auf das Magnesiumchlorid und den Gips
zurückzuführen⁵⁾.

Auch Fußböden aus Portlandzement (1 : 4, Oberschicht 1 : 2), die
Ränder einer Laugensammelgrube und ein Laugenbehälter 30 × 10 × 2 m

¹⁾ Küh1, Prof.: Vom Chlortreiben. Zement 1925, S. 859.

²⁾ Dr. H. Passow: Hochofenzement u. Portlandzement, Tonind.-Zg. 1916,
S. 424.

³⁾ Dr. A. Guttman: Kali 1916, Nr. 22. ⁴⁾ Städt. Tiefb. 1912, Nr. 4.

⁵⁾ Handbuch S. 46.

(1 : 5) wurden durch Magnesiumchloridlösung zerstört, der letztere nach 3 Monaten; dagegen haben sich an anderen Orten (Wolframshausen und Rastenberg) eisenbewehrte Behälter $3 \times 5 \times 2,5$ m aus Hochofenzementbeton bewährt.

Die staatliche Berginspektion Staßfurt stellte für einige Hochofenzemente größere Widerstandsfähigkeit fest als für Portlandzemente¹⁾.

In der Steinholzfabrikation wird „Lauge“, d. h. konzentrierte Magnesiumchloridlösung, in großen Mengen verwendet, die als Abfallauge von den Kaliwerken geliefert wird. Zur Aufbewahrung dieser Lauge dienende Betonbehälter wurden wiederholt zerstört (Berichte des Verbandes deutscher Steinholzfabrikanten an den Verfasser). Bei der Verlegung von Steinholz muß der Unterbeton genügend dicht hergestellt werden, um ein Eindringen evtl. überschüssiger „Lauge“ in den Beton zu verhindern, da sonst Rosten der Eiseneinlagen hervorgerufen wird²⁾. Dichter Beton wird durch ordnungsgemäß hergestelltes Steinholz nicht geschädigt.

Erfahrungen. An einem Eisenbeton wurde Rosten der Eiseneinlagen, die zu Absprengungen des Betons führten, festgestellt. Der Portlandzementbeton war nicht zerstört, aber zu wenig dicht hergestellt, so daß die Lösung eindringen konnte. (Weitere Erfahrungen siehe unter Natriumchlorid.)

Maßnahmen. Ein Schutz des Betons ist unter allen Umständen erforderlich. Bei verdünnten Lösungen wird dichtes Arbeiten und Schutzanstrich genügen; bei konzentrierten Lösungen Plattenverkleidung, in schweren Fällen Belag von großen Sandsteinplatten in Teer (siehe Natrium- und Ammoniumsulfate, S. 89 u. 93).

7. Quecksilberchlorid, Sublimat.

Quecksilberchlorid, Sublimat (HgCl_2) trägt seinen Namen von der Tatsache, daß es beim Erhitzen sublimiert.

Es sieht weiß aus, wird aber in der Technik rot gefärbt, damit der Arzt einen Anhalt über die Stärke der Konzentration hat, da zu starke Lösungen die Haut verbrennen. Ziemlich leicht in Wasser löslich.

Vorkommen. Ist das meistgebrauchte Desinfektionsmittel und dient auch zur Imprägnierung von Telegraphenstangen u. dgl. gegen Fäulnis und Insektenfraß.

Versuche. Kleinlogel stellte baldige Zerstörung von Beton durch Sublimatwirkung fest. Nach Angabe war die Lösung 7%. Da sich an Sublimat aber nur 4,3% in Wasser löst, hat Kleinlogel wohl mit verdünnterer Lösung gearbeitet³⁾.

Erfahrungen. In Zyanisierwerken (Imprägnierwerke für Telegraphenstangen) wurde durch die Sublimatlösung der Zement mürbe⁴⁾. Gegen stark verdünnte Lösungen haben sich Zyanisierbehälter aus Beton seit 20 Jahren bewährt⁵⁾.

¹⁾ Handbuch S. 46. ²⁾ Grün: Zement 1921, S. 111.

³⁾ Z. angew. Chem. 1921, S. 295. ⁴⁾ Moll: Baumarkt 1920, S. 474.

⁵⁾ Moll: Z. angew. Chem. 1921, S. 435.

Maßnahmen. Gemäß den Erfahrungen der Praxis muß Beton gegen Sublimatlösungen, die mehr als 0,7% Sublimat enthalten, unbedingt geschützt werden. Auch bei verdünnteren Lösungen ist ein energischer Schutz unbedingt am Platze, also stets Plattenbelag, zum mindesten Schutzanstrich.

8. *Eisenchlorid* (Salzsaures Eisenoxyd).

Ein gelbliches, leicht in Wasser lösliches Salz, welches in der Färberei Anwendung findet.

Aus dem Eisenchlorid scheidet sich unter der Einwirkung des Kalkes des Betons das Eisenoxyd in gelben Flecken ab, der Kalk geht als Kalziumchlorid in Lösung.

Schon nach 3 Monaten hatte 5proz. Eisenchloridlösung sowohl Hochofenzementbeton als auch Portlandzementbeton 1 : 3 zerstört¹⁾. Vergleiche auch alle übrigen Chloride weiter unten.

9. *Natriumbromid.*

Bromnatrium, Bromwasserstoffsäures Natrium (NaBr), ebenso Natriumjodid (NaJ) und die entsprechenden Kaliumsalze kommen in sehr geringen Mengen in Ablagerungen des Meerwassers und in diesem vor und verhalten sich genau wie Natriumchlorid, da die Halogene, Chlor, Jod, Brom und Fluor ähnliche Salze bilden.

10. Alle übrigen Chloride wirken in konzentrierteren Lösungen wenig schädlich. Folgende Zusammenstellung einiger nicht veröffentlichter Versuche Grüns zeigt

Tabelle 28.

die geringen Unterschiede, obgleich bei dem dichten verwendeten Beton und der zu kurzen Lagerdauer von 1 Jahr in unbewegter Lösung die Schädigungen noch nicht genügend in Erscheinung getreten sind.

Zugfestigkeit. Beton 1:3, Lösungen etwa 5%.

	Portlandzement	Hochofenzement
Wasser	42	39
Natriumchlorid	37	36
Kalziumchlorid	38	36
Strontiumchlorid	39	34
Bariumchlorid	35	36
Magnesiumchlorid	35	35
Quecksilberchlorid	37	36
Zinkchlorid	43	39
Manganchlorid	33	37
Aluminiumchlorid	32	34
Eisenchlorid	29	30

Die Zahlen zeigen als schädlichstes Chlorid das Eisenchlorid. Tat-

sächlich wurden bei anderen Versuchen in Eisenchlorid die Körper schon nach 3 Monaten erweicht¹⁾. Schädigung trat bei allen Körpern ein. Demgemäß ist auch gegen die Chloride, obgleich sie nicht zu Treiberscheinungen führen, wegen der Erweichungsgefahr für den Beton ein Schutz nötig. Bei verdünnteren Lösungen genügt ein Schutzanstrich (Inertol usw.), nachdem der dicht gearbeitete Beton vorher fluatiert ist. Bei konzentrierten Lösungen, oder falls Konzentration durch dauerndes Verdunsten möglich ist (Tropfenwirkung), ist Plattenbelag oder Klinkerverkleidung nötig. Bei geringwertigen Beton-

¹⁾ Handbuch S. 49.

ausführungen (Fußboden in Fabriken) genügt auch dichtes Arbeiten. Der Fußboden od. dgl. wird dann jahrelang halten und kann dann ohne große Kosten erneuert werden.

Die Nitrate,

die Salze der Salpetersäure, verhalten sich im allgemeinen wie die Chloride, d. h. soweit sie überhaupt schädlich sind (Ammoniumnitrat), führen sie Erweichung des Betons, aber keine Treiberscheinungen herbei. Sie sind alle in Wasser leicht löslich.

Es werden besprochen:

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. Natriumnitrat, | 4. Kalziumnitrat, |
| 2. Kaliumnitrat, | 5. Bleinitrat, Nickelnitrat. |
| 3. Ammoniumnitrat, | |

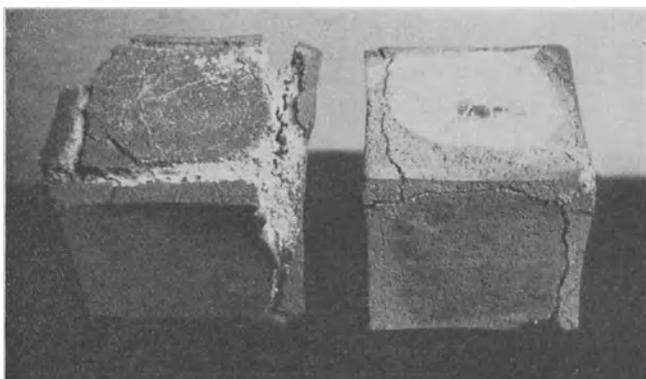


Abb. 32. Portlandzementbetonkörper nach Lagerung in 0,5 proz. Ammonnitratlösung. (Aufn. Prof. Mohr, L'hafen.)

1. Natriumnitrat.

Salpetersaures Natron, Natronsalpeter, NaNO_3 weißes Salz, in Wasser sehr leicht löslich wie alle Nitrate.

Vorkommen. Unter dem Namen Chilesalpeter; für Düngezwecke und Pulverfabrikation bisher importiert, wird aber in steigendem Ausmaß ersetzt durch die aus dem Stickstoff der Luft synthetisch in großem Umfang hergestellten Nitrate.

Wirkungsweise. Ohne Einwirkung.

2. Kaliumnitrat.

Salpetersaures Kali, Kaliumnitrat, dient als Düngemittel und zur Sprengstoffherstellung.

Wirkungsweise. Ohne Einwirkung, Versuche siehe am Schluß des Abschnittes Nitrate.

3. Ammoniumnitrat.

Salpetersaures Ammon, explosives Salz (die Explosionskatastrophe in Oppau wurde durch dieses hervorgerufen), das zur Sprengstoff- und vor allem zur Düngemittelherstellung in großem Umfange verwendet wird.

Wirkungsweise. Die Einwirkung ist schädlich, da sich aus dem freien Kalk des Betons und dem Salpetersäurerest unter Verflüchtigung des Ammoniaks leichtlösliches Kalziumnitrat bildet.

Versuche. Die Versuche von Mohr¹⁾ zeigten die entkalkende Wirkung des Ammoniumnitrats. Die Körper aus P.-Z. wurden völlig zerstört (Abb. 32 u. 33), diejenigen mit Traßzusatz und diejenigen aus Hochofenzement hatten sich äußerlich etwas besser gehalten, aber auch bei ihnen hatte Entkalkung stattgefunden, und das Auftreten feiner Risse zeigte, daß die Körper „dem Untergang geweiht waren“²⁾.

Erfahrungen. In Kokereien und Fabriken für Kunstdünger wurden, da die schädliche Einwirkung des Ammonitrats bekannt ist, Betonwände häufig auch gegen trockene Salze durch Anstrich und Holzverkleidung geschützt.

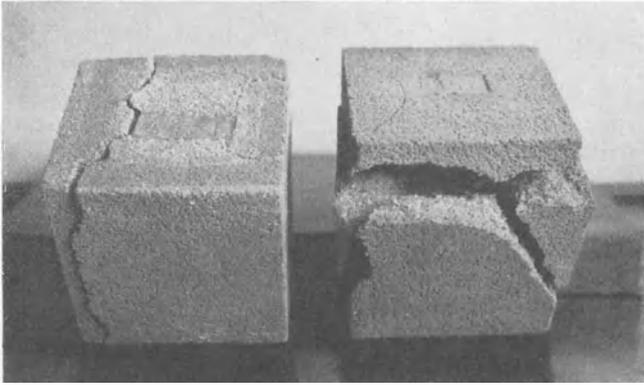


Abb. 33. Portlandzementbetonkörper nach Lagerung in 2,5 proz. Ammonitratlösung. (Aufn. Prof. Mohr, L'hafen.)

Maßnahmen. Unbedingter Schutz des Betons gegen Zutritt von Lösungen des Ammonitrats, auch sehr verdünnter Art, ist nötig (s. Ammonsulfat, S. 93).

4. Kalziumnitrat.

Kalksalpeter, der in chemischen Fabriken und als künstlicher Düngemittel vorkommt, wird ohne Einwirkung bleiben.

Versuche. Versuche sind unbekannt. Mohr teilt aber mit, daß bei einem mit Porzellanplättchen in Tonerdezement ausgekleideten Eindampfkessel starke Treiberscheinungen des Tonerdezementes schon nach wenigen Tagen auftraten. Die Plättchen wurden zersprengt, der Tonerdezement war in eine weiche Masse verwandelt. Die gleiche Auskleidung in Portlandzement zeigte keine Veränderung in der gleichen Beobachtungsdauer³⁾.

¹⁾ Bauing. 1925, S. 289.

²⁾ Siehe auch Versuche am Schluß des Abschnittes „Nitrate“.

³⁾ Bauing. 1925, S. 292.

Tabelle 29.

Zugfestigkeiten	Portlandzement	Hochofenzement
Wasser	42	39
Bleinitrat 5%	34	41
Nickelnitrat	36	40
Kaliumnitrat	38	41
Ammonnitrat	29	29

5. Alle übrigen Nitrate, die wohl in chemischen Fabriken, kaum aber in der weiten Praxis vorkommen, werden sich wie die gleichen Chloride verhalten. Einige Versuche Grüns bewiesen diese Tatsache (Tab. 29).

Die Sulfide,

Salze der Schwefelwasserstoffsäure, treten außer in chemischen Fabriken in Abwässern und vor allen Dingen als Erze auf. Diese Erze heißen „Kiese“ (Kupferkies, Schwefelkies), sie werden durch „Rösten“ von dem größten Teil ihres Schwefels befreit, die gerösteten Erze, die „Kiesabbrände“, enthalten aber immer noch erhebliche Mengen Schwefel als Sulfid oder Sulfat. Auch die verschiedenen Kohlenarten, mit Ausnahme von Anthrazitkohle, enthalten Schwefelmengen bis zu 2%, teilweise als Kupferkies; ebenso ist Posidonienschiefer (Ölschiefer) stark schwefelkieshaltig. Infolgedessen sind die Schlacken von Ölschiefer und Kohle sulfathaltig, Koks ist schwefelhaltig.

Wirkungsweise. Die Sulfide sind, soweit sie löslich sind, stets verdächtig, da ihre Oxydation zu Sulfat bei Luftzutritt möglich ist. Auch die nichtwasserlöslichen Sulfide, die Kiese und die Abbrände, vermögen bei Wasserzutritt Sulfat zu bilden, beispielsweise verwandelt sich das unlösliche Eisensulfid in das leichtlösliche Eisensulfat, das dann von dem Wasser in den Beton eingeführt wird. Dies führt dann zu den unter Sulfaten beschriebenen Betonzerstörungen.

Versuche. J. C. Witt¹⁾ zeigt, daß bei Konzentrationen von Natriumsulfid, die nicht über 1 g S im Liter (0,1%) hinausgehen, die Zugfestigkeit von Portlandzementmörtel nicht ernstlich beeinflußt wurde. Bei höherer Konzentration nahm die Festigkeit in jedem Falle ab.

Erfahrungen. Mehrere Eisenbetonbunker für Kladnoer stark schwefelhaltige Generatorkohle, teilweise mit, teilweise ohne Dach, haben sich seit 1913 gut bewährt²⁾. Eine andere mit Inertolanstrich geschützte Kohlenbunkeranlage einer Eisenbahndirektion ist gleichfalls in gutem Zustand, der Anstrich unversehrt³⁾. Auch eine Rundfrage des Betonvereins ergab im allgemeinen gute Bewährung von Beton gegen Kohle; auch für Rohbraunkohle sind Bunker mit gutem Erfolg errichtet worden⁴⁾. Dagegen wurde auf einer Zeche in Westfalen der Beton eines Kohlenschlammstillens nach 10 Jahren völlig zermürbt⁵⁾. Nitzsche stellte Anreicherung an Sulfat in einem Kalkmörtel durch lagernden feuchten Koks statt, Portlandzement- und Hochofenzement-Mörtel wurde aber nicht zerstört⁶⁾. Lagernder gerösteter Spateisenstein hat in einem aus Eisenbeton ausgeführten Silo bereits nach 1 Jahr erhebliche Zerstörungs-

¹⁾ Chem. Zentralblatt 1923, Bd. IV, S. 450.

²⁾ Gensbauer: Beton Eisen 1923, S. 27.

³⁾ Beton Eisen 1923, S. 39.

⁴⁾ Kunze: Bauing. 1923, S. 636.

⁵⁾ Besichtigung durch den Verfasser.

⁶⁾ Beton Eisen 1923, S. 185.

erscheinungen, Abfallen des Putzes, Mürbewerden des Betons, hervorgerufen. Es wurden in dem Erz Mangansulfid und -sulfat, in dem zerstörten Beton schwarze Ablagerung von Mangan und Kalkverarmung festgestellt¹⁾.

Die durch Verschwelen des Posidonienschiefers erhaltenen Schlacken wurden in großem Umfang zu Leichtsteinen verarbeitet. Bei Verwendung von Romazement und Hochofenzement blieben diese beständig, bei Verwendung von Portlandzement wurden erhebliche Zerstörungerscheinungen, die zum Verfall ganzer Gebäude führten, beobachtet²⁾.

Maßnahmen. Abhilfe gegen Zerstörungerscheinungen der Sulfide bringt nur Fernhalten derselben von dem Beton.

Bei löslichen Sulfiden (Natriumsulfid usw.) dichtes Arbeiten, Schutzanstrich bei konzentrierten Lösungen.

Bei unlöslichen Sulfiden (Erze) schwefelhaltige Kohle: Verhinderung des Wasserzutritts, der unter Oxydation der Sulfide diese in lösliche Sulfate überführt und in den Beton verschleppt.

Karbonate.

Wirkungsweise. Karbonate sind stets unschädlich, denn sie führen den freien Kalk des Betons in kohlensauen Kalk über, der ja in gewöhnlichem Wasser praktisch unlöslich ist. Sie wirken infolgedessen auf Beton eher verfestigend ein.

Sogar das Ammoniumkarbonat vermag den Beton im Gegensatz zu den anderen Ammonsalzen, die ja außer Ammoniumoxalat und Ammonfluorid schädlich sind, kaum zu schädigen.

Versuche. Grün³⁾ fand nur sehr geringe Festigkeitsrückgänge.

Alle Karbonate, außer Natriumkarbonat (Soda), Kaliumkarbonat (Pottasche), Ammoniumkarbonat (Hirschhornsalz) sind in Wasser unlöslich. Die unlöslichen Salze kommen für eine Einwirkung natürlich nicht in Betracht. Als wichtigstes Karbonat sei das Kalziumkarbonat — der kohlensaure Kalk — genannt, der sich in ungeheuren Mengen als Gebirgsbildner auf der Erde findet. Der Kalkstein der Voralpen und der Tropfsteinhöhlen, der Marmor, die Kreide, alle diese Gesteine sind fast reiner kohlensaurer Kalk; Dolomit ist ein Doppelsalz von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia. Die unlöslichen Karbonate lösen sich nur in kohlensäurehaltigem Wasser, also auch in Regenwasser in großen Mengen zu doppeltkohlensauen Salzen, die Ursache für die starke Verwitterung, beispielsweise der Karstgegenden.

Allein löslich in Wasser sind die doppeltkohlensauen Salze. Kalziumkarbonat liegt — wenn es in Wasser gelöst ist, als das doppeltkohlensaure Salz vor. Auch von diesem Salz ist eine Einwirkung nicht zu erwarten.

Natriumkarbonat (Soda).

Versuche Schruoffs bewiesen, daß Druckkörper aus Eisenportlandzement und Hochofenzement während 8jähriger Lagerung in 16proz. Sodalösung ohne Veränderung blieben. (Mitteilung an den Verfasser.)

¹⁾ Mitt. Materialpr.-Amt 1923, S. 8.

²⁾ Beobachtung des Verfassers.

³⁾ Grün: Zement 1921, S. 425.

Auch bei Portlandzement ist natürlich mit einem ungünstigen Einfluß des Natriumkarbonats nicht zu rechnen. Dagegen schließt Haegermann aus Lösungsversuchen auf eine nachteilige Wirkung der Soda auf die gegen Magnesiumsulfat so beständige Tonerdezemente¹⁾.

Die übrigen Salze

können natürlich bei ihrer untergeordneten Bedeutung nicht alle abgehandelt werden. Es genügt, wenn, wie dies im folgenden geschehen, die einzelnen Gruppen nach den Säurenresten, die sie bilden, besprochen und einige Beispiele aufgeführt werden.

Flußsaure Salze, Fluoride, sind ohne schädlichen Einfluß, sie nützen im Gegenteil durch Überführung des freien Kalkes in unlösliches Fluat.

Natriumfluorid.

Natriumfluorid bleibt ohne Nachteil, wirkt im Gegenteil günstig, da es den Kalk in das sehr harte Kalziumfluorid überführt. Fluoride dienen deshalb auch als Härtungsmittel für abgeordneten Beton (Fluadierung).

Kieselsaure Salze, Silikate, die als Härtungsmittel und zur Beschleunigung der Abbindezeit verwendet werden, sind wie die Fluatate von Nutzen, da sie gleich diesen den freien Kalk binden und zu einer Härtung des Betons beitragen (Anstreichen von Estrichen, Betonstraßen u. dgl. mit Wasserglas).

Allein löslich in Wasser sind die Silikate der Alkalien (Natriumsilikat = Natronwasserglas und Kaliumsilikat = Kaliwasserglas). Das Kalziumsilikat, ein Hauptbestandteil des Portlandzementmörtels, ist praktisch in Wasser unlöslich, ebenso alle anderen Silikate. Eine ungünstige Einwirkung ist nicht zu befürchten.

Natriumsilikat (Natronwasserglas).

Kaliumsilikat (Kaliwasserglas).

Vorkommen. Wasserglaslösungen werden häufig verwendet für die Dichtung von Beton durch Anstreichen. Aus ihnen scheidet sich die Kieselsäure unter der Einwirkung des freien Kalkes des Betons als Kalziumsilikat ab, das die Oberfläche des Betons dichtet.

Nicht nur als Anstrichmittel, auch bei Einwirkung in großen Mengen bleibt das Natriumsilikat ohne schädlichen Einfluß auf Beton.

Versuche. In Amerika sind Behälter aus Beton $2,44 \times 1,83 \times 1,37$ m, in welchen je 2000 Dutzend Eier aufbewahrt wurden, ohne nachteilige Einwirkung im Gebrauch gewesen²⁾.

Andere Salze.

Kaliumdichromat (Chromsaures Kali).

Vorkommen. In Gerbereien und chemischen Fabriken.

Wirkungsweise. Kaliumdichromat bleibt ohne jede Einwirkung³⁾.

¹⁾ Haegermann, Dr., u. Dr. Hart, Karlshorst: Einwirkung von Wasser und Salzlösungen auf den Tonerdezement. Zement 1925, S. 204.

²⁾ Tonind.-Zg. 1920, S. 976. ³⁾ Handbuch, S. 49.

Kaliumpermanganat (Übermangansaures Kali).

Ein violettees Salz, das in Bleichereien und Färbereien viel im Gebrauch ist. Bleibt ohne Einfluß¹⁾.

b) Organische Salze.

Die große Menge der Salze der organischen Säuren ist ohne große Bedeutung, da die organischen Säuren sehr schwach sind; so lange eine starke Base bei der Salzbildung beteiligt ist, ist die Macht der Säure gebrochen. Da nun alle gebräuchlichen anorganischen Basen im Vergleich zu der Stärke der organischen Säuren sehr stark sind, sind die meisten Salze aus organischen Säuren mit anorganischen Basen (z. B. Natriumazetat, essigsäures Natron) wenig gefährlich. Eine besondere Besprechung solcher Salze erübrigt sich demnach, zumal sie nur in geringem Umfange in der weiteren Praxis, meist nur in chemischen Spezialfabriken vorkommen.

Die bei der Besprechung der Säuren hervorgehobene Gefährlichkeit der organischen Säuren tritt aber sofort auf, wenn eine schwache Base an der Salzbildung beteiligt ist, da dann naturgemäß die Säure durch den freien Kalk des Zementes aus ihrer Stellung freigemacht und zu einer Bindung mit dem Betonkalk veranlaßt wird.

Hierher gehört die große Gruppe der fetten Öle, die als ganz besonders gefährlich bezeichnet werden müssen, da sie einerseits wie freie Säuren wirken, andererseits aber im Gegensatz zu Schwefelsäure u. dgl. keineswegs den Eindruck freier Säure machen, also harmlos erscheinen.

Nicht verwechselt dürfen werden die fetten Öle mit den völlig harmlosen Mineralölen, trotzdem fette Öle und Minerale sowohl in bezug auf ihre sonstigen Eigenschaften als auch auf ihre Verwendungs- und Bezeichnungsweise zusammengehören und in der Praxis selten auseinandergehalten werden²⁾. Wegen dieser allerdings nur äußerlichen Zusammengehörigkeit werden fette Öle und gleich anschließend die Mineralöle zusammen besprochen.

Fette Öle und Fette.

- α) Pflanzenfette,
- β) Tierfette.

Nichtfette Öle.

- α) Erdöle.
- β) Braunkohlenöle und
- γ) Steinkohlenöle.
- δ) Ätherische Öle.

Fette Öle und Fette.

Die fetten Öle sind Salze der Fettsäuren mit der Base Glycerin. Glycerin ist ein 3wertiger Alkohol, der nur eine sehr schwache Base darstellt³⁾. Infolgedessen lassen sich die Ölsäuren leicht von der Base Glycerin trennen, sie werden also frei: Das Salz zerfällt in: die Base:

¹⁾ Handbuch S. 49.

²⁾ Volkstümlich ausgedrückt kann man sagen: Alle fetten Öle und Fette sind verdaulich für den menschlichen Magen, alle anderen, nichtfetten Öle sind unverdaulich: Die verdaulichen Öle sind schädlich, da sie durch den Kalk des Betons gespalten werden; die unverdaulichen Öle sind, wenn säurefrei, unschädlich.

³⁾ Alkohole vermögen ja auch als Säuren aufzutreten und Alkoholate zu bilden, sind aber wie auch Glycerin unschädlich.

Glyzerin, die ohne Einfluß auf Beton bleibt und in die Säure: Fettsäure (z. B. Ölsäure, Palmitinsäure u. dgl.), welche mit dem Kalk des Betons ein neues Salz, das betreffende fettsaure Salz (z. B. Kalziumoleat — Kalziumpalmitat) bildet. Der Beton erweicht natürlich bei diesem Vorgang der Kalksalzbildung, da die sein Gefüge und seine Festigkeit gewährleistenden Kalziumsilikate zerstört und in Kalziumoleate unter Abscheidung gallertartiger Kieselsäure verwandelt werden. Den oben geschilderten Prozeß der Aufspaltung eines Fettes in Ölsäure und Glyzerin nennt man „Verseifung“. Der Vorgang ist seit alters her bekannt und wurde und wird in großem Umfang bei der Seifenfabrikation, welche tierische Fette mit Natronlauge (Seifenstein) aufspaltet, durchgeführt. Dabei bildet sich aus der Natronlauge und der freigemachten Fettsäure das Natronsalz, welches man Seife nennt, woher auch der Aufspaltungsprozeß den Namen Verseifung trägt.

Das sich bei der Einwirkung auf Beton bildende Kalksalz der Ölsäure kann man folgerichtig als Kalkseife bezeichnen, da man die Salze der Ölsäuren allgemein Seifen nennt. Auch unsere Seifen des Handels sind nichts anders als solche ölsauren Salze, ihre reinigende Kraft beruht auf der Tatsache, daß bei Zusatz von viel Wasser (Waschen) die Seife sich wieder spaltet in Natronlauge, die bekanntlich lösend auf organische Körper wirkt (das Glitschige der Seifen kommt von der Natronlauge) und in Ölsäure, die den abgelösten Schmutz umhüllt und ihn unschädlich macht.

Vorkommen. Zu den fetten Ölen und Fetten gehören alle aus Tier oder Pflanzen gewonnenen Fette. Im Tier- oder Pflanzenkörper haben die Fette stets die Funktion eines Vorratskörpers für Notfälle oder für besonders hochwertige Prozesse zu erfüllen. Sie finden sich demgemäß in allen Samenkörnern (Leinsaat, Hanf, Palmkerne, Kokosnuß, Walnuß, Haselnuß), wo auf geringstem Raume möglichst große Energiemengen dem wachsenden Keim zur Verfügung gestellt werden müssen. Dann sind sie gegenwärtig im Eidotter, der zur Ernährung des Embryo während des Brutvorganges dient, im Fettpolster der Wasservögel und großen Säuger (Walfisch), da sie gleichzeitig „isolierend“ gegen Wärmeverlust wirken, und überall, wo für Vorrat gesorgt werden muß, also zwischen den Muskeln und an bestimmten Körperstellen (Höcker des Kamels und des Gnus), zwischen den Gedärmen (der Gans usw.), hauptsächlich auch bei weiblichen Säugetieren, um diese für den Fall der Austragung eines Keimes und die Milchabgabezeit mit den nötigen Vorratsstoffen zu versehen.

Diesem Vorkommen gemäß werden auch die verschiedenen Fette aus den betr. Früchten oder Geweben gewonnen, der Name drückt stets die Gewinnungsart aus; es seien genannt:

a) Pflanzenfette: Öl von
 Hanf,
 Leinsaat (Leinöl),
 Mohnsaat (Mohnöl),
 Raps,
 Rizinus,
 Rübsaat (Rüböl),

Nüssen,
 Ölnüssen,
 Oliven,
 Palmkernen,
 Kokosnüssen,
 Kakaobutter.

Verwendung bekannt zur Herstellung von Pflanzenbutter (Margarine), Ölfarben, Seife, für Beleuchtung und Heizung.

β) Tierfette:

Butter,	Tran,
(Rinds-)Talg,	Klaunenöl,
(Schweine-)Schmalz,	Knochenöl,
Nierenfett,	Gänsefett.

Verwendung bekannt zur Herstellung von Margarine und sonstigen Nahrungsmitteln, Salben- und Seifenherstellung und Beleuchtung.

Versuche. Bei einjähriger Lagerung von verschiedenen vorbehandelten 3 Wochen alten Zugkörpern in Rüböl wurden alle geschädigt, und zwar die während der vorhergehenden Luftlagerung durch tägliches Tauchen in Wasser befeuchteten Körper wenig, die nicht getauchten also weniger dichten Körper wurden völlig zerstört¹⁾.

Bei anderen Versuchen wurden bei Portlandzementkörpern mit und ohne Puzzolanzusatz bei Lagerung in frischem und ranzigem Olivenöl keine Unterschiede festgestellt.

Betonkörper, die nach dem Brandschen Verfahren fluatiert waren, blieben nach Calamé²⁾ bei Lagerung in 100° heißer Mischung von 30% Olivenöl, 30% Phenol, 30% Petroleum, 4% konzentrierter Schwefelsäure und 6% Wasser unbeschädigt.

Versuche Grüns zeigten einen völligen Zerfall verschiedener Portlandzementkörper in Leinöl bereits nach 2 Monaten (Abb. 34 a, S. 118), das bessere Verhalten und die verschiedene Beständigkeit von Hochofenzementen mit wechselndem Klinkergehalt aus verschiedenerlei Schlacken und Klinkern zeigt die Möglichkeit, Spezial-Hochofenzement für die einzelnen Verwendungsarten herzustellen (Abb. 34 b, S. 119).

Erfahrung. Pflanzliche und tierische Öle wurden von der Eng. Fl. Konkr. Cp. in Betonbehältern aufbewahrt; dabei wurde nur von Kokosnußöl und Leinöl die Wandung (70 mm) angegriffen.

Bekannt ist an verschiedenen Stellen die Zerstörung von Maschinenfundamenten durch abtropfendes Öl; es muß sich hier um pflanzliche oder tierische Öle gehandelt haben. Auch aus dem Rundschreiben des Betonvereins vom 27. Mai 1920 geht hervor, daß teilweise schon nach einigen Monaten, manchmal erst nach Jahren, Behälter zur Aufnahme fetter Öle zerstört wurden.

Der Portlandzementbeton des Fußbodens in der Schokoladenfabrik Wichmann in Altona wurde, obgleich er durch engverlegte Klinkerplatten geschützt war, hauptsächlich um die Kakaopressen herum so weit zerstört, daß die Platten einsanken und der butterweich gewordene Beton herausquoll. Ein Angriff der Pressefundamente hatte noch nicht stattgefunden, da das Öl erst 2mm tief eingedrungen war³⁾.

Die Angriffe waren hervorgerufen durch Kakaobutter, die bei 80° ausgepreßt wurde und welche naturgemäß auch den Boden teilweise durchtränkt hatte, obgleich sie bei 22° erstarrt.

¹⁾ Schumann: Protokolle 1892, S. 75.

²⁾ Zement 1920, S. 529.

³⁾ Beobachtung des Verfassers (Handbuch S. 70).

Kakaobutter setzt sich zusammen aus Palmitin, Stearin und Öl ein, diese 3 Fette sind Salze des Glycerins mit Palmitinsäure, Stearinsäure und Ölsäure.

Wie oben geschildert, hatte der Kalk des Betons die oben genannten Fette verseift, also aufgespalten und sich dabei in Kalkseife verwandelt. Der zerstörte weiche Beton roch auch demgemäß stark nach freier Ölsäure. Die obengenannten Fette bilden den Hauptbestandteil der meisten Tier- und Pflanzenfette.

In Amerika wurden folgende Beobachtungen mit verschiedenen Ölen gemacht¹⁾.

	Keine Einwirkung.
a) Tierische Öle:	
Schaffuß	Keine Einwirkung auf guten Beton, nach 12 Monaten leichte Niederschläge auf der Oberfläche durch Verseifung.
Pferdefuß	
Rindviehhaxe	
b) Pflanzliche Fette:	
Leinsamenöl	Beträchtliche Niederschläge auf Beton, aber keine Zerstörung.
Harzöl	Keine Einwirkung auf guten Beton.
Terpentinöl	Beträchtliches Eindringen von Terpentin. Behälter müssen geschlossen sein, wahrscheinlich einige Einwirkung.
Baumöl	
Olivenöl	Zerstörung.
a) Tierische Öle:	
Schmalz	Langsame Angriffe, besonders wenn geschmolzen.
Lebertran	Wahrscheinlich wie Schmalz.
Walfischöl	Zersetzung beobachtet, Grad abhängig von der Güte des Betons.
b) Pflanzliche Fette:	
Kakaobohnenöl	Langsamer Angriff, schneller Fortschritt bei Luftzutritt.
Rübsamen	Fortschreitende Zerstörung, besonders bei Luftzutritt.
Rizinusöl	
Senfsamenöl	

Maßnahmen. Frische Fette, die keine freie Säure enthalten, werden im allgemeinen durch dichte Oberfläche vom Innern des Betons abgehalten werden können, hauptsächlich dann, wenn auch eine Fluatierung od. dgl. angewandt wird, und wenn es sich nicht gerade um Behälter, sondern um Fußböden und Wände handelt. Bei letzteren ist ein Margalithanstrich od. dgl. zu empfehlen. Längeres Erhärtenlassen an der Luft bei gutem Feuchthalten ist empfehlenswert.

Bei intensiver Einwirkung ist das Brandtsche Verfahren von Vorteil, besonders dann, wenn mechanische Beanspruchungen (Wagen, Rührwerke) zu erwarten sind.

Bei einer stärkeren mechanischen Beanspruchung ist Plattenbelag allen Anstrichen vorzuziehen. Hierbei ist ein Kitt (nicht Zement) für die Fugen zu verwenden. Letztere Maßnahme ist auch bei Einwirkung von warmen Fetten oder von ranzigen Fetten anzuwenden. (Ranzige

¹⁾ Bauing. 1925, S. 191.

Fette enthalten bereits freie Säure, die den kratzenden Geschmack veranlaßt. Sie wurden durch Bakterientätigkeit aufgespalten.)

Die amerikanischen Angaben (S. 116) decken sich nicht mit den deutschen Erfahrungen; beispielsweise ist das bei uns als unbedingt schädlich erkannte Leinöl als unschädlich aufgeführt. Im Hinblick auf diese widersprechenden Ergebnisse ist Schutz bei allen Fetten nötig.

4. Nichtfette Öle.

Außer den bisher beschriebenen fetten Ölen, welche ihrem chemischen Charakter und ihrer Einwirkungsweise nach Salze starker Säuren mit schwächeren Basen sind, gibt es noch eine ganze Reihe anderer Öle, welche in ihrem allgemeinen praktischen Verhalten große Ähnlichkeit mit den fetten Ölen haben, im übrigen aber mit diesen gar nicht verwandt sind. Diese verhalten sich infolgedessen auch gegen Beton, wo ja nur die chemischen Eigenschaften, nicht aber die physikalischen von Wichtigkeit sind, völlig anders wie die meisten fetten Öle, d. h. sie sind im größten Teil der Fälle unschädlich.

Gemeinsam ist sämtlichen Ölen und Fetten folgendes:

sie fühlen sich ölig, schmierig an,
 sie vermindern die Reibung (Schmiermittel),
 sie stoßen das Wasser ab und lösen sich schlecht in diesem,
 sie schwimmen auf dem Wasser und bilden Häutchen und Schlieren,
 sie bilden Fettflecke in Papier,
 sie brennen.

Diesen genannten gemeinsamen physikalischen Eigenschaften stehen in chemischer Beziehung grundsätzliche Unterschiede gegenüber. Nach ihren chemischen Eigenschaften teilen sich die Fette ungefähr in folgende Gruppen ein¹⁾:

Fette Öle, tierische und pflanzliche Fette (S. 113, verdaulich, im allgemeinen auch genießbar).	} Unverdaulich u. ungenießbar. (S. 113 Anm.)
Erdöle (Mineralöle) aus Naphtha.	
Teeröle (Braunkohlen-, Steinkohlenteeröl).	
Ätherische Öle (wohlriechende Blütenöle, häufig synthetisch hergestellt).	

Bezüglich der Gefährlichkeit ist folgendes zu sagen:

Fette Öle spalten Säure ab, die den Beton angreifen, sind also gefährlich,

Erdöle sind ungefährlich,

Steinkohlen- und Teeröle enthalten bisweilen Säure und sind dann gefährlich,

Ätherische Öle, die sehr kostbar sind, werden leicht selbst zerstört und kommen hier nicht in Betracht, da es sich selten um große Mengen handelt.

¹⁾ Häufig werden fälschlich Bestandteile von Mineralölen, z. B. Vaseline, als Fette bezeichnet. Zweckmäßigerweise bezeichnet man als Fette nur solche Fette, welche verseifbar sind, also Salze darstellen, das sind alle tierischen und pflanzlichen Fette.

Einzelbesprechung.

Fette Öle stellen Salze dar; sie sind unter solchen beschrieben und in den meisten Fällen gefährlich (S. 113).

Nichtfette Öle.

α) Erdöle

sind Kohlenwasserstoffe, die keine chemische Verwandtschaft zu dem Kalk des Betons haben, bisweilen enthalten sie auch aromatische Kohlenwasserstoffe, die gleichfalls ungefährlich sind; nur wenn Spuren von Säuren vorhanden sind, geben sie zu geringen Zerstörungen Anlaß. Die Säuren sind bei den in den Handel kommenden Anteilen des Naphthas stets schon entfernt. Die Trennung der einzelnen Anteile des Erdöls (Rohnaphtha), welches bekanntlich im Kaukasus, Pennsylvanien, Lüneburger Heide, Galizien, Türkei, Rumänien und Un-

garn aus der Erde quillt oder gepumpt wird, erfolgt durch fraktionierte Destillation bei verschiedener Temperatur. Es entstehen auf diese Weise:

a) Naphtha: Siedepunkt 40 bis 150°, dies zerfällt wieder in Petroläther, Gasolin (50 bis 60°), Benzin (70 bis 90°) für chemische Reinigung von Tuch usw., Ligroin (90 bis 120°) für Lösung von Ölen, Fetten, Harzen.

b) Leuchtöl: (150–300°).

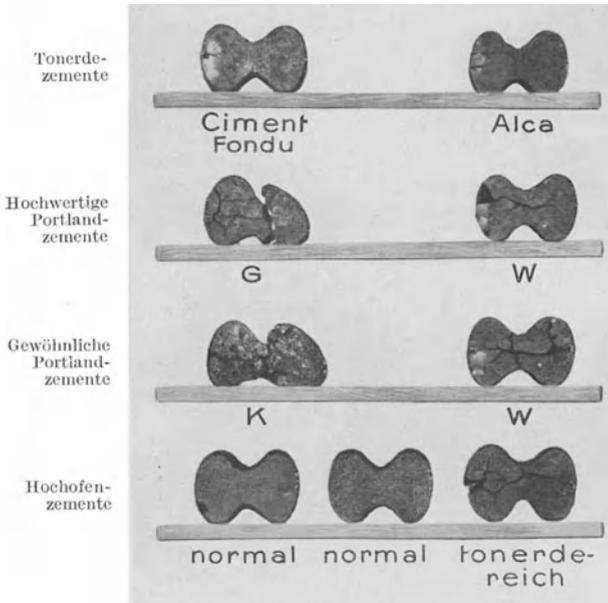


Abb. 34 a. Verhalten verschiedener Zementarten bei Lagerung in Leinöl.

- c) Schweröl: über 300° zum Teil erstarrend, Schmieröl, Vaseline.
d) Teer und Pech¹⁾.

Alle diese Öle sind unschädlich, da sie chemisch träge Kohlenwasserstoffe darstellen.

¹⁾ Schmidt: Organische Chemie. Stuttgart 1906.

β) Braunkohlenöle.

Vorkommen. Bei der Destillation von Braunkohle und Torf entstehen ähnliche Öle, gleichzeitig aber auch erhebliche Mengen Kresotöle und Teeröl, welche letztere Säuren darstellen oder enthalten, also schädlich sind. Durch Waschen mit Natronlauge werden diese Säuren entfernt, und es entstehen schließlich die säurefreien und unschädlichen Bestandteile

- a) Solaröl (Leuchtöl),
- b) Schmieröl,
- c) Paraffin,
- d) Asphaltartige Massen.

Alle sind unschädlich, falls die Reinigung gut war.

Wirkungsweise. Eine Schädigung des Betons ist bei der chemischen Trägheit der säurefreien Erdöle nicht zu gewärtigen, wohl aber kann ein Durchdringen hauptsächlich bei den dünnflüssigen (Benzin) stattfinden. Hierbei wird die Druckfestigkeit durch Verminderung der „inneren Reibung“ infolge der „Schmierwirkung“ vermindert, gleichzeitig wird die Nacherhärtung gestört durch Abhalten des hierfür benötigten Wassers. Außerdem können bei Behälterbau die leichten Öle die Wände durchdringen und weglauen.

Versuche. Calamé¹⁾, der die Einwirkung von Ölen auf Beton studierte, fand die in umstehender Tabelle 30 aufgeführten Zahlen.

Bei anderen Versuchen²⁾ wurden ähnliche Zahlen gefunden. Alle Zahlen zeigen, daß durch die Abhaltung des Wassers Rückgänge aufgetreten sind, Zerstörung wurde nicht festgestellt.

¹⁾ Zement 1920, S. 517.

²⁾ Grün: Handbuch S. 65.

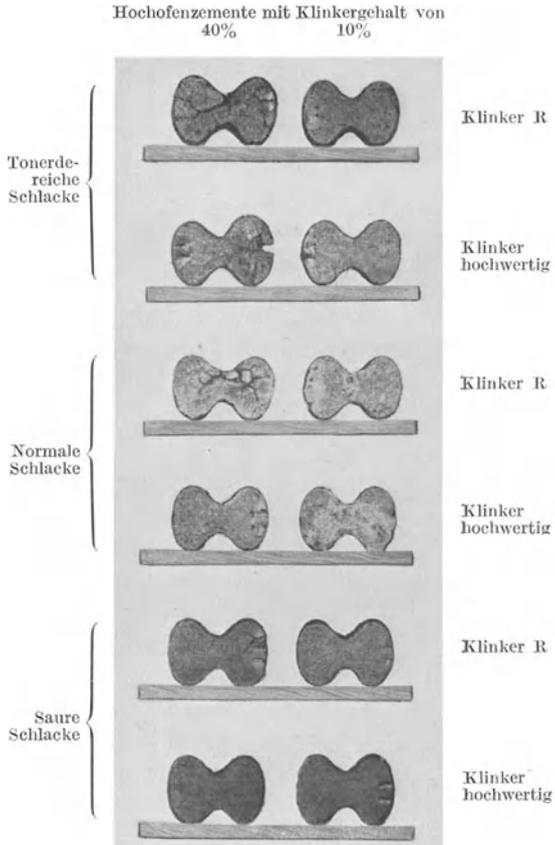


Abb. 34 b. Verhalten verschiedener Hochfenzemente bei Lagerung in Leinöl.

Bei Versuchen für das Reichsmarineamt konnte Calamé Behälter aus porösem Beton durch wiederholtes Anstreichen mit 40grädiger Natronwasserglaslösung dichten. Die Oberfläche war so dicht geworden, daß auch Steinkohlenteeröl den Beton nicht zu zerstören vermochte¹⁾.

Tabelle 30.

	Portlandzement		Hochofenzement	
	Luft	Petroleumöl	Luft	Petroleumöl
Nach 28 Tagen	37	—	25,8	23,9
„ 3 Monaten	35,5	32,2	33,6	32,8
„ 6 „	37	32,9	34,3	31,3
„ 12 „	32,5	31,3	31,3	29,4
„ 24 „	40	28	nicht ausgeführt	

Schruff-Duisburg stellte fest, daß Betonkörper 1:3 nach 8jähriger Lagerung in Petroleum keine Beschädigung zeigten.

Bei Behälterbau der „Emergency Fleet Corporation“²⁾ (aus Eisenbeton 1 : 4 : 4 und 1 : 2/3 : 4/3) wurden durch mineralische Öle weder Beschädigungen noch Festigkeitsabfälle der Versuchskörper festgestellt. Bei den schwereren und halbschweren Ölen erwiesen sich die Behälter als wirtschaftlich; bei Gasolinaufbewahrung waren die Verluste durch das Versickern größer.

Mit Margalithanstrich wurden vom Materialprüfungsamt Dahlem zur Sicherung des Betons gegen das Durchlaufen der leichten Kohlenwasserstoffe gute Erfahrungen gemacht. Margalith erwies sich aber nicht für alle als brauchbar, sondern versagt gegen sprithaltige Kohlenwasserstoffe und heiße Teeröle.

Calamé fand, daß das leicht durchdringende Tetralin allein durch das Brandtsche Verfahren (D.R.P. 313 191) zurückgehalten werden konnte.

Erfahrungen. Sowohl in der Barmbecker Gasanstalt als auch bei Wayß und Freytag wirkten Mineralöle wie auch Petrolöl auf den Beton nicht ein.

Hochbeanspruchte Maschinenfundamente des Berg- und Hüttenamtes in Amberg aus Hochofenzementbeton, die 8 Jahre lang der Wirkung von Maschinenöl, Maschinenölersatz, Petroleum und Staufferfett ausgesetzt waren, blieben ohne Beschädigung. Die gleiche Beobachtung wurde von verschiedenen Forschern an verschiedenen Stellen gemacht³⁾.

Hochofenzementbeton auf den Mannstaedtwerken, der bis zu 12 Jahren alt war, wurde durch öl- und fetthaltige Wässer in Klär- und Abscheideanlagen nicht beschädigt (Mitteilung an den Verfasser).

Auch der Stampfbetonbehälter der International Water Cy. der 9 m Höhe und 7,8 m Durchmesser hat, wurde durch Kesselheizöl nicht geschädigt.

Maßnahmen. Maßnahmen sind im allgemeinen nicht notwendig, außer bei den leichten Kohlenwasserstoffen, wenn es sich um Behälter-

¹⁾ Handbuch S. 65.

²⁾ Baumarkt 1920, S. 553.

³⁾ Handbuch S. 66.

bau handelt, oder wenn die Decke gegen das Durchdringen des herabtropfenden Öls geschützt werden soll. Fluatierung ist stets zu empfehlen oder ein Wasserglasanstrich, der leicht und billig auszuführen ist. Bei leichten oder heißen schweren Kohlenwasserstoffen muß der Beton, falls Dichtigkeit verlangt wird, durch besondere Maßnahmen gegen das Durchdringen geschützt werden, durch Margalithanstrich in leichteren Fällen, oder durch das Brandtsche Verfahren in schwereren Fällen.

γ) Steinkohlenteeröle.

Vorkommen. Diese Öle entstehen, wie der Name sagt, bei der Verkokung von Steinkohlen als Nebenprodukt, sie wurden früher wenig verwendet, sind heute aber ein außerordentlich hochwertiges Nebenprodukt, aus der alle möglichen Farben, Heilmittel u. dgl. hergestellt werden. Die niedrig siedenden, also zuerst übergehenden Fraktionen enthalten keine Säure, sind also ungefährlich, durchdringen den Beton aber leicht wie die leichten Erdöle; die höheren Fraktionen enthalten Säure und können den Beton erheblich angreifen. Im allgemeinen zerfallen die Steinkohlenteeröle in folgende Fraktionen:

1. Leichtöl, Siedepunkt 80—170°,
Benzol,
Toluol,
Xylol,
Kumole.
2. Mittelöle oder Karbolöl, 170—240°, Hauptbestandteile Karbolsäure (Phenol),
ferner Kresole: mit Ätzkalk gemischt: Karbolalk.
3. Schweröl oder Kreosotöl, 240—270° (wie Paraffin).
4. Grünöl oder Anthrazenöl, 270—400°.
5. Pech, Anthrazen,
Phenanthren,
Chrysen,
Karbazol,
Paraffine.

Gefährlich sind nur die Anteile unter 2—4, besonders von 2—3, da sie, wie schon der Name sagt, Säuren enthalten oder darstellen.

Es muß also der Beton geschützt werden.

Wirkungsweise. Die Einwirkungsweise besteht wieder im Herauslösen des Kalkes. Es bildet die schwache Säure des Öls (z. B. Phenol) mit dem Kalk des Zementes das Salz (Kalziumphenolat), der Beton zerfällt.

Versuche. Bei Versuchen von Calamé und Beck hat Steinkohlenteeröl die Festigkeiten von Portlandzement und Hochofenzement, welche ursprünglich 27 kg betrug, auf 16 bzw. 20 kg bei einjähriger Lagerung herabgedrückt. Nach zweijähriger Lagerung war der Portlandzement auf 8 kg gesunken. Hochofenzement wurde nicht untersucht.

Steinkohlen- und Braunkohlenteeröl, die dauernd auf 80° erhitzt wurden, um ein Erstarren zu verhindern, vermochten nach dem Brandtschen Verfahren geschützten Beton nicht zu schädigen, so daß 10000 cbm fassende Behälter nach diesen Ausführungen hergestellt wurden. Diese

Behälter kamen aber infolge Kriegsschlusses nicht mehr in Benutzung¹⁾.

Bei Versuchen mit Petroleumheizöl und Steinkohlenteeröl zeigte sich, daß Steinkohlenteeröl viel schädlicher als das Petrolöl war²⁾.

Auch Meyer-Reen, Duisburg, stellte bei Versuchen fest, daß Normalwürfel aus Hochofenzement 1 : 3 beschädigt wurden, sowohl durch Steinkohlenteeröl als auch durch Benzolwaschöl.

Erfahrungen. Wayss und Freytag haben in der Praxis festgestellt, daß Steinkohlenteeröl tief in den Beton eindringt und die Festigkeit herabdrückt.

Bei den Rütgerswerken in Scholitz (Bromberg) haben sich mit Portlandzement gemauerte und verputzte Ölbehälter für Masut, Teeröl, Imprägnieröl jahrelang bewährt³⁾.

Auch die Hannoversche Portlandzementfabrik hatte einen Behälter für Steinkohlenteeröl in Benutzung, der keine Zerstörungserscheinungen aufzuweisen hat.

An anderer Stelle hat ein Eisenbetonbehälter, der mit Stahlhautschutzverfahren geschützt war, roher Karbolsäure in jahrelanger Benutzung erfolgreich Widerstand geleistet⁴⁾.

Maßnahmen. Aus den Erfahrungen der Praxis geht hervor, daß manche Behälter von Steinkohlenteeröl nicht geschädigt wurden, dennoch muß nach den Erfahrungen des Laboratoriums ein Schutz des Betons ausgeführt werden. Als Schutz dienen bei den leichten Ölen, die lediglich mechanisch durchdringen, die Abhilfemaßnahmen, die unter Erdöle gegeben sind, bei den schwereren Ölen sind die Hilfsmittel zu Rate zu ziehen, die unter fette Öle (S. 113) geschildert sind, also unbedingter Schutz der Betonoberfläche mit dem Brandtschen Verfahren, Margalith- od. dgl. Anstrich oder Plattenbekleidung in ölfestem Kitt.

δ) Ätherische Öle.

Beispielsweise Rosenöl, Ionon (Veilchengeruch), die teils aus Pflanzen, teils synthetisch hergestellt werden, kommen infolge ihrer Kostbarkeit für Aufbewahrung nicht in Betracht. Sie werden durch Beton leicht geschädigt. Zerstörungserscheinungen bei Fußböden usw. werden wohl kaum auftreten, wenn dicht gearbeitet wird.

5. Kolloidale Lösungen

sind solche, in denen der kolloidal gelöste Stoff nicht in echter Lösung vorliegt (wie Kochsalz in Wasser), sondern in denen er in feinsten Verteilung wie Sonnenstäubchen in der Luft schwebt. Demgemäß sind die „kolloiden Lösungen“ also gar keine echten Lösungen, sondern Suspensionen. Sie können also auf Beton gar nicht wirken; sie vermögen im Gegenteil den Beton zu schützen, da die feinsten Teile in fester Form vorliegen und sich auf den Beton abzusetzen vermögen. Allerdings können kolloidale Lösungen neben den kolloidal gelösten Stoffen

¹⁾ Zement 1920, S. 518, 529.

³⁾ Zement 1920, S. 517.

²⁾ Guttmann: Tonind.-Zg. 1920, S. 1116.

⁴⁾ Tonind.-Zg. 1922, S. 155.

auch noch echt gelöste Stoffe enthalten (z. B. Natriumsulfat u. dgl.). Diese Salze schädigen dann in der üblichen Weise, häufig allerdings in geringerem Maße, da die kolloidale Schleimschicht schützend zu wirken vermag.

Wirkungsweise. Städtische Kanalwässer, die kolloidale Lösungen darstellen, bleiben infolge einer sich bildenden schützenden Sielhaut häufig ohne schädliche Wirkung, obwohl sie schädliche Salze enthalten, vorausgesetzt, daß die schützende Sielhaut durch mechanische Einwirkung (Sanddurchschwemmung) nicht immer wieder entfernt wird.

Bei stärkerer Einwirkung von Sulfat u. dgl. vermag aber diese Sielhaut dauernden Schutz nicht zu gewähren.

6. Salzarme Wässer.

Unter salzarmen Wässern sind im folgenden solche Wässer verstanden, welche ärmer an Salzen sind als ein gewöhnliches Fluß- oder Quellwasser. In jedem in der Natur vorkommenden Wasser, sofern es sich nicht um Regenwasser handelt, sind Salze in nicht unerheblichen Mengen gelöst. Verhältnismäßig wenig Salze sind gelöst im Regenwasser, mehr Salze in den Quell- und Flußwässern, hauptsächlich im kalkreichen Gebiet. Als gelöstes Salz kommt vor allen Dingen Kalk in Betracht, der als doppeltkohlensaurer Kalk vorhanden ist. Wasser mit hohem Salzgehalt, also Quellwasser, nennt man hartes Wasser, solches mit geringem Salzgehalt, also Flußwasser, weiches Wasser.

Vorkommen. Besonders kalkarmes Wasser kommt in der Natur nur als Regenwasser und in bestimmten Mooren vor. Die Moore sind arm an anorganischen Salzen (Kalk); infolgedessen kann sich das eindringende Regenwasser nicht mit Kalk sättigen und bleibt deshalb als salzarmes Wasser in dem Moor erhalten. Außerdem ist ein kalkarmes Wasser naturgemäß das destillierte Wasser — Kondenswasser — wie es beim Niederschlagen von Dampf in Dampfleitungen usw. entsteht.

Wirkungsweise. Der Salzgehalt der Fluß- und Quellwässer ist so hoch, daß eine Einwirkung auf Beton nicht in Betracht kommt, wenn sie nicht besonders reich an Kohlensäure sind, denn es handelt sich um verhältnismäßig gesättigte Wässer. Regenwasser und Kondenswasser dagegen als praktisch salzwasserfreie Wässer suchen sich möglichst mit Salzen anzureichern; sie können deshalb für Beton gefährlich werden, wenn größere Mengen dauernd in Betracht kommen. Kleine Mengen sättigen sich natürlich sofort mit dem Kalk des Betons ab, sie brauchen ja nur geringe Mengen; nach der Absättigung sind sie unschädlich und wirken deshalb nicht auf den Beton. Nur wo große schnellströmende Mengen vorhanden sind, kann eine Gefahr eintreten, da dann allmählich der Kalk aus dem Beton herausgelöst wird.

Versuche. Bei Zugkörpern, welche in den Abwässerkanälen des Bernauer Moors eingelagert waren, hat schnellfließendes, fast chemisch reines Wasser die Oberfläche angeätzt¹⁾. (Versuche über Mörtel im Moor. Betonausschuß, Berlin 1922.)

¹⁾ Gary: Baumarkt 1920, S. 450.

Erfahrungen. Starkfließendes ungewöhnlich salzarmes Wasser mit wenig freier Kohlensäure hatte im Verlauf von 3 Jahren den Portlandzementputz des Hochbehälters der städtischen Wasserkunst in Achern zerstört¹⁾.

Hohle ringförmige Pfeiler von 2,50 m Durchmesser aus porösem Beton wurden durch ständig hindurchrieselndes Kondenswasser von 35° C durch Auflösung des Portlandzementes völlig vernichtet²⁾.

Die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen die meisten kohlen-säurehaltigen, salzarmen Wässer ist doch so groß, daß man in Amerika dazu übergegangen ist, eiserne Rohre, die durch solche Wässer rasch angegriffen werden, nach dem Schleuderverfahren mit Beton auszukleiden³⁾.

Maßnahmen. Sehr dichte, glatte Oberfläche bei gleichzeitiger Fluatierung wird in den meisten Fällen genügen; ein Anstrich mit Bitumen, Inertol u. dgl. zum Schutz des Betons im Anfang der Erhärtung ist empfehlenswert.

7. Technisch wichtige — verschiedene Salze, Säuren und Basen enthaltende — Flüssigkeiten.

Nachdem im vorstehenden zahlreiche Basen, Säuren und Salze, in bezug auf ihre hier wichtigen Eigenschaften durchgesprochen sind, seien im nachfolgenden noch die für die Technik wichtigen Flüssigkeiten beschrieben. Natürlich sind die chemischen Bestandteile, welche diesen Flüssigkeiten ihren Charakter verleihen, schon bei den Säuren, Basen und Salzen besprochen, da ja die Einwirkungsweise usw. der einzelnen Flüssigkeiten nur durch diese chemische Verbindungen bestimmt wird. Dennoch ist eine kurze Beschreibung der einzelnen technischen Flüssigkeiten in bezug auf ihr Vorkommen und ihre Zusammensetzung am Platz. In den meisten Fällen wird diese Beschreibung mit einem Hinweis auf die wichtigsten Salze, Basen oder Säuren, welche die betreffende Flüssigkeit in bezug auf ihr Verhalten gegen Beton ausschlaggebend beeinflussen, enden können. Bei besonders wichtigen Flüssigkeiten (Meerwasser) werden aber noch Erfahrungen angeführt und Abwehrmaßnahmen gegeben.

Es werden in A-B-C-Reihenfolge besprochen:

Anorganische Flüssigkeiten.

1. Bergwerkswasser.
2. Chlorkalk.
3. Gaswasser.
4. Grundwasser.
5. Heißes Wasser.
6. Meerwasser.
7. Mineralwässer.
8. Naphthalinwasser.
9. Pökellauge.
10. Quellwasser.

Organische Flüssigkeiten.

11. Bier.
12. Grünfutter.
13. Heringslake.
14. Jauche, Urin, Fäkalien.
15. Melasse.
16. Milch.
17. Moorwasser.
18. Rübensaft.
19. Sauerkraut.
20. Schlempe.
21. Sirup.
22. Wein.

¹⁾ Schott: Protokolle 1897, S. 141. ²⁾ Luftschitz, Handbuch S. 38.

³⁾ The Stanton Iron works Nottingham. Zentralbl. Bauverw. 1925, S. 355.

Anorganische technische Flüssigkeiten.

1. Bergwerkswasser.

Bergwerkswasser hat je nach Art des Bergwerksbetriebes ganz verschiedene Zusammensetzung.

Vorkommen. In Gruben, in welchen sulfidhaltige Eisenoxyde und schwefelhaltige Kohlen gewonnen werden, enthalten die Bergwerkswässer häufig freie Schwefelsäure, welche durch Oxydation des Schwefels entsteht.

Hier sind die Maßnahmen zu treffen, welche für reine Schwefelsäure in Betracht kommen (Seite 67).

Natürlich kann diese freie Schwefelsäure bei Anwesenheit von Kalk auch in Sulfat übergehen. Es tritt dann die entsprechende für Kalziumsulfat angegebene Wirkung ein (Seite 95).

In Gipsgruben tritt natürlich Gipswasser auf; es gilt dafür das unter Gips Gesagte (Seite 89).

In Kalibergwerken treten konzentrierte Lösungen von Natriumchlorid Kalziumchlorid, Magnesiumsulfat u. dgl. auf. Es sind nach Ausführung von Analysen die Maßnahmen zu treffen, welche für die einzelnen Salze gegeben sind (Seite 98, 103, 104).

2. Chlorkalk.

Chlorkalk enthält als wirksames Prinzip unterchlorige Säure, aus welcher sich Chlor abspaltet. Da Chlor stark oxydierend wirkt, wird Chlorkalk deshalb als Oxydationsmittel benutzt. (Bleichmittel, Desinfektion.) Chlorkalk wirkt auf alle organischen Stoffe zerstörend, hauptsächlich bei längerer Einwirkungszeit. Aus dem Chlor bildet sich, ebenso wie in Chlorwasser, unter dem Einfluß der Luft Salzsäure, und die Einwirkung des Chlorwassers ist infolgedessen derjenigen schwacher Salzsäure entsprechend (Seite 77 und 65).

Betonkörper, welche einerseits in Chlorkalk, andererseits in Wasser gelagert waren, zeigten bei der Chlorkalklagerung einen erheblichen Abfall der Festigkeit, der Abfall war größer bei den Portlandzementkörpern im Verhältnis zu den Hochofenzementkörpern¹⁾.

Gaßner fand bei Vergleichsversuchen zwischen Portlandzement, Eisenportlandzement, Hochofenzement und Erzzement bei Lagerung in Chlordämpfen völliges Rissefreibleiben allein der Hochofenzement- und Erzzementkörper und geringste Festigkeitsabnahme der Hochofenzemente sowie besonders der Erzzemente²⁾.

3. Gaswasser.

Dies entsteht bei der Reinigung von Leuchtgas oder Kokereigas als Wasch- und Niederschlagswasser. Es enthält Ammoniak, manchmal auch Ammonsalze (Näheres siehe deshalb unter Ammoniakwasser, Seite 61).

Gasbehälterwasser, also das Wasser, welches zum Abdichten der Gasometer, die zur Aufbewahrung von Leuchtgas verwendet werden,

¹⁾ Baumarkt 1908, S. 643.

²⁾ O. Gassner: Chlorkalkkammern aus Beton. Zement 1924, S. 632.

dient, enthält Spuren von Leuchtgas gelöst. Es ist völlig unschädlich und bedarf deshalb keiner näheren Besprechung.

4. Grundwasser.

Grundwasser ist sehr häufig ohne nachteilige Einwirkung. In einer sehr großen Anzahl von Fällen, und zwar in viel größerer Anzahl als gemeinhin angenommen wird, enthält das Grundwasser schädliche Salze, wenn auch in geringen Mengen. Sie vermögen auf den Beton nachteilig einzuwirken, da die in Betracht kommende Zeitspanne der Einwirkung sehr groß ist und die schädlichen Salze vom Beton gleichsam aufgefangen und konzentriert werden. Die fortwährende Erneuerung des Grundwassers durch die Strömung und durch das Steigen und Fallen des Spiegels vermag deshalb die Zerstörung herbeizuführen.

2 Grundwässer, die sich in der Praxis als sehr angreifend erwiesen hatten, gibt in ihrer analytischen Zusammensetzung Nitzsche¹⁾ an:

	mg/l	vH.	mg/l	vH.
Chlornatrium (Kochsalz)	1350	= 0,135	3578	= 0,3578
Kalziumoxyd (Ätzkalk)	1100	= 0,1	1078	= 0,1078
Magnesiumoxyd (Magnesia)	264	= 0,026	114	= 0,0114
Schwefelsäureanhydrid	1942	= 0,194	1700	= 0,17

Natürlich war die Schwefelsäure gebunden vorhanden; der scheinbar geringe Gehalt an Sulfat hat die Wässer angreifend gemacht.

Ein größeres Becken aus Beton von 2 m Tiefe und 10 m Durchmesser wurde nach 2 Jahren völlig zerstört, trotz einer zum Schutze angebrachten Schutzschicht 1 : 1 Portlandzement. Das Wasser enthielt noch weniger Sulfat als die oben genannten Grundwässer, nämlich:

Kalk	306 mg/l
Schwefelsäureanhydrid	1057 „

Auch hier war die Schwefelsäure wieder gebunden.

Ein ebenso hoher SO_3 -Gehalt des Grundwassers, nämlich 1000 mg/l, hat einen Abwassersammelkanal, der nicht geschützt war, zerstört²⁾.

An einer Kaimauer im Hamburger Hafen traten schon ein halbes Jahr nach Errichtung weitgehende Zerstörungserscheinungen auf (Abb. 35 und 36). An der Stelle, an der die Mauer errichtet worden war, waren mehrere Jahrzehnte vorher aus Gips bestehende Abfälle einer Flußsäurefabrik weggeworfen worden; das Tidewasser hat sich jedesmal während der Flutzeit hinter der Mauer angesammelt, mit Gips angereichert und war dann bei Ebbe als Gipswasser durch die Mauer hindurchgesickert, auf diese Weise den Gips in den Beton verschleppend und diesen zerstörend³⁾.

Eine analytische Untersuchung des Grundwassers ist stets am Platze. Die gefundenen Salze sind bezüglich ihrer Schädlichkeit und der zu-

¹⁾ Zement 1918, S. 213.

²⁾ Bratke, H.: Wasser u. Gas 1925, B. B. Sp. 444, siehe auch H. Klatt, Sp. 689.

³⁾ Beobachtung des Verfassers. Handbuch S. 39.

lässigen Konzentration an den entsprechenden Stellen unter den reinen Salzen nachzusehen.

5. Heißes Wasser.

Heißes reines Wasser bleibt ohne Einwirkung vorausgesetzt, daß es nicht schädliche Bestandteile enthält oder besonders kalkarm ist. Im allgemeinen steigt die Schädlichkeit bei einem Gehalt schädlicher Stoffe mit der Temperatur. Auch bei Salzgehalt ist häufig eine größere Schädlichkeit des heißen Salzes als der kalten Lösung festzustellen, aber nicht in allen Fällen; beispielsweise wurde vom Verfasser gefunden, daß im Anfang der Einwirkung heißes Magnesiumsulfat in einigen Fällen weniger schädlich war als kalte Magnesiumsulfatlösung gleicher Konzentration¹⁾.

Der anzubringende Schutzanstrich entspricht stets den entsprechenden Verunreinigungen und ist dort nachzuschlagen. Im allgemeinen muß aber damit gerechnet werden, daß bitumenhaltige Anstrichmittel im Laufe der Zeit zugrunde gehen, da sie bei der hohen Temperatur brechen und dann abblättern.

Beim Behälterbau muß besonders darauf geachtet werden, daß bei den Temperaturabfällen vom Innern des Behälters nach außen keine Spannungen, die zu Rissen führen können, auftreten. Es ist also der Beton gegen Wärmeverlust zu schützen durch entsprechende Arbeitsweise, d. h. Ummantelung des Behälters mit Kieselgur, Sterchamol, Holz oder mit einer zweiten Wand.

Bekleidung mit porösen Leichtsteinen hat bei einem Zylinderbehälter für 90° heißes Wasser den Wärmeabfall gegenüber der Ausführung nur in Eisenbeton ohne Bekleidung nur mit 2 cm Putz um 55% verringert. Die Wärmezugspannungen sanken um rund 30%²⁾.

6. Meerwasser.

Der Ausdruck Seewasser ist zweckmäßig zu vermeiden, da er auch dem Wasser von Süßwasserseen zukommt, also das salzhaltige Meer-



Abb. 35. Hafenmauer bei Ebbe, beschädigt durch Gipswasser, das sich aus Gipsverunreinigungen aus den zum Auffüllen verwendeten Erdmassen gebildet hat.

¹⁾ Vgl. auch Kühl, Prof. H. Zement 1923. S. 202.

²⁾ Falschlunger, Dipl.-Ing.: Beton Eisen 1924, S. 308.

wasser nicht eindeutig bestimmt. Je nach dem Meeresteil, dem das Wasser entstammt, hat es verschiedenen Salzgehalt. Es sind enthalten:

1. Ostsee	etwa 0,4%	Gesamtsalz
2. Schwarzes Meer	„ 1,8%	„
3. Skagerrak	„ 2,4%	„
4. Nordsee und die Ozeane	„ 3,5%	„
5. Totes Meer	25%	„

Noch höhere Salzgehalte können in den Bitterseen, das sind eintrocknende abgeschnittene Meeresarme, enthalten sein.



Abb. 36 wie Abb. 35. Stark zerstörte, die ganze Mauertiefe durchsetzende Stelle.

Das Verhältnis der in den verschiedenen normalen Meerwässern enthaltenen Salze unter sich ist stets etwa gleich¹⁾ und beträgt:

Natriumchlorid (Kochsalz)	67,5%
Magnesiumsulfat (Bittersalz)	13,5%
Magnesiumchlorid	15,5%
Kalziumsulfat (Gips)	3,5%
	<hr/>
	100,0%

Die Angriffsfähigkeit des Meerwassers beruht vor allem auf seinem Gehalt an Magnesiumsulfat, daneben ist natürlich auch der Gips und das Magnesiumchlorid nachteilig. Bei Zerstörungen wurde aber stets Anreicherung des Betons an Sulfat, also Einwirkung von Magnesium- und Kalziumsulfat festgestellt. Demgemäß ist die Einwirkungsweise des Meerwassers diejenige der Sulfate, also Bildung des Kalziumaluminiumsulfats, infolgedessen Treiberscheinungen mit nachfolgendem Zerfall (siehe Magnesiumsulfat S. 98).

Kalkarme Betone und solche, deren Gehalt an freiem Kalk durch langes Stehen an der Luft in kohlensauren Kalk übergeführt, also

¹⁾ Außer im Toten Meer, das meist $MgCl_2$, $CaCl_2$, und $NaCl$ enthält.

unschädlich geworden ist, sind verhältnismäßig beständig, da die Ober-
schicht keinen freien Kalk mehr enthält. Bei Absprengungen dieser
Schutzschicht, welche sich durch Aufwachsen von Algen u. dgl. noch
besonders wirksam gestalten kann, durch Frost oder Stoß sind aber
durch Eindringen des Meerwassers in das Innere des Betons Zerstö-
rungen zu gewärtigen.

In den tieferen Zonen enthält Meerwasser infolge des hohen Druckes
viel gelöste Kohlensäure. Diese vermag, falls solches Meerwasser durch
den Beton hindurchgepreßt wird (Trockendock) die zerstörende Wirkung
noch zu erhöhen.

Versuche wurden in großem Umfange unter der Leitung Garys
vom Materialprüfungsamt Dahlecm 1913—1918 auf Sylt durchgeführt,
indem etwa 1 cbm große Blöcke an Land hergestellt und nach ver-
schieden langer Lagerung in Buhnen im Wasser eingebaut wurden. Die
Versuche sollten die Ansicht Michaelis nachprüfen, der den freien
Kalk des Portlandzementes als Ausgangspunkt der Zerstörung be-
zeichnet und demgemäß eine Bindung dieses schädlichen Kalkes durch
Puzzolanzusatz oder Luftlagerung gefordert hatte. Demgemäß wurden
Portlandzemente mit verschieden hohem Gehalt an Kalk und Tonerde
verwendet und diese mit und ohne Traßzusatz verarbeitet.

Es wurde weitgehende Zerstörung zahlreicher Blöcke festgestellt,
und zwar bei einem Zement stärker als beim anderen und bei fehlen-
dem Traßzusatz stärkere als bei verschiedenen Zementtraßmischungen.
In den zerstörten Blöcken wurde eine weitgehende Herauslösung des
Kalkes (über die Hälfte) und Ersatz desselben durch Magnesiumsulfat
und Natriumchlorid festgestellt, während die verhältnismäßig gut er-
haltenen Blöcke geringere chemische Umwandlungen zeigten.

Gary¹⁾ kommt zu folgendem Schluß:

„Um widerstandsfähige Bauten in Seewasser zu erlangen, ist es
notwendig, Zement zu verwenden, der möglichst reich an Kieselsäure,
dagegen arm an Tonerde und Eisenoxyd ist. Solchen Zementen kann
man, wenn sie nebenbei kalkreich sind, durch Traßzusätze unter ge-
wissen Bedingungen für Seebauten größeren Wert verleihen. Entschei-
dend für die Haltbarkeit der Betonbauten im Meere ist aber die Ver-
wendung möglichst dichter, für das Seewasser undurchdringbarer
Mischungen, wie tunlichst ausreichende äußere Erhärtung der in See
zu bringenden Körper in Wärme und an der feuchten Luft, bevor sie
den Wirkungen des Seewassers ausgesetzt werden. Beton, dessen Mörtel
mehr als $\frac{2}{3}$ vH Teile Sand enthält, wird im allgemeinen nicht die er-
forderliche Dichte aufweisen, um den Angriffen des Meeres lange Zeit
Widerstand zu leisten“²⁾.

Die Ingenieure Atwood und Johnson haben eine referierende
Arbeit „Die Zerstörung des Zementes in Meerwasser“ veröffentlicht,

¹⁾ Die Folgerungen Garys in bezug auf Tonerde- und Eisengehalt bedürfen
einer gewissen Einschränkung, denn sie gelten nur für Portlandzement. Bei
Erzzement ist der Eisenoxydgehalt, bei Tonerdezement ist der Tonerdegehalt
sogar nützlich.

²⁾ Mitt. Materialpr.-Amt 1919, H. 3 u. 4, S. 170.

welche über das Verhalten von Beton im Meerwasser berichtet und in der alle Versuche, welche in dieser Richtung in allen Ländern der Erde gemacht wurden (u. a. Michaelis-Berlin, Gary-Materialprüfungsamt Lichterfelde, Feret-Laboratorium des Ponts et Chaussées-Boulogne, Eugen Meyer-La Rochelle, E. de Castor, Ing. der Straßen, Kanäle und Häfen Spaniens, Harrison Taft, Dr. Jeanneret) zusammengetragen sind¹⁾.

Atwood und Johnson kommen zu folgenden Schlüssen:

1. Praktisch haben alle geschickten Experimentatoren, die mit hydraulischen Bindemitteln umgingen, in den letzten 100 Jahren darin übereinstimmend, daß die Hauptursache für die Zersetzung von Mörtel und Beton in sulfathaltigen Wässern wie Meerwasser und vielen ähnlichen Wässern der Angriff auf den freien Kalk im Mörtel durch die Sulfate des Wassers ist.

2. Die Mehrzahl der Autoritäten stimmt darin überein, daß diese Zersetzung durch den Zusatz von einem sorgfältig zusammengesetzten kieselhaltigen Material (gemeint sind Puzzolane) zu Normalportlandzement verhindert werden kann, wobei dieses Material durch Verbindung mit dem beim Vorgange des Abbindens überschüssig gewordenen freien Kalke einen zementierenden Stoff zu bilden pflügt, der in sulfathaltigem Wasser unlöslich ist.

3. Die Zemente mit hohem Tonerdegehalte erreichen dieselben Ergebnisse. Da der Preis dieser Tonerdezemente größer zu sein scheint als derjenige der Portlandzemente, so dürfte der Zusatz von Puzzolan zu Portlandzement auf ein billigeres Erzeugnis hinauslaufen. In Anbetracht der größeren Festigkeit der Aluminatzemente ist es möglich, daß die Kosten der Festigkeit gerechnet für das Kilogramm auf das Quadratmeter nicht sehr verschieden sind.

4. Der Gebrauch einer einzigen Normalfestsetzung für das Bindemittel bei allen Bauten, gleichgültig welchen Zwecken sie dienen sollen, scheint weder erwünscht noch zweckmäßig zu sein²⁾.

In der Praxis haben sich zahlreiche Bauten aus Portlandzement auch ohne Puzzolanzusatz besonders in unseren Klimaten, z. B. Nord- und Ostsee, Boulogne, Marseille, Toulon, Amerika, Japan³⁾ bewährt. Dennoch ist bei der Länge der in Betracht kommenden Zeiträume Vorsicht geboten. In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde für einen Bericht des „Komitees für Seevermessungsunternehmen“ eine Prüfung aller Portlandzement-Betonbauwerke in Meerwasser, soweit Bauaufzeichnungen gefunden wurden, durchgeführt (Atwood).

Der Bericht umfaßt auch die vorhergehenden 3 Berichte sowie die dem Internationalen Schiffahrtskongreß 1908, 1912 und 1923 unterbreiteten Berichte. Das Ergebnis ist wie folgt zusammengefaßt: „Es wurden 30 (P.Z.Beton-) Bauwerke festgestellt, von welchen das älteste 1855, 24 seit 1880 erbaut waren. Von diesen 30 Bauwerken zeigten 17 Zerstörungen. Von den 13 unbeschädigten Bauwerken hatte eins eine

¹⁾ Proc. Am. Soc. Civ. Engs. (New York, U. S. A.) 1923.

²⁾ Aus „Zerstörung des Zementes in Seewasser“, Fußnote 1.

³⁾ Gary: Baumarkt 1920, S. 450.

schwere Granitverkleidung, 4 enthielten Beimischungen von Traß oder Puzzolanen. 8 gesunde Bauwerke unter 30 ist kein gutes Ergebnis für ein „beständiges Material“.

In den „Dienstberichten“ über die Küstenhäfen der U. S. A. ist eine Liste derjenigen Bauwerke, über die bestimmte Angaben bzw. Konstruktion und Zustand erhältlich waren, aufgestellt, die hier wiedergegeben sei (Tab. 31).

Tab. 31. Portlandzementbetonbauten in Meerwasser.

Erbaut	Vorhanden	Davon gut	In Verfall geraten
1856	1	1	0 Bauwerke
1880—1889	2	1	1 „
1890—1899	2	—	2 „
1900—1909	10	3	7 „
1910—1914	14	6	8 „
1915—1919	12	9	3 „

Es zeigen also von den über zehn

Jahren stehenden Bauwerken 62% Zerstörungen¹⁾.

An gleicher Stelle finden sich noch zahlreiche Schilderungen von Zerstörungen von Portlandzementbeton durch Meerwasser.

Die Hafenanlage der U. S.-Flotte in Hingham war, trotzdem diese noch nicht 10 Jahre alt war, durch Meerwasser auf 60 cm Tiefe so weitgehend zerstört worden, daß eine gründliche Reparatur notwendig wurde. Nach gründlicher Untersuchung von R. J. Wig und L. R. Ferguson wurde die Wiederherstellung nach Entfernung der mürben Teile, Reinigung der Oberfläche durch Sandstrahl und Wasser, Versenkung eines Bewehrungsnetzes, durch Aufspritzen von Beton mit der Zementkanone mit günstigem Resultat durchgeführt (Abb. 39, S. 156).

An den Portlandzement-Betonwänden des 10 m tiefen Trockendockes auf Helgoland zeigten sich wenige Monate nach der Herstellung, besonders an den Arbeitsfugen, weißliche Krusten in mehrere cm dicken Wulsten, die hauptsächlich aus Kalziumkarbonat bestanden, das durch den hohen Kohlensäuregehalt des Meerwassers aus dem Kalk des Betons gebildet war. An den aus Hochofenzement hergestellten Wandteilen waren diese Bildungen nur in Spuren vorhanden (Beobachtung des Verfassers 1918).

Bei den umfangreichen seit 1902 (20 Jahre lang) auf Veranlassung von Michaelis ausgeführten Versuchen mit Erzzement an der deutschen Nordseeküste haben die im Meerwasser gelagerten Erzzementproben keine geringeren, zum Teil sogar höhere Festigkeiten gezeigt als die in Süßwasser gelagerten²⁾.

Als *Maßnahmen* gegen die zweifellos bestehende Gefahr der Zerstörung des Betons in Meerwasser ergibt sich als Schlußfolgerung aus den angeführten Arbeiten. Es muß angestrebt werden:

1. Die Verwendung eines kieselsäurereichen Zementes, also Hochofenzement, Eisenportlandzement oder sehr kieselsäurereicher Portlandzement, oder aber Tonerdezement oder Erzzement. Bei Portlandzementverwendung Puzzolanzusatz (S. 92).

¹⁾ Atwood: Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1924.

²⁾ Mitt. Materialpr.-Amt 1924, 5. u. 6. Heft.

2. Traßzusatz kann bei Erzzement, Hochofenzement oder Eisenportlandzement zur Erhöhung der Dichte und Elastizität verwendet werden (etwa 15—25 Gewichtsteile des Zementgewichtes), ist aber nicht notwendig, bei Portlandzementbeton ist ein Puzzolanzusatz dringend anzuraten.

3. Dichte undurchdringliche Mischung bei genügend hohem Zementzusatz (S. 8).

4. Bei Eisenbeton Anmachen desselben mit Süßwasser und Überdecken der Eiseneinlagen 50 mm mit dichtestem Beton. Zum Anmachen unbewehrten Betons kann gewöhnliches Meerwasser verwendet werden¹⁾.

5. Platische Beschaffenheit beim Einbringen [kein Trockenstampfen²⁾], um dichteste Lagerung zu erzielen.

6. Vermeidung von Arbeitspausen, um die als Angriffsflächen sehr schädlichen Arbeitsfugen zu vermeiden³⁾.

7. Genügend lange Erhärtung an der Luft vor Meerwasserzutritt⁴⁾. Falls diese Arbeitsweise nicht möglich, Behandlung mit Fluat und Schutzanstrich, der sich in allen Fällen empfiehlt.

8. Schutz vor mechanischen Beschädigungen. Vermeidung von Stellen, an denen sich gefrierendes Wasser ansammeln kann und Balkenschutz gegen Rammstöße.

7. Mineralwässer (siehe auch S. 64).

Die Mineralwässer können entweder als Quellen aus der Erde kommen, oder aber sie werden durch Auflösung der Salze, allenfalls mit Zufüllung von Kohlensäure künstlich erzeugt. Die Einwirkungsweise beider Arten Mineralwässer ist die gleiche, sie können deshalb zusammen besprochen werden.

Die Verwendung der Mineralwässer zu Brunnenkuren und für Badezwecke ist bekannt. Bisweilen findet auch ein Abdampfen der Mineralwässer statt, um die Quellsalze zu gewinnen.

Die Mineralwässer sind sehr stark verdünnte Lösungen verschiedener Salze und enthalten sehr häufig Kohlensäure. Man kann sie gemäß dieser Zusammensetzung folgendermaßen einteilen:

	Hauptbestandteil	Schädliche Bestandteile
A. Alkalische Mineralwässer.	Kohlensaures Natron und kohlensaurer Kalk sowie kohlensaure Magnesia.	Kohlensäure.
a) Einfache Säuerlinge:	Mit wenig festen Bestandteilen nicht unter 400 ccm Kohlensäure im Liter. Apollinaris, Laacher-See, Karlsbad.	Kohlensäure
b) Alkalische Säuerlinge.	So genannt wegen ihres hohen Sodagehaltes (Natriumkarbonat) bei geringem Gehalt an anderen löslichen Salzen, z. B. Vichingen, Neuenahr, Fachingen.	Kohlensäure.

¹⁾ Passow: Hochofenzement und Portlandzement, S. 21. 1915.

²⁾ Wig u. Ferguson: Eng. 1917.

³⁾ Erfahrung des Verfassers.

⁴⁾ Gary: a. a. O.

	Hauptbestandteil	Schädliche Bestandteile
c) Alkalisch-mineralische Sauerlinge:	Enthalten außer Soda (Natriumkarbonat) auch Kochsalz, z. B. Ems, Selters.	Kohlensäure
B. Bittersalzwässer:	Enthalten neben Soda (Natriumkarbonat) auch Sulfat, z. B. Bertrich, Karlsbad, Neuenahr, Tarasp.	Sulfat.
C. Eisenwässer:	Enthalten meist doppeltkohlensaures Eisenoxydul.	
a) Reine Eisenquellen:	Enthalten wenig freie Bestandteile, dagegen viel Kohlensäure.	Kohlensäure.
b) Alkalisch und alkalisch-salinische Eisensäuerlinge:	Enthalten außer Eisen auch Kohlensäure mit schwefelsaurem Natrium und Kohlensäure, z. B. Franzensbad, Elster.	Kohlensäure u. Sulfat.
c) Erdisch-salinische Sauerlinge:	Enthalten kohlensaures Eisenoxydul und schwefelsaures Natron sowie Gips, z. B. Pyrmont, Petersthal.	Kalziumsulfat
d) Erdische Sauerlinge:	Enthalten Eisenoxydul, z. B. Alexisbad.	Sulfat.
D. Kochsalzwässer:	Besonders Kochsalz- und andere Chloride enthaltend bei wenig schwefelsauren Alkalien.	Keine.
a) Einfache Kochsalzwässer:	Mit geringem Kochsalzgehalt, z. B. Homburg, Bertrich usw.	Keine.
b) Solen mit höherem Kochsalzgehalt:	Nauheim, Soden, Reichenhall.	Keine.
c) Jod- und bromhaltige Salze:	Dürkheim, Kreuznach.	Keine.
E. Bitterwässer:	Enthalten vorwiegend Magnesiumsulfat und Natriumsulfat, Bittersalz, z. B. Hunsjady, Pillnau.	Sulfat.
F. Schwefelwässer:	Enthalten schweflige Metalle, z. B. Aix, Aachen.	Sulfid.
G. Erdische Wässer oder kalkhaltige Wässer:	Enthalten vorwiegend Kalziumsulfat, Kalziumkarbonat.	Sulfat.
a) Einfache erdische:	Enthalten keinen Schwefelwasserstoff, Luyck.	Sulfat.
b) Erdische mit Schwefelwasserstoff:	z. B. Teplitz.	Sulfat.
H. Indifferente Mineralwässer:	Wildbäder, wenig freie Bestandteile, wenig Kohlensäure, aber heiß, enthalten Radiumemanation.	Keine.

Demnach sind vor allen Dingen gefährlich die Sulfat enthaltenden Wässer unter B, E, F und G. Dagegen können die Wässer unter A und C nur bei Auftreten sehr großer Mengen und Schnellfließen von Einfluß sein. Die weder Sulfat noch Kohlensäure enthaltenden Wässer D und H sind vollkommen unschädlich.

8. Naphthalinwasser

in Nebengewinnungsanlagen von Kokereien und chemischen Fabriken.

Naphthalin selbst ist unschädlich; Ammonsalze, die aber gleichfalls gegenwärtig sein können, sind gefährlich.

In der Nebengewinnungsanlage des Steinkohlenbergwerks Friedrich Heinrich in Lintford wurde der Beton mit Erfolg gegen das 30—35° warme Naphthalinwasser durch Inertol geschützt¹⁾.

9. Pökellauge.

Pökellauge besteht in der Hauptsache aus konzentrierter Kochsalzlösung, bisweilen mit Zusatz von Salpeter (Natriumnitrat) und manchmal mit geringem Zuckerzusatz.

Die Schädlichkeit hängt von der Zusammensetzung ab. Im allgemeinen sind Pökellaugen harmlos, wenn nicht zuviel Zucker in ihnen vorhanden ist, da Kochsalz und Salpeter unschädlich sind.

Nach Petry sind Betonbottiche für Pökelfleisch lange Jahre unverändert geblieben²⁾.

Die Böden und Pfeiler einer Darmfabrik in Hamburg, in welcher in Wasser eingesalzene Därme von Übersee gewaschen, sortiert und wieder eingesalzen wurden, waren nach 8 Jahren dadurch geschädigt, daß die Eiseneinlagen gerostet waren, wodurch der Beton an manchen Stellen abgesprengt war. Eine Zermürbung des Betons war nur an der Oberfläche festzustellen, obgleich das deutsche Kochsalz 0,822 vH Bittersalz, das überseeische 2,892 vH Bittersalz (Magnesiumsulfat) enthielt³⁾.

Die Zerstörungen waren durch das Vordringen der Salzbrühe durch den porösen Beton bis zu den Eisen eingetreten. An anderen Stellen, die mit Biberzusatz gearbeitet waren, hat sich der Beton bewährt.

10. Quellwasser.

Quellwasser ist im allgemeinen unschädlich, wenn es sich um Quellen, die keine besonderen Salze enthalten, handelt.

Kohlensäurehaltige Quellen, Bittersalzquellen usw. können natürlich schädlich werden; eine Analyse ist notwendig.

Einwirkungsweise und Abhilfemaßnahmen sind unter den gefundenen Salzen nachzusehen.

Organische technische Flüssigkeiten.

11. Bier.

Der geringe Zuckergehalt des Bieres vermag den Beton nicht zu schädigen. Allerdings kommen ungeschützte Betonbehälter für die Bieraufbewahrung nicht in Betracht, da eine Schädigung des Bieres eintreten kann. Bei sauer werdendem Bier (Tropfbier, Waschräume für Fässer) entsteht Milchsäure, die natürlich Ablätterungen usw. hervorzurufen vermag (vgl. Milchsäure).

¹⁾ Mittlg. von Ernst Wreden, G. m. b. H., Moers, Rhld.

²⁾ Bauing. 1920, S. 14.

³⁾ Grün: Zement 1921, Nr. 17.

12. *Grünfutter.*

Grünfutter wird hergestellt durch Einbringen des frisch geschnittenen Grases in Betontürme unter Luftabschluß. Die Grünfutterbereitung ist von großem Vorteil, da sie die Grasernte von der Witterung unabhängig macht, zumal das Futter von den Tieren gern genommen wird, und nicht verderben kann. Die eintretende Gärung ist nach einigen Monaten beendet; bei der Gärung treten Temperaturerhöhungen von 40—50° auf. Es entstehen verschiedene organische Säuren, die aber so schwach sind, daß sie einen gut hergestellten Beton kaum anzugreifen vermögen (schwache organische Säuren, auch Kohlensäure).

Tritt bei fehlerhafter Arbeitsweise die Gärung bei nur 20—30° ein, so entsteht Essigsäure und Milchsäure, das Saftfutter wird dadurch ranzig und unbrauchbar; gleichzeitig wird Verderben des Betons stattfinden. Die Futtertürme müssen absolut rißfrei sein, um der Luft den Zutritt zu verwehren¹⁾.

13. *Heringslake.*

Heringslake enthält außer dem Kochsalz und dessen Verunreinigungen einige organische Substanzen, die aber ohne Einwirkung bleiben. Gemäß dieser Voraussetzungen wurden auch tatsächlich bei 1 Jahr dauernden Versuchen durch Heringslake keine wesentlichen Einwirkungen auf die Festigkeit eines porösen Betons aus Portlandzement und Hochofenzement festgestellt²⁾.

14. *Urin, Jauche, Fäkalien.*

Die Bestandteile dieser Abgänge sind verschieden, je nach ihrem Alter.

Es handelt sich hier um komplizierte chemische Verbindungen, deren Vielseitigkeit kaum zu übersehen ist. Bei älterer Jauche treten Ammoniumsalze auf, die aber im allgemeinen nicht gefährlich sind, da das Ammoniak an sehr schwache Säuren (Kohlensäure, Hippursäure, Huminsäure, Ameisensäure) gebunden ist. Bei stehender Jauche wird der Beton durch eine Schleimschicht von selbst geschützt.

Häufig wird der Jauche Kieserit (Magnesiumsulfat) zugesetzt, um das Ammoniak am Entweichen zu verhindern. In diesem Falle verbindet sich das Ammoniak mit der Schwefelsäure des Kieserits zu Ammoniumsulfat und es treten dann außerordentlich schädliche Wirkungen auf.

Alle 4 Wochen erneuerte Pferdejauche vermochte auch im Verlauf von 3 Jahren 3 Portlandzemente, die im Verhältnis 1 : 3 : 5 mit Sand und Steinschlag verarbeitet waren, nicht zu schädigen³⁾. Auch Schweinejauche setzte während eines Jahres die Festigkeit von Zugkörpern 1 : 5 nicht herab⁴⁾.

Versuche der Kaliforschungsanstalt mit Standgefäßen aus Zementröhren zeigten bei 10% Magnesiumsulfatzusatz zur Jauche Zerstörung des Gefäßes. Bei denjenigen Gefäßen, deren Innern mit heißem Teergoudron gestrichen war, zeigte sich ein geringer Jaucheverlust und kaum

¹⁾ Martin: Zement 1922, S. 134.

²⁾ Handbuch S. 49.

³⁾ Grün: Handbuch S. 50.

⁴⁾ Versuche des Verfassers.

Veränderung. Heimalol-Behandlung des Gefäßes hatte diese vollkommen geschützt, Beschädigungen waren nicht aufgetreten.

Dichtes Arbeiten genügt bei gewöhnlicher Jauche; von Vorteil ist ein Schutzanstrich. Bei Zusatz von Kieserit zur Konservierung der Jauche ist unbedingt sorgsamer Schutz des Betons besonders durch Heimalol und Goudronanstrich oder dgl., der von Zeit zu Zeit zu erneuern ist, anzuwenden.

15. Melasse.

Vergleiche Zucker (S. 82).

16. Milch.

Stüße Milch beeinflusst den Beton nicht. Die geringen Mengen von Milchsäure in derselben bleiben ohne Einfluß; bei saurer Milch entsteht Milchsäure, die den Beton zu zerstören vermag (siehe Milchsäure S. 80).

17. Moorwässer.

Moorwässer sind meist sehr salzarme Wässer, welche aber Säure gelöst enthalten können. Diese Säure vermag sich infolge der Salzarmut nicht abzusättigen und tritt deshalb als freie Säure auf. Bisweilen verbindet sie sich auch mit den einzigen im Moor vorhandenen Base, mit dem Eisen. Aber auch dann bleibt Schwefelsäure gefährlich, da Eisen bekanntlich eine schwache Base ist. Als Säure kommen in Betracht die Kohlensäure, die Schwefelsäure und die Humussäure; besonders die Schwefelsäure ist gefährlich.

Die Einwirkungsweise kann unter den einzelnen Säuren nachgesehen werden. Humussäure ist nach Ansicht des Verfassers unschädlich, deshalb nicht besprochen.

Thörner¹⁾ hat bei 5 proz. Eisensulfatlösung, die abwechselnd mit Luft auf Beton einwirken gelassen wurde, schon nach 35 tägiger Versuchsdauer Zerstörungserscheinungen an dem Beton festgestellt¹⁾.

An Betonkörpern aus verschiedenen Portlandzementen und Hochofenzementen, die in einem moorigen Grundwasser des Kettenhofgeländes in Frankfurt a. Main gelagert wurden, rief dieses bei allen Portlandzementen und einigen Hochofenzementen Zerstörung hervor. Die stärkste Kalziumaluminiumsulfatbildung wurde festgestellt bei den Portlandzementen und bei denjenigen Hochofenzementen, die 5% und 30% Klinkergehalt hatten im Gegensatz zu den Hochofenzementen mit mittlerem Klinkergehalt, die sich weit günstiger verhielten²⁾.

Das Wasser reagierte sauer und enthielt 1924 mg/l SO₃ bei 50 mg/l FeO. —

In Osnabrück wurde bereits nach 1/2 Jahr unter starker Gipsbildung ein Betonkanal zerstört, soweit er in dem schwefelkieshaltigen Moorboden lag. Auch dieses Wasser reagierte sauer und enthielt 275 und 2000 mg/l SO₃ (Schwefeltrioxyd) bei 17,8 bzw. 58,96 mg/l Eisenoxyd. Auch in Frankfurt a. Main wurden durch moorigen Grundboden Kanalisationsanlagen zugrunde gerichtet.

¹⁾ Chem.-Zg. 1919, S. 1243.

²⁾ Nitzsche: Zement 1920, S. 50.

In Bremen hat Moorwasser Betonröhren nahezu völlig aufgelöst¹⁾. Abhilfe bringt hauptsächlich bei schwefelsaurem Wasser des Moores nur absoluter Schutz des Betons gegen dieses.

Betonröhren werden in einem solchen Wasser zweckmäßigerweise überhaupt nicht in ungeschütztem Zustande verlegt.

Auch bei anderen Betonbauwerken ist ein Schutz unbedingt notwendig; die kalkarmen Zemente bieten bei dieser Reaktion des Wassers keine größeren Vorteile als die kalkreichen, da es sich nicht um eine Treiberscheinung, sondern um eine einfache Lösungserscheinung handelt.

18. *Rübensaft*

zerstört infolge seines Zuckergehaltes durch Sacharatbildung.

Auf dem Rittergut Unwürde waren besonders in denjenigen Kammern, welche mit Rübenkuppen gefüllt waren, Betonzerstörungen aufgetreten, die durch Anstrich (Inertol) endgültig hintangehalten wurden²⁾.

19. *Sauerkraut*.

Bei der Herstellung von Sauerkraut entstehen Milchsäure sowie verschiedene andere organische Säuren. Bei Verwendung von Betonbehältern ohne Plattenverkleidung oder Glasschutz ist Vertäfelung mit Pitchpineholz o. dgl. zu empfehlen, um die Verfärbung des Sauerkrautes hintanzuhalten. Sehr große Behälter bewähren sich gut, im Gegensatz zu kleinen Behältern, da bei diesen die im Verlauf der Gärung entstehende Milchsäure durch die allzugroßen Kalkmengen des Betons neutralisiert und das Sauerwerden verhindert wird (siehe Milchsäure S. 80).

20. *Schlempe* (Kartoffelschlempe)

zerfrißt Beton in kurzer Zeit, zumal sie täglich warm in die Behälter gefüllt wird.

Auf dem Gut von Bernuth (Kessberg) wurden durch Anstrich (Inertol) die dauernden Schäden, die ohne Anstrich stets aufgetreten waren, vermieden.

21. *Sirup*.

Der schädigende Bestandteil von Sirup ist der Zucker (vgl. Zucker S. 82).

22. *Wein*.

Wein, hauptsächlich saurer Wein (Moselwein) enthält saures, weinsaurcs Kalium (Weinsteinbildung). Dieses wirkt wie Weinsäure, wenn auch in geringerem Maße (vgl. Weinsäure S. 84).

C. Schutzmittel.

Die zum Schutz des Betons gebräuchlichen Mittel suchen ihren Zweck dadurch zu erreichen, daß sie den Beton vor dem Zutritt der schädlichen Flüssigkeiten schützen.

¹⁾ Erfahrungen des Verfassers.

²⁾ Mittlg. Dr. Gersberg.

Mörtelzusätze, Beimengungen.

Dieser Schutz wird zu erreichen versucht entweder durch Beimengungen wasserabstoßender gemahlener Substanzen. Diese vermögen natürlich den Beton nur zu schützen, falls wäßrige Lösungen in Betracht kommen. Gegen ölige Flüssigkeiten versagen sie. Sie haben aber gegenüber Anstrichen den Vorteil, daß sie nicht bloß eine Schutzschicht auf der Oberfläche des Betons bilden, sondern daß sie den Beton auch im innersten Kern wasserabweisend machen, so daß Beschädigungen der Oberfläche ohne Bedeutung für den Flüssigkeitsschutz sind.

Schutzschichtbildung.

Die andere Art des Betonschutzes besteht in der Herstellung eines flüssigkeitsdichtenden Überzuges. Dieser Überzug kann in ganz verschiedener Weise hergestellt werden, und zwar:

1. Es kann entweder die Oberfläche des Betons gedichtet werden durch dem Beton verwandtes Salz: Fluat, Silikat. Es handelt sich in diesem Falle einfach um eine Verstopfung der Poren der Oberfläche, die dadurch hervorgerufen wird, daß beispielsweise Natriumsilikat auf den Beton aufgestrichen wird. Es erfolgt bei diesem Aufstrich ein Zerfallen des Natriumsilikats unter Abscheidung von Kieselsäure. Diese gallertartige Kieselsäure verstopft die Poren des Betons und führt so eine Dichtung herbei. Der Vorgang ist zu vergleichen mit dem Wasserdichtmachen eines an sich nicht wasserdichten Kleidungsstoffes.

2. Ein innerlich mit dem Beton nicht verwandter Schutzanstrich, sozusagen eine Schutzhaut, bilden die bituminösen Anstriche, z. B. Margalit, Inertol, Goudron. Diese Anstriche werden einfach auf den Beton aufgebracht und müssen natürlich (darauf beruht ihre Güte) an dem Beton festhaften, indem sie mit ihm verkleben, und außerdem so elastisch sein, daß sie bei geringen Schwindungen oder sonstigen Bewegungen des Betons nicht reißen oder abblättern.

Die letztgenannten Schutzmittel sind gegen mechanische Beschädigungen naturgemäß besonders empfindlich und müssen vor diesen geschützt werden. Sie werden im Laufe der Jahre oft spröde und müssen deshalb von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Gleichfalls eine Schutzschichtbildung auf dem Beton ist der Schutz durch Dachpappe in bis 5facher Lage, durch die beispielsweise die Betontunnel verschiedener Untergrundbahnen gegen die Einwirkung des Grundwassers geschützt und gleichzeitig wasserdicht gemacht wurden.

Auch der Plattenbelag und die Klinkerverkleidung muß als eine derart aufliegende Schutzschicht gewertet werden, obwohl hier bei richtiger Arbeitsweise eine sehr innige Verbindung mit dem Beton zu erreichen ist. Es ist zweckmäßig, bei Plattenbelag lehmhaltigen Sand zum Verlegen der Platten zu verwenden, um ein Abspringen zu vermeiden¹⁾.

Bei starker Säure muß zum Ausfügen der Platten ein Kitt, der gegen Säuren unempfindlich ist, verwendet werden. Zweckmäßig ist natürlich

¹⁾ Grün: Über das Abfallen von Wandplatten. Baumarkt 1921, Nr. 51.

auch ein innerer Schutz des Betons, um evtl. den Betonkern möglichst widerstandsfähig zu machen.

3. Schließlich seien noch diejenigen Arbeitsweisen erwähnt, welche, wie die Plattenbelegung, auch eine besondere steinerne Schutzschicht auf dem Beton bilden, es sind dies:

- die verschiedenen Spritzverfahren,
- die Putzverfahren mit Eisenfeilspänen als Magerungsmittel.

Die ersten Verfahren, Spritzverfahren (Torkret usw.) arbeiten einfach mit Zement. Ihr Vorteil beruht nur auf einer besonders dichten Herstellung des Betons, da der Zement und der Sand durch den hohen Druck beim Spritzen sehr fest aufgepreßt werden, während zu grobe Anteile herunterfallen. Natürlich kann auch mit Eisen- oder Stahlspänen oder Pulver als Zumischung gespritzt werden. In diesem Falle stellt ein derartiges Verfahren den Übergang dar zu den folgenden Verfahren, welche Modifikation des amerikanischen

Eironit-Verfahrens

sind. Das Eironit-Verfahren arbeitet mit Eisenpulver oder Eisenfeilspänen oder Stahlspänen, als Zusatz zu Zement und Sand. Das Verfahren kam vor 25 Jahren aus Amerika und hat sich bei Beton, der besonders großer Abnutzung unterliegt, gut bewährt. Ein ähnliches Verfahren ist das Dekaferr, ebenso das Kleinlogelsche Stahlbetonverfahren, welches letzteres lediglich ein besonderes Mischungsverhältnis der Stahlspäne bevorzugt.

4. Grundsätzlich verschieden von allen diesen Schutzmitteln ist natürlich die Schutzart durch Verwendung einer besonders dichten Mischung, die eigentlich überall angewandt werden sollte.

Die letzte Schutzart ist unbedingt neben allen anderen Schutzarten durchzuführen. Sie versagt aber in vielen Fällen; beispielsweise bei Tonerdezement gegen Essigsäure oder Hochofenzement und anderen Zementen gegen freie Salzsäure, Portlandzement gegen Sulfat, da es eben tatsächlich keinen Zement gibt, der in gleicher Weise gegen alle Einwirkungsweisen gleichmäßig widerstandsfähig ist. Außerdem kann aus Gründen der Rentabilität ein als geeignet erkannter Zement nicht überall verwendet werden, da beispielsweise Hochofenzement in Gegenden ohne Hochöfen oder Alcazement überhaupt für manche Bauausführungen zu teuer ist, andererseits auch in den Korngrößen richtig zusammengesetzte Kiese zur Herstellung des dichtesten Betons nicht überall zu erhalten sind.

5. Eine Kombination der verschiedenen Verfahren ist selbstverständlich leicht durchführbar und in sehr vielen Fällen außerordentlich ratsam; so beispielsweise kann bei Einwirkung schädlicher Sulfatwässer für den Beton bei dichter Mischung ein geeigneter Hochofenzement verwendet und ein Traßzusatz von 10 vH kann zur Erhöhung der Dichte zugesetzt werden. Der fertige Beton kann zur Bindung der letzten Spuren von freiem Kalk einige Wochen an der Luft stehen gelassen werden. Eine Erhöhung der Widerstandsfähigkeit wird dann erreicht durch Fluatierung, welche die Oberfläche weiter dichtet, und schließlich kann ein Schutzanstrich den Schutz noch weiter erhöhen.

Nach obiger Einteilung sollen die Schutzmittel nun besprochen werden:

- a) Beimengungen.
- b) Anstrichmittel:
 1. Oberfläche verändernde,
 2. aufliegende Anstriche.
- c) Arbeitsweisen (Spritzbeton).

Alle Angaben stützen sich auf von den Fabrikanten gelieferten Unterlagen, die, soweit möglich, kritisch geprüft wurden¹⁾.

a) Beimengungen.

Als Beimengungen kommen wasserabweisende, wie beispielsweise Biber, welche meistens aus teeröhlhaltigen oder bituminösen Grundstoffen bestehen, oder ölabspaltende, wie beispielsweise Seifen (z. B. Heimalol), oder aber einfach dichtende Zuschlagstoffe, wie Traß und Zechstein (Zechit), in Betracht.

Es sind folgende Beimengungen besprochen:

Aeternol	Fluresit	Pollux
Antaquid	Guarnol	Securitol
Awa-Patent-Mörtel-	Heimalol	Siccofix
zusatz	Lugato	Sika
Axolin		Soliditit
Biber	Propelin-Mörtelzusatz	Zechit
Ceresit	Philopor	

Aeternol. (Gewerkschaft Claudius, Duisburg, Hansastr. 40.)

Aeternolzusatz wird dem Mörtel schon beim Anmachen zugefügt und dichtet ihn nicht nur, sondern macht ihn auch wasserabweisend, ohne die Festigkeit ungünstig zu beeinflussen. Da nicht nur die Oberfläche, sondern auch das Mörtelgefüge völlig dicht wird (Drucke von 12 Atm. und darüber bleiben ohne Einfluß) steigt auch die Widerstandsfähigkeit gegen angreifende Lösungen um ein Vielfaches.

Antaquid. (Deutsche Kahneisen-Ges. m. b. H., Berlin W 8, Unter den Linden 17/18.)

Dichtende Mörtelbeimengung, welche vor allen Dingen zur Erhöhung der Wasserdichtigkeit des Betons dient. Bei Prüfung des Materialprüfungsamtes Groß-Lichterfelde-West blieben Betonplatten mit einer 3 mm dicken Schicht reinen, mit Antaquid-Wasserlösung angemachten Zementes versehen, bei 4 Atm. Wasserdruck dicht. Andere spätere Versuche ergeben völlige Wasserdichtigkeit auch bei 12 Atm. Die Festigkeiten wurden durch den Antaquid-Zusatz nicht beeinflußt.

¹⁾ Da die Angaben über die Schutzmittel, zumal bei den abweichenden Versuchsbedingungen, bei deren Prüfung keine eindeutigen Schlüsse auf deren Verwandtschaft, Güte und Anwendungsmöglichkeit erlaubten, wurden vom Verfasser umfangreiche Versuche mit mehreren 1000 Druckkörpern in zahlreichen aggressiven Lösungen in Angriff genommen, deren Ergebnisse bei der nächsten Auflage ein sicheres Urteil über die verschiedenen Schutzmittel gestatten werden.

Awa-Patent-Mörtelzusatz. (A. W. Andernach, G. m. b. H., Beuel a. Rh.)

Nicht teerhaltiges und nicht bituminöses Zusatzmittel, welches in Anmachwasser aufgelöst wird, 1 kg auf 12–20 l Wasser, hellgelb, ohne Einwirkung auf die Mörtelfarbe, wirkt fäulniswidrig.

Erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen warmes Wasser und Salzlösungen. Nach Versuchen des Materialprüfungsamtes war Zementmörtel mit $\frac{1}{2}$ vH Awazusatz bei 6,8 Atm. dicht.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Trockenlegung feuchter Keller und Dichtungsarbeiten.	Forellenzuchtanstalt Lohmar in Siegburg; Kurhaus Kneipp in Hennef; Karlstortunnel Heidelberg und zahlreiche andere.
Molkerei.	Edler, Ahlten.
Akkumulatorenraum.	H. Wagner, O. Baugeschäft.
Sauerkrautbehälter.	H. Wingerath, W. „
Fleischkübel.	F. Schnelle, H. „

Axolin. (K. Th. Hermann, Langen b. Frankfurt a. Main.)

Härtepulver, welches wasserlöslich ist und in Mischwasser aufgelöst wird. Verarbeitung mit gewaschenen Zuschlagstoffen, ohne Einwirkung auf die Mörtelfarbe, wirkt nicht dichtend, erhöht dagegen die Festigkeit des Betons sowohl in bezug auf die Druckfestigkeit als auch gegen mechanische Abnutzung und chemische Beanspruchung. Besonders geeignet zur Herstellung mechanisch schwer beanspruchter Beläge (Straßenfahrbahnen, Silorutschflächen usw.) (nach Angabe).

Biber. (Biberwerk, G. m. b. H., Düsseldorf, Bankstr. 30. Vertr.: Gustav A. Braun, Köln, Maria-Ablaß-Platz 6.)

Bituminöses Zusatzmittel für Putz, das dem fertig angerührten Mörtel beigemischt wird. Auf 1 Sack Zement und 3 Sack Sand kommen 1– $1\frac{1}{2}$ kg Biber. Biber beeinflusst die Mörtelfarbe etwas, da es den Mörtel silbergrau macht.

Erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Salzwasser, Laugen und schwache Säuren; nicht widerstandsfähig gegen hochprozentige Säuren und Fette.

Bei Versuchen der Städt. Kanal- und Straßenbau-Direktion Frankfurt a. Main blieben 2 cm starke Zementplatten 1 : 3 mit Biberzusatz während 6tägiger Versuche mit 5,5 m Wassersäule völlig dicht, während Platten ohne Biberzusatz erhebliche Wassermengen durchließen.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Trockenlegung feuchter Keller und Dichtungsarbeiten. Flutmesser Hamburg,	Stadt Hamburg.
Warenhaus Althoff in nassem Fließ.	„ Buer.
Kondenssiedwasserkanal.	Hauke, Friedeck.
Jauchegrube, Solebehälter.	„ „
Wasserabsperrmauer von 20 Atm. Wasserdruck.	Gust. Sängers, Niederschelden.

Ceresit (Wunnersche Bitumen-Werke, G. m. b. H., Unna i. Westf.) wird als Paste geliefert, mit 10—12 Teilen Wasser verrührt und dieses dann als Anmachwasser benutzt. Auf 1 Sack Zement und 100 l Sand sind $2\frac{1}{2}$ kg Ceresit notwendig.

Ceresit ist hellfarbig und verändert die Betonfarbe nicht.

Es macht den Beton wasserabweisend und erhöht infolgedessen seine Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Salze und schwache Säuren. Die dichtende Wirkung des Ceresits ist dauernd; bei 15 Jahre alten Arbeiten trat keine Änderung ein.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Trockenlegung feuchter Keller und Dichtungsarbeiten.	Chilehaus Hamburg, Sperrmauer Ponte Serra, Stadion Düsseldorf, Monroe Building, Chicago und viele andere Fälle.
Teer- und Ammoniakwassergruben. Stalldecken.	Königsborn A.-G., Unna-Königsborn. G. Kortmann, Cappenberg b. Lünen.
Kohlensäurehaltiges Wasser.	Talquelle der Fürstlichen Mineralquelle Bad Wildungen.

Fluresit. (Fluresit Industrie, G. m. b. H., Hanau a. Main, Yorkstr. 2a, und Leipzig, Albertstr. 12.)

Zusatzmittel, welches den Beton dichtet.

Guarnol. (K. Th. Herrmann, Langen b. Frankfurt a. Main.)

Mischflüssigkeit für den Mörtel, verwendbar bei Wasserdurchbrüchen usw., wenn augenblickliche Dichtung und wasserdichte Ausführung auch bei starkem Wasserdrang notwendig ist. Dichtet den Beton und erhöht seine Widerstandsfähigkeit gegen Salzwasser, Rauchgase. Die Abbindezeiten können reguliert werden (nach Angabe).

Heimalol (Heimalol Ges. m. b. H., Datteln i. Westf.).

Seifenartiger Mörtelzusatz, welcher in Form eines Breies zum Anmachen verwendet wird und vor allen Dingen den Mörtel, auch bei hohem Wasserdruck, wasserundurchlässig macht.

Bei Versuchen des Materialprüfungsamtes hat sich Heimalol-Mörtel bis 18 Atm. als wasserdicht erwiesen.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Elbtunnel in Hamburg.	Staat Hamburg.
Eisenbahntunnel, Ruppertsberg.	Eisenbahndirektion.
Eisenbeton-Schwimmbassin des Stadtbades Duisburg-Ruhrort.	Stadt Duisburg.

Lugato. (Dr. Büchtemann & Co., G. m. b. H., Hamburg 1, Georgsplatz 8/10.)

Lugato ist ein fettfreier, in Wasser löslicher Zusatz, der dem Mörtel mit dem Anmachwasser zugesetzt wird. Es wirkt dichtend auf den Beton.

Auch als Anstrichmittel kann Lugato verwendet werden.

Bewährt in vielen Fällen zur Trockenlegung von Kellern und dgl.

Propalin-Mörtelzusatz. (H. Hauenschild, G. m. b. H., Hamburg 1, Chilehaus.)

Dickflüssiger, farbloser und wasserlöslicher Zusatz, der im Verhältnis 1 : 10 dem Anmachwasser zugemischt wird. Für 1 qm Putz von 2 cm Stärke sind $\frac{1}{2}$ kg notwendig. Dichtet den Beton. Propalin ist keine

Emulsion, sondern wasserlöslich, und wirkt dichtend durch chemische Umsetzung mit dem Kalkgehalt des Zementes.

Philopor. (A. Prée, G. m. b. H., Dresden, Glacisstr. 1.)

Philopor ist ein nicht teerhaltiges und nicht bituminöses Zusatzmittel unbekannter Zusammensetzung. Es wird geliefert in Teig- und Pulverform. Bei der Verarbeitung wird 1 Teil des Zusatzmittels zu 10 Teilen Wasser gesetzt und mit diesem der Beton angemacht. Benötigt werden für 1 qm Putz, 2 cm dick, $\frac{1}{2}$ kg Teigform bzw. $\frac{1}{4}$ kg Pulverform. Für 1 cbm Beton sind 20—25 kg Philopor notwendig.

Philopor ist farblos und verändert das Aussehen des Betons nicht. Es macht den Beton wasserdicht, erhöht dadurch in gewissem Umfange seine Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Wässer, ist aber feuerfest.

Anwendungsbeispiele:	Ausführende:
Dichtung der Keller unterm Wasserspiegel der Limmat.	Schweiz. Bodenkredit-Anstalt.
Grundwasserkanal, 4000 qm.	Berlin-Lichtenberg.
Zementfußboden der Zuschauertribüne für die Festspiele auf der Louisenburg bei Wunsiedel.	Louisenburg bei Wunsiedel.

Pollux (D. R. P.). (Pollux-Werke, Eupen.)

Verbesserter Kasterit-Biberzusatz, der weiß und geruchlos ist und dem Anmachwasser zugesetzt wird. Auf 100 Teile Portlandzement und 300 Teile Sand werden 4 Gewichtsteile Pollux verwandt.

Pollux erhöht die Wasserdichtigkeit des Betons.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Brücke von Floreffe.	Ch. Tournay, Ing. Constr., Floreffe.
Unterirdische Nord-Südbahn Paris.	Nord-Südbahn Paris.
Wasserturm.	Steinkohlenbergwerk Bascoup.

Securitol. (Securit Ges. m. b. H., Mannheim, Postfach 518.)

Doppelsilikat von 32° Bé, dem Manganverbindungen zugesetzt sind. Der Abbindeprozeß kann durch den Zusatz beliebig geregelt werden.

Bei Verwendung von Hochofenzement (Haiger) wurden nach Angabe der Securit-Ges. dieselben Erfolge erzielt wie bei Portland-Doppelzement in bezug auf Anfangsfestigkeit und Erhärtung bei einem Zusatz von 6 vH Securitol zum Anmachwasser. Erhöht die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen aggressive Lösungen und macht ihn bis zu 5 Atm. wasserdicht. 1 : 4 aus Hochofenzement im Gußverfahren hergestellter Behälter konnte am folgenden Tage ausgeschalt und am übernächsten Tage mit Wasser gefüllt werden.

Siccofix.

Siccofix wird dem Zement bereits im Fabrikbetrieb zugemahlen; es ist gebranntes Material, offenbar bituminöser Natur, welches den Beton wasserabweisend machen soll. Für den Zementverarbeiter ist das Siccofix als solches käuflich nicht zu erhalten, sondern es wird lediglich mit Siccofix vermahlener Zement in den Handel gebracht.

Dieser ist eine Spur dunkler gefärbt wie andere Zemente und verarbeitet sich genau wie nicht mit Siccifix verarbeitete Zemente.

Grimm¹⁾ hat festgestellt, daß durch den Siccifixzusatz die Festigkeit der Zemente im allgemeinen erhöht, nur in wenigen Fällen erniedrigt wurden. Mit dem Zement durchgeführte Bauarbeiten ergaben eine erhebliche Wasserdichtigkeit des Betons. Bei Laboratoriumsversuchen mit „siccifixten“ Hochofenzementen in verschiedenen Salzwässern ergaben sich bei konzentrierten Chloridlösungen eine Herabsetzung der Festigkeit, die aber während 1 Jahres nicht zur Zerstörung führte. Auch bei alkalischen Lösungen wurde Herabsetzung der Festigkeit ohne Zerstörung beobachtet. Die übrig geprüften Lösungen: Natriumchlorid, Kalziumchlorid, Kochsalz, Maschinenöl, Benzol, Benzin, Petroleum, riefen beim Vergleich eines gewöhnlichen Portlandzementes mit einem siccifixten Zement selbstverständlich keine Zerstörungen hervor, da diese Salze ja unschädlich sind, dagegen war die Festigkeit des Portlandzementes mit Siccifixzusatz höher wie die eines normalen Portlandzementes. Bei Einwirkung von Gipswasser und Magnesiumchlorid auf die beiden gleichen Portlandzemente zeigte sich ein wesentlich besseres Verhalten des mit Siccifix behandelten Zementes (Grimm-Göschwitz).

Ein Angriff des Zementes auf das Eisen wurde nicht festgestellt²⁾.

Bei Versuchen des Verfassers zeigte sich in Magnesiumsulfat ein Siccifixzement beständig, während ein anderer nach verhältnismäßig kurzer Zeit zerfallen war.

Sika. (Kaspar Winkler & Co., G. m. b. H., Durmersheim/Baden.)

Bituminöses Zusatzmittel, das als Paste oder Flüssigkeit geliefert wird und im Anmachwasser aufgelöst werden muß.

Farblos und geruchlos, ohne Veränderung des Betons.

Erhöht die Wasserdichtigkeit des Betons und infolgedessen auch seine Widerstandsfähigkeit gegen schwache Säuren und Salzwässer.

Bewährungsbeispiele:

Pontons des Bootshauses.
Keller unter Seewasserdruck.
Heizräume des Krematoriums.

Ausführende:

Jachtklub Zürich.
Stadthaus Lasen.
Stadt Zürich.

Soliditit. (Deutsche Soliditit-Centrale Aug. Lindemann, Komm.-Ges., Köln-Raderthal, Brühlerstr. 298.) Angaben von der Firma verweigert.

Hauptsächlich für den Straßenbau verwendeter Zement.

Nach den Analysen³⁾ handelt es sich um eine Art Puzzolan-zement, da der Zement einen höheren Kieselsäuregehalt hat als ein normaler Portlandzement, und demgemäß wird die Widerstandsfähigkeit des Soliditits die gleiche sein wie bei einem normalen Beton, welche mit Puzzolan-zusatz ausgeführt wurde (Traß, Hochofenschlacken), d. h. der Widerstand gegen Sulfate, gegen Abnutzung wird etwas höher sein.

Für verschiedene Autostraßen verwendet.

¹⁾ Grimm: Zement 1923, S. 311. ²⁾ Zentralbl. Bauverw. 1924, S. 239.

³⁾ Nach der Patentschrift wird Solidititzement hergestellt durch Vermahlen von Portlandzement mit Granit usw., welcher 2 Stunden auf ca. 1000° erhitzt wurde.

Zechit (D. R. P. 149 135). (Knüppel & Co., G. m. b. H., Essen, Töpferstraße 131.)

Wasserdichter Mörtel. Wird stets fertig gemischt geliefert. Geeignet zum Verputzen von unter Wasser liegenden Gebäuden, Schlagseiten u. dgl. Widerstandsfähig gegen Laugen und verdünnte Säuren.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Salzwasserbehälter.	Joh. Lemp, Bredelar.
Rauchkanal in Grundwasser.	Bürgermeisteramt Büren.

b) Anstrichmittel.

1. Oberflächen verändernde Anstrichmittel.

Als Oberflächen verändernde Anstrichmittel kommen solche in Betracht, die streng genommen die Oberfläche nicht umwandeln, sondern nur insofern verändern, als sie diese dichter machen; es handelt sich hier durchweg um Produkte, die aus Wasserglas oder aus Fluaten bestehen. Die bei dem Anstrich eintretende Abspaltung von Kieselsäure und Kalziumfluorid führt zu einer weitgehenden Verstopfung der Poren des Betons, so daß er hierdurch gegen Abnutzung und gegen Salzeinwirkung beständiger wird, zumal (auch) freier Kalk der Betonoberfläche gebunden wird. Zwischen den Oberflächen verändernden Anstrichmitteln und dem Beton besteht eine gewisse Verwandtschaft insofern, als durch diese Anstriche eine Versteinerung der Oberfläche herbeigeführt wird¹⁾.

Teilweise wird die schützende Wirkung des die Betonoberfläche verändernden Anstrichmittels durch den Beton selbst ausgelöst, indem der Kalk des Betons spaltend auf das Anstrichmittel wirkt. Sie können aus diesem Grunde in den meisten Fällen als rostschützend nicht benutzt werden, während die im nächsten Kapitel erwähnten aufliegenden Anstriche häufig gleichzeitig als Rostschutzmittel brauchbar sind.

1. Oberflächen verändernde:

Aeternol-Tränkung	Conservado	Perfax
Arzet	Durolin	Terko
Betonal	Lithurin	Tutorol
Beton-Murolineum	Lugato Fluat	

Äternol-Tränkung. (Gewerkschaft Claudius, Duisburg, Hansastr. 40.)

Äternol ist wasserlöslich und besteht aus anorganischen Salzen. Es wird auf den trockenen Beton aufgebracht und von diesem aufgesaugt. Der Kalk des Betons spaltet die Salze des Äternols auf und bildet mit ihnen säurelösliche Niederschläge, die nicht nur die Poren verstopfen, sondern auch den Zement weitgehend unangreifbar machen.

¹⁾ Ganz anders wirken die aufliegenden Anstrichmittel, welche im darauffolgenden Kapitel besprochen werden, insofern, als durch ihre Anwendung eine Schutzschicht von außen, dem Beton nicht verwandt, Harz, Lack u. dgl. hervorgerufen wird.

Gegen aggressive Salze wird infolge dieses chemischen Umwandlungsvorganges der Beton widerstandsfähig; auch seine Beständigkeit gegen verdünnte Mineralsäuren wird bedeutend erhöht.

Arzet. (Heima'ol G. m. b. H., Datteln i. W.)

Außenanstrich, der vor allen Dingen zur Dichtung der Oberfläche des Betons verwendet wird.

Bei 4 Atm. Wasserdruck wurde Beton noch als dicht erkannt.

Betonal. (van Baerle & Co., erste deutsche Wasserglasfabrik, Worms a. Rhein.)

Wasserlöslicher Anstrich bestehend aus Silikaten, denen zur Änderung der physikalischen Eigenschaften organische Verbindungen zugesetzt sind. Die Betonallösung wird mit Gießkanne und Besen auf den Beton aufgebracht, und zwar an drei verschiedenen hintereinander liegenden Tagen; pulverförmiges Betonal wird mit 5 Teile Wasser verdünnt, die Lösung ist durchsichtig und färbt den Beton nicht.

Es können auch 3 vH dem Anmachwasser zugefügt werden.

Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Salze, Basen und Säuren.

Günstige Erfolge bei Anwendung zur Staubverminderung im Betonstraßenbau.

Beton-Murolineum. (Droese & Fischer, Berlin SW 11, Großbeerstr. 7.)

Nichtbituminöses, streichfertig geliefertes wasserhaltiges Anstrichmittel, das mit dem Pinsel oder der Bürste aufgetragen wird. 3 Anstriche mit je 24 Stunden Zwischenraum der verschiedenen Lösungen sind notwendig; der Beton muß 28 Tage alt sein und wird etwas heller. Für 100 m² etwa 30 kg Anstrich I und 15 kg Anstrich II.

Erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Salzwasser, Laugen und Säuren.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Pfähle in gipshaltigem Grundwasser, bis jetzt 4 Jahre.	Wayss & Freytag, Akt.-Ges., Düsseldorf.
Schutz von Putz gegen Sublimat und Teersäure.	Dr.-Ing. Moll, Asph.- u. Teerind.-Ztg. 1920, Februar.
Hochbehälter für kohlenensäurehaltiges Leitungswasser.	Ing. Tezner, Dt. Licht- u. Wasserfachzeitung 1921, H. 7.
Quellschächte.	Bill & Co., Aussig.

Conservado. (Kaspar Winkler & Co., G. m. b. H., Durmersheim/Baden.)

Nicht teerhaltiges und nicht bituminöses, chemisch wirkendes Anstrichmittel, das aus mineralischen und organischen Präparaten besteht.

Es wird als Paste oder Flüssigkeit geliefert und mit dem Pinsel kalt oder heiß aufgetragen. Farblose und gefärbte Präparate werden auch geliefert.

Es dichtet den Beton und erhöht deshalb die Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Salze, Öle u. dgl.; nicht widerstandsfähig gegen Säuren.

Durolin. (Stellawerk Akt.-Ges., Berg-Gladbach b. Köln und Breslau 18.)

Anstrichmittel, dessen Wirkung auf einer Dichtung der Oberfläche des Betons beruht. Der Anstrich wird in streichfertiger Form geliefert und mit dem Pinsel aufgetragen. Eine Veränderung der Farbe des Betons findet nicht statt. Zwei verschiedene Lösungen, die in Zwischenräumen von mindestens 24 Stunden aufgetragen werden.

Lithurin M und *B*. (H. Hauenschild, Hamburg, Chilehaus.)

Anorganische Anstrichmittel, welche mit dem Zement des Betons eine chemische Verbindung eingehen.

Die Reaktion geht von dem Beton selbst aus insofern, als der Kalk des Betons das Lithurin aufspaltet. Dieses besteht aus Fluatverbindungen, die unter dem Einfluß des Kalkes zerfallen und sich in Kieselsäure, Kalziumfluorid und Magnesiumfluorid aufspalten. Es kann sich an Stelle des Magnesiumfluorids auch ein anderes Fluorid bilden, je nach der Natur des verwendeten Anstrichfluorids, z. B. Blei- oder Tonerdefluorid u. dgl. Es werden nämlich verschiedene Arten von Fluaten, Magnesiumfluat oder Aluminiumfluat u. dgl., je nach der Natur der zu erwartenden Angriffsart, in den Handel gebracht¹⁾. Die Wirkung der Fluate ist demgemäß ein sehr weitgehendes Dichten, da die gebildeten Fluoride nicht nur die Poren ausfüllen, sondern selbst gegen lösende oder zerstörende Einwirkung von Säuren oder Salzen sehr widerstandsfähig sind. Gegen starke Säuren vermag eine Fluatisierung den Beton nicht zu sichern. Auch bei stärkerer Einwirkung von fetten Ölen usw. ist noch ein nachträglicher Schutzanstrich aufzubringen²⁾. Gegen Stauben von Fußböden genügt Lithurin allein.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Bismarckbrunnen gegen Verwitterung und Verschmutzung	Stadt Breslau.
Leinölbehälter (150 000 kg) und Leinöloxydationsanlage	N. V. Internationale Gewapnet beton Bouw.
Fußboden gegen Stauben und Fruchtsäure- und Zuckerangriff.	Edelobst-Siederei G. m. b. H. Hamburg-Bergedorf.

Lugato Fluat. (Dr. Büchtemann & Co. G. m. b. H. Hamburg 1, Georgsplatz 8/10.)

Lugato-Fluate sind Fluatverbindungen, welche ganz ähnlich wirken wie die Hauenschildschen Fluate. Auch diese zersetzen sich unter der Einwirkung des Kalkes des Betons unter Abscheidung von Kieselsäure. Auch die Lugato-Fluate werden auf den abgebundenen Beton, am besten erst 14 Tage nach der Herstellung, aufgebracht und dichten den Beton in der von Fluaten überhaupt bekannten Weise.

Perfax. (Henkel & Co. A.-G., Düsseldorf, Schließfach 345.)

Nicht bituminöses, chemisch wirkendes, Kieselsäure enthaltendes Anstrichmittel, von welchem 1 Teil auf 5 Teile Wasser genommen und mit dieser Lösung an drei aufeinanderfolgenden Tagen der Beton getränkt wird. Auf 100 m² Beton sind 50 kg Perfax notwendig.

Erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Salzwasser, Laugen, verdünnten Säuren, Öl; vermindert die Staubbildung und mechanische Abnutzung.

¹⁾ Lithurin *M* und *B* kamen früher unter dem Namen „Keßlersche oder Hauenschildsche Fluate“ in den Handel.

²⁾ Thein, Hamburg: Betonhärtung und -dichtung auf chemischem Wege. Tonind.-Ztg. 1925, S. 810.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Verhinderung des Staubens des Zementfußbodens in einem Pappensortiersaal.	A. Zacharias, Lederpappenfabrik, Pirna a. d. Elbe.
Staubverhinderung in einer Makkaronifabrik.	Hamburger Makkaronifabriken.
Verhinderung des Staubens von Betonböden.	Deutsche Reichsbahn, Ausbesserungswerk; Opladen.

Tutorol. (Dr. Haller & Co. A.-G., Hamburg 39, Vertrieb: Baselin Hein & Co., Hamburg I., Hermannstr. 5, I.)

Fluathaltiges Anstrichmittel, das in der üblichen Weise aufgetragen wird. Es wirkt deshalb auf Beton ähnlich wie die Keßlerschen Fluats (siehe Lithurin *M* und *B*).

Erhöht wie jede Fluatisierung die Widerstandsfähigkeit gegen Salze, Säuren, Laugen und Öle.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Widerstand gegen Einwirkung von Schwefelsäure im Gegensatz zu ungeschütztem Beton.	Eduard Schmidt, Hamburg 23, Eilbecker Weg 69.
Gegen Fett und Laugen widerstandsfähig.	Höhere Webschule, Greiz.
Verhinderung von Staubbildung des Fußbodens und Abdichtung von Betonbassins.	Dietr. Engelhardt, Fachgeschäft für Buch- und Steindruckereien, Hamburg 5. Holzdamm 14.

b) Aufliegende Anstrichmittel.

Diese Anstriche schützen den Beton durch mechanische Fernhaltung der angreifenden Flüssigkeit. Sie unterscheiden sich von den im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Imprägnierungsmitteln dadurch, daß sie keinerlei Verwandtschaft mit dem Beton haben. Es handelt sich meistens um teerhaltige Anstriche, wie beispielsweise Inertol, Nigrit; oder um nicht teerhaltige bituminöse Anstrichmittel, wie beispielsweise Preolit, oder aber um lackartige Erzeugnisse, wie Margalit, das aus einem Kunstharz besteht, und schließlich in selteneren Fällen um Seifen (Cerufitol). Alle diese Anstriche schützen den Beton in ähnlicher Weise, wie beispielsweise ein guter Ölfarbanstrich das Holz schützt, indem sie eine undurchlässige Schicht auf dem Beton bilden. Von Zeit zu Zeit müssen derartige Anstriche erneuert werden, da allmählich durch Oxydation unter Umständen die Anstriche rissig werden können und ihr Schutz dann illusorisch wird. Die Lebensdauer von Inertol beispielsweise kann mit 5–10 Jahren und unter günstigen Umständen auch länger (20 Jahre) angenommen werden.

2. Aufliegende Anstriche:

Äternolanstrich	Igol	Porsal
Awa - Spezial-Asphalt	Inertol	Preolit
Cerufitol	Kerament-Kalt-Glasur	Purizo
Degronit	Mammut	Siderosthen-Lubrose
Emaillit	Margalit	Ventur
Glutin	Nigrit	Zimmerit, schwarz 505.
Igas		

Aeternolanstrich. (Gewerkschaft Claudius, Duisburg, Hansastr. 40.)

Bituminöser Anstrich, der den Beton mit einer aufliegenden Schutzschicht überzieht, die infolge der Haftfestigkeit des Äternols fest mit der Betonoberfläche verbunden ist. Äternol ist säure- und salz-unlöslich und schützt deshalb den Beton gegen die Einflüsse solcher wässriger Lösungen. Gegen verdünnte Laugen beständig; von konzentrierten Laugen (in chem. Sinne also Natronlauge usw.) wird Äternolanstrich zerstört; auch gegen Öl ist es nicht beständig.

Awa-Spezial-Asphalt. (A. W. Andernach, G. m. b. H., Beuel a. Rh.)

Bituminöse Anstrichmittel verschiedener Sorten, die mit dem Pinsel aufgetragen werden. Es gibt kalt oder heiß streichbare Sorten.

Widerstandsfähig gegen Salzsäure, verdünnte Säuren und Rauchgase; nicht widerstandsfähig gegen Öle, starke Säuren. Für starke Säuren und Heißwasser wird aber ein besonderer Spezialasphalt hergestellt.

Es gibt auch Awa-Spezial-Asphalt E S F. Derselbe ist auch widerstandsfähig gegen konzentrierte Salzlösungen und Akkumulatoren-schwefelsäure, ebenso gegen Salpetersäure, bis zu einer Stärke von 5vH bei Temperaturen bis zu 60°. In besonderen Fällen wird Asphalt geliefert, der bis zu 90° beständig ist.

Bewährungsbeispiele:

Ausführende:

Awa-Spezial-Asphalt zum Auskleiden
von großen Säurebottichen

Chemische Fabrik X.

Fußboden in einer Galvanisierung

„Klio“ Werk G. m. b. H.

Säurefeste Auskleidung von Säurebottichen mit Fassungsräumen bis zu
45 000 l in einer Kupferlauge

Angabe der Firma nicht gewünscht.

Cerufitol.

Farbloser Anstrich, welcher aus einer ammoniakalischen Auflösung von Metallseife besteht, die mit dem Pinsel aufgetragen wird.

Wasserabweisend und dementsprechend verbessernd bezüglich der Salzwasserbeständigkeit des Betons; nicht widerstandsfähig gegen Säuren.

Degronit. (Degronit-Werke G. m. b. H., Altona-Elbe, Gerberstr. 5/11.)

Nicht teerhaltiges, nicht bituminöses Anstrichmittel, das mit dem Pinsel aufgetragen oder aufgespritzt wird. Zweimaliger Anstrich genügt, der erste wird verdünnt aufgebracht.

Widerstandsfähig nach Angabe gegen Salzwasser, Säuren, Laugen, Mineralöle, Benzin, Petroleum und Spiritus.

Nicht widerstandsfähig gegen Benzol und Teeröle.

Emaillit. (Dr. F. Weber, A.-G., Leipzig-Plagwitz.)

Bituminöses Anstrichmittel, das mit Bürste, Pinsel oder Spritze aufgetragen wird.

Widerstandsfähig gegen Salzlösungen, Laugen, Dämpfe, Rauchgase; nicht widerstandsfähig gegen Salpetersäure und andere Säuren.

Glutin.

Von Calamé und Beck wurde ein Verfahren empfohlen, den Beton mit einer Schutzschicht dadurch zu überziehen, daß derselbe mit Leim oder Gelatine überzogen und dieser Anstrich durch Formalin gegerbt wird. Das Verfahren soll bloß für Oberflächen-Dichtmachen des Betons geeignet sein¹⁾. Für warmes Öl ist das Verfahren nicht brauchbar, da der Leim brüchig wird und abblättert.

Igas. (Kaspar Winkler & Co., G. m. b. H., Durmersheim/Baden.)

Nicht teerhaltiges, kitthaltiges Anstrichmittel, das kalt oder heiß aufgetragen werden muß und hell, braun oder schwarz geliefert wird.

Widerstandsfähig gegen organischen Säuren, Öl, Weingeist, Ammoniak. Wird auch verwendet als Kittmasse für Beläge.

Igol. (Kaspar Winkler & Co., G. m. b. H., Durmersheim/Baden.)

Nicht teerhaltiges und schwarzbraunes Anstrichmittel, das mit dem Pinsel aufgetragen wird und den Beton wasserdicht macht.

Inertol. (Paul Lechler, Stuttgart, Kronenstr. 50.)

Aus Steinkohlenteer gewonnener Anstrich, der streichfertig geliefert und kalt aufgetragen wird. Zweimaliger Anstrich genügt. Der erste muß vor dem Auftragen des zweiten trocknen. Notwendig sind für 100 m² 30 kg Inertol. Auch Spritzverfahren ist durchführbar.

Widerstandsfähig gegen Salze, Basen, schwache Säuren.

Nicht widerstandsfähig gegen starke, heiße Basen, Mineralöle, Teeröle, Benzin, Petroleum, Alkohol, Bier, Wein, hochprozentige Säuren.

Bewährungsbeispiele:

Gegen Salzsäure 1 : 2 widerstandsfähig

Für Salzsolebehälter
Chemikalienzubereitungsraum, in welchem mit schwefelsaurer Tonerde gearbeitet wird.

Kohlensäurehaltiges Trinkwasser in städt. Wasserwerken.

Ausführende:

Süddeutsche Wismut- u Kupferwerke,
Neubulach
Landbauamt Bad Kissingen

Magistrat in Potsdam
Leipzig und zahlreiche andere Fälle.
Siehe Text.

Kerament-Kalt-Glasur. (Kerament- und Kunststeinwerke C. H. Jerschke, A.-G., Breslau 10, Verlängerte Niedergasse 2.)

Kerament ist eine Kaltglasur, welches aus Zement, Ceresit, Wasserdichtungsmitteln und Farbe hergestellt wird. Kerament wird mit Preßluft aufgespritzt. Es kann in verschiedener Weise gefärbt werden und dient in der Hauptsache zur Herstellung von Verkleidungsplatten als Kaltglasur.

Die Keramentplatten dienen hauptsächlich als Ersatz für keramische Platten in Baderäumen, Wäschereien u. dgl. Sie bewähren sich demgemäß bei Versuchen mit 2 proz. Soda- und Seifenlösung gut. Eine höhere Widerstandsfähigkeit wird von ihnen nicht verlangt, da bei Auskleidung von Säurebehältern u. dgl. selbstverständlich keramisch gebrannte

¹⁾ Zement 1920, S. 529; Bauwelt 1919, Nr. 32, S. 11.

Platten genommen werden müssen. Der Preis der Keramentplatten beträgt $\frac{1}{3}$ gebrannter Platten.

Mammut (Ventur). (Chemische Fabrik Marienfelde, A.-G., Berlin-Marienfelde.)

Bituminöses Anstrichmittel, schwarz. Die Isolierschicht wird gebildet durch einen, besser mehrmaligen Anstrich mit der heißflüssigen Masse.

Der Boden von Behältern beispielsweise wird so mit 5—8 mm hoher Schicht belegt.

Mammut wird vor allen Dingen für Gär- und Lagergefäße in Bierbrauereien verwendet.

Selbstverständlich muß vor allen Dingen der Beton trocken und bautechnisch stabil sein; Glattstrich ist zu vermeiden, ebenso scharfe Kanten und Ecken.

Margalit. (Margalit-Gesellschaft, Oberkassel, Siegburgkreis.)

Margalit ist ein bernsteinähnlicher Kunstharzlack. Dieser Lack ist in Spiritus gelöst. Nach dem Aufbringen des Lackes verdunstet der Spiritus. Das Harz geht durch die Einwirkung der Luft (Polymerisation und Oxydation) in einen völlig unlöslichen Zustand über.

Margalit wird auf glattem Putz mit einem Pinsel aufgebracht, nachdem ein Voranstrich mit verdünnter Margalitlösung aufgetragen ist. Die Originallösung wird zweckmäßig in 2—3 maligem Anstrich aufgebracht, jeweils nachdem der vorhergehende Anstrich getrocknet ist. Vor Staub muß naturgemäß der jedesmalige Anstrich sowie der Schlußanstrich vor dem Trocknen geschützt werden; Feuchtigkeitszutritt ist 14 Tage lang zu vermeiden. Auch das Spritzverfahren ist zum Auftragen von Vorteil.

Der fertige Anstrich bildet einen bernsteinähnlichen gelben Überzug, der durch Zusatz von Lithopone weißlich gefärbt werden kann. Auch jede beliebige Anilinfarbe, soweit sie spirituslöslich ist, kann dem Margalit zugesetzt werden.

Margalit ist widerstandsfähig gegen Öle und Fette, auch flüchtige Mineralöle wie Benzin, Ligroin, Petroleum und Benzol. Es schützt infolgedessen den Beton gegen diese und sämtliche Salz- und Säurelösungen.

Nicht widerstandsfähig ist Margalit gegen Alkohol, Spiritus, Sprit oder alkoholhaltige Flüssigkeiten, da es sich in Spiritus auflöst.

Auch bereits ältere mit Öl durchtränkte Betone können nachträglich durch Margalit geschützt werden.

Bewährungsbeispiele:

Teerölbehälter.

Benzinbehälter.

Leinölbehälter.

Behälter für salzsaure Waschwässer
im Emailierwerk.

Ausführende:

Gipswerke Eichenberg, G. m. b. H.,
Allendorf a. d. Werra.

Gebr. Riedel, Schweinfurt a. Main.

Schuster & Sohn, G. m. b. H., Kaiserslautern.

C. A. Scholtz, Matejovce, T. S. R.

Nigrit. (Rosenzweig & Baumann, Kassel.)

Teerhaltiges Anstrichmittel, das mit dem Pinsel aufgetragen wird und einen schwarzen Überzug bildet.

Widerstandsfähig gegen kaltes Wasser, gegen verschiedene Sulfatwässer, verdünnte Säuren und Rauchgase.

Versuche von Prof. Bottler, Würzburg, ergaben Widerstandsfähigkeit gegen Bespritzen mit 2 proz. Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure. Auch gegen verdünnte Säuren wie Essigsäure und Ammoniakwasser und kohlen säurehaltigem Wasser hat das Nigrit bei den gleichen Versuchen Zementbeton geschützt.

Bei Prüfungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München haben mit Nigrit gestrichene Zementzylinder den Beton bei $1\frac{1}{2}$ Atm. Überdruck und langer Versuchsdauer trocken gehalten.

Bewährungsbeispiele:

Ausführende:

Hochdruckwasserbehälter für Leitungswasser mit freier Kohlensäure, welches vorher den Beton zerstört hatte.

Wände eines Klärungsbrunnens.

Schmutzwasserkanal.

A. D., Baumeister in O.

Kläranlage Crossen a. d. Oder, Gesellschaft für Abwässerklärung m. b. H., System Kremer. Berlin-Schöneberg. Städt. Tiefbauamt, Hagen i. W.

Porsal. (Deutsche Kahneisen-Ges. m. b. H., Berlin W 8, Unter den Linden 17/18.)

Porendichtender Anstrich, der farblos ist und die Oberfläche des Betons wasserabweisend macht. Infolgedessen erhöht er in gewissem Umfange die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen manche Salzlösungen, Frost und Atmosphärien u. dgl.

Preolit. (A. Prée, G. m. b. H., Dresden, Glacisstr. 1.)

Nicht teerhaltiges, bituminöses Anstrichmittel mit 99vH Bitumengehalt (Naturasphaltpräparat).

Preolit ist streichfertig und wird kalt aufgetragen; zunächst verdünnt mit Verdünnungsöl, dann in gewöhnlichem Zustande. Der fertige Anstrich bildet eine schwarze Schutzhaut.

Widerstandsfähig gegen alle anorganischen Lösungen, auch gegen Säuren (auch Flußsäure) und Salzlösungen; nicht widerstandsfähig gegen Öle, Mineralöle und sonstige Öle sowie gegen Ammoniakwasser.

Bei Prüfung in der technischen Versuchsanstalt der Technischen Hochschule Dresden wurde festgestellt, daß sechsmonatliche Einwirkung von 1 proz. Schwefelsäure, 1 proz. Ammoniakwasser, 2 promill. Kalilauge, 2 promill. Salzsäuregas, 2 promill. wässrige Salpetersäure, ferner nasser Moorboden und feuchte Kohlenasche ohne Einwirkung blieb. Auch konzentrierte Säuren: 20 proz. Salzsäure, 40grad. Schwefelsäure, 20 proz. Salpetersäure, 20 proz. Kalilauge, 20 proz. Ammoniak blieben ohne Einwirkung.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Fundamentisolierung.	Berliner Untergrundbahn.
Isolierung der Betondächer.	Neubau Deutsches Museum, München.
Hochbehälter der Stadt Düsseldorf, 25 000 cbm an den Außenflächen mit diesem Anstrich gestrichen; ferner: Becherwerkssümpfe, Silo- zellen, Kohlenbunker usw.	Dücker & Co., G. m. b. H. in Düsseldorf.
Talsperre Klingenberg, Malter und Muldenberg.	Talsperrenbauämter

Purizo. (Kasp. Winkler & Co., G. m. b. H., Durmersheim/Baden.)

Farbloses Anstrichmittel aus bituminösen Grundstoffen, die kalt oder heiß aufgetragen werden können.

Widerstandsfähig gegen organische Säuren, Öle, Fette und Salzwässer.

Siderosthen-Lubrose. (Akt.-Ges. Johannes Jeserich, Charlottenburg,
Salzufer 17/19.)

Schwarzes Anstrichmittel aus verschiedenen bituminösen Grundstoffen, das streichfertig geliefert und auf trocknen Beton aufgetragen werden muß. Verdünnung mit Terpentinöl möglich.

Widerstandsfähig gegen Salzlösungen, schwache Basen und Säuren; nicht widerstandsfähig gegen starke Säuren, Mineralöle (Benzin), Bier, Wein, Spiritus. Für Genußmittel nicht brauchbar, da Geschmacksstörung.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Betonrohre in moorigem Grund, der ungeschützten Beton geschädigt hat. Anstrich der Seeschleuse.	Der „Tiefbau“, Organ der Tiefbau- Berufsgenossenschaft. Stadtbauamt Leer i. Oldenburg.
Riesler, Filter- und Reinwasserkam- mern des Wasserwerkes Braun- schweig, welches kohlen säurehaltige Wässer verarbeitete.	Wasserwerk Braunschweig.
Sammelbehälter des Wasserwerkes Lan- dau i. Pf., welche salzarmen und des- halb ungeschützten Beton angreifen- den Wässern ausgesetzt sind.	Wasserwerk Landau i. Pfalz.

Terko. (A. Prée, G. m. b. H., Dresden, Glacisstr. 1.)

Farbloser Isolieranstrich, der in der üblichen Weise aufgebracht wird und eine Versteinerung hervorruft. Es sind zwei Lösungen notwendig, die hintereinander angewandt werden müssen. Bedarf je Quadratmeter 150 g Lösung I und 125 g Lösung II.

Ventur. (Chemische Werke Marienfelde, A.-G., Berlin-Marienfelde.)

Bituminöses Anstrichmittel, schwarz, heißflüssig in Form eines mehrfachen Anstriches aufzutragen.

Widerstandsfähig gegen Salzwässer, Laugen, Säuren, brauchbar bei Temperatur bis zu 50°. Nicht widerstandsfähig gegen konzentrierte Mineralsäuren; auch nicht brauchbar bei Temperaturen über 50° und bei Einwirkung von Ölen jeder Art.

Großraumzisternen aus Eisenbeton für Essigfabriken mit Ventur-
auskleidung, bis zu 600 hl Inhalt, haben sich bewährt.

Zimmerit, schwarz 505. (Chemische Werke Zimmer & Co., Berlin-Plötzensee, Königsdamm.)

Bituminöses schwarzes Anstrichmittel, das mit dem Pinsel oder der Spritze aufgetragen wird. Wird auch in anderer Farbe geliefert und ist frei von Steinkohlenteerprodukten.

Widerstandsfähig gegen Salzwasser, Laugen und schwache Säuren.

Bei 24stündiger Einwirkung von Wasser unter 2 und 3 Atm. Druckprobe blieb Zimmeritanstrich nach amtlicher Untersuchung dicht.

Bewährungsbeispiele:	Ausführende:
Fundamentmauern der Moschee.	Berlin-Wilmersdorf.
Fundamentmauern.	Reichsbanksiedlung Berlin.

3. Schutzschichtbildung.

Eine Klasse für sich bilden diejenigen Verfahren, welche nicht die Oberfläche des Betons verändern, sondern eine ganz neue Oberfläche herstellen. Es gehören hierzu:

1. die Betonspritzverfahren,
2. die Eironitverfahren,
 - a) das Eironitverfahren,
 - b) das Dekaferrverfahren,
 - c) das Stahlbetonverfahren,
 - d) das Brandtsche Verfahren,
3. die Plattenauskleidung.

1. Die Betonspritzverfahren:

Torkret. (Torkret Ges. m. b. H., Berlin, Potsdamer Str. 13.)

Getrennte Zuführung von Zementzuschlag und Wasser mit Preßluft.

Der Betonputz wird statt mit der Hand mit Preßluft durch einen Apparat aufgebracht, der früher Zementkanone genannt wurde. Er ist von dem Ungarn von Vass in Deutschland und ungefähr gleichzeitig und unabhängig von Akeley New York erfunden und zunächst in Deutschland (Kötschenbroda), dann in Amerika weiter ausgebildet und jetzt wieder aus Amerika eingeführt worden¹⁾. Das Torkretverfahren arbeitet mit zwei Schlauchleitungen im Gegensatz zu den anderen Spritzverfahren, die nur eine Schlauchleitung erfordern; die eine Schlauchleitung führt das Wasser dem Beton zu, während durch die andere Schlauchleitung die Mischung von Sand und Zement trocken an den Arbeitsort gepreßt wird (Abb. 37). Gut aufgebrachter Spritzbeton ist weitgehend wasserdicht und hat gute Zug-, Druck- und Haftfestigkeit. Es wurden bei Versuchen für wagerecht gespritzten Beton 461 kg Druckfestigkeit gefunden (1 : 4), während aus gleichen Materialien gestampfter Beton nur 164 kg Druckfestigkeit ergab. Bei Haftfestigkeitsfeststellung wurden für Handputz 7 kg je qcm festgestellt, bei torkretgespritztem Beton 22,7 kg je qcm.

Beim Aufspritzen von Beton entsteht stets zuerst eine zementreichere Schicht, da an der Schalung oder an dem alten Beton, auf

¹⁾ Zement 1925, S. 60.

welche gespritzt wird, anfangs nur in der Hauptsache Zement haften bleibt; die Zuschlagsbestandteile fallen zunächst als sog. „Rückprall“ ab. Ist auf diese Weise eine „Matrize“ geschaffen, so bleiben im wei-

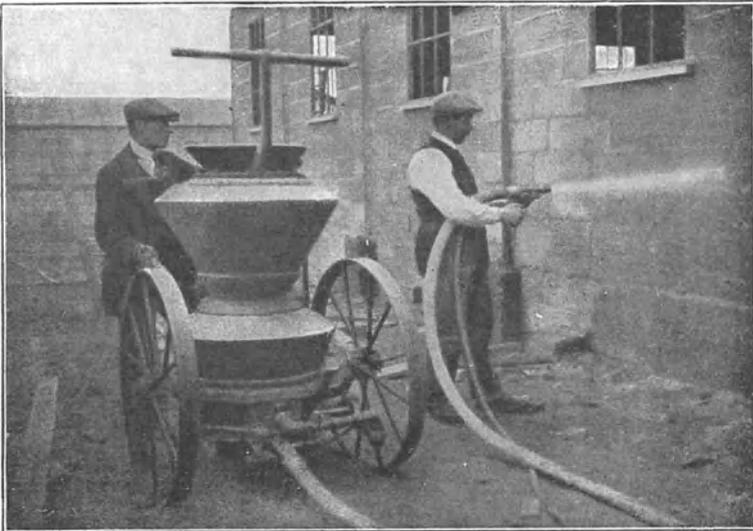


Abb. 37. Normale Zementkanone (Torkret) im Betrieb.

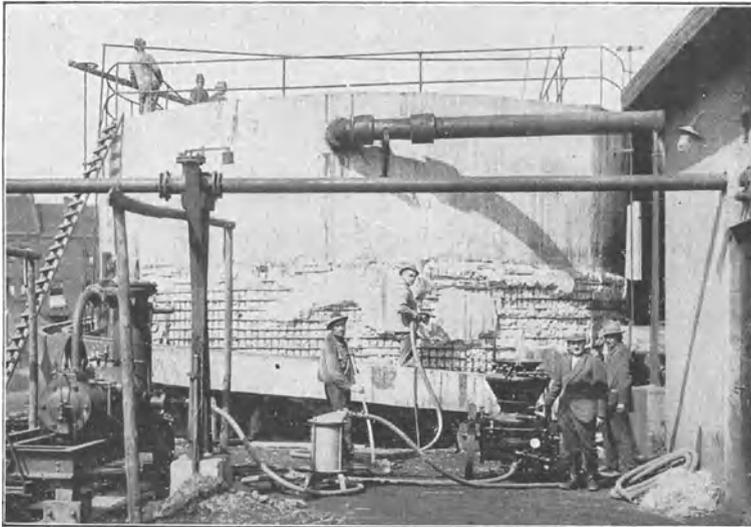


Abb. 38. Wiederherstellung beschädigter Behälter mit dem Torkret-spritzverfahren.

teren Arbeitsverlauf auch die gröberen Zuschlagsbestandteile haften. Auch der „Rückprall“ kann wieder verwendet werden¹⁾.

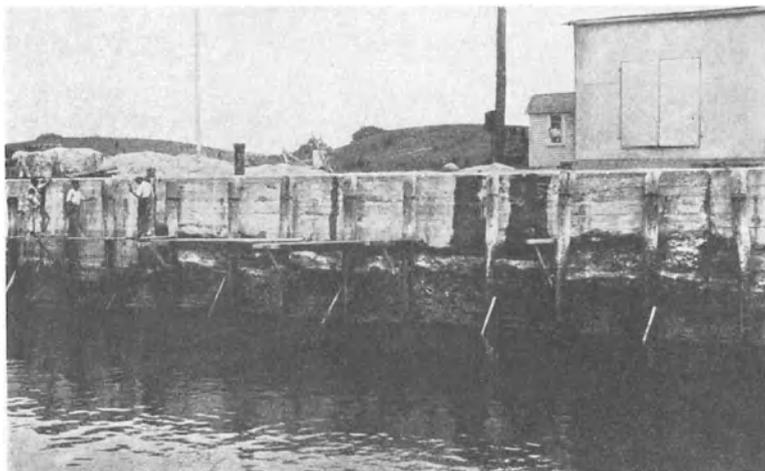


Abb. 39. Hafenmauer der U.S.A.-Flotte in Hingham zerstört durch Meerwassereinwirkung. (Wiederherstellung erfolgte durch Torkretverfahren.)

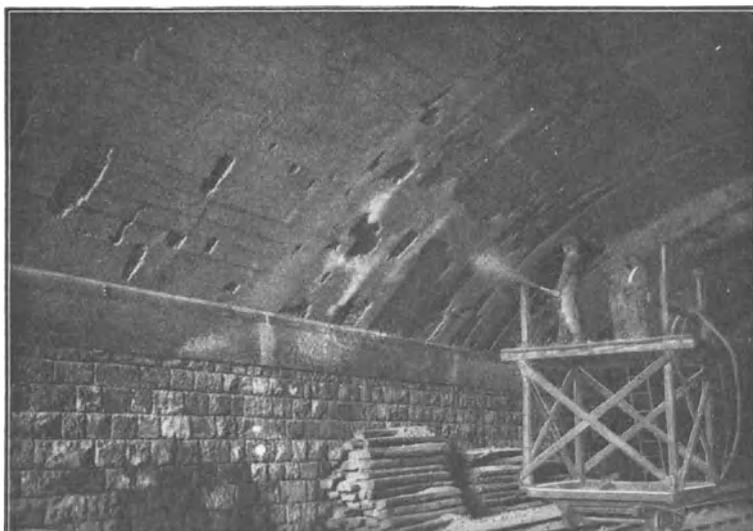


Abb. 40. Wiederherstellung beschädigter Tunneldecken (Wiener Stadtbahn) mit dem Torkretspritzverfahren.

¹⁾ Szilard, Dr.-Ing. A.: Das Torkretverfahren und seine technischen Probleme. Berlin: Julius Springer 1925.

Auf die Außenwand eines beschädigten Nordseefischkutters wurde ein bewehrter Spritzbetonpanzer aufgebracht, welcher das Gewicht nur unwesentlich vermehrte.

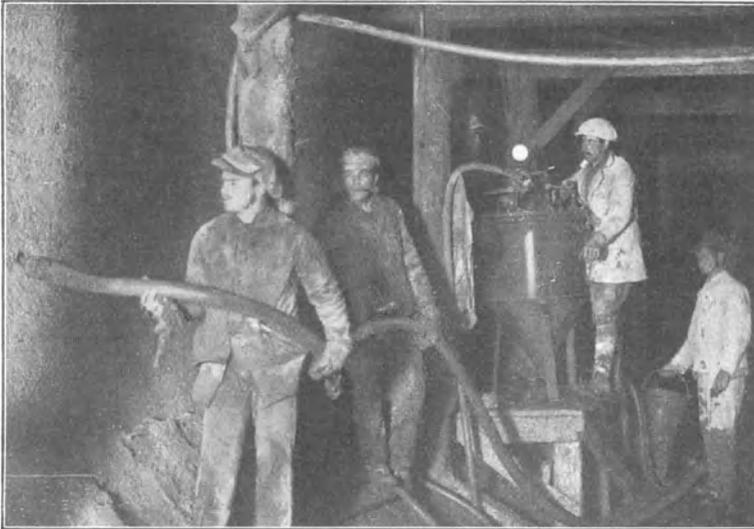


Abb. 41. Einpressen von Beton mit dem Torkret-Zement-Injektor.

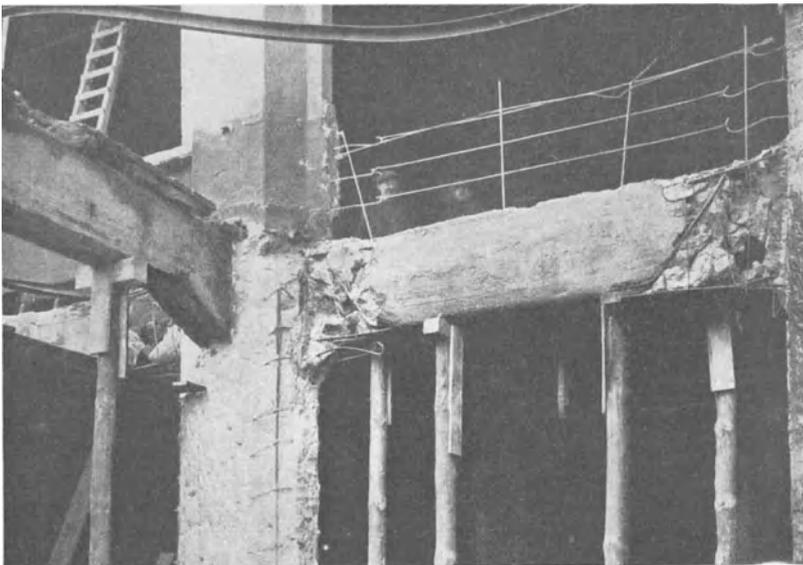


Abb. 42. Zerstörung durch Feuer in der ausgebrannten Schokoladenfabrik „Sarotti“ Berlin. Wiederherstellung fand statt durch Betonspritzverfahren (Torkret und Moserkraftbau).

Am Hafendamm von Lynn (Massachusetts) wurde 1912 bei Reparaturarbeiten ein Teil des Betons mit Torkret eingekleidet. 1922 waren die eingekleideten Teile völlig unversehrt, die nicht torkretierten Beton-
teile dagegen waren durch die Meerwassereinwirkung tiefgehend zerstört, auch die 80—50 cm starke ungeschützte Bodenplatte war völlig verschwunden. (Siehe auch Abb. 39.)

Neuerdings werden auch Eisenkonstruktionen gegen die Einwirkung der schwefligen Säure, von Rauchgasen und der Luft durch Torkretierung geschützt (Willamette bei Oregon, Straßenüberführung Berlin-Lichtenberg), da andere Schutzmaßnahmen nicht möglich waren oder keinen Erfolg hatten. Auch beschädigte Behälter (Abb. 38) (Emscher-Genossenschaft) und durch Rauchgase abgegriffene Tunneldecken wurden durch Torkretierung mit Erfolg wieder hergestellt. (Abb. 40.)

Bei Versuchen des Materialprüfungsamtes Dahlem zeigten mit der Zementkanone hergestellte Würfel durchweg bessere Beständigkeit als gestampfte Würfel in folgenden Lösungen:

- 2% Natronlauge,
- 10% „
- 2% Ammoniaklösung,
- 10% „
- 1/2% Essigsäure,
- 1/2% Schwefelsäure,
- 1/2% Salpetersäure,
- 1/2% Salzsäure,

schwefligen Dämpfen und heißem Wasser. Lagerdauer 3—9 Monate.

Die Widerstandsfähigkeit des Torkretputzes gegen aggressive Lösungen übertrifft die eines normalen Putzes nur insofern, als er dichter als mancher Handputz ist. Natürlich hergestellter Handputz kann selbstverständlich ungefähr ebenso dicht wie Torkret sein; die Herstellung eines so dichten Handputzes wird aber in den meisten Fällen so teuer werden, daß Wirtschaftlichkeit ausgeschlossen ist.

Preßbeton.

Zur Einpressung von Zement in Risse und Hohlräume wird ein besonderer Zementinjektor hergestellt, mit dem beispielsweise beim Bau des Walchenseekraftwerkes umfangreiche Hinterpressungen von Zementmörtel durchgeführt wurden¹⁾. (Siehe Preßbeton.) (Abb. 41.)

Das Moser-Kraftbauverfahren. („Kraftbau“ Patentverwertungs-Ges. m. b. H., Berlin SW 61.)

Dieses Verfahren führt im Gegensatz zu dem Torkretverfahren den Mörtel gleich fix und fertig angefeuchtet an die Spritzstelle. Es benötigt infolgedessen nur einen Schlauch zur Zuführung; die Länge dieses Schlauches ist dafür dann aber auch beschränkt und darf sich nicht über eine bestimmte Länge ausdehnen, während bei dem Torkretverfahren 200 m und mehr lange Schläuche möglich sind. Das Verfahren arbeitet gleichfalls mit Preßluft²⁾.

¹⁾ Wolle, Rud.: Baustelle Walchenseekraftwerke. Siehe auch S. 33.

²⁾ Zement 1925, S. 523; Ton. 1925, S. 738.

Eine Verstopfung der Schläuche durch den leicht feucht abbindenden Beton tritt nach Angabe der Kraftbau Patentverwertungsges. nicht ein.

Nach Versuchen des Materialprüfungsamtes Lichterfelde auf der Baustelle bei Wiederherstellung der abgebrannten Sarottifabrik, die durch



Abb. 43. Zerstörung durch Feuer in der Sarottifabrik. Die Säulen sind wieder mit Bewehrungsseisen zur Aufnahme des Spritzbetons umgeben. (Moser-Kraftbau.)

die bisher genannten Spritzverfahren erfolgte (Abb. 42—44), hatte

	Druckfestigkeit je qmm	Mischungsver- hältnis
Spritzbeton nach dem Torkretverfahren	396 kg	1 : 1,9
Spritzbeton nach dem Kraftbauverfahren	325 kg	1 : 3
Handstampfbeton	191 kg	—

Die Festigkeiten der beiden gespritzten Betone waren also etwa gleich und dem handgestampften Beton erheblich überlegen. Das verdünntere Mischungsverhältnis des Kraftbaubetons läßt auf geringeren Verlust an Kies durch Rückprall, gegenüber dem Torkretverfahren, also auf Zementersparnis für das Kraftbauverfahren wenigstens beim Beginn des Spritzens schließen¹⁾.

Von Vorteil beim Moser-Kraftbauverfahren sind die kleinen in den Handel kommenden Modelle von 30 kg Gewicht und weniger. Abb. 45 zeigt die Wiederherstellung einer durch Frost und chemische Einflüsse zerstörten Betonmauer eines Wasserkraftwerkes.



Abb. 44. Durch Spritzbeton (Moser-Kraftbau) wiederhergestellte Decke in der ausgebrannten Sarottifabrik.

Letmag-Beton-Mörtelspritzverfahren. (Leipziger Tangier-Manier, Alex. Grube, A.-G., Maschinenfabrik, Leipzig-Plagwitz.)

Auch dieses Verfahren ist ein Spritzverfahren, welches gleichfalls wie das Moser-Kraftbauverfahren den Beton angefeuchtet zur Spritzdüse bringt, jedoch wird hier nicht mit Preßluft, sondern mit Gebläse gearbeitet. Der Erfolg ist ein wesentlich geringerer Kraftbedarf und ein einfacheres Arbeiten. Erfolge über dieses neueste Verfahren liegen noch nicht vor, da die Maschinen erst jetzt auf den Markt gebracht werden.

¹⁾ Dr. E. G. Friedrich: Die Wiederherstellung der brandbeschädigten Fabrik Sarotti durch das Betonspritzverfahren. Schweiz. Bauzeitung 1924, Nr. 24.

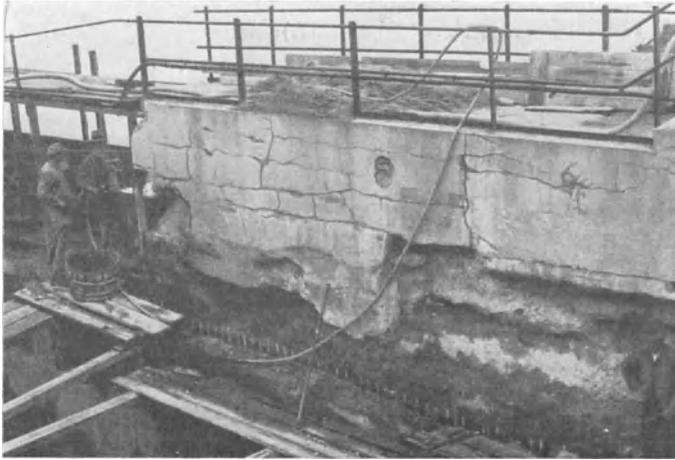


Abb. 45. Wiederherstellung einer durch Frost und chemische Einflüsse zerstörten Betonmauer eines Wasserkraftwerkes durch das Moser-Spritzverfahren.

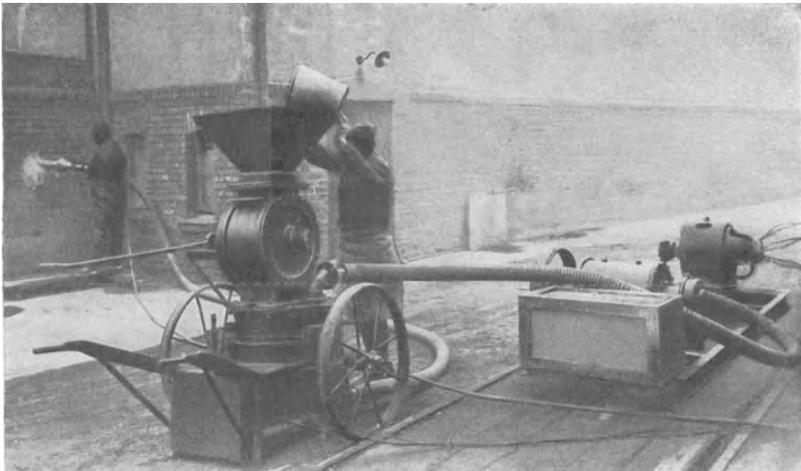


Abb. 46. Maschine zur Ausführung des Letmag-Beton-Mörtelspritzverfahrens.

2. Die Eironitverfahren.

Gemeinsam ist allen Eironitverfahren (Eironit, Dekaferr, Brandt- und Stahlbeton) der Zusatz von Eisen- oder Stahlspänen als Zuschlagsbestandteil; die Unterschiede zwischen diesen 3 Verfahren sind gering.

a) Das Eironitverfahren. (Deutsche Eironit-Ges. m. b. H., Beckum i. Westf.)

Die Oberschicht des Betons wird dadurch gehärtet, daß dem Zuschlag Stahlspäne zugesetzt werden. Auch ein Anstrich von schon bestehenden Beton mit einer Mischung von Zement und Stahl- oder Eisenspänen wird häufig durchgeführt.

Das Verfahren kam vor 15 Jahren aus Amerika (daher der Name: Iron = Eisen) und hat sich gut bewährt. Die Metallspäne werden von der Eironit-Gesellschaft Beckum i. W. geliefert, die Verarbeitung ist einfach und bedarf keiner besonderen Schulung.

Neben Öldichtigkeit bei sachgemäßer Verarbeitung ist die Hauptstärke des Verfahrens die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Betons gegen Abnutzung, die es besonders für Siloböden in Schüttsilos, für Koks-löschbühnen, Bahnhöfe geeignet macht. Bei Wasserzutritt ist natürlich infolge Rostens Verfärbung zu erwarten. Gegen Säure ist Eironitputz natürlich nicht beständig, da diese Zement und Eisen auflöst.

Bewährungsbeispiele:

40000 qm Flächen für Ölbehälter für
U-Bootöl

Ausführende:

Wayss & Freytag, Düsseldorf
Karl Brand, Düsseldorf.

b) Das Dekaferrverfahren. (Deutsche Kahneisen Ges. m. b. H., Berlin W 8, Unter den Linden 17/18.)

Das Verfahren besteht gleichfalls im Aufbringen von Stahlpulver, und zwar wird das Pulver nur da aufgebracht, wo die Hauptbeanspruchung sich befindet. Hierdurch wird ein geringerer Verbrauch des Härtematerials erzielt und Rostgefahr vermieden. (Dekaferrpulver und -härtematerial D. R. P. 294044). Auch das Dekaferrverfahren ist ebenso wie das ursprüngliche Eironitverfahren und das Kleinlogelsche Stahlbetonverfahren in erster Linie zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Betons gegen mechanische Abnutzung, nicht aber zur Erhöhung der Säurebeständigkeit geeignet.

c) Das Kleinlogelsche Stahlbetonverfahren. (Stahlbeton Prof. Kleinlogel, A.-G., Charlottenburg 1, Kantstr. 50.)

Eine andere Form des Eironitverfahrens ist die Arbeitsweise, für welche neuerdings ein bestimmtes Mischungsverhältnis der Stahlspäne in bezug auf Korngröße geschützt wurde. Natürlich können die Stahlspäne auch mit ebenso gutem Erfolg in einem anderen geeigneten Mischungsverhältnis angewandt werden.

Alle 3 Verfahren wurden in zahlreichen Fällen für die Trichterwände von Kohlen- und Erztürmen, für Fußböden von Maschinenhallen usw. zur Erhöhung von deren Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung benutzt.

d) Das Verfahren der Firma Carl Brandt [D. R. P. 313 191¹⁾].
(C. Brandt, Hamburg.)

Das Verfahren ist eine Arbeitsweise, welche heiße Fluatierung mit Eironit-Auskleidung und späterer Plattenaufgabe vereinigt. Zunächst

¹⁾ Zement 1920, S. 528.

wird nach dem Verfahren der Beton bei 50° fluatisiert, darauf wird nochmals mit kochender Fluatlösung angestrichen. Auf den so vorgeschützten Beton wird Eironit aufgebracht und schließlich die Eironitschicht mit Fliesen bekleidet. Die Fugen werden auch in der vorgeschriebenen Weise geschützt.

Bei Versuchen von Calamé wurden Betonstücke 3 Monate lang bei 100° in einem Gemisch gelagert, welches aus Petroleum, Olivenöl, Karbolsäure, konzentrierter Schwefelsäure bestand; trotz der außerordentlichen Gefährlichkeit dieses Gemisches — auf andere Weise hergestellte Betonstücke wurden zerstört — haben sich die nach dem Brandtschen Verfahren geschützten Betonstücke unverändert gehalten. Auch Versuchsbehälter, die auf 80° erwärmt wurden und mit Steinkohlenteeröl und Braunkohlenteeröl gefüllt waren, wurden nicht angegriffen. Praktisch wurde das Verfahren bei Ölbehälteranlagen für U-Bootöl verwendet.

3. Die Plattenauskleidung.

Plattenschutz wird stets dann angewandt, wenn stark aggressive Lösungen zur Einwirkung auf den Beton gelangen. In weniger gefährlichen Fällen genügt eine Klinkerauskleidung, beispielsweise beim Schutz von Fundamenten gegen aggressive Grundwässer, wobei zweckmäßigerweise die Vermauerung je nach der Art der einwirkenden Lösung mit säurefestem Zement erfolgen kann (Lieferant: Rößler, Bensheim). Auch Verstreichen der Fugen in Kitt kommt in Betracht. (Securit, Stellawerk A.-G. vorm. Wilisch & Co., Berg.-Gladbach.)

In schwierigen Fällen, beispielsweise für Abwässerkanäle in chemischen Fabriken, kommt eine Verkleidung mit Sandsteinplatten oder mit Knauffschen Platten der Steinzeugwarenfabrik in Friedrichsfeld b. Mannheim in Betracht¹⁾. Auch hier ist für guten Fugenschutz zu sorgen, da beispielsweise die Knauffschen Platten in dem Kanal einer chemischen Fabrik durch die in die Fugen eingetretene aggressive Flüssigkeit zum Abfallen gebracht worden sind. Bei den keramischen Platten handelt es sich um Steinzeugplatten, welche bei hoher Temperatur gebrannt wurden. Sie werden in vielen Formen auch mit Solestücken geliefert²⁾. Bei Kanälen kann die Verlegung gleichzeitig mit der Herstellung des Kanals oder nach Fertigstellung geschehen. Gegenüber Klinker-Mauerwerk bedeutet die Ausführung, beispielsweise von Kanälen in Beton, mit Auskleidung von Klinkerplatten eine Ersparnis¹⁾.

Für Innenauskleidung von Säurebehältern ist Schutz durch doppelte bis 3fache Plattenlage notwendig, um bei evtl. Undichtigkeit, die in einer Fuge auftreten kann, das Vordringen der Flüssigkeit zur Betonwand zu verhindern.

Glasplatten, Glastafeln (Borsarie & Co., Zürich) müssen entsprechend rau sein und sehr vorsichtig verlegt werden. Man kann mit voller Berechtigung sagen, daß bei zweckmäßiger Verkleidung mit Glasplatten

¹⁾ Lorey, F.: Handb. f. Eisenbeton, 3. Aufl., 5. Bd., S. 336.

²⁾ Steinzeugwarenfabrik, Friedrichsfeld b. Mannheim; Rheinische Steinzeugwerke, Köln a. Rh.

oder bei starken Säuren mit doppeltem oder 3fachem Belag von säurefesten Platten in säurefestem Kitt, Betonbehälter für jeden Zweck, auch für starke Säuren, verwendet werden können.

Die einzelnen Auskleidungsarten,

Aluminiumplatten.

Auch Aluminiumplatten können zur Verkleidung von Beton verwendet werden. Sie sind aber dann gegen alkalische Einwirkungen des Betons zu schützen, da das Aluminium empfindlich ist gegen Alkali.

Bockhorner Klinker.

Bockhorner Klinker werden hauptsächlich zum Verblenden von Fundamenten, die schädlichen Einflüssen ausgesetzt sein können, verwendet oder aber zum Ausmauern sehr großer Bassins. Bei Einflüssen starker Salzlösungen mit schädlichen Bestandteilen, bei Ölen usw. muß dafür gesorgt werden, daß die Fugen entweder ganz mit säure- oder ölfestem Kitt gefüllt werden oder daß ein säurefester Zement verwendet wird. In manchen Fällen genügt ein Mauern mit gewöhnlichem Zement und Überstreichen der Fugen mit säure- oder ölfestem Kitt. Bockhorner Klinker sind nach Versuchen des Verfassers weitgehend säure-, salz- und ölbeständig: auch ihre Laugenbeständigkeit ist recht gut. Andere hochgebrannte Klinker können dieselben Dienste wie Bockhorner Klinker leisten.

Ebonverkleidung. (Borsarie & Co., Zürich.)

Die Ebonverkleidung ist eine Asphaltplattenmasse, die in Platten geliefert wird, welche an den Rändern verschmolzen werden. Sie bilden dann eine fugenlose Masse, ein zweites Gefäß im Gefäß. Sie kommen wegen ihres Preises für allzugroße Behälter oder Kanäle nicht in Betracht.

Bewährungsbeispiel:

Als Wandbekleidung haben sich Ebonplatten für Gärgefäße in der Holstenbrauerei in Altona (Besichtigung des Verfassers) sehr gut bewährt.

Dornkaatverfahren.

Auch dieses kommt hauptsächlich für Gärgefäße in Betracht, deren Inneres mit Streckmetall bespannt wird, worauf dann der Beton mit der Schutzmasse bedeckt wird.

Glasverkleidung. (Borsarie & Co., Zürich.)

Die Glasverkleidung wird hauptsächlich für Weinbehälter verwendet: für Biergärgefäße eignet sie sich nicht.

Bewährungsbeispiel:

Zahlreiche Weinbehälter besonders in Spanien und Italien.

Knauffsche Platten. (Steinzeugwarenfabrik Friedrichsfeld bei Mannheim.)

Die Platten bestehen aus sehr hochgebranntem glasierten Ton, demselben Material, wie es für Kanalröhren in dunkelrotbrauner Farbe stets verwendet wird. Die Platten selbst sind vollkommen

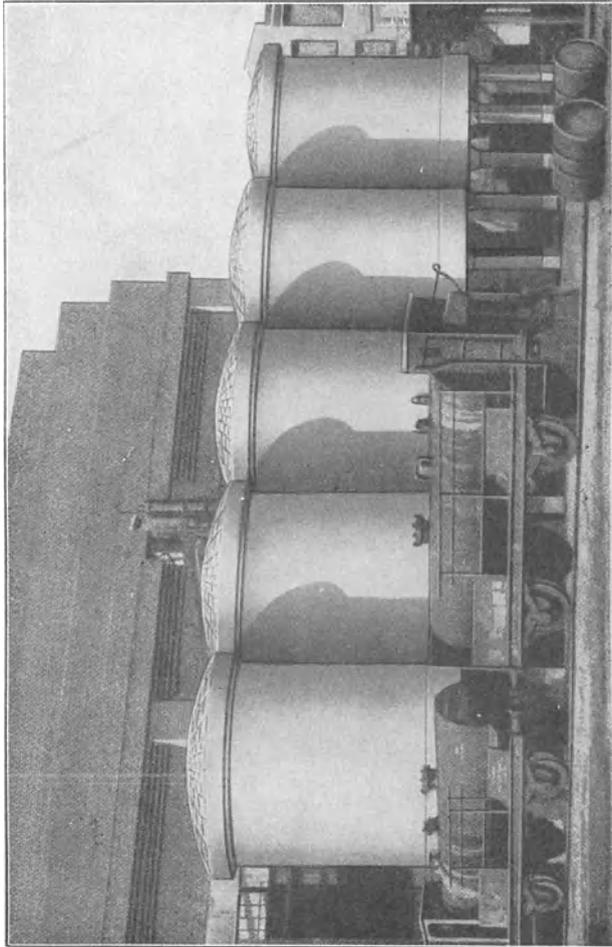


Abb. 47. Betonbehälter zur Aufnahme starker Säure (Mischsäure), ausgekleidet mit Stellplatten.

säure- und ölfest. Von Wichtigkeit ist aber bei ihrer Verlegung die völlige Ausfüllung der Fugen mit einem säure- oder ölfestem Kitt, um ein Zutreten der schädlichen Flüssigkeit zum Beton zu verhindern.

Stellawerk. (Stellawerk A.-G. vorm. Wilisch & Co., Berg.-Gladbach.)

Die Auskleidungsweise der Stellawerke ist ein hauptsächlich für chemische Fabriken geeignetes Verfahren, welches imstande ist, Beton-

behälter gegen jede Art von Einwirkung von Flüssigkeiten oder Gasen, auch gegen sehr starke Säuren bei hoher Temperatur, zu schützen. Es werden Steinplatten, die dicht gesintert, aber an der Oberfläche nicht glasiert, deshalb rauh und etwas porös sind, gewöhnlich in doppelter Lage mit verschobenen Fugen verlegt, und zwar in säurefestem Kitt, so daß ein Durchdringen der Säure zu dem Behälter ausgeschlossen ist. Auch Schutz von Eisenbehältern ist in dieser Weise möglich.

Bewährungsbeispiele:

Betonbehälter in einer chemischen Fabrik zur Aufnahme von je 150 cbm Mischsäure (3fach) (Abb. 47).
Beizbehälter für Verzinnerei.

Essigkeller zur Aufnahme von Essig in einer Essigfabrik, ausgekleidet mit Stellaplatten, doppelt (Abb. 48).

Zellulosekocher wurde in der Weise geschützt, daß zunächst 5 cm starker Torkretputz in deren Innern aufgebracht und darauf die Stellaplatten verlegt wurden.

Bei 60 m hohen Neutralisationstürmen aus Beton wurde zunächst Torkret aus Tonerdezement auf eine Asphaltlage aufgebracht und schließlich auf diese die Platten verlegt.

Ausführende Firma:

Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co., Leverkusen.

Schnellessigwerk.

Zellstoffabrik.

Bad. Anilin- und Soda-Fabrik.

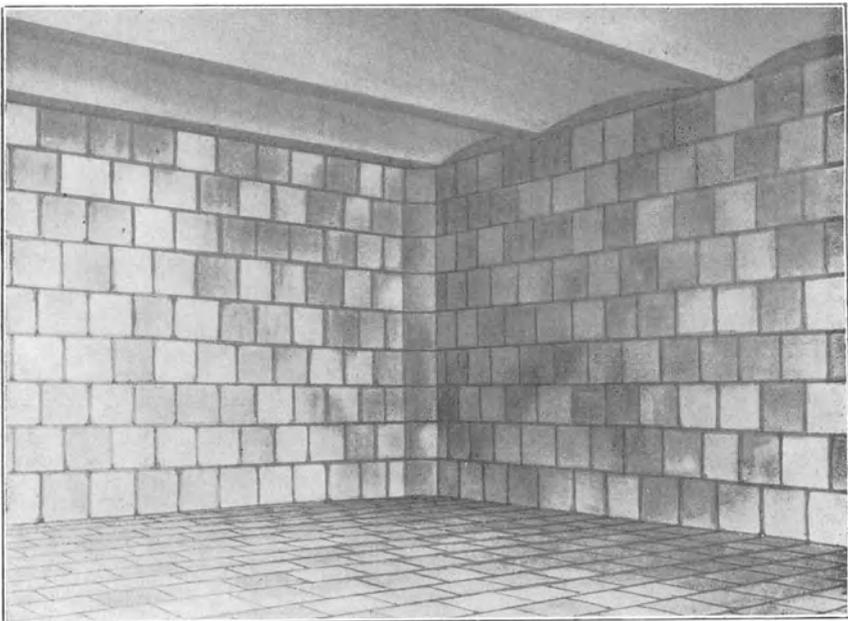


Abb. 48. Essigkeller, ausgekleidet mit Stellaplatten.

Übersicht über sämtliche Schutzmittel.

Text siehe folgende Seite.

(Die Betonspritzverfahren, die Eironitverfahren — Eironit, Dekaferr, Stahlbeton, Brandt — sowie die Plattenauskleidung sind nur im Text behandelt.
Siehe Seite 154.)

Tabelle 33. Übersicht über die Mörtelzusätze, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise.

Name	Hersteller	Ort	Art	Zusammensetzung	Wirkung, ob dichtend oder auch wasserabweisend	Beständig bis zu einer Temp. von	Dicht bis zu einem Wasserdruck von	
Äternol-Mörtelzusatz D.R.P. a.	Gewerkschaft Claudius	Duisburg, Hansastr. 40.	Paste	Wasserabstoßende organische Salze	dichtend und wasserabweisend	150° C	12 Atm. u. höher	
Antaquid	Deutsche Kahneisen G. m. b. H.	Berlin W 8	Flüssigkeit, dick	unbekannt	dichtend	150° C	mind. 12 Atm.	
Awa-Mörtelzusatz	A. W. Andernach G. m. b. H.	Beuel a. Rh.	teigartige Masse	verseifte Fettsäuren und Calciumverbindungen	dichtend und wasserabweisend	120° C	10 Atm. u. mehr	
Axolin	K. Th. Herrmann, Ziv.-Ing. B. D. C. I. V. D. A. Z.	Langen b. Frankfurt a. M.	wasserlös. Pulver	unbekannt, härtet den Beton	gleiche Dichtigkeit wie bei Zement	je nach Zuschlagsstoff b. z. Rotglut;	wie bei Portland-Zement	
Biber	Biberwerk G. m. b. H. Gesamt-Vertrieb: Gust. A. Braun	Düsseldorf Köln a. Rh.		Bitumen-Emulsion	dichtend und wasserabweisend	90° C	20 Atm. u. mehr	
Ceresit	Wunnersche Bitumenwerke G. m. b. H.	Unna i. W.	breiartige Masse	Bitumen-Emulsion D. R. P.	dichtend und wasserabweisend	—	—	
Guarnol	K. Th. Herrmann Ziv.-Ing. B. D. C. I. V. D. A. Z.	Langen b. Frankfurt a. M.	Flüssigkeit	unbekannt	wasserdichtend	300° C	bis 10 Atm.	
Heimalol	Heimalol G. m. b. H.	Datteln i. W.	dickflüssig	Emulsion unbek. Zusammensetzung	dichtend und wasserabweisend	—	—	
Lugato	Dr. Büchtemann & Co. G. m. b. H.	Hamburg I	dickflüssig	Fluat.	dichtend und wasserabweisend			
Phlopor	A. Préen, G. m. b. H.	Dresden	—	wasserabstoßende Salze	dichtend und wasserabweisend	unbegrenzt	—	
Pollux	Pollux-Werke	Eupen	—	—	dichtend	—	—	
Prolapin-Mörtelzusatz	H. Hauenschild	Hamburg I Chillehaus	dickflüssig	unbekannt	dichtend	—	bis 10 Atm.	
Securitol	Securit-G. m. b. H.	Mannheim	Flüssigkeit	Silikat.	dichtend	600° C	ca. 5 Atm.	
Siccifix	Es werden nur fertige Siccifixzemente geliefert			bituminös	dichtend	—	—	
Sika	Kasp. Winkler & Co. G. m. b. H.	Durmmerheim i. Bad.	—	bituminös	dichtend und wasserabweisend		6 Atm. u. mehr	
Soliditit	Deutsche Soliditit-Centrale	Köln i. Raderthal	Angaben jeder Art wurden verweigert					
Zechit	Knüppel & Co. G. m. b. H.	Essen	—	Gemahlener Zechstein u. Zement		unbegrenzt	4 Atm.	

Die Mörtelzusätze scheiden sich in solche bituminöser Natur und fluatartige oder silikatartige Zusätze.

Die bituminösen Zusätze machen den Mörtel wasserabweisend. Sie erhöhen durch Zurückstoßen des Wassers in gewissem Umfange die Beständigkeit des Betons dadurch, daß sie diesen vor dem Eintritt der schädlichen Lösung bewahren, solange sie selbst nicht zerstört werden. Gegen Salze und verdünnte Säuren haben sie eine recht weitgehende Beständigkeit, von starken Laugen werden sie bald zerstört; ebenso werden sie von Öl aufgelöst. Infolgedessen vermögen sie, da sie selbst ölhaltiger Natur sind, den Beton vor dem Eindringen des Öls nicht zu schützen.

Die fluatartigen und silikatartigen Zusätze sind nicht wasserabweisend, sie dichten den Beton mechanisch durch Abscheidung von Kalziumfluorid oder Silikat im Innern desselben und erhöhen dadurch, und durch die Bindung des freien Kalkes, seine Beständigkeit gegen Sulfate, schädliche Salze und verdünnte Säuren. Durch Öl werden sie nicht gelöst, erhöhen also auch in gewissem Umfange die Ölbeständigkeit, ohne aber in allen Fällen den Beton öldicht zu machen.

Die Oberfläche verändernden Anstrichmittel bestehen hauptsächlich aus Silikaten oder Fluaten, die den Beton mechanisch durch Abscheidung von Kieselsäure oder Kalziumfluorid unter gleichzeitiger Bindung des

Tabelle 34. Übersicht über die die Oberfläche verändernden Anstrichmittel, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise.

Name	Hersteller	Ort	Art	Zusammensetzung	Beständig bis zu einer Temperatur von	Dicht bis zu einem Wasserdruk von
Äternol-Tränkung	Gewerkschaft Claudius	Duisburg, Hansastr. 40	Härtungs- und Dichtungsmittel streichfertig	wasserlösliche anorganische Salze	unbegrenzt	—
Arzet	Heimalol. Ges. m. b. H.	Datteln i. W.	—	unbekannt	—	—
Betonal D. R. P.	van Baerle & Co.	Worms a. Rh.	Pulver und wäßrige Lösung	wasserlösliche Silikate organ. Salze	unbekannt	4 Atm.
Beton-Murolineum	Droese & Fischer	BerlinSW11	wäßrige Lösung	teils anorgan., teils org. Salze	50° C	2 Atm.
Conservado	Kasp. Winkler & Co. G. m. b. H.	Durmersheim i. Bad.	—	unbekannt	unbekannt	—
Durolin	Stellawerk A. G. vorm. Willisch & Co.	B.-Gladb., Bez. Köln	—	fluathaltig	beliebig	mehrere Atm.
Fluresit D.R.P.	Fluresit Industrie G. m. b. H.	Hanau a. M. u. Leipzig	—	Silikat	1500°	18½ Atm.
Lithurin M u. B (Kesslers Fluat)	H. Hauenschild	Hamburg I Chilehaus	—	Fluat	unbegrenzt	—
Lugato Fluat.	Dr. Büchtemann & Co. G. m. b. H.	Hamburg I	—	Fluat	—	—
Perfax	Henkel & Co. A. G.	Düsseldorf	staubverhind. Tränkungsmittel	hochgekieselt Na-Silikat	unbegrenzt	—
Tutorol	Dr. Haller & Co. A. G.	Hamburg39	lösl. Salz staubverhindernd	Kieselfluorid	unbegrenzt	—

Tabelle 35. Übersicht über die aufliegenden Anstrichmittel, deren Hersteller, Beschaffenheit und Anwendungsweise.

Name	Hersteller	Ort	Art	Zusammensetzung	Widerstandsfähig gegen:			Art der Auftragung	Beständig b. z. einer Temp. von ¹⁾	Dicht bis zu einem Wasserdr. von ¹⁾
					Fette ¹⁾	Teeröl ¹⁾	Spiritus ¹⁾			
Äternol-Anstrich	Gewerkschaft Claudius	Duisburg, Hansastr. 40	Asphalt-haltiger Anstrich	Säurefeste Bitumen	+	—	0	kalt oder heiß	80° C	20 Atm.
Awa-Asphalt E.S.F.	A.W. Andernach, G. m. b. H.	Beuel a. Rh.	Asphalt	säurefeste Bitumina u. Mineral.	+	—	+	in heiß geschm. Zust.	60° C	15 Atm.
Awa-Asphalt E.S.F.H.	dto.	dto.	Asphalt	säuref. Bitumina u. Mineral.	+	—	+	in heiß geschm. Zust.	90° C	15 Atm.
Awa-Isolierlack	dto.	dto.	Lack, kalt streichbar	säuref. Bitumina, Mineral. u. Lösungsmittel.	0	—	0	mit Pinsel kalt aufstr.	50° C	0,5 Atm.
Degronit	Degronitwerke G. m. b. H.	Altona	Lack, kalt streichbar	nicht teerhaltig	+	0	0	Streichen od. Spritzen	0	0
Emaillit	D.F. Weber, A. G.	Leipzig-Plagwitz	Anstrichfarbe	unbekannt	+	0	0	Streichen od. Spritzen	0	0
Igas	Kasp. Winkler & Co. G.m.b.H.	Durmersheim i. Bad.	Anstrich, Kitt	nicht teerhaltig	+	0	+	Anstrich	0	0
Igol	dto.	dto.	0	nicht teerhaltig	0	0	0	Streichen od. Spritzen	0	0
Inertol	Paul Lechler	Stuttgart	Anstrich	bituminös	—	—	—	kalt aufzutragen	80°	15 Atm.
Kerament-Kalt-Glasur	Kerament- & Kunststeinwerke C. H. Jerschke, A.-G.	Breslau X	Glasur	D.R.P. 298 378	—	—	+	—	100°	10 Atm.
Mammut (Ventur)	Chem. Werke Marienfelde, A.G.	Berlin-Marienfelde	0	schmelzbare feste Masse	—	—	+ bis 50 %	heißflüssig	ca. 60°	unbekannt
Margalit	Margalit-Ges.	Obercassel (Siegkreis)	Imprägnierg. u. Anstrich	spiritushaltiger Lackanstrich, ähnl. Bernstein	+	+	—	Anstrich	70°	3 Atm.
Nigrit	Rosenzweig & Baumann	Kassel	asphalt-art. Anstr.	teerhaltig	—	—	+	2—3 mal aufzutragen	0	0
Orkit	H. Hauenschild.	Hamburg I Chilehaus	0	Bitumen, schwarz	—	—	—	—	40°	unbekannt
Porsal	Deutsche Kahn-eisen G.m.b.H.	Berlin W 8	Flüssigkeit	unbekannt	0	0	0	Pinsel-anstrich	150°	0
Preolit	A.Prée, G.m.b.H.	Dresden	Asphaltpräparat	Asphalte in Benzol	—	—	—	2—3 mal kalt	80°	0
Purizo	Kasp. Winkler & Co. G.m.b.H.	Durmersheim i. Bad.	0	bituminöser Anstrich	+	0	0	—	0	0
siderosthen-Lubrose	A. G. Johannes Jeserich	Charlottenburg	schwarzes Anstrichmittel	Bitumen in geeigneten Lösungsmitteln	—	—	0	Streichen, Tauchen, Spritzen	300°	0
Ventur	Chem. Werke Marienfelde, A.G.	Berlin-Marienfelde		siehe Mammut						
Zimmerit, chwarz 505	Chem. Werke, Zimmer & Co.	Berlin-Plötzensee	0	bituminös	0	0	0	Anstrich	0	0

¹⁾ Angaben der Fabrikanten.

Es bedeutet: + widerstandsfähig, — nicht widerstandsfähig, 0 nichts bekannt.

freien Kalkes dichten. Sie erhöhen infolgedessen in gewissem Umfange die Wasserundurchlässigkeit des Betons, ohne ihn aber wasserabweisend zu machen. Infolge des dichteren Gefüges und der Bindung des freien Kalkes wird der Beton gleichzeitig beständiger gegen Sulfate, andere schädlichen Salze und verdünnte oder schwache Säuren. Auch die Öldichtigkeit wird erhöht, da das Öl den Fluatanstrich usw. nicht zu lösen vermag. Bisweilen werden auch seifenhaltige oder ölhaltige Anstriche verwendet (Arzet, Lithurin *E*).

Die aufliegenden Schutzanstriche bestehen entweder aus bitumenhaltigen asphaltähnlichen Präparaten, oder aus Kunstharzen u. dergl. Sie sind aus diesem Grunde ohne weiteres beständig gegen Sulfate und sonstige Salze; auch gegen schwache Säuren ist ihre Beständigkeit im allgemeinen recht groß. Schwache Laugen vermögen im allgemeinen nicht zu wirken, stärkere Laugen zerstören die Anstriche. Öle und Fette beeinflussen die Anstriche ganz verschieden, ebenso Spiritus. Die diesbezüglichen Verhältnisse sind in der Tabelle eingetragen. Aus den Eintragungen geht hervor, daß als teerölfester Anstrich vor allen Dingen das Margalit gelten kann, welches sich aber im Spiritus löst. Gegen Spiritus (Alkohol) ist nach Angabe nur Awasphalt, Igol, Mammut und Nigrit beständig.

Wiederherstellungsarbeiten und Schutzmaßnahmen bei Flüssigkeitseinwirkungen.

Werden an einem Bauwerk aus Beton Schäden festgestellt, so ist als erste Maßregel die Ursache für die Erscheinung festzustellen.

1. Art und Aussehen der Schäden.

Abstandungen, Rauhwerden des Betons lassen auf Säurewirkung schließen.

Wachsen des Betons, Treibrisse, mit nachträglichem Zerfall zeigen Sulfatlösungen an, die ja stets zu Raumvergrößerungen führen. Auch Magnesiumchlorid kann in dieser Weise wirken.

Mürbwerden, Zerbröckeln ist in der Regel die Folge der Einwirkung anderer Salze als Sulfate, also z. B. Ammoniumchlorid, Zucker usw. Auch Fette wirken so, können aber auch zu Treiberscheinungen führen.

Rosten der Eisen, Abspaltungen des Betons durch die dadurch eintretende Vergrößerung bei guten Festigkeiten und gutem Erhaltungszustand des Betons lassen auf undichten Beton oder Elektrizitätseinwirkung schließen.

Bei Säureeinwirkung ist analytisch stets Kalkverarmung des Betons festzustellen.

Sulfateinwirkung führt zu gleichfalls analytisch leicht feststellbarer Sulfatanreicherung des Betons. Auf dem Beton scheidet sich, hauptsächlich bei Magnesiumsulfat, eine schleimige Masse von kolloider Tonerde und Magnesiumhydrat ab.

Andere Salze lassen gleichfalls im Beton ihre Spuren, die der Chemiker leicht feststellen kann, zurück; beispielsweise wurde in durch Manganspat geschädigtem Beton Mangan festgestellt.

Die Maßregeln zur Erhaltung des Bauwerkes haben sich natürlich ganz nach den wirkenden Einflüssen und den Umständen zu richten.

2. Maßnahmen zur Erhaltung.

Eine Abschließung von der angreifenden Lösung ist zuerst unbedingt notwendig.

Zunächst hat dann die Entfernung der in dem Beton noch befindlichen schädlichen Flüssigkeitsreste zu erfolgen; zu diesem Zweck ist nach Entfernung der beschädigten Teile eine gründliche Durchspülung nötig, die wohl immer in irgendeiner Weise durchgeführt werden kann. Ist Sulfat-, Magnesiumchlorid-, Schwefelsäure- oder Öleinwirkung die Ursache der Zerstörungen gewesen, so muß vor Instandsetzung des Bauwerkes eine Wartezeit eingehalten werden. Denn die in dem Bauwerk befindlichen, bereits dem Beton chemisch angelagerten also durch Waschen und dergleichen nicht entfernbaren Salzreste vermögen auch nach Waschen und nach Aufhören des Salzzuflusses Treiben auszulösen. Mohr und Goebel¹⁾ haben noch nach 3 Monaten solche nachträglichen Zerstörungen festgestellt. Nach dieser Wartezeit kann die Aufbringung eines Teerpappen- oder Plattenbelages, Schutzanstriches u. dgl., der sich nach der einwirkenden Flüssigkeit zu richten hat, stattfinden. Ist ein Schutz des Bauwerkes durch derartige Ummantelung aus irgendwelchen Gründen (Größe des Bauwerks, örtliche Verhältnisse, Bodensenkungen durch Bergbau) ausgeschlossen, so kann die Fernhaltung der Flüssigkeit (es handelt sich dann meist um Grund- oder Sickerwasser) durch Absenkung des Grundwasserspiegels erfolgen; oder der Druck, welcher das Wasser in das Bauwerk preßt, kann aufgehoben werden; beispielsweise hat die Emschergenossenschaft einen durch sulfathaltiges Sickerwasser einer überliegenden Halde geschädigten und weitergefährdeten Kanal dadurch zu retten vermocht, daß sie den Kanal durch Anbringung eines Knies dauernd voll Wasser hielt. Dadurch wurde das weitere Eindringen des schädlichen Wassers durch die Wand des Kanals durch den Überdruck im Kanal verhindert.

3. Wiederherstellungsarbeiten und Schutzmaßnahmen.

Bei weitgehenden Zerstörungen, die Reparaturen notwendig machen, ist der mürbe Beton bis tief in den gesunden Kern zu entfernen, der Rost der Eisen ist gleichfalls bis auf das feste Eisen zu beseitigen (Stahlbürsten, Sandstrahlgebläse) und nun ist zunächst, falls Treiberscheinungen zu erwarten sind (siehe oben), die Wartezeit einzuhalten. Darauf kann der neue Beton angesetzt werden.

Die Verbindung mit dem alten Beton kann in bester Weise hergestellt werden durch eiserne Dübel, welche in den alten Beton versenkt und mit dem neuen Beton umgeben werden. Gutes Entfernen allenfallsigen Staubes und Annässen vor Aufbringen des neuen Betons ist Bedingung. Ganz unzuweckmäßig ist das häufig empfohlene Einschlämmen mit Zementmilch. Verfasser fand bei Versuchen, wie sich die lästige Arbeitsfuge, die stets Angriffspunkt für alle möglichen Schädigungen

¹⁾ Bauing. 1925, S. 284, 294.

ist (Undichtigkeit, Salzwasserangriff, Bruch bei Überbeanspruchung: Explosion in Oppau), möglichst unschädlich machen läßt, beste Wirkung einbetonierter kurzer Eisenstifte, gute Wirkung tagelangen Wässerns des alten Betons, dagegen schlechte Wirkung aufgetragenen Mörtels oder Zementmilchanstriches vor dem Neubetonieren.

In den amerikanischen Vorschriften für Putzdecken ist für Arbeitsfugen in langen Gebäuden eine besondere Bewehrung vorgeschrieben, die zu der Fuge rechtwinklig verläuft und nach beiden Seiten sich ge-



Abb. 49. Entfernung von durch Sulfatwirkung beschädigtem Beton durch Lufthammer bis tief in den Kern vor Aufbringung des neuen Betons. (Aufnahme Goebel, Ludwigshafen).

nügend weit ausdehnt. Der Querschnitt der Bewehrung soll nicht geringer sein als 0,5% des durch die Fuge unterbrochenen Betonquerschnittes¹⁾.

Auch beim Straßenbau wird in Amerika nicht mehr abgeböschet, sondern der alte Beton senkrecht aufhören gelassen, in denselben aber 1 m lange Verbindungseisen, die in den neuen Beton hineinreichen, eingelassen²⁾.

Selbstverständlich ist auch der neue Beton mit Eisengeflechten zusammenzuhalten und an dem alten Beton zu verankern. Besonders bei Ummantelungen von Pfeilern u. dgl. sind diese Geflechte, bei denen die Eisen weitgehend aufgeteilt sein müssen, von Wichtigkeit, um Reißen der Ummantelung zu verhindern.

¹⁾ Beton und Eisen 1924, S. 301.

²⁾ Kleinlogel, Prof.: Nordamerikanische Betonstraßen. Zement 1925, S. 487.



Abb. 50. Umgebung eines durch Salzwasserwirkung beschädigten Fundaments nach Entfernung der mürben Anteile mit einem Drahtgeflecht vor Aufbringung des neuen Hochfenzementbetons (Aufnahme Goebel, Ludwigshafen).

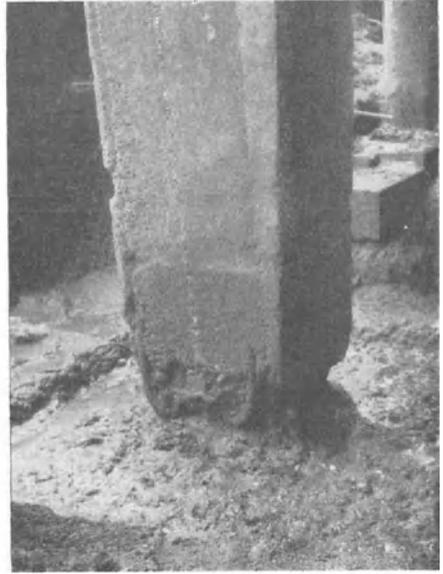


Abb. 51. Durch frühzeitige Überflutung mit salzhaltigem Grundwasser beschädigter Betonpfeiler.



Abb. 52. Umschnürung des nach Abb. 51 beschädigten Pfeilers mit Bewehrungsseisen.

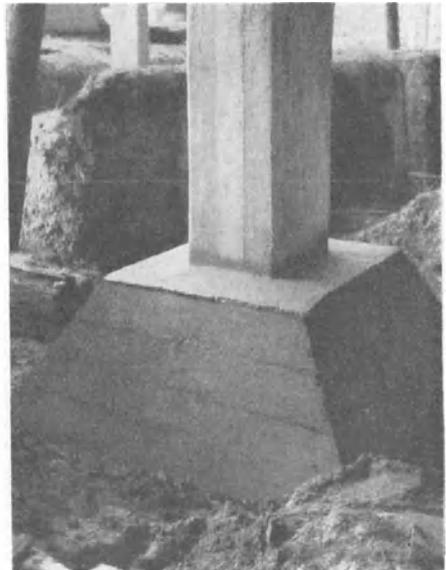


Abb. 53. Wiederhergestellter Pfeiler der Abb. 51.

Abb. 49 zeigt die Entfernung schlechten Betons bis tief in den guten Kern bei einem teilweise zerstörtem Fundament¹⁾.

Abb. 50 gibt die Ummantelung des guten Kernes des Fundamentes nach Einhaltung der Karenzfrist vor Aufbringen des Betons wieder¹⁾.

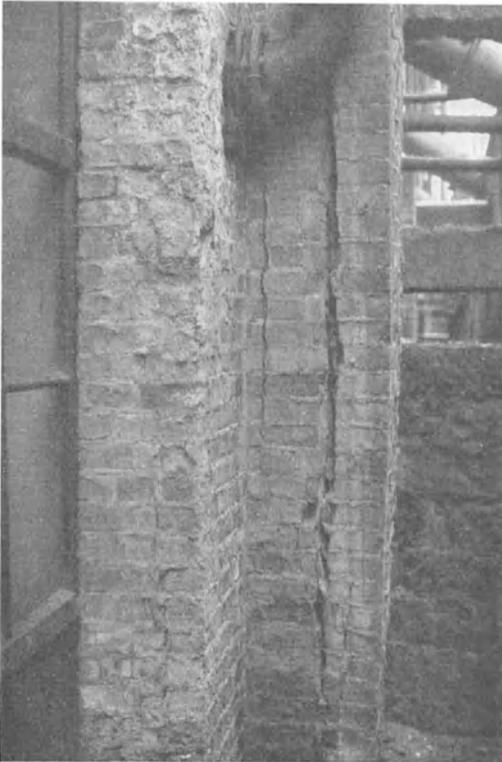


Abb. 54. Wiederherstellung eines zerstörten Mauerwerkpfilers. (Aufn. Ob.-Ing. Goebel, Ludwigshafen.)

Mauerwerkpfiler können mit Erfolg nach Entfernung der zerstörten Oberschicht durch Betonverkleidung gerettet werden¹⁾.

Als Schutz kommen die bei Besprechung der einzelnen Lösungen angeführten Maßnahmen in Betracht. Außerdem kann nach Lehmumstampfung in besonders schweren Fällen Verlegen von teerbehandelten Sandsteinplatten, deren Fugen mit Asphalt ausgegossen werden, in Betracht kommen¹⁾.

¹⁾ Prof. Dr. Mohr: „Über die Einwirkung von Ammonsalzlösungen auf Beton“. Dipl.-Ing. Herm. Goebel: „Zerstörung von Betonbauten durch chemische Angriffe und konstruktive Abwehrmaßnahmen.“ Bauingenieur 1925, S. 284 u. 294. Diese Arbeiten bieten eine Fülle von praktischen Beispielen über durchgeführte und bewährte Maßnahmen und Reparaturen und können nicht genug zum Studium empfohlen werden.

In Amerika hat sich neuerdings, ebenso wie auch schon in Europa, das Wiederherstellungsverfahren mit der Zementkanone (Spritzbeton) mit gutem Erfolg eingeführt. (Siehe S. 154).

Abb. 43, S. 159 zeigt die Decke einer ausgebrannten Fabrik mit weitgehenden Absprengungen.

Abb. 44, S. 160 zeigt die Wiederherstellung durch das Spritzverfahren; die teilweise bloßgelegten Eisen sind wieder überdeckt.

Die Wahl der Zementart richtet sich nach der angreifenden Lösung.

Bei teilweiser Zerstörung von Säulen, wie dies z. B. auf Seite 43 erwähnt wird, die nur am Fuße zerstört waren, ist eine Entfernung des schlechten Betons, Ummantelung mit Eisen und Umstampfen mit neuem Beton möglich (Abb. 51, 52 u. 53).

Auch durch Säureeinwirkung weitgehend zerstörte

Namenverzeichnis.

- Abrams, Duff A. 37, 38,
 42, 51, 53.
 Akeley 154.
 Atwood 129, 130, 131.
Bach 37.
 Bauschinger 50.
 Beck 121, 150.
 Berndt, O. 55.
 Bertin, R. 5.
 Bethke 31, 32.
 Bottler 152.
 Bratke 126.
 Bülow, v. 100.
 Burchartz 2, 35, 36, 37,
 38.
 Butzer, H. 30, 31, 32.

 Calamé 115, 119, 120, 121,
 150, 163.
 Carbotz, G. 33.
 Castor, E. D. 130.

Deutscher Ausschuß für
 Eisenbeton 7, 46, 47,
 73.
Deutscher Beton-Verein
 (Mitt.) 62.
 Donath 61, 82.
 Dyckerhoff & Widmann
 A.-G. 7.

Emperger, v. 28.
 Emschergenossenschaft
 97, 100, 171.
 Erdmenger 65.
 Escher, G. E. 5.
 Eurich, W. u. H. 39.

Falschlunger 127.
 Feredt 130.
 Ferguson, L. R. 131, 132.
 Föppl 50.
 Framm 97.
 Franzius 31.
 Friedrich, E. G. 160.
 Fuller, Wilh. B. 2, 6, 7, 14.

Gary 2, 7, 46, 47, 50, 73,
 123, 129, 130, 132.
 Gassner, O. 125.
 Gensbauer 74, 110.
 Gehler 17.
 Gessner, A. 40, 45.
 Göbel 68, 71, 72, 75, 95,
 171, 173.
 Goslich 24.
 Graf, Otto 2, 7, 8, 14, 22,
 38.

 Grimm 144.
 Gröbler 100.
 Grün, R. 2, 3, 34, 36, 39,
 41, 42, 43, 49, 60, 61,
 65, 66, 67, 69, 74, 80,
 82, 83, 86, 92, 94, 97,
 98, 99, 100, 101, 104,
 106, 107, 110, 111, 115,
 119, 126, 134, 135, 137,
 138.
 Guttman, A. 91, 96, 99,
 103, 105, 122.

Haas 61.
 Hademverski 78.
 Haegermann 17, 38, 46,
 92, 112.
 Hardt 112.
 Helbing 97, 100.
 Henneking 92.
 Hermann 8, 14.
 Heyer 73.
 Hollow Building Tile As-
 sociation 4.
 Hundeshagen, F. 102.

Jackson 53.
Internat. Schifffahrt-Kon-
greß 130.
 Jeanneret 130.
 Johnson 129, 130.

Kaiser, H. 36, 37.
 Kiesler, O. 74.
 Klatt, H. 126.
 Kleinlogel 98, 106, 162.
 Knaff 3.
 Knudson 55.
 Kohrt 82.
 Kossel 3.
 Kühl, H. 38, 105, 127.
 Kunze 110.
 Kupferschiefer bauende
 Gewerkschaft 78.

Landmann 103.
 Langsdorf 55.
 Litehiser, R. R. 5.
 Loebell 97.
 Lorey, F. 163.
 Luftschitz, H. 16, 124.

Magens & Co. 21.
 Martin 135.
 Mastbaum 185.
 May, Pet. 35.
 Meerkamp, J. 70.
 Meyer, Eugen 130.
 Meyer-Reen 122.

 Michaelis 129, 130, 131.
 Mohr 67, 71, 72, 75, 94,
 97, 104, 109, 171.
 Moll 106.
 Morisson, Roger C. 17.
 Mörsch, E. 4, 47.
 Müller 91.
 Muth 99, 103.

 Nitzsche 39, 46, 92, 99,
 110, 126, 136.

Ott 62.

Passow 3, 50, 51, 90, 91,
 99, 103, 105, 132.
 Pauls, J. T. 53.
 Petry 134.
 Probst 31.

Quietmeyer, F. 40.

Rodt, V. 37, 73.
 Roßberg, A. 62.
 Riederer 84.

Spithaler 7.
 Schäfer 84, 86.
 Scheelhase 77.
 Schiffner 76.
 Schmidt, J. 118.
 Schnetter 16.
 Schönberg 91.
 Schott, J. A. 124.
 Schott, O. 3.
 Schruff, A. 103, 111, 120.
 Schumann 115.
 Schuster, A. 73.
 Szilard, A. 156.

Talbot-Jones 51.
 Taft, Harrison 130.
 Thein 147.
 Thörner 136.
 Thomson, Sandford E.
 6, 7.

Ullrich 38.

Vass, v. 154.

Wagner 76.
 Wig, R. J. 131, 132.
 Witt, J. C. 67, 110.
 Wreden, E. 134.
 Wolfsholz, A., Preßbau-
 A.-G. 33.
 Wolle, R. 76, 158.

Sachverzeichnis.

- Abbinden, abhängig von der Außentemperatur 38.
Abbinden 44.
Abfallauge 106.
Abgebundener Beton 44.
—, Unterschied zwischen abgebundener, noch nicht erhärtetem Beton und zwischen erhärtetem Beton 44.
Ablagerung von hochwertigem Zement 17.
Ablöschwasser (von Braunkohlensasche) 97.
Abnutzbarkeit und Druckfestigkeit 51, 52, 54.
—, Prüfung der 50ff.
—, abhängig von Zuschlagstoffen usw. 51 ff.
Absanden 170.
Absoluter Alkohol (s. Alkohol).
Absprengungen 170.
Abwässerrinnen, Zerstörung von — der Badischen Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen 94.
Abwässerkanäle (s. unter Zerstörung von Kanälen).
Abwässer als Anmachwasser 37.
Abwehrmaßnahmen (s. Schutzmaßnahmen).
Äthylalkohol 83, 86.
Äternol 70, 140, 145, 149.
Ätherische Öle 83, 113, 117, 122.
Ätzbaryt 64.
Ätzkalk (s. auch Kalkwasser) 63.
Alaun 107.
Alca-Zement (s. auch Tonerdezement) 15.
Alkalien (s. Natronlauge und Kalilauge).
Alkalische Erden 63, 64.
— Wasser 64.
— mineral. Säuerlinge 64, 76, 132.
Alkohol 83, 86, 113.
Alkoholische Gärung (Weinsäure, Äpfelsäure usw.) 83.
Aluminium-Auskleidung 83, 84.
— -chlorid 107.
— -sulfat 101.
Ameisensäure 81, 135.
Ammoniakwasser 61.
—, Maßnahmen gegen Beschädigungen durch 62.
Ammoniumazetat 93.
— -bikarbonat 61.
— -chlorid 61, 104.
— -fluorid 93, 111.
— -hydroxyd 61.
— -karbonat (Hirschhornsalz) 61, 93, 111.
— -nitrat 108, 110.
— -oxalat 93, 111.
— -salpeter (s. Ammoniumnitrat).
— -salze, Allgemeines, sonst s. einzelne Salze 88.
— -sulfat 61, 93, 135.
— -thiosulfat 61.
Analytische Zusammensetzung verschiedener Zemente 15.
Anhydrit 95.
Anmachwasser, Gehalt des —s an natürlichen Bestandteilen 36.
—, Gehalt des —s an Säuren, Basen, Salzen 36.
—, künstliche Zusätze zum 37.
Anstrichmittel zum Schutze des Betons (s. auch Schutzmittel) 145.
Anorganische Salze 88.
— Säuren 65.
— technische Flüssigkeiten 125.
Antaquid 81, 140.
Anthrazenöl 121.
Arbeitsfugen 132, 171, 172.
Arzet 146.
Asphalt 66, 68, 92, 119, 124.
Aufbau des Betons 1.
—, Zusammenfassung zum 33.
Aufliegende Schutzanstriche (s. auch Schutzmittel) 148.
Aussehen von Betonschäden 170.
Awa 66, 80, 82, 84.
Awa-Asphalt 66, 149.
— -Mörtel 66, 80, 81, 141.
Axolin 141.
Badische Anilin- und Sodafabrik, Zerstörung von Beton 75, 94.
Barberine-Talsperre 33.
Bariumchlorid 105, 107.
— -hydroxyd 64.
Barytwasser 64.
Basalt 2, 4, 47.
Basaltspalt 2.

- Basen, Allgemeines 59.
 —, Einzelbesprechung 59.
 —, Gehalt des Anmachwassers an 36.
 Basische Salze 59, 87.
 Baumöl 116.
 Beimengungen als Schutzmaßnahmen 37f., 140.
 Beizereien 65, 100.
 Beizflüssigkeiten 68, 98.
 Benzin 118.
 Benzol 121.
 Bergwerkswasser 43, 125.
 — als Anmachwasser 37.
 Beton, Wesen des — s. 1.
 —, Stampf-, plastischer, Guß-, Spritz- 21.
 Beton, Zerstörung von — durch Sulfate 97, 102.
 Betonal 146.
 Betonfestigkeiten, Berechnung aus der Normenfestigkeit nach Graf 22, 23.
 —, im Vergleich zu den Normenfestigkeiten (Lab.-Versuche) 23.
 — bei wechselndem Wasserzusatz 26.
 Betonmurolineum (s. auch Murolineum) 65, 146.
 Betonplatten, Zerstörung von 97.
 Betonröhren, Zerstörung von 137.
 Biber 82, 84, 134, 141.
 Bier 75, 83, 134.
 Bierpressionen 76.
 Bimsdielen 4.
 Bimssand 2, 4.
 Bi-Platten 66.
 Bittersalz (s. Magnesiumsulfat).
 Bitterseen 128.
 Bitterwässer 133.
 Bitumen (s. Asphalt).
 Bleichereien 113.
 Bleinitrat 110.
 Bleiplatten 79.
 Bleischlacken 54.
 Bleisulfat 101.
 Bockhorner Klinker 164.
 Bonner Leitungswasser 76.
 Brandprobe an Eisenbetonbauten 46.
 Brandtsches Verfahren 86, 116, 120, 121, 122, 162.
 Brandversuche an einem Lagerhaus 47.
 Brauereien 83.
 Braunkohlenasche 97.
 Braunkohlenöl 113, 117, 119.
 Brohlthalsauerbrunnen 76.
 Brom 78.
 Bromerzeugungstürme, Zerstörung von — n 78.
 Bromide 102, 107.
 Bromnatrium 107.
 Bromwasserstoffsäure 78.
 Bunker (s. auch Kohle) 110.
 Butter 115.
 Buttersäure 83.
 Calcium — s. Kalzium.
 Carbonat — s. Karbonat.
 Ceresit 66, 142.
 Cerufitol 149.
 Chemische Einflüsse auf Beton, Allgemeines 55.
 — Verbindungen, Einwirkung der 56.
 — Zusammensetzung der Zemente 15.
 Chlorkalzium (s. auch Kalziumchlorid) 104.
 — im Anmachwasser 38, 40.
 Chlor 77, 125.
 Chlorammonium 61, 104.
 — -kalium (s. auch Kaliumchlorid) 104.
 — -kalk 77, 125.
 — -kalkkammern 78.
 — -magnesium (s. auch Magnesiumchlorid) 105.
 — -natrium (s. auch Natriumchlorid, Kochsalz) 103.
 — -salze, z. B. Chlorstrontium s. unter Strontiumchlorid.
 — -wasser 77, 125.
 — -wasserstoff (Salzsäure) 65.
 — -wasserstoffsäure Salze (s. unter Chloride, z. B. chlorwasserstoffsäures Natrium unter Natriumchlorid).
 Chloride 88, 102, 107.
 —, Einzelbesprechung 102.
 Chlorierungsapparate 78.
 Chrysen 121.
 Chromsaures Kali (Kaliumdichromat) 112.
 Ciment Fondu (s. Tonerdezement).
 Conservado 146.
 Cumol 121.
 Dachpappe 92, 138.
 Darmfabrik, Zerstörung in einer 134.
 Dauerfutter 80, 135.
 Degronit 149.
 Dekaferrverfahren 139, 162.
 Desinfektion 81, 106.
 Desinfektionsmittel (s. Phenol und Sublimat).
 Destillation von Alkohol 86.
 Dichte, Einfluß der Korngröße auf die 7.
 Digallussäure (Gerbsäure) 81.
 Dolomit (Kalziummagnesiumkarbonat) 111.
 — als Zuschlag 2.
 Don Petro-Damm 32.
 Doornkatverfahren 84, 164.
 Doppelkohlenaurer Kalk (s. Bikalziumkarbonat) 111.

- Druck, Einwirkung auf frischen Beton 42.
 —, Einwirkung auf erhärteten Beton 49.
 Druckfestigkeit von Beton bei verschiedenem Mischungsverhältnis der Zuschlagstoffe 26.
 — hochwertiger Zemente 18.
 — von Leichtbeton 4.
 — von verschiedenen Zementen 15, 19.
 — abhängig von der Außentemperatur 39, 45.
 Druckfestigkeitsvergleich von Spritz- und Stampfbeton 159.
 Düngerfabriken 70, 94, 108, 109.
 Durolin 146.
- Ebonplatten 83, 84, 164.
 Eichenlohe (s. auch Gerbereien) 82.
 Eigenschaften der verschiedenen Zemente 15.
 Einwirkungen auf Beton, Allgemeines 1.
 — der einzelnen Stoffe (s. unter diesen).
 — auf frischen, nicht erhärteten Beton 34.
 — auf abgeordneten Beton 44.
 — von außen 39.
 — von innen 34.
 —, physikalische 34, 39, 45.
 —, chemische 36, 42, 55.
 Eironitverfahren 139, 161.
 Eisenchlorid 107.
 — -portlandzement 14, 15, 66.
 — -sulfat 101, 102, 136.
 — -wasser (s. auch Eisensulfat) 133.
 Eisessig (s. auch Essigsäure) 79.
 Elastizität von Beton 36, 50, 54.
 Elastizitätserhöhung durch Traßzusatz 35.
 Elbbrücke, Zerstörung der — in Magdeburg 92.
 Elektrizität 55.
 Emailit 149.
 Emschertunnels, Zerstörung des 97.
 Endlauge (s. auch Schachtlauge) 106.
 Englische Kohle 69.
 Erdalkalien 63, 64.
 Erdöle 113, 117.
 Erhaltungs- und Wiederherstellungsarbeiten 170.
 Erhärten 44.
 Erhärtung, Verzögerung der 39.
 Erschütterung, Einwirkung der — auf frischen Beton 41.
 —, Einwirkung der — auf abgeordneten, noch nicht erhärteten Beton 48.
 Ersparnis an Zeit bei Verwendung von hochwertigem Zement 17.
 Erze 67, 69, 98, 102, 110, 111.
 Essigsäure 66, 79, 135.
- Fäkalien (s. auch Zerstörung von Kanälen) 73, 135.
 —, Zuleitungskanal Dortmund zerstört durch 73.
 Farbenfabriken 37, 65.
 Färbereien 65, 66, 100, 101, 113.
 Fäulnis schwefelhaltiger organischer Stoffe 73.
 Feiner Zuschlagstoffe, Einwirkung 5, 36, 51.
 Ferrosulfat (s. auch Eisensulfat) 102.
 Ferrocyanammonium (s. auch Gasreinigungsmasse) 61.
 Ferrisulfat (s. auch Eisensulfat) 102.
 Festigkeit, Einfluß der Korngröße auf die 5.
 —, Einfluß lehmhaltigen Sandes auf die 4, 34.
 —, Einfluß des Schlammgehaltes auf die 4, 35.
 Fette 113.
 Fette Öle 113.
 Fettsäure 113.
 Feuer, Einwirkung auf erhärteten Beton 46.
 —, Vorschriften zur Herstellung von Säulen, Balken usw. in feuergefährdeten Gebäuden 48.
 —, Zerstörung durch 157.
 Feuerbeständigkeit, Normen für Prüfung der — von Bauteilen, amerikan. 47.
 —, Ofen zur Prüfung der — (amerikan.) 47.
 — verschiedener Zuschlagstoffe 47.
 Feuerstein (Flint) 47, 52.
 Fließtisch, -probe 29.
 Flint (s. Feuerstein) 47, 52.
 Fluat 66, 70, 76, 77, 78, 81, 82, 107, 112, 115, 116, 121, 124, 147, 148.
 Fluatierung (s. Fluat).
 Fluoride 78, 112.
 Fluorwasserstoffsäure (Flußsäure) 78.
 Fluoresit 142.
 Flußkies 2.
 Flußsand 2.
 Flußsäure 78.
 Flußsaure Salze (s. Fluoride, z. B. Natriumfluorid).
 Flußspat 79.
 Flußwasser 123.
 Formaldehyd 81, 86.
 Formalin 81.
 Formiate 81.
 Freie Säure 87.
 Frischer, nicht erhärteter Beton 34.
 — Beton, Einwirkung verschmutzten Wassers auf 43.
 —, Zusammenfassung 44.
 Frost, Einwirkung auf frischen Beton 39.

- Frost, Einwirkung auf erhärteten Beton 45, 46, 129.
 —, Einwirkung a. Tonerdezement 39, 40.
 —-Schutzmittel 38.
 Fruchtsäfte 79, 84.
 Fruchtsäure (s. Fruchtsäfte).
 Fullerkurve 7.
 Fußboden, Zerstörung von 100, 105.
 Futtertürme 80, 135.
- Gänsefett 115.
 Gärbottiche 83.
 Gärkeller 76.
 Gärprozesse 76, 83, 86.
 Gärungsflüssigkeiten 76, 82, 134.
 Gase, Einwirkung auf Beton 42.
 Gasfabriken (s. auch Kokereien) 61, 125.
 Gasoline 118, 120.
 Gasreiniger 62.
 Gasreinigungsmasse, nachteilige Einwirkung von 61, 102.
 Gaswasser 61, 62, 125.
 Geestemünder Schleuse 33.
 Gerbbrühe 82, 83.
 Gerbereien 37, 63, 82, 101, 112.
 Gerbfässer 82.
 Gerbsäure 81, 82, 83.
 Gips 39, 67, 69, 73, 95, 105, 125, 126, 128, 144.
 Gipsgehalt der Zuschläge 38.
 Gipsgruben 37, 96.
 Gipstreiben 57, 67, 69, 89, 94.
 Glasauskleidung 66, 80, 83, 85, 137, 164.
 Glaubersalz (s. auch Natriumsulfat) 89.
 Gleitwiderstand der Eisen nach Elektrizitätseinwirkung 55.
 Glutin 150.
 Glycerin 57, 113.
 Gneis 2.
 Goudronanstrich 38, 105, 135, 136.
 Graf-Kurve 7.
 Grafsche Formel zur Vorausberechnung der Betonfestigkeit aus der Normenfestigkeit 22.
 Granit 2.
 — als Zuschlag 53, 54.
 — als Zuschlag, Feuerfestigkeit 47.
 Grauwacke 2.
 Grober Anteile, Einwirkung 5, 51.
 Grubenkies 2.
 Grubensand 2.
 Grundwasser 126, 136.
 —, Einwirkung auf frischen Beton 43.
 Grünfutter 80, 135.
 Grünfuttertürme 80, 135.
 Grünöl 121.
 Grünstein 2.
 Guarnol 142.
 Günstigste Zusammensetzung eines Kieses, Ermittlung der 8.
- Gußbeton, Herstellung von 21, 30, 93.
 —, Bemerkenswerte Ausführungen 32.
 —, Zusammensetzung von 14.
 —, Leistungsfähigkeit der —-Bauweise 32.
 Güte des Betons, abhängig von Zuschlagstoffen 14.
- Haldenwasser 67.
 Haltbarkeit von Portlandzement-Betonbauten in Meerwasser 131.
 Halogene (s. Chlor, Brom, Jod).
 Handmischung 20.
 Hanföl 114.
 Hartgesteine 2.
 Harzöl 116.
 Haselnußöl 114.
 Hefe 83.
 Heimalol 136, 142.
 Heißes Wasser 127.
 Heringslake 135.
 Hermann-Kurve 7.
 Hetch-Hetchy-Mauer 33.
 Hippursäure 135.
 Hirschhornsalz (s. Ammoniumkarbonat) 111.
 Hitze, Einfluß auf frischen Beton 40.
 —, Einfluß auf jungen und erhärteten Beton 46.
 Hochbehälter, städtische (s. Wasserbehälter).
 Hochofenschlacke 2.
 — als Betonzuschlag 3, 47, 50, 52, 53, 74.
 Hochofenzement 14, 15, 99, 173.
 Hochwertige Zemente (hochfeste Zemente) 16.
 — Zemente, Festigkeit der 18.
 Hohlräume der Zuschlagsstoffe 5.
 —, Ermittlung 8.
 Holzdestillation 79.
 Holzteer 87.
 Holzverkleidung (s. auch Pitch-Pine) 109, 127.
 Huminsäure 135, 136.
 Hundsgrotte 75.
 Hüttenzemente (s. Eisenportlandzement und Hochofenzement) 14.
- Igas 150.
 Igol 150.
 Imprägnieröl 122.
 Imprägnierwerke 106.
 Indifferente Mineralwässer 133.
 Inertol 63, 71, 73, 77, 80, 82, 86, 92, 107, 110, 124, 134, 137, 150.
 Insley-Gießturm 32.
- Jackson-Methode für Abnutzungsprüfung 53.

- Jauche 135.
 Jod 78.
 Jodide 107.
 Jodnatrium 107.
 Jodwasserstoffsäure 78.

Kainit 65.
 Kakaobutter 114.
 Kalialaun 101.
 Kalibergbau 98, 125.
 —-bergwässer (s. Kalilagerstätten, Kaliwerke).
 —-lauge 60.
 —-lagerstätten 37, 106, 124.
 —-wasserglas 112.
 —-werke 98, 103, 104, 124.
 Kaliumchlorid 103, 104.
 —-dichromat 112.
 —-hydroxyd 60.
 —-karbonat (Pottasche) 111.
 —-nitrat 108, 110.
 —-permanganat 113.
 —-silikat (s. auch Wasserglas) 112.
 —-sulfat 93, 101.
 Kalk, gebrannter, gelöschter 63, 77.
 Kalkhaltige Mineralwässer (s. auch Mineralwässer, Quellwässer) 64, 76, 132, 133.
 Kalkhydratzusatz und Abnutzung 54.
 Kalksalpeter 108, 109.
 —-seife 114, 116.
 —-splitt 3.
 —-stein als Zuschlag 2, 52, 54, 76, 77, 111.
 —-stein, Feuerfestigkeit 47.
 —-wasser 63.
 Kälte, Verzögerung der Erhärtung bei 40, 46.
 Kalzit 3.
 Kalziumaluminiumsulfat (Zementbazillus) 90, 136.
 —-azetat 79.
 —-bikarbonat 76, 111, 123.
 —-chlorid 104, 107.
 —-chlorid im Anmachwasser 38, 40.
 —-fluorid 112.
 —-hydroxyd 63.
 —-karbonat (kohlenaurer Kalk) 64, 76, 111, 131.
 —-karbonat, Ausblühungen von 131.
 —-nitrat 71, 109.
 —-oleat 114.
 —-oxalat 85.
 —-oxyd 63.
 —-palmitat 114.
 —-phenolat 121.
 —-sacharat 137.
 —-sulfat (s. Gips).
 —-sulfhydrat 73.
 —-sulfid 69.

 Kanalschlamm 5, 35.
 —-wässer 73, 123.
 —-zerstörung in Gelsenkirchen 74.
 — in Iserlohn 68.
 —, Hauptkanal der Badischen Anilin- und Sodafabrik Ludwigshafen 75, 94.
 — in Osnabrück 68, 136.
 — in Schönebeck 105.
 Karbazol 121.
 Karbolalk 121.
 Karbolöl 121.
 Karbolsäure, Karbolöl (Phenol) 86, 115, 121.
 Karbonate (s. Kalziumkarbonat, Natriumkarbonat) 88, 111.
 Käsereien 80.
 Kerament-Kaltglasur 150.
 Kesselheizöl 120.
 Kiesabbrände 110.
 Kiese (Erze) 69, 98, 110.
 —, günstiges Korngrößenverhältnis 8.
 Kieselfluorwasserstoffsäure 79.
 Kieselgur 127.
 Kieselsaure Salze (s. Silikate) 112.
 Kieserit 135.
 Kitt, säure- und ölfester 66, 67, 116, 122, 138, 164.
 Kitt, Steuler- 71.
 Klärbehälter 63, 126.
 Klauenöl 114, 116.
 Kleesalz 85.
 Kleesäure 85.
 Kleinlogisches Stahlbetonverfahren 139, 162.
 Klinkerauskleidung 66, 75, 92, 95, 98, 107, 115, 163.
 —, Bockhorner 164.
 Klosterneuburg-Verfahren zur Herstellung von Gärbottichen 83.
 Knauffsche Platten 66, 75, 95, 163, 165.
 Knochenöl 114.
 Kobaltsulfat 102.
 Kochsalz (s. auch Natriumchlorid) 103.
 — im Anmachwasser 37, 38, 40.
 —-wasser 128.
 Kohle 69, 110, 111, 125.
 Kohlschlacke 39, 96, 110.
 — als Zuschlag 39, 47.
 Kohlensäure (Kohlendioxyd) 65, 75, 123, 129, 132, 134, 135, 136.
 —, Einwirkung auf frischen Beton 42.
 —, Maßnahmen gegen Einwirkung von 77.
 —-haltiges Wasser 64, 123.
 Kohlensaure Salze (s. Karbonate, z. B. Kohlenaurer Kalk unter Kalziumkarbonat) 111.
 Kohlenaurer Kalk (s. Kalziumkarbonat).
 — doppelt 76, 111, 123.

- Kohlenstaub 5.
 Kokereien 61, 94, 109, 125, 134.
 Kokosnußöl 114.
 Koks 110.
 Koksasche als Zuschlag 39.
 Koksherstellung 61.
 Kolloidale Lösungen 122.
 Kondenswasser 123.
 Konservierung von Nahrungsmitteln 79.
 Konsistenz und Abnutzung 54, 55.
 Konstruktive Abwehrmaßnahmen 171.
 Kornanalyse von Kies 8.
 Korngröße der Zuschlagsstoffe, Ermittlung der 5.
 — der Zuschlagsstoffe, günstigste 8.
 — natürlicher Zuschlagsstoffe 8.
 — für die verschiedenen Betonarten 14.
 Kessel-Bauweise 3.
 Kreide (s. auch Kalkstein) 76, 111.
 Kresotöl 119, 121.
 Kresole 121.
 Kumole 121.
 Kunstdüngerfabriken (s. Düngerfabriken).
 Kupferkies 98, 110.
 —-schlacken 54.
 —-sulfat 98, 101.
 —-vitriol (Kupfersulfat) 98, 101.
Laktate (s. Milchsäure).
 Laugen, im chemischen Sinne (s. Natriumhydroxyd).
 —, im technischen Sinne (s. Endlaugen, Schachtlaugen, Natriumsulfat oder Magnesiumchlorid).
 — zur Steinh Holzherstellung 106.
 Lava 52.
 Lebertran 116.
 Lederfabrikation (s. Gerbereien).
 Lehmgehalt der Zuschlagsstoffe 4, 34.
 — des Sandes 34.
 — Prüfung auf 4.
 Lehmumstampfung 92, 174.
 Leichtentröge 86.
 Leichtbeton 2, 3.
 Leichtöl 121.
 Leichtsteine 4, 111, 127.
 Leimfabriken 63.
 Leinöl 114.
 Leipzig, Wasserbehälter 76.
 Leistungsfähigkeit des Gußbetonverfahrens (s. auch Gußbeton) 32.
 Leitungswasser, kohlen säurehaltiges (s. Kohlensäure und kohlen säurehaltige Wasser).
 Letmag-Beton-Mörtelspritzverfahren 160.
 Leuchtöl 118, 119.
 Ligroin 118.
 Litertgewicht von Kies 6.
 —, Ermittlung des — der Zuschlagsstoffe 10.
 Lithurin 70, 147.
 Luft, Einwirkung der — auf frischen Beton 42.
 —, Gehalt in Kohlensäure 42, 75.
 Lugato 142.
 —-Fluat 147.
 Lupulinsäure 83.
Magdeburg, Zerstörung der Elbbrücke 92.
 Magnesiumchlorid 103, 105, 107, 128, 144.
 —-sulfat 97, 98, 112, 127, 128, 129, 135, 144.
 —-sulfat, Einwirkung auf frischen Beton 43.
 Mammut-Ventur (Coblitz & Koch, Berlin) 84, 151.
 Manganchlorid 107.
 —-sulfat 101.
 —-sulfid 110.
 Margalit 66, 82, 86, 116, 120, 121, 151.
 Margarine 115.
 Marmelade 79.
 Marmor (s. auch Kalkstein) 111.
 Maschinenfundamente 115, 120.
 —-mischung 20.
 —-öl 115, 120.
 Maßnahmen zur Erhaltung, Allgemeines 171.
 Masut 122.
 Meerwasser (s. auch Magnesiumsulfat, Natriumchlorid) 37, 127, 131.
 — als Anmachwasser 37.
 — Maßnahmen gegen Betonzerstörung 131.
 Melasse (vgl. auch Zucker) 82, 136.
 Methanol 87.
 Methylalkohol 87.
 Milch 136.
 Milchsäure 80, 83, 134, 135, 136, 137.
 —-zucker 82.
 Mineralöle, Allgemeines 113.
 Mineralöl 113, 118.
 Mineralquellen (s. Mineralwässer).
 Mineralwässer 64, 76, 132.
 Auf S. 132 befindet sich eine Zusammenstellung und Erklärung der wichtigsten vorkommenden Quellen, wie Apollinaris, Karlsbad usw.
 Mischung verschiedener Zementarten 16.
 Mischungsverhältnis 20.
 —, Einfluß bei Salzwassereinwirkung 20, 90.
 — für Gußbeton 32.
 Mischungsweise 20.

- Mittelöl 121.
 Mohnöl 114.
 Molkereien (s. Milch, Milchsäure) 80, 136.
 Moorsäure 5.
 Moorwasser (Moorsäure, s. auch Huminsäure) 67, 68, 76, 123, 136.
 Moser-Kraftbauverfahren 158.
 Most 82.
 Mürbwerden 170.
 Murolineum 65, 66, 70, 146.
 Mus 82.
- Nacherhärtung zerstörten Betons 49.
 Nachprüfung der Grafschen Formel 22.
 Naphtha 118.
 Naphthalin 134.
 — -wasser 134.
 Natriumbromid 107.
 — -chlorid (s. auch Kochsalz) 103, 107, 129.
 — -chlorid im Anmachwasser 37, 38, 40.
 — -fluorid 112.
 — -hydroxyd 59.
 — -jodid 107.
 — -karbonat (Soda) 64, 75, 111, 133.
 — -karbonat im Anmachwasser 38.
 — -nitrat 108, 134.
 — -silikat (s. Wasserglas) 112.
 — -silikat im Anmachwasser 39.
 — -sulfat 64, 89, 99, 101.
 — -sulfid 110.
 Natronlauge (s. Natriumhydroxyd).
 Natronsalpeter 108, 134.
 — -wasserglas 112, 120, 121.
 Neutrale Salze 59, 78.
 Neutralisation von Säuren 57.
 Neutralisationstürme 67.
 Neutrallaugebehälter 96, 98.
 Nichtfette Öle 113, 117.
 Nickelnitrat 110.
 — -sulfat 101, 102.
 Nierenfett 114.
 Nigrit 152.
 Nitrate, Allgemeines 71, 88.
 —, Einzelbesprechung 108, 110.
 Nitrose Gase 71.
 Normalisierter Rheinsand 22.
 Normale Salze 59, 87.
 Normen für Prüfung der Feuerbeständigkeit, amerik. 47.
 Nußöl 114.
- Oberflächenändernde Anstriche 145.**
 Oberfläche der Zuschlagsstoffe 5.
 Ofen zur Prüfung der Feuerbeständigkeit, amerik. 47.
 Öle, Allgemeines 57, 113.
 —, Eigenschaften der 113.
 —, Einteilung der 113.
- Öle, fette Öle, Mineralöle, Teeröle 66.
 — im Anmachwasser 37.
 Ölfarben 115.
 Ölsäuren 113.
 Ölschieferschlacke 39, 110, 111.
 Öllein 116.
 Olivenöl 114.
 Organische Salze 113.
 — Säuren 79, 113.
 — technische Flüssigkeiten 134.
 — Verbindungen im Anmachwasser 37.
 — Verbindungen, Einwirkung auf frischen Beton 43.
 Osnabrück, Zerstörung eines Kanals in 68, 136.
 Oxalsäure 66, 76, 85.
 Oxalsäurebehandlung 76.
 Oxydation von Schwefelwasserstoff 73.
- Palmitin 116.
 Palmitinsäure 114.
 Palmkernöl 114.
 Papierfabriken 81.
 Paraffin 121.
 — -Schutzschicht 83.
 Pech 121.
 — -Schutzanstrich 84.
 Perfax 147.
 Petroleum, 115, 120, 122.
 — gehalt der Zuschlagsstoffe 35.
 Petroläther 118.
 Petrolheizöl 122.
 Petrolöl 120.
 Pferdefußöl 116.
 Pferdejauche 135.
 Pflanzenfette 113.
 Phenanthren 121.
 Phenol 86, 115, 121.
 Philopor 143.
 Phosphorsäure (Phosphate) 72, 83.
 Pitchpineauskleidung 80, 137.
 Plastischer Beton 24.
 Plattenauskleidung 80, 81, 82, 83, 86, 92, 95, 106, 107, 109, 115, 116, 122, 137, 163 ff.
 —, Aluminium 84, 164.
 —, Bi-Platten 66.
 —, Blei 79.
 —, Bockhorner Klinker 164.
 —, Ebon-Platten 83, 84, 164.
 —, Glastafeln 66, 80, 83, 85, 137, 164.
 —, Klinker 66, 75, 92, 95, 98, 107, 115, 163.
 —, Knauff'sche Platten 66, 75, 95, 163, 165.
 —, Porzellan 109.
 —, Sandstein 75, 95, 106, 163.
 —, Steinzeug 68, 163.
 —, Stellaplaten 66, 165.
 Plumpsprobe, Ausführung der 24.

- Pökellauge 134.
 Pollux 143.
 Porenvolumen 9.
 Porphyr 54.
 Porsal 152.
 Portlandzement 14.
 —, Verhalten bei Mischung mit anderen Zementen 16.
 Porzellanplatten 109.
 Posidonienschieferschlacke 39, 110, 111.
 Pottasche (Kaliumkarbonat) 111.
 Preolit 63, 66, 73, 152.
 Preßbeton 33, 158.
 Propalin 142.
 Prüfung von Sand auf Lehmgehalt 4.
 Pulverfabriken (s. Sprengstofffabriken).
 Purizo 153.
 Puzzolan (s. auch Traß) 64, 115, 129, 130, 132.

Quarz (Rheinkies) 2.
 —, Feuerbeständigkeit 47.
Quarzit 2.
 Quecksilberchlorid 106, 107.
 Quellwasser (s. auch Mineralwässer) 77, 123, 134.

Rabitz-Auskleidung 105.
Ranzige Fette 116.
Rapsöl 114.
Rauchgase 43, 56, 69, 70, 158.
Reaktionen mit Lackmuspapier 59, 87.
Regenwasser 123.
Rheinkies 22.
Rhodanammonium 61.
Rindstalg 114.
Rindviehhaxenöl 116.
Rizinusöl 114, 116.
Rohlauge (s. Schachtlaug, Endlaug).
Rohnaphtha 118.
Rohrzucker 82.
Romazement 15, 76, 77, 111.
 —, Verhalten in kohlenstoffhaltigen Wässern 76.
Römische Wasserleitung 111.
Rosenöl 122.
Rosten der Eisen 3, 37, 62, 75, 85, 106, 134, 170.
Röstung von Erzen (s. auch Kiese) 110.
Rübensaft 137.
Rübenzucker 82.
Rüböl 115.
Rührwerke 116.

Saarkohlen 69.
Sacharate (s. auch Zucker) 82.
Saftfutter 80, 135.
Salmiak (Ammoniumchlorid) 61, 104.
Salmiakgeist 61.
Salpeter (s. Natriumnitrat).
Salpetersäure 65, 66, 70.
Salpetersaure Salze (s. Nitrate, z. B. salpetersaures Natrium unter Natriumnitrat).
Salzarme Wässer 123.
Salze 56, 87.
 Salze a) anorganische 87.
 — b) organische 113.
 Salze der einzelnen Säuren s. unter den betreffenden Säuren.
Salzeinwirkung auf frischen Beton 36, 37, 38.
Salzgehalt im Anmachwasser 37.
 — der Zuschläge 38.
Salzhaltige Wässer (s. Mineralwässer, Meerwässer usw.).
Salzsäure (Chlorwasserstoff) 65.
Salzsaures Natrium (s. Natriumchlorid) 103.
Salzsaure Salze (s. Chloride) 102.
Sand (s. Kiese).
 —, lehmhaltiger 4, 34.
 —, petroleumhaltiger 35.
 —, schlammhaltiger 4, 35.
Sandsteine 2, 47, 54.
Sandsteinplatten als Betonschutz 75, 95, 106, 163.
Sauerkraut 80, 137.
Säuerlinge 132.
Säure, Einwirkung auf Beton 65, 170.
Säurefeste Kitte (s. Kitte).
 — Platten (s. Plattenauskleidung).
Säuregehalt des Anmachwassers 36.
Säurehaltige Wässer (s. auch einzelne Säuren) 87.
Säuren, Allgemeines 65.
 —, Einzelbesprechung 65.
Säurereste 88.
Saures Bier 134.
Saure Gurken 79.
Saure Milch 80.
Saure Reaktion von Lösungen 59, 87.
Saure Salze 59, 87.
Securitol 143.
Seetang, Zerstörung durch faulenden 74.
Seewasser (s. Meerwasser).
Seife 114, 115.
 — im Anmachwasser 37.
Sekt 75.
Senfsamenöl 116.
Setzmaß 24.
Setzprobe 24.
Siccifix 143.
Sickerwasser 97, 171.
Siderosten-Lubrose 62, 63, 76, 92, 153.
Siebanalyse 8.
Siebe, zur Absiebung von Kies 8.
Sielhaut 123.
Sika 144.
Silikate 112.

- Silikatisieren 85.
 Sirup (s. auch Zucker) 82, 137.
 Si-Stoff 36, 67.
 Slump test (Setzprobe) 24.
 Soda im Anmachwasser (bei Frost) 38.
 — (s. Natriumkarbonat) 111, 133.
 Sodawasser 75, 133.
 Solaröl 119.
 Sole (s. Schachtlaugen, Endlaugen) 103.
 Solidität 144.
 Sorelzement (s. auch Steinholz) 100.
 Spateisenstein 110.
 Spezial-Hochofenzement 91, 99, 115.
 Splitt 2.
 Sprengstoffabriken 70, 94, 108.
 Sprit (s. auch Alkohol) 86, 120.
 Spritzbeton 21, 33, 139, 154.
 Spritzverfahren 139, 154ff.
 Sublimat (Quecksilberchlorid) 106, 107.
 Sulfate (s. auch Gips) 38, 43, 57, 88, 133, 136.
 Sulfat-Einwirkung (s. auch Gips) 133, 170.
 — -Grenze der Gefährlichkeit 93.
 Sulfatwässer 133.
 Sulfide 73, 110.
 Sulfitspriffabriken 67, 96, 98.
 Sumpfschlamm 4.
 Sumpfwasser als Anmachwasser 37.
 Superphosphat 72.
 Schachtlauge 37, 96, 106, 124.
 — als Anmachwasser 37.
 Schaffußöl 116.
 Schiefergehalt der Zuschlagstoffe 35, 53.
 Schlacken (Verbrennungsschlacken) (s. Kohlenschlacke).
 Schlackenhalde 97.
 Schlackensand (s. Hochofenschlacke).
 — -Behälter 74.
 Schlackenzement 14.
 Schlag, Einwirkung auf erhärteten Beton 50.
 Schlamm (s. auch Kanalwässer) 4, 35.
 Schlammgehalt des Sandes 4, 35.
 Schlempe 137.
 Schmalz 115, 116.
 Schmelzzement (s. Tonerdezement) 15.
 Schmieröl 118, 119.
 Schnapsfabrikation 86.
 Schnellessigfabrikation 79.
 Schotter 4.
 Schumacher & Koch, Berlin, Verfahren für Gärbottiche 84.
 Schüttbeton unter Wasser 41.
 Schutzanstriche, Oberflächen ändernde 145.
 — aufliegende 148.
 Schutzmaßnahmen, konstruktive 170, 171.
 Schutzmittel, Allgemeines 137.
 — a) Beimengungen 140.
 — b) Anstrichmittel; Oberflächen ändernde und aufliegende 145.
 — c) Plattenbelag 163.
 Brauchbarkeit für verschiedene Zwecke 168.
 Tabellenübersicht 167ff.
 Schwefelammonium 61.
 — -dioxyd (s. schweflige Säure) 69.
 — -haltige Erze 67, 69, 98, 110, 111.
 — -kies (s. auch Kiese) 110.
 — -natrium 110.
 — -salze (s. Sulfide, z. B. schwefelsaures Natrium unter Natriumsulfid)
 — -säure 65, 66, 67, 115, 125, 136.
 — -säurefabriken 67.
 — -saure Salze (s. Sulfate, z. B. schwefelsaures Natrium unter Natriumsulfat).
 — -verbindungen 67.
 — -wässer 133.
 — -wasserstoff 65, 73.
 — -wasserstoffsäure Salze (s. Sulfide).
 Schweflige Säure 43, 69, 74.
 Schweinejauche 135.
 Schweineschmalz 114, 115.
 Scherbeton 2.
 Schweröl 118, 121.
 St. Antonio-Talsperre 33.
 Stahlhautschutzverfahren 122, 162.
 Stampfarbeit 21.
 Stampfbeton 21, 22.
 Staufferfett 120.
 Stearin 116.
 Stearinsäure 116ff.
 Steinholz 100, 105, 106.
 — -lauge 106.
 Steinkohlenteer 78, 113, 117, 120 121.
 Steinmehl, Zusatz zu Beton 36.
 Steinsalz 103.
 Steinzeugplatten 68, 163.
 Stellaplatte 66, 165.
 Sterchamol 127.
 Steulerkitt 71.
 Stickoxyd 70.
 Stoß, Einwirkung auf erhärteten Beton 50, 129.
 Stoßweise Erschütterung von frischem Beton 42.
 Straßenbeton 53.
 Strontiumchlorid 105, 107.
 — -hydroxyd 64.
 — -oxyd 64.
 — -sulfat 98, 101
 Stückschlacke 2.
 Talbot-Jones-Rattler 51
 Talg 115.
 Tannin 81.

- Tartrate 84.
 Tartrisierung 81, 85.
 Technisch wichtige Flüssigkeiten 124, 134.
 Teeranstrich 75, 80, 83, 106.
 Teergoudron 135.
 Teeröle und Steinkohlenteeröle 117f.
 Teerpappe als Schutz 92, 138, 171.
 Temperatureinflüsse auf die Abbindezeit 38.
 Terko 153.
 Terpentinöl 116.
 Tetralin 120.
 Tierfette 113, 115.
 Toluol 121.
 Tonerdezemente 15, 130.
 —, Verhalten bei Mischung mit Portlandzement 16.
 —, Verhalten bei Frost 39, 40.
 —, Widerstand gegen Sulfate 92, 94, 99, 112, 130.
 —, Anmachwasser für 40.
 —, Essigsäureeinwirkung auf 80, 139.
 —, Kalziumnitrateinwirkung auf 109.
 Tongehalt der Zuschlagsstoffe 4.
 Torkret (s. auch Spritzbeton) 139, 154.
 Trachyt 47.
 Tran 115.
 Transportbeton 20, 42.
 Traß 14, 20, 35, 50, 64, 67, 76, 92, 94, 98, 100, 104, 109, 129, 132, 139, 140.
 Traubenzucker 82.
 Treibrisse 91, 170.
 Trockendock 129.
 Tunnel, Zerstörung des Emscher- 97.
 Tunneldecken 69, 156.
 Tutocrol 148.
 Überdeckung der Eisen in feuersicheren Bauten 48.
 Überflutung von frischem Beton 41, 43, 173.
 Übermangansaures Kali 11.
 Ummantelung beschädigter Betonbauten 172.
 Unterchlorige Säure 125.
 Urin 135.
 Vaseline 117, 118.
 Ventur (s. auch Mammut) 153.
 Verarbeitungsart 20.
 Verbindung von altem Beton mit neuem Beton 171.
 Verringerung der Festigkeit durch Traß und Si-Stoff 35.
 Verseifung 114.
 Versickern von leichten Ölen in Betonbehältern 120.
 Verunreinigungen im Anmachwasser 36f.
 — der Zuschlagsstoffe 4.
 Verzinkereien 65, 66.
 Vibrationen, Einfluß auf frischen Beton 42.
 Vitriolöl (s. auch Schwefelsäure) 67.
 Vorausberechnung der Festigkeiten von Beton 22.
 Walfischöl 116.
 Walnußöl 114.
 Waschen von Zuschlagsstoffen 5.
 Wasserbedarf für verschiedene Betonarten 21.
 Wasserbehälterzerstörung in Achern 124.
 — in Bonn 76.
 — in Eichsfeld 77.
 — in Frankfurt a. M. 77.
 — in Leipzig 76.
 — im Rheinland 77.
 Wasser-Durchbrüche, Abhilfe bei 142.
 —-Einfluß auf frischen Beton 41, 43.
 —-glas 112, 120, 121.
 —-glas im Anmachwasser 38.
 —-Überflutung 41, 43, 173.
 —, weiches, salzarmes 123.
 —-Zusatz zu Beton 21.
 —-Zusatz, Einfluß auf die Plastizität 24.
 —-Zusatz, Einfluß auf die Plastizität und Druckfestigkeit 25, 28.
 —-zementfaktor 22.
 Weichgesteine 2.
 Wein (s. auch Alkohol, Weinsäure) 137.
 Weinbehälter in praktischer Anwendung 83, 86.
 Weinbrandherstellung 86.
 Weinessig 79.
 Weinfässer 83.
 Weingärung (s. auch Gärung) 76.
 Weinsäure 84, 137.
 Weinstein 84, 137.
 Wellenbrecher, Zerstörung eines 74.
 Widerstandsfähigkeit verschiedener Zementarten 91, 99, 115.
 — bei steigendem Zementgehalt 20.
 Wiederherstellung mit Spritzbeton 155ff.
 Wiederherstellungsarbeiten 155ff., 170ff.
 Xylol 121.
 Zechit 145.
 Zechstein 140.
 Zementarten 14.
 — verschieden widerstandsfähige 91, 99, 115.
 Zementbazillus 90, 136.
 Zementkanone 154.
 Zerbröckeln des Betons 170.
 Zerschmetterungsfestigkeit 50.

- Zerstörung eines Abwasserkanales durch Grundwasser 126.
- von Abwasserrinnen der Bad. Anilin- und Sodafabrik 75, 94.
 - eines Aschenkellers 97.
 - von Betonbehältern durch Grundwasser 126.
 - von Betonpfeilern durch Kondenswasser 124.
 - von Betonpfeilern durch Gasreinigungsmasse 102.
 - von Betonpfeilern durch verunreinigtes Wasser 43.
 - von Betonplatten 97.
 - von Betonröhren in Bremen 137.
 - von Betonsilos durch Spateisenstein 110.
 - von Beton im Meerwasser 129.
 - von Bromerzeugungstürmen 78.
 - in einer Darmfabrik 134.
 - der Elbbrücke in Magdeburg 92.
 - des Emschertunnels 97.
 - eines Erzsilos durch Mangansulfat 101.
 - eines Fußbodens 100, 105.
 - des Hafendamms in Lynn, U. S. A. 158.
 - der Hafenummauer in Hingham 131, 156.
 - einer Kaimauer im Hamburger Hafen 126.
 - , durch Kakaobutter 115.
 - des Kanals in Dortmund 73.
 - des Kanals in Gelsenkirchen 74.
 - des Kanals in Iserlohn 68.
 - des Kanals in Ludwigshafen, Bad. Anilin- u. Sodafabrik 75, 94.
 - des Kanals in Osnabrück 68, 136.
 - des Kanals in Schönebeck 105.
- Zerstörung des Wasserbehälters in Achern 124.
- des Wasserbehälters in Bonn 76.
 - des Wasserbehälters in Eisfeld 77.
 - des Wasserbehälters in Frankfurt am Main 77.
 - des Wasserbehälters in Leipzig 76.
 - eines Wasserbehälters im Rheinland 77.
 - eines Wellenbrechers 74.
- Ziegelmehl 4, 50.
- Ziegelsteinschotter 2, 47.
- Zimmerit 154.
- Zinkchlorid 107.
- -sulfat 66, 100, 101.
 - -vitriol = Zinksulfat.
- Zucker 82, 86, 134, 137.
- -gehalt der Zuschlagsstoffe 35.
 - im Anmachwasser 37.
- Zug, Einwirkung auf erhärteten Beton 49.
- Zugelassene Zemente zu Eisenbetonbauten 15.
- Zugfestigkeitsverhältnis 54.
- Zusätze zum Anmachwasser 37.
- Zusammensetzung natürlicher Kiese in bezug auf Korngröße 8.
- , Ermittlung der günstigsten 8.
 - , experimentelles Verfahren 8.
 - , graphisches Verfahren 10.
- Zuschläge, Aschegehalt der 39.
- , Salzgehalt der 38.
 - , Sulfatgehalt der 38.
- Zuschlagsstoffe, Allgemeines 1.
- , günstig zusammengesetzte 6.
 - , nasse 5.
 - , Verunreinigungen der 4.
- Zyanisierwerke 106.
- Zylinderformen, Prüfung v. Beton in 29.

Vorlesungen über Eisenbeton. Von Professor Dr.-Ing. **E. Probst** in Karlsruhe.

Erster Band: **Allgemeine Grundlagen. — Theorie und Versuchsforschung. — Grundlagen für die statische Berechnung. — Statisch unbestimmte Träger im Lichte der Versuche.** Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 70 Textabbildungen. (631 S.) 1923. Gebunden 24 R.M.

Zweiter Band: **Anwendung der Theorie auf Beispiele im Hochbau, Brückenbau und Wasserbau. — Grundlagen für die Berechnung und das Entwerfen von Eisenbetonbauten. — Allgemeines über Vorbereitung und Verarbeitung von Eisenbeton. — Richtlinien für Kostenermittlungen. — Architektur im Eisenbeton. — Amtliche Vorschriften.** Mit 71 Textabbildungen. (650 S.) 1922. Gebunden 20 R.M.

Das Wesen des Gußbetons. Eine Studie mit Hilfe von Laboratoriumsversuchen. Von Dr.-Ing. **G. Bethke.** Mit 33 Textabbildungen. (58 S.) 1924. 3.30 R.M.

Die Grundzüge des Eisenbetonbaues. Von Geh. Hofrat Professor Dr.-Ing. e. h. **Max Foerster** in Dresden. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 170 Textabbildungen. (424 S.) 1921. Gebunden 10 R.M.

Der Aufbau des Mörtels im Beton. Beitrag zur Vorausbestimmung der Festigkeitseigenschaften des Betons auf der Baustelle. Untersuchungen über die zweckmäßige Zusammensetzung des Zementmörtels im Beton, namentlich über den Einfluß der Korngröße des Sandes auf die Druckfestigkeit und das Raumgewicht des Zementmörtels. Versuchsergebnisse und Erfahrungen aus der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart. Von **Otto Graf.** Mit 41 Textabbildungen. (67 S.) 1923. 3 R.M.

Die Methode der Festpunkte zur Berechnung der statisch unbestimmten Konstruktionen mit zahlreichen Beispielen aus der Praxis, insbesondere ausgeführten Eisenbetontragwerken. Von Dr.-Ing. **Ernst Suter.** Mit 591 Figuren im Text und auf 15 Tafeln. (745 S.) 1923. 19 R.M.; gebunden 21 R.M.

Das Torkretverfahren und seine technischen Probleme. Von Dr.-Ing. **Adalbert Szilard.** Mit 25 Textabbildungen. (70 S.) 1925. 3 R.M.

Ausgeführte Eisenbetonkonstruktionen. Neunundzwanzig Beispiele aus der Praxis. Von Dipl.-Ing. **Otto Hausen.** Mit 125 Textfiguren. (127 S.) 1919. 3.20 R.M.; gebunden 5 R.M.

Die Knickfestigkeit. Von Dr.-Ing. **Rudolf Mayer,** Privatdozent an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Mit 280 Textabbildungen und 87 Tabellen. (510 S.) 1921. 20 R.M.

Die Arbeitsfestigkeit der Eisenbetonbalken. Von Ingenieur **Wilhelm Thiel**.
Mit 4 Abbildungen. (57 S.) 1924. 2.25 R.M.

Untersuchungen über den Einfluß wiederholter Druckbeanspruchungen auf Druckelastizität und Druckfestigkeit von Beton.
Von Dipl.-Ing. **Alfred Mehmel**. Mit 53 Textabbildungen.
Erscheint im Frühjahr 1926

Neue Tabellen für exzentrisch gedrückte Eisenbetonquerschnitte.
Von Dr.-Ing. **W. Kunze**, a. o. Professor an der Technischen Hochschule
Dresden. (16 S.) 1925. 1 R.M.

Wind und Wärme bei der Berechnung hoher Schornsteine aus Eisenbeton. Von Dr.-Ing. **Karl Döring** in Ludwigshafen a. Rh. Mit einem Geleitwort von Obering. Dipl.-Ing. **Hermann Goebel** in Ludwigshafen a. Rh. Mit 69 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. (70 S.) 1925. 7.50 R.M.

Organisation und Betriebsführung der Betontiefbaustellen. Von Baurat Dr.-Ing. **A. Agatz** in Bremen. Mit 29 Abbildungen und Musterformularen. (88 S.) 1923. 3.60 R.M.

Tabellen zur Berechnung von einfach und doppelt armierten Balken und Platten aus Eisenbeton mit Hilfstafel für Plattenbalken. Aufgestellt von Ingenieur **Ernst Geyer**. Mit 4 Textfiguren. (22 S.) 1921. 1 R.M.

Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten unter besonderer Berücksichtigung der trägerlosen Pilzdecken. Von Dr.-Ing. **H. Marcus**, Direktor der HUTA, Hoch- und Tiefbau-Aktiengesellschaft in Breslau. Mit 123 Textabbildungen. (376 S.) 1924. 21 R.M.; gebunden 21.80 R.M.

Die vereinfachte Berechnung biegsamer Platten. Von Dr.-Ing. **H. Marcus**, Direktor der HUTA, Hoch- und Tiefbau-Aktiengesellschaft in Breslau. (Erweiterter Sonderabdruck aus „Der Bauingenieur“, Zeitschrift für das gesamte Bauwesen, 5. Jahrgang 1924, Heft 20 und 21.) Mit 33 Textabbildungen. (92 S.) 1925. 5.10 R.M.

Die elastischen Platten. Die Grundlagen und Zeitfahren zur Berechnung ihrer Formänderungen und Spannungen sowie die Anwendungen der Theorie der ebenen zweidimensionalen elastischen Systeme auf praktische Aufgaben. Von Dr.-Ing. **A. Nádai**, Privatdozent in Göttingen. Mit 187 Abbildungen im Text und 8 Zahlentafeln. (93 S.) 1925. Gebunden 24 R.M.