

Chemie für Bauingenieure und Architekten

Das Wichtigste aus dem Gebiet der Baustoff-Chemie
in gemeinverständlicher Darstellung

Von

Dr. Richard Grün

Professor an der Technischen Hochschule Aachen
Direktor des Forschungsinstituts
der Hüttenzementindustrie Düsseldorf

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 63 Textabbildungen



Berlin
Springer-Verlag
1942

ISBN-13:978-3-642-89781-8 e-ISBN-13:978-3-642-91638-0
DOI: 10.1007/978-3-642-91638-0

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

Copyright 1939 and 1940 by Springer-Verlag o. H. G. in Berlin.

Herrn Dr. e. h. Adolf Wirtz
Mülheim (Ruhr)

Vorwort zur ersten Auflage.

Die Chemie, ein vor 100 Jahren verachtetes, fast unbekanntes Fach, auf dessen Gebiet sich Alchimisten und Goldmacher tummelten, phantastische Leute, die von vernünftigen Menschen nicht ernst genommen oder als Schwindler und Hochstapler angesehen wurden, hat sich die Welt erobert, sie ist ein neuer Zweig am Baum der Erkenntnis, sie hat unser Weltbild umgestaltet und verändert es weiter. Die Grundlage ihrer Anwendung ist Energie, Energie in großen Mengen, und über diese Energie verfügen wir heute. Ein neues Zeitalter ist heraufgezogen: das der Chemie und des Kraftüberschusses. Während alle Zeiten vor uns an

Abb. 1. Die Unterschiede in der Erzeugungsmenge in den drei Zeitaltern.

	Erzeugung je Kopf und Tag in der		
	Urzeit	Pferdezeit	Kraftmaschinenzeit
Energie in Kal.	1000	4000	160 000
Erz in t	0,1	2,7	6,7
Roheisen in t	0,001	0,08	1879 1929 1936
			0,24 5,7 13
Ziegel in Stück	—	450	40 000
Mehl in kg	—	133	2,7 Mill.
Schuhe in Paar	—	$\frac{1}{5}$	17

Kraftverbrauch in den verschiedenen Zeitaltern: Die Tabelle zeigt den ungeheuren Anstieg der zur Verfügung stehenden Kraft in den verschiedenen Zeitaltern und einige Beispiele für die durch diesen Anstieg und die Mechanisierung und Automatisierung hervorgerufene Leistungssteigerung. Unser Zeitalter unterscheidet sich grundsätzlich von allen vorhergegangenen durch seinen ungeheuren Kraftüberschuß und ermöglicht dadurch die Herstellung von Baustoffen (Eisen, Zement, Leichtmetall), wie sie vorher niemals möglich war: Infolgedessen stehen uns viel hochwertigere Baustoffe als anderen Zeitaltern vor uns zur Verfügung, die auch die Bauweise ausschlaggebend beeinflussen werden.

Kraftmangel litten — sie schufen die Sklaverei, um menschliche Kraft billig zu haben — schweben wir in gewaltigem Kraftüberschuß, weil es uns durch die Dampfmaschine gelang, Sonnenenergien, die seit Jahr-millionsen in der Erde als Kohle schlummerten, nutzbar zu machen (Abb. 1). Dieser Kraftüberschuß schuf uns auch die chemische Industrie, die ohne Kraft nicht denkbar ist, und die Chemie gab uns Baustoffe mit einer Festigkeit (Stahl) und einer Formwilligkeit (Stahlbeton), wie sie nie früheren Baumeistern zur Verfügung standen, also Neues, noch nie Dagewesenes. Dieses Neue aber schafft der Chemiker.

Er kann das, was kein anderer kann, er stellt neue Stoffe her. Während jeder andere Beruf das gewachsene Holz und den Stein aus dem Berg, Pflanzen- und Tiererzeugnisse verarbeitet, wie sie sind, viel-

leicht nur in der Form veredelt, erzeugt die Synthese neue Stoffe, Stoffe, die noch nie vorhanden waren, bis der Chemiker sie schuf. Er macht aus schwarzem Teer bunte Farben, die in unser Leben leuchten, er bindet flüchtigen Stickstoff aus der Luft zu Dünger, der unsere Ernten verdoppelt, verflüssigt schwere Kohle zu leichtem Treibstoff, der unsere Motoren dreht, er wandelt Erz in Stahl und Eisen für unsere Kanonen und Lehm zu silberweißem Aluminium, welches uns einem neuen Leichtmetallzeitalter entgegenführt, das die „Eisenzeit“ ablösen wird. Er brennt auch aus Kalk und Kieselstein Zement, und dennoch weiß der Bauingenieur von diesem Mann nicht mehr, als daß er still und verschlossen in seinem Laboratorium arbeitet, in dem blaue Flammen rauschen und stickige Dämpfe ziehn; zwar benutzen Ingenieure und Architekten die Erfindungen der geheimnisvollen Analysenköche, sie kümmern sich aber nicht um deren Tun.

Und warum? Weil diese Männer hinter ihren giftspeienden Arbeitstischen nicht zu ihnen sprechen. Sie arbeiten an hohen Problemen, sie untersuchen kompliziert zusammengesetzte Stoffe auf ihre „Konstitution“, sie zergliedern Chlorophyll oder Blutfarbstoff, weisen deren Verwandtschaft nach und setzen sie aus einfachsten Stoffen wieder zusammen. Sie bauen Moleküle ab, fügen sie wieder zusammen und messen die Energie, die sie aneinander bindet. Sie erforschen die Wirkung des Kohlenstoffs im Eisen, verwandeln es durch Molybdänzusatz in härtesten Stahl und nehmen ihm durch winzige Zusätze anderer Metalle die Eigenschaft zu rosten. Sie suchen und finden die Kalksalze, die den Zement aufbauen und verbessern das wichtige Bindemittel, um seine Verarbeitung kümmern sie sich aber wenig, denn dazu haben sie keine Zeit. Und dennoch ist gerade diese Verarbeitung fast so wichtig wie die Herstellung: Derjenige, der Baustoffe, deren Eigenschaften allein auf der chemischen Zusammensetzung beruhen, gleichgültig, ob diese vom Mensch oder von der Natur geschaffen wurden, verwendet, muß in großen Zügen über Chemie Bescheid wissen, nur dann kann er sein Material richtig verbauen.

Man kann aber nicht verlangen, daß der gehetzte Baumeister aus den umfangreichen Büchern, die uns fleißige Chemiker bescherten, seine Kenntnisse sammelt. Die knappe Zeit bei Studium und Tagewerk läßt keine Frist zum Suchen. Noch weniger kann ein Studium der Chemie gefordert werden und sei es noch so abgekürzt. Was interessiert es den Baumenschen, daß es 92 Elemente gibt, daß man ein periodisches System kennt, daß es „schweres“ Wasser und „allotrope Modifikationen“ gibt. Er will nur über seine Baustoffe Bescheid wissen, ihre Eigenschaften kennen, so weit, daß er sein Material richtig und mit Verständnis an der rechten Stelle verbauen kann. Formeln sind dem mit Mathematik übergenug geplagten ein Greuel und wissenschaftlicher Ballast und Fremdworte, die nur der Chemiker versteht, kann er nicht brauchen. Und dennoch muß er wissen, welche Eigenschaften seine Ziegel, sein Zement und sein Stahl haben, wie er sie verarbeiten muß, wie sie sich im Bau verhalten. Dies Wissen erwirbt er sich allein aus der Kenntnis der Chemie, die ihm seine Baustoffe schuf und aus der sich deren Eigen-

schaften ableiten. Denjenigen Teil der Chemie, der hier in Betracht kommt, gibt, ohne wissenschaftliche Probleme, ohne Abschweifung in die höhere Chemie und Physik, ohne imponierende und schwer verdauliche Formeln, aber mit dauernden Seitenblicken auf die Praxis, dieses Buch. Es ist ein Lehrbuch und ein Nachschlagewerk, vom Chemiker für den Bauingenieur geschrieben. Er will in dieser großen Zeit gewaltig aufstrebender Bautätigkeit zum Wohl unseres Dritten Reiches dem Architekten und Bauingenieur, die ja eigentlich eines sind, in ihrem schweren Beruf ein Ratgeber sein, beim Studenten aber Verständnis wecken für ein an unseren hohen Schulen oft stiefmütterlich behandeltes Gebiet, für die Baustoffkunde. Denn ohne Kenntnis der Baustoffe kann man nicht bauen, und nur der baut richtig, der weiß, mit was er baut.

Düsseldorf, im Mai 1939.

Heil Hitler!

Richard Grün.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Es wird heute viel geschrieben, nicht alles gedruckt und bei weitem nicht alles Gedruckte gelesen. Denn keiner hat Zeit und gerade das Lesen ist zeitraubend; was einer schrieb und zehn oder zwanzig druckten, müssen tausende lesen.

Darum wird bei weitem nicht alles Gedruckte gekauft, denn die Leser streiken und weigern sich, alle die unzähligen Bücher aufzunehmen, die uns in den Buchhandlungen fast schwindlig machen und gleichsam überfallen und überfluten.

Um so schöner ist es für einen Verfasser, wenn er aus dem „Absatz“ seines Buches sieht, daß er „einem dringenden Bedürfnis“ abgeholfen hat; dies scheint bei dem vorliegenden Buch der Fall zu sein, denn es war in etwas über 9 Monaten vergriffen. Dieser Erfolg ermutigt Verleger und Verfasser, der ersten Auflage gleich die zweite folgen zu lassen. Diese konnte natürlich nicht auf allen Gebieten Neues bringen, denn trotz der rasend schnellen Entwicklung der Technik gerade jetzt im Krieg ist ein knappes Jahr eine kurze Zeit zur Schaffung neuer Methoden. Dennoch konnte manches inzwischen Errungene gebracht werden, da ja die Entwicklung des Bauwesens durch die rege Bautätigkeit des letzten Jahres und das Eingreifen der neuen Organisationen (Gesellschaft für das Straßenbauwesen, Organisation Todt) stark beschleunigt worden ist. Ganz neu eingefügt wurde auf Anregung von Herrn Reichsminister Prof. Dr. Todt ein Kapitel über Schwarzstraßenbau, erweitert ist der Abschnitt über Leichtbeton, da offenbar diesem bei einsetzender Wohnungsbautätigkeit eine ganz besondere Rolle zufallen wird, denn kein Baustoff ist bauwilliger, billiger und schneller zu beschaffen und

zu verarbeiten als Leichtbeton mit seinem hohen Wärmesperrvermögen. Auch an vielen anderen Stellen sind kleine Zusätze angefügt; im übrigen konnte die erste Auflage unverändert bleiben.

Während die erste Auflage im tiefen Frieden erschien, kommt die zweite im Kampf um die Existenz des deutschen Volkes heraus. Sie soll an ihrem kleinen Platz dazu beitragen, daß bald der Krieg durch einen siegreichen Frieden beendet werde. Sie wird Kenntnis der Baustoffe verbreiten helfen. Wer kämpfen will, muß seine Waffen kennen. Baustoffe aber sind eine Waffe. Unüberwindlich steht der Westwall aus Stein und Stahl, den deutsche Bauingenieure geschaffen, Bauingenieure, die ihr Handwerk verstanden und ihre Baustoffe kannten.

Hösel, im April 1940.

Richard Grün.

Vorwort zur dritten Auflage.

Es ist ein famoses Zeichen für die Wißbegierde und das Streben der deutschen Bauingenieure und Architekten, daß die zweite Auflage dieses Buches schon wieder vergriffen ist. Denn die Beschäftigung mit einem so spröden und trockenen Stoff, wie er im vorliegenden Buch zusammengetragen ist, erfordert ein großes Maß an Selbstüberwindung und Fleiß. Daß unsere Bauingenieure und Architekten die Zeit gefunden haben, sogar jetzt im Krieg, der höchste Anspornung aller Kräfte verlangt, das Buch zu studieren, zeigt ihre Regsamkeit und ihr Interesse. Diese Tatsache wird besonders bewiesen durch den Umstand, daß ja die meisten unserer Fachgenossen im Felde sind und daß die Leserschaft von denen gestellt werden muß, die an der Heimatfront blieben.

Dem Verfasser ist die Aufnahme des Buches Beweis dafür, daß er auf dem richtigen Wege mit dessen Abfassung ist.

Die neue Auflage ist ergänzt durch beträchtliche Erweiterung des Abschnittes Kalke, die möglich war durch die inzwischen, schon in der ersten Auflage geforderte, erfolgte Einführung einer Einteilung der Kalke und hydraulische Kalke durch die Baukalknormen, die nun die Bezeichnung und die Festigkeiten dieses alten und wichtigen Baumaterials geben. Für zahlreiche Anregungen danke ich bestens, vor allen Dingen Herrn Prof. Körber vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, für seine wertvollen Hinweise zum Kapitel „Eisen und Stahl“.

Einige Bilder sind durch neuere, bessere ersetzt, die Schrifttumshinweise sind entsprechend den Neuerscheinungen ergänzt und ein vollständiges Verfasserverzeichnis angefügt.

Die hohe Auflage zeigt, daß es auch manchmal nützlich sein kann, „aus vielen Büchern eines zu machen“ und die Erfahrungen und Forschungen des Verfassers von 30 Jahren einzuarbeiten.

Hösel, im November 1941.

Richard Grün.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Ursprung und Zusammensetzung der Erdkruste	3
Geschichte der Baustoffe	4
Einteilung des Buches	8
Einiges über chemische Formeln	10
A. Anorganische Baustoffe	13
I. Natursteine	13
a) Die verschiedenen Arten von Steinen	13
1. Tiefengesteine	14
2. Sedimentgesteine	16
b) Die Verwitterung	19
c) Der Schutz	26
II. Bindemittel	29
Grundsätzliches über Einteilung und Aufbau der hier wichtigen chemischen Verbindungen	29
Die Bindemittel	30
a) Kalk	31
1. Unverarbeiteter Kalk	31
2. Verarbeiteter Kalk	34
3. Puzzolane	35
α) Traß-Kalk-Mörtel S. 35. — β) Hochofenschlacke-Kalkmörtel S. 36.	
4. Hydraulischer Kalk	38
b) Gips	41
c) Unverarbeiteter Zement	43
Normenzemente	44
Die Rohstoffe	45
1. Chemische Zusammensetzung	46
2. Das Brennen	48
3. Die Kühlung	50
4. Das Mahlen	52
d) Verarbeiteter Zement	52
1. Das Erstarren	52
2. Die Grundlagen der Erhärtung	53
3. Abbindewärme	56
4. Mischung verschiedener Zementarten	56
5. Traßzement	56
6. Steinmehlzemente	57
7. Beton	58
α) Physik des Betons	58
Schwerbeton S. 59. — Dichtigkeit des Betons von der Zementseite (Höhe des Wasserzusatzes) S. 60. — Die Höhe des Zementzusatzes S. 61. — Quellen und Schwinden S. 62. — Wärmeausdehnung S. 62. — Hitze S. 62. — Frost S. 62. — Dichtigkeit des Betons von der Zuschlagsseite S. 63. — Leichtbeton S. 66.	
β) Chemie des Betons	67
Chemische Einflüsse: Art der Einwirkung S. 68. — Einwirkende Säuren und Salze S. 70. — Säuren S. 73. — Schwefelsäure S. 73. — Schweflige Säure S. 74. — Schwefelwasserstoff S. 75. — Kohlensäure S. 76. — Essigsäure und Milchsäure S. 80. — Zucker S. 80. — Salze S. 80. — Sulfate und Ammonsalze S. 81. — Magnesiumsalze S. 82. — Öle und Fette S. 83.	
e) Chemie der Betonzusätze	85
1. Schnellbinden veranlassende Zusätze	85
2. Dichtende Zusätze	88
f) Chemie der Behandlungsmittel	90
1. Imprägnierung mit Silicofluoriden: Fluatierung	90

	Seite
2. Imprägnierung mit Ölen	91
3. Schutzanstrich	91
g) Chemie der Zuschlagsstoffe	94
1. Chemische Zusammensetzung	94
2. Verfestigung mürben Betons oder des Untergrundes	95
III. Kunststeine	97
a) Nichtwasserbeständige Kunststeine	98
1. Gips als Bindemittel	98
2. Magnesit als Bindemittel (Steinholz)	98
b) Wasserbeständige Kunststeine	99
1. Kalk als Bindemittel	100
α) Kalksandsteine S. 100. — β) Bimssteine S. 100.	
2. Zement als Bindemittel	101
α) Kunststeine im allgemeinen S. 101. — β) Pfähle S. 101.	
c) Fußböden	102
d) Putze	102
e) Gegossene Steine	103
f) Zementleichtsteine	103
α) Schaumbildner S. 104. — β) Gasentwicklung S. 105.	
IV. Ziegel- und Tonwaren	105
a) Herstellung	105
b) Ausblühungen	110
1. Salpeter	110
2. Natriumsulfat	110
3. Calciumsulfat	111
4. Calciumkarbonat	111
V. Eisen und Stahl	112
a) Rohstoffe	112
b) Gewinnung des Eisens	113
c) Verschiedene Eisensorten	115
d) Rosten des Eisens	117
VI. Leichtmetalle	120
R. Organische Baustoffe	123
I. Holz	124
Eigenschaften des Holzes	124
Zerstörung des Holzes	126
Schutz des Holzes	128
Schutz gegen Fäulnis	129
Schutz gegen Schadenfeuer	131
II. Asphalt, Bitumen, Teer, Pech	132
III. Kunstharze, Kunststoffe, Phenolformaldehydharze usw.	135
IV. Dachpappe	137
a) Dichtung von Bauwerken	138
b) Umkleidung	139
V. Klebemittel	140
Wasserunbeständige Leimung	140
Wasserbeständige Leimung	141
VI. Kitte	142
VII. Anstrichfarben und Schutzanstriche	143
a) Pigmente oder Farbkörper	144
b) Bindemittel	144
Schluß	147
Über die Bezeichnung und Namengebung chemischer Verbindungen	148
Verzeichnis der häufigsten chemischen Verbindungen unter den verschiedenen, für sie gebräuchlichen Namen	150
Verzeichnis der wichtigsten Fachzeitschriften und ihrer Abkürzungen	152
Namenverzeichnis	153
Sachverzeichnis	154

Einleitung.

Was ist Chemie? Die Lehre vom Aufbau der Stoffe in bezug auf ihre Zusammensetzung aus den verschiedenen Elementen. Diese Elemente haben in ihren Verbindungen bekanntlich gänzlich andere Eigenschaften als in freiem Zustand. So ist beispielsweise reines Eisen ein weiches silberglänzendes Metall, welches an der Luft sehr schnell unter Aufnahme des Elementes „Sauerstoff“ in das rote Eisenoxyd übergeht. Es verliert dabei als Rost völlig seine Festigkeit, während der aufgenommene, ursprünglich gasförmige Sauerstoff „fest“ wird. Durch Zufügung ganz geringer Mengen von anderen Elementen, beispielsweise Kohlenstoff oder Kupfer u. a., kann man die Eigenschaften des reinen Metalls in ganz verschiedener Weise verändern; man kann das Eisen härten, man kann es in Gußeisen verwandeln und ihm sogar seine Eigenschaft, schnell unter Sauerstoffaufnahme zu oxydieren, nehmen, man kann es rostfrei machen.

Noch typischer ist das Beispiel für den überaus vielseitigen Kohlenstoff, der ja in der Hauptsache die meisten unserer Nahrungsmittel und unseren Körper zusammensetzt. Kohlenstoff kommt zunächst in reiner Form in drei verschiedenen Formzuständen vor: amorph, also gestaltlos als Kohle, kleinkristallin als Graphit, der zur Herstellung unserer Bleistifte dient, und grobkristallin in einem anderen Kristallsystem kristallisiert als Diamant. Seine Eigenschaften in dieser reinen Form sind bekannt. Kohlenstoff ist vierwertig, d. h. er vermag vier weitere, einwertige Atome festzuhalten. Verbindet er sich mit vier Wasserstoffatomen, bildet er das Grubengas oder Methan (CH_4), das in Kohlenbergwerken bei Entzündung die „schlagenden Wetter“ hervorruft und zum Antrieb unserer Automobile dient. Es entsteht beim Abbau organischer Substanzen, beispielsweise bei der Fäkalienverfaulung und wird auch künstlich hergestellt. Verbindet sich nun aber Kohlenstoff mit zwei Molekülen des zweiwertigen Sauerstoffs, so bildet er das Kohlendioxyd (CO_2) (meist kurz Kohlensäure genannt), das in der Luft in geringen Mengen (0,02 %) als Gas vorkommt und ebenso bei der Gärung entsteht (Bier, Sekt). Auch die Eigenschaften der Kohlensäure sind bekannt. Sie sind, trotzdem das Kohlenstoffatom die Grundlage sowohl für das Methan als auch für die Kohlensäure bildet, gänzlich andere als diejenigen des Methans. Der Kohlenstoff vermag sich in Ketten zu den „aliphatischen Verbindungen“, beispielsweise Alkohol, oder in Ringe zu den „aromatischen Verbindungen“¹, beispielsweise Benzol unter Bindung

¹ Die Bezeichnung „aromatische Verbindungen“ ist ein alter, aber noch heute üblicher Ausdruck, der bei der Entdeckung dieser Kohlenwasserstoffe diesen ge-
Grün, Chemie. 3. Aufl.

von Wasserstoff, gegebenenfalls auch von Sauerstoff zusammenzuschließen. Fast unsere sämtlichen organischen Substanzen beruhen auf dieser Fähigkeit des Kohlenstoffs, Atomketten oder auch Atomringe zu bilden. Die überaus große Vielfältigkeit all dieser Verbindungen zeigt, wie stark die Eigenschaften eines Atoms sich ändern, wenn es sich mit anderen Atomen zu chemischen Verbindungen zusammenschließt.

Warum braucht man einige Grundkenntnisse von Chemie? Das Weltbild, das wir uns machen, muß heutzutage gegründet sein auf richtige Deutung beobachteter Tatsachen und auf Kenntnis der Naturgesetze. Wir können uns nicht mehr wie der primitive Mensch damit begnügen, Märchen zu glauben, wie sie in der Urzeit erfunden wurden, um rätselhafte Vorgänge zu erklären. Die Sonne ist für uns nicht mehr eine in einem Wagen über den Himmel fahrende Göttin, sondern ein gewaltiger Weltkörper, dessen chemische Zusammensetzung wir kennen. Wir lernten verstehen, daß der Blitz nicht ein von einem wütenden Gott geschleudeter Hammer, sondern ein großer elektrischer Funke ist, den wir sogar auffangen, also unschädlich machen können.

Neben dem Weltbild, das wir uns machen, sollen wir aber auch wissen, wie die Stoffe, die wir essen und trinken, mit denen wir bauen und arbeiten, zusammengesetzt sind, wir sollen ihre „Chemie“ kennen, damit wir sie richtig verwenden und vor Rückschlägen geschützt sind.

Vom Bauingenieur, vom Architekten ist diese Kenntnis in erster Linie zu fordern, denn er ist derjenige, welcher alle die vielen Erzeugnisse der Natur und Industrietätigkeit gebraucht, der sie zu Bauwerken zusammenfügt, der aus Stein und Holz heimische Häuser, aus Stahl und Eisen weitgespannte Hallen, aus Ziegeln mächtige Pfeiler und Mauern, aus Beton riesige Talsperren und aus Eisenbeton kühne Brücken und ragende Türme errichtet. Vom Baumeister wird verlangt, daß er die verschiedenen Baustoffe jeweils ihrer Eigenart entsprechend heranzieht, daß er die durch sie gegebenen, noch vor 50 Jahren nicht einmal erträumten Möglichkeiten ausnutzt und schließlich, daß er seine Werke schützt vor Untergang durch Feuer und Wasser und durch den fast allmächtigen Faktor „Zeit“, vor Fäulnis und Verwitterung.

Groß sind die hier gestellten Anforderungen an Wissen und Erfahrung und unmöglich ist es für den im hastenden Leben stehenden Mann vom Bau, in all den vielen guten, aber umfangreichen Einzelwerken nachzuschlagen, um zu erfahren, welche Eigenschaften die vielen heute vorhandenen Baustoffe haben. Der vielbeschäftigte Praktiker im Büro und auf der Baustelle kann nicht prüfen, was richtig oder übertrieben ist in all den Werbeschriften, mit welchen er dauernd überschwemmt wird.

Eine sachgemäße Anwendung der vielen uns durch die moderne Technik geschenkten Baustoffe ist aber nur möglich, wenn man sie kennt, und man kennt sie nur, wenn man weiß, aus was sie bestehen und wie sie zusammengesetzt sind, denn aus dieser Kenntnis allein erwächst weiter das Wissen über ihre Eigenschaften. Deshalb muß der Bauingenieur sich nicht bloß mit den Eigenschaften seiner Baustoffe beschäftigen, sondern geben wurde, weil viele stark „aromatisch“ rochen. Es gibt auch recht unangenehm riechende „aromatische Verbindungen“ (Phenol = Karbolsäure).

auch mit ihrem Aufbau, also ihrer chemischen Zusammensetzung, denn diese bedingt in der Hauptsache die zu erwartenden Eigenschaften und das Verhalten bei Lagerung, Verarbeitung und Altern.

Ursprung und Zusammensetzung der Erdkruste.

Die Erdkruste in den uns zugänglichen Tiefen besteht in der Hauptsache aus Kieselsäure und Tonerde. Das sind diejenigen Stoffe, die für den Aufbau unserer Baustoffe mit am wichtigsten sind. Im Kern ist der Erdball selbst überaus dicht. Man nimmt teilweise an, daß er aus Nickeleisen zusammengesetzt ist, die Annahme ist aber nicht bestätigt, da es uns nicht möglich ist, mehr als 2—3000 m tief in die Erdkruste einzudringen. Sicher ist nur, daß unter dem ungeheuren Druck, der bestimmt im Erdinnern herrscht und bei der gewaltigen Temperatur, die wir annehmen, die Elemente im Erdkern selbst überaus stark zusammengepreßt sind und deshalb eine Dichte haben, die wir uns kaum vorstellen können. Von der äußeren Zone der Erdkruste nehmen wir an, daß sie in zweierlei Weise aufgebaut ist, und zwar gibt es eine äußere Zone, die man Sial-Zone nennt (SiO_2 -Kieselsäure Al_2O_3 -Aluminiumoxyd), weil in ihr hauptsächlich Kieselsäure (SiO_2) und Tonerde (Al_2O_3) vorhanden sind, und weiter eine etwas tieferliegende Zone, die wir Sima-Zone nennen, weil in ihr hauptsächlich Kieselsäure (Siliziumdioxid SiO_2) und Magnesiumoxyd (MgO) vorkommen. In diesen Zonen sind die Elemente, die auch unsere mineralischen Stoffe aufbauen, in ungeheuren Mengen vorhanden.

Unsere in der Bauindustrie verwandten Stoffe setzen sich, im großen gesehen, wie folgt zusammen:

Feldspat, Granit u. dgl.: Natrium-, Kalium-, Calcium-, Aluminiumsilikate (Salze der Kieselsäure, deren „chemische Bezeichnung“ Siliziumdioxid (SiO_2) ist, heißen Silikate),

Sandstein: Kieselsäure (SiO_2), Quarzsand verkittet durch sehr geringe Mengen von Bindemittel, beispielsweise wieder Kieselsäure (Quarzit) oder Ton (toniger Sandstein),

Ton, gebrannt als Ziegelstein: Tonerde und Ton dürfen nicht verwechselt werden. Tonerde ist Aluminiumoxyd (Al_2O_3), Ton ist Aluminiumsilikat, also das kieselsaure Salz des Tones ($\text{Al}_2(\text{SiO}_2)_3$),

Portlandzement: Calciumsilikat + Calciumaluminat,

Hochofenschlacke: Calciumaluminiumsilikat,

Kalkstein: Calciumcarbonat,

Magnesit: in gebranntem Zustand als gebrannte Magnesia zur Steinholzherstellung,

Steinholz: Magnesiumoxyd und Magnesiumchlorid mit Zusatz von Holzmehl, mit Zusatz von Holzschliff als Leichtbauplatte (Heraklith),

Seife: Schmierseife: Kaliumoleat, Feste Seife: Natriumoleat,

Papier und Pappe: Zellulose, Verbindung von Kohlenstoff mit Wasser (Kohlehydrat), in Faserform aus Holz, zu Papier verleimt.

Fensterglas: Natrium-Calciumsilikat,

Wasserglas, Natrium- oder Kaliumsilikat,

Holz: Wie Papier, außerdem Gehalt an Stärke, Harzen, Ölen,

Eisen: Metallisches Eisen mit geringen Beimengungen von Kohlenstoff ist Schmiedeeisen. Höherer Kohlenstoffgehalt verändert die Eigenschaften des Eisens, verwandelt es z. B. in das brüchige Gußeisen. Bei Zusatz von wenigen Prozent Kupfer und dgl. entsteht nichtrostendes Eisen, bei Wolframzusatz Schnelldrehstahl usw..

Magnesium, Elektron usw.: Legierungen von Magnesium mit anderen Leichtmetallen (Legierungen nennt man zusammengeschmolzene Metalle, die also wohl Mischkristalle, aber keine Verbindungen sind).



Abb. 2. Wohnhütte der Germanen (Deutsches Museum).

Erstes Stadium der Baustoffverwendung: Verwendung von unverändertem Baustoff (Flechtbau): In ihrer Form unveränderte Äste sind verflochten und mit Gras und Lehm umkleidet.

Geschichte der Baustoffe.

Unsere modernen Baustoffe verdanken ihre Entstehung ausnahmslos chemisch geleiteten Vorgängen, die von Menschenhand hervorgerufen sind. Eine Ausnahme bildet das Holz, aber auch dieses vermag ohne entsprechende Behandlung infolge seiner natürlichen Neigung zum Verfaulen unseren modernen Ansprüchen nicht mehr zu genügen, wenn es nicht in entsprechender Weise chemisch getränkt wird, ehe wir es den Atmosphärien aussetzen.

Betrachten wir kurz die Geschichte der Baustoffe, so können wir leicht vier verschiedene Stadien ihrer Verwendung unterscheiden.

Im ersten Stadium nahm der Urmensch die Baustoffe unverändert so wie sie ihm von der Natur dargeboten werden. Er flocht sich beispielsweise Häuser aus Zweigen (Abb. 2) oder er schichtete Steinplatten aufeinander, um den Eingang einer Höhle zu verengern, oder sich an einer Felswand gegen den Schlagregen zu schützen. Auch die ersten gewaltigen Steinbauten, die wir kennen, die Hünengräber, gehören hierher.

Im zweiten Stadium lernte dann der Mensch, als er das Werkzeug erfunden hatte, welches den Schlag seiner Hand verstärkte, seine Baustoffe zu behauen, also mechanisch zu verändern. Er höhlt sich Bäume aus, schlug sich Steine in der gewünschten Form zurecht und machte sich Formsteine aus Lehm, die er an der Luft erhärten ließ (Abb. 3).

Das dritte Stadium ist weitaus das wichtigste. Denn in diesem Stadium lernte der Mensch die von der Natur gegebenen Baustoffe chemisch zu verändern:

Er erhitzte den früher nur getrockneten Lehm und Ton, der ja an der Luft und im Wasser wieder erweichte, auf hohe Temperaturen und erreichte dadurch ein Entweichen des chemisch gebundenen Wassers aus dem Ton und damit eine Erhärtung, ja sogar eine Frittung und Schmelzung: Der Backstein war erfunden.



Abb. 3. Blockhütte in Norwegen (Foto: Alfred Kunze).

Zweites Stadium der Baustoffverwendung: Verwendung von mechanisch verändertem Baustoff (Blockhaus): Der Fortschritt gegen Stadium I ist deutlich erkennbar, das Holz ist behauen.

Er brannte den Kalkstein, verjagte auf diese Weise Kohlensäure und erreichte, daß das zurückbleibende Calciumoxyd nach dem Löschen mit Wasser einen Mörtel bildete, welcher durch Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft wieder erhärtete (Abb. 4). Ja, er fügte sogar diesem Kalk Puzzolane, die er in der Natur fand, zu, um auf diese Weise seinen Baustoff wasserbeständig zu machen. Auf gleicher Grundlage erzeugte er den Gipsmörtel, welcher im Harz durch Jahrhunderte ein beim Baumeister beliebtes Mörtelmaterial darstellte.

Dann gelang es dem erfinderischen Geist des Menschen, die Erze, in welchen das Eisen in oxydierter Form, z. B. als Eisenkarbonat, also kohlen-saures Eisen, oder gebunden an andere Säuren oder an Sauerstoff, vorhanden war, so zu behandeln, daß das Eisen aus dem oxydierten in den reduzierten Zustand überging, also aus Eisenoxyd (Fe_2O_3 = Rost) in metallisches Eisen, und er gewann dann dieses Eisen zunächst in Rennfeuern in geringem Umfange, später in unseren bekannten Hoch-

öfen in Massen¹. Auch hier spielen die chemischen Vorgänge eine ausschlaggebende Rolle: Das Erz, welches Kieselsäure und andere „Gangarten“ enthält, wird mit Kalkstein gemischt und reduzierend gebrannt, d. h. mit einem Überschuß von Kohle erhitzt. Die Kohle (C) reißt hierbei Sauerstoff (O) aus dem Oxyd des Eisens (Fe_2O_3) an sich, der Sauerstoffanteil des Eisens verwandelt sich in Kohlensäure (CO_2), die entweicht,



Abb. 4. Palast von Ktesiphon.

Drittes Stadium der Baustoffverwendung: Verarbeitung von chemisch verändertem und geformtem Baustoff (Ziegelbau): Lehm ist zu Ziegel gebrannt, also chemisch verändert. Die Ziegel sind vermauert mit gebranntem Kalk, also durch chemische Veränderung entstandenem Mörtel.

das Metall aber schmilzt zu metallischem Eisen (Fe). Die Gangart, die störend wirken würde, tritt als „Säure“ (Kieselsäure) zusammen mit der zugefügten „Base“ Kalk, und die neben der Eisenschmelze entstehende mineralische Schmelze verläßt den Ofen, um dann, auch ihrerseits als „Hochofenschlacke“ ein beliebtes Baumaterial zu bilden.

Wie groß die Neigung des Eisens ist, sich rückläufig wieder mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden, zu oxydieren, zu rosten, also wieder in Eisenoxyd überzugehen, ist jedem bekannt und hat jedem wegen der Unbeständigkeit seiner Bauwerke schon Sorge gemacht. Wegen der „Umkehrbarkeit“ der Reaktion muß das Eisenbauwerk, wenn es Bestand haben soll, mit Farbanstrich gedeckt werden.

Als viertes und letztes Stadium, in dem wir uns heute neben dem Stadium 3 befinden, kennen wir eine Vereinigung

dieses Stadiums mit dem ursprünglichen Stadium 1, bei welchem ja unveränderte, also weder behauene noch chemisch beeinflusste Baustoffe verwendet worden waren: Im Beton lernten wir nämlich unbehauene und chemisch unveränderte Baustoffe, den Zuschlag, der als Kies oder Steinsplitt verwendet wird, mit Zement zu einem einheitlichen Baustoff zu verkitten. Der Beton war schon den Römern bekannt, die ihn entweder als Schwerbeton unter Verwendung von Kies als Zuschlag, oder als Leichtbeton unter Verwendung von Backsteinkleinschlag oder leichter Vulkanschlacke herstellten. Als Bindemittel verwandten sie hydraulischen Kalk; dieser erreichte allerdings beim Abbinden und Erhärten nicht diejenigen Festigkeiten wie unsere modernen Zemente, aber ergibt dennoch Bauwerke,

¹ Die Entziehung von Sauerstoff (O = Oxygenium) aus einer chemischen Verbindung (Oxyd) nennt man „Reduktion“, das Gegenteil, die Zuführung von Sauerstoff „Oxydation“ (Verbrennung).

die durchaus wetterbeständig sind und denen man schon vor 2000 Jahren recht beträchtliche Abmessungen gab. So ist beispielsweise die Kuppel des Pantheons in Rom aus derartigem Beton hergestellt (vgl. Abb. 5) und große Molenanlagen in der Nähe von Neapel sind noch heute in Betrieb. In der Vereinigung des Eisenstadiums 3 und des Betons hat das Stadium 4 im Eisenbeton vorläufig seinen Gipfelpunkt gefunden. Denn im Stahlbeton wird die hohe Zugfestigkeit des Eisens verbunden mit der hohen Druckfestigkeit des Betons: Das Eisen übernimmt in dem beim Abbinden und Erhärten des Betons entstehenden Gestein die Zug-

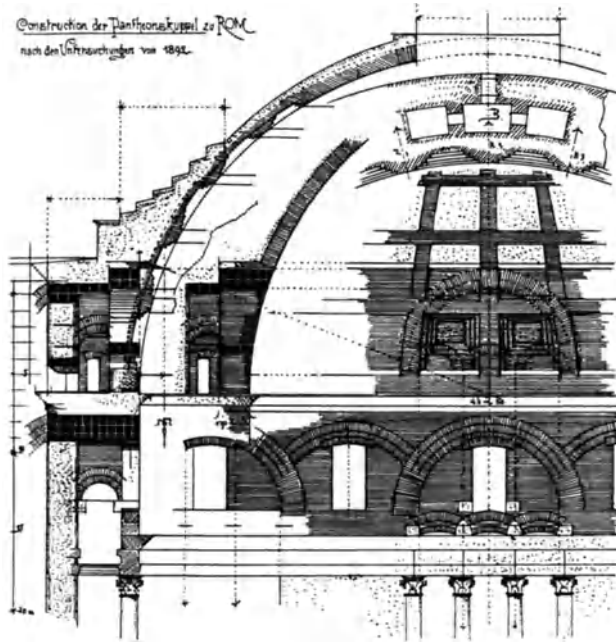


Abb. 5. Pantheon in Rom, erbaut 27 v. Chr. erneuert 202 n. Chr.:
Viertes Stadium der Baustoffverwendung. Verfestigung ungeformter Baustoffe
(Kies) mit Zement an der Stelle der Verwendung zu geformtem Stein (Beton).

spannung und es entsteht so ein Baustoff, der dem Naturstein weit überlegen ist, weil er die Überbrückung von Weiten gestattet, die der Naturstein niemals zu überspannen vermag. Die enge Säulenstellung der griechischen und ägyptischen Tempel ist Zeuge für die geringe Biegezugfestigkeit der auf die Säulen aufgelagerten Steinplatten. Der Stahlbeton bedarf keiner engen Säulenstellung, sondern schwingt sich als weit gespannter Balken oder als kühner Bogen raumbezwingend über früher unüberbrückbare große Entfernungen. Seine vorläufige Vollendung findet der Stahlbeton im Beton mit vorgespannten Stahleinlagen. Dieser wird in der Weise hergestellt, daß man Eisen, bevor man betoniert, in Spannung versetzt, so daß sie im erhärtenden Beton unter Spannung bleiben, gleichsam also wie gespannte Gummibänder den Beton zusammenziehen. Derartiger Beton vermag viel höhere Beanspruchungen auszu-

halten als solcher Beton, der mit nicht vorgespanntem Stahl bewehrt ist und Risse, die in ihm beispielsweise bei hohem Druck in Rohrleitungen entstehen, schließen sich wieder nach Aufhebung des Druckes (Beton von Frayssinet und Stahlsaitenbeton von Hoyer). Bauwerke aus derartigem Beton können wesentlich leichter konstruiert werden als normale Eisenbetonbauwerke und Gefäße auch mit verhältnismäßig dünnen Wandungen halten sehr große Beanspruchung aus. Auch auf den Schalenbeton, der in Form verhältnismäßig dünner Schalen die Herstellung von Gewölben nach Berechnung von Zeiss und Dischinger gestattet, sei in diesem Zusammenhang als besonders formwilliges, leichtes und feuerfestes Baumaterial hingewiesen¹.

Einteilung des Buches.

Bei der engen Verbundenheit unserer ganzen Baustoffe, sowohl bei ihrer Herstellung, als auch bei ihrer Verarbeitung und schließlich bei ihrem Bestand, mit chemischen Vorgängen ist es unbedingt notwendig, daß der Bauingenieur mehr als dies meist geschieht, mit der Chemie dieser Baustoffe sich beschäftigt. Denn, nur wenn er in großen Zügen die chemischen Reaktionen kennt, die zur Entstehung, Erhärtung oder zur Verwitterung seiner Baustoffe führen, vermag er sein Material richtig zu verarbeiten und vor dem Untergang zu schützen.

Es ist natürlich nicht zu verlangen, daß der Leser nach Art eines Schülers ein Buch wie das vorliegende von A bis Z durcharbeitet, aber er muß sich doch von Fall zu Fall über die einzelnen Fragen unterrichten, um besonders dann, wenn er Entscheidungen zu treffen hat, den richtigen Baustoff und die zweckmäßige Behandlungsart für diesen wählen zu können. Auf diese Weise wird er sich allmählich ein chemisches Wissen, welches zur Allgemeinbildung des Bauingenieurs gehört, aneignen, und von Fall zu Fall auch Einzelheiten lernen, die ihm nützlich sind.

Neben dem Konstrukteur wird auch der Architekt wertvolle Aufklärung finden, die er bei Ausführung seiner Bauwerke brauchen kann. Gerade in Architektenkreisen ist nach meinen Erfahrungen häufig eine krasse Unkenntnis über Baustoffe vorhanden, die sich so auswirkt, daß entweder die Baustoffe falsch angewendet oder aber daß ungeeignete Baustoffe herangezogen werden mit dem Erfolg, daß alle möglichen Nachteile eintreten, wie schnelle Zerstörung, Feuchtwerden der Häuser

¹ Die außerordentliche Wendigkeit des Betons bei der Herstellung von Bauwerken führt neuerdings zu ganz ungewohnten Formen. Die Formen unserer Häuser sind immer noch übernommen aus der Zeit, als es weder Stahl noch Beton gab. Als Beispiel für die Möglichkeiten, die im Beton liegen, sei verwiesen auf ein neues Geschäftsgebäude in Amerika (vgl. Beton und Eisen 1938, S. 350), welches durch Fenster mit der Straße überhaupt nicht mehr verbunden ist, um die Geräuschbelästigung der Einwohner durch Autos, elektrische Bahnen u. dgl. zu verhindern. Licht erhält das Haus von der Straße nur durch dünne Glasbänder, die Schauseite liegt im Hof.

Wenn uns auch das Abweichen der Bauweise von der bisher üblichen zunächst überraschend erscheint, sind doch die neuen Gedanken, selbst wenn wir sie kritisch ablehnen, bemerkenswert.

u. dgl. Schlimmer noch ist, daß unsichere Kenntnis unserer Baustoffe zu einer gewissen Scheu vor deren Anwendung führt und die großen Möglichkeiten, die in ihnen stecken, so nicht ausgenutzt werden. Viele Architekten bauen noch in Methoden, die durch Jahrtausende und mehr die Menschheit beherrscht haben, nutzen also den weiten Spielraum, welcher ihnen durch die Entwicklung unserer modernen Baustoffe seit der Jahrhundertwende gegeben ist, nicht annähernd aus. Dem Architekten sind durch unsere Stähle und Eisen, durch unseren Stahlbeton und durch unsere anderen modernen Baustoffe Mittel geboten, die dem griechischen oder römischen Architekten oder gar dem mittelalterlichen Baukünstler versagt waren: Es ist zu fordern, daß der moderne Baukünstler in viel größerem Umfang als bisher erkennt, welche gewaltigen Möglichkeiten ihm die moderne Technik für seinen Form- und Gestaltungswillen gegeben hat. Zu dieser Erkenntnis wird auch die Beschäftigung mit der Chemie der Baustoffe beitragen.

Um das Nachschlagen zu erleichtern, ist ein Stichwortverzeichnis zur raschen Unterrichtung über die einzelnen Erzeugnisse der Technik, von denen viele häufig unter verschiedenen Namen bei gleicher Ursubstanz vorkommen, angefügt (S. 153). Weiter sind die einzelnen chemischen Verbindungen in einem besonderen Verzeichnis zusammengefaßt, in welchem sie unter den verschiedenen Namen, die jeweils die gleiche Verbindung bezeichnen, aufgeführt sind (S. 150).

Bei der Einzelbesprechung sind zunächst in Teil A die anorganischen Baustoffe vorweggenommen unter Voraussetzung der Natursteine (I), die ja die ersten Baustoffe unserer Vorfahren gewesen sind. Anschließend sind unter II die Bindemittel erläutert, die einerseits aus solchen Natursteinen erbrannt werden, andererseits dazu dienen, sie als Mörtel oder Beton zusammenzufügen, und zwar sowohl die nicht hydraulisch erhärtenden, also die Luftbindemittel, als auch anschließend die wichtigeren hydraulisch erhärtenden, die Zemente. Die Zusätze, welche häufig üblich sind (Traß), sind gleichfalls besprochen.

Die Bindemittel verwendet nicht nur der Bauingenieur, sondern auch der Fabrikant, der in seinem Werk aus diesen Kunststeine herstellt, die dann fertig auf den Bauplatz kommen. Diese einzelnen Kunststeinarten sind anschließend abgehandelt (III), wobei jeweils eine kurze Beschreibung mit wenigen Zeilen über das Herstellungsverfahren vorausgeschickt ist, um den Bauingenieur in die Lage zu versetzen, mit größerem Verständnis, als dies bisweilen üblich ist, seine Kunststeine zu beurteilen und zu verbauen. Im Kapitel III sind auch noch kurz erwähnt die gegossenen Steine, zu deren Herstellung entweder Hochofenschlacke oder Kupferhüttenschlacke dient (Hochofenschlackenpflastersteine, Mansfelder Steine). Obwohl die aus Ton gebrannten Ziegelsteine auch Kunststeine sind, weil man sie künstlich formt und brennt, sind sie nicht im Kapitel „Kunststeine“ behandelt, weil sich dieser Name mehr für die hauptsächlich aus Zement aufbereiteten Steine eingebürgert hat. Dem Ziegelstein (von lat. tegula oder Backstein), welcher den allerersten „Kunststein“ darstellt, den die Menschheit verwandte, ist ein besonderes Kapitel gewidmet (IV).

Das Kennzeichen unseres Zeitalters ist die Herstellungsmöglichkeit von Eisen und Stahl in ungeheuren Mengen. Dadurch unterscheidet sich unser Jahrhundert endgültig und grundsätzlich von allen vorangegangenen. Es ist deshalb, wenn auch der Bauingenieur das Eisen nicht herzustellen braucht, wie beispielsweise den Beton, dem Eisen und dem Stahl ein kurzes Kapitel gewidmet (V). Es gewinnt ganz den Anschein, als ob wir allmählich uns aus dem Eisenzeitalter bis zu einem gewissen Grade entfernten und in ein Leichtmetallzeitalter einträten. Es ist deshalb notwendig, daß der Bauingenieur auch das Wichtigste über die Leichtmetalle weiß. Die Leichtmetalle sind deshalb auch auf einigen Seiten besprochen (VI).

Anschließend sind im Teil B die organischen Baustoffe abgehandelt, und zwar zunächst das Holz und vor allen Dingen sein Schutz, weiter das Kunstharz und die Dachpappe und schließlich der Leim und der Kitt. Dachpappe, Leim und Kitt, sowie die Abdichtung, die man mit diesen genannten Stoffen durchführen kann, sind scheinbar nebensächliche Teile der Baustoffkunde; sie sind allerdings wichtige Teile der Chemie, werden aber vom Bauingenieur häufig wenig beachtet. Sie verdienen mehr Aufmerksamkeit, denn sie sind es, welche die Lebensdauer unserer anorganischen und organischen Baustoffe um ein Vielfaches verlängern und vor allen Dingen dem Baufachmann manchen Ärger ersparen können, dem er ausgesetzt ist, wenn es ihm nicht gelingt, seine Bauwerke auch dicht zu gestalten. Das uns allen so lebensnotwendige Wasser hat das Bestreben, sich nach Möglichkeit auszubreiten und alle Räume, die es erfüllen kann, auch zu erfüllen. Es wird hierdurch der Feind des Bauingenieurs, denn es läuft nicht nur von oben nach unten in die Gebäude, sondern es vermag auch von unten nach oben aufzusteigen, und überall, wo es auftritt, ruft es Reaktionen und damit Zerstörungen hervor, seien es Verwitterungen, Verfaulung oder auch nur Ausblühungen an Backsteinen und Betonwänden, die, wenn sie auch unschädlich sein mögen, um so häßlicher für das Aussehen des Bauwerkes sind.

Unter Weglassung alles unnötigen Ballastes sei nunmehr in die Besprechung der einzelnen Baustoffe, besonders vom chemischen Standpunkt eingegangen. Die wenigen wiedergegebenen Formeln sind zum Verständnis notwendig. Chemische Formeln sind sehr viel einfacher als sie aussehen und bei geringer Aufmerksamkeit leicht zu verstehen, zumal nur die einfachsten Formeln angeführt werden. Ihr Verstehen trägt zum Verständnis des Buches bei, deshalb übergehe man sie nicht, sondern nehme sie zur Kenntnis, zumal sie durch untergeschriebene Bezeichnungen erklärt und somit leicht erfaßbar sind.

Einiges über chemische Formeln.

In den chemischen Formeln ist stets jedes Element¹ durch eine Abkürzung gekennzeichnet, die meistens von dem lateinischen Namen ge-

¹ Im Mittelalter verstand man unter Elemente die 4: Feuer, Wasser, Erde, Luft („denn die Elemente hassen das Gebild von Menschenhand“). Der moderne Che-

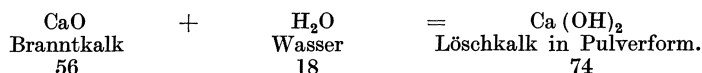
nommen ist. So bedeutet Na: Natrium, O (Oxygenium: Sauerstoff, H (Hydrogenium): Wasserstoff usw. In der Formel selbst steht nun an Stelle jedes Atoms einmal die betr. Abkürzung. Ist rechts unten von dieser Abkürzung eine 2 angebracht, so bedeutet dies, daß die betr. chemische Verbindung zwei der betr. Atome enthält. Atome sind die kleinsten Teile der Elemente. Treten mehrere zusammen, so nennt man die entstehende Gruppe eine chemische Verbindung. Der kleinste Teil einer chemischen Verbindung ist das Molekül. Es bedeutet demgemäß beispielsweise CaCl_2 , daß 1 Atom Calcium zusammengetreten ist mit 2 Atomen Chlor zu Calciumchlorid.

Die chemischen Elemente verbinden sich immer in gleicher Weise, je nach ihrer Wertigkeit, und in stets konstanten Gewichten, je nach ihrem Atomgewicht. Da das Calcium das Atomgewicht 40 hat und das Chlor das Atomgewicht 35, bedeutet also die Formel CaCl_2 (Calciumchlorid), daß 40 Gewichtsteile Calcium mit zweimal 35, also 70, Gewichtsteilen Chlor zu Calciumchlorid mit dem Molekulargewicht 110 zusammengetreten sind.

Die Gewichtseinheit, welche in der Chemie verwendet wird, ist das Gewicht des Wasserstoffatoms, das man gleich 1 setzt. Es bedeutet also das Atomgewicht von Calcium mit 40, daß das Calciumatom vierzigmal so schwer ist wie das Wasserstoffatom¹. Man kann unter Zugrundelegung dieser stöchiometrischen Verhältnisse also ohne weiteres berechnen, wieviel von den einzelnen Verbindungen notwendig sind, um eine bestimmte Reaktion restlos durchzuführen. Will man also beispielsweise Kalk in der ganz genau notwendigen Wassermenge löschen, so kann man die Wassermenge ausrechnen auf folgende Weise:

Calciumoxyd (CaO , Branntkalk) hat folgendes Molekulargewicht: 40 (Ca) Calcium + 16 O (Sauerstoff) = 56.

Wasser (H_2O) hat folgendes Molekulargewicht: 2 H + 16 O (Sauerstoff) = 18. Die Formel lautet:



Man braucht also auf 56 Teile, beispielsweise kg Branntkalk 18 Teile, also Liter, Wasser und erhält 74 kg Löschkalk. In der Praxis werden natürlich Verluste in vorliegendem Falle auftreten durch Verdampfen eines Teils Wasser. Immerhin ist ein wichtiger Hinweis über die in

miker kennt 92 Elemente und versteht unter Elementen die Grundstoffe, aus welchen die zusammengesetzten Körper bestehen, in die sie zerlegt werden können, die aber selbst einer weiteren Zerlegung nicht mehr fähig sind (Atome). (Die „Atomzertrümmerung“ hat auch hier eine weitere Aufspaltungsmöglichkeit eingeleitet, die aber hier nicht behandelt werden kann). Die Elemente werden nach steigenden Gewichten im periodischen System von Mendeleeff geordnet, das deshalb „periodisch“ heißt, weilsich bestimmte Eigenschaften (Wertigkeit, Reaktionsweise usw.) periodisch wiederholen. (Siehe hierüber die Fachliteratur.)

¹ In der wissenschaftlichen Chemie setzt man neuerdings Sauerstoff gleich 16 und Wasserstoff gleich 1,0078 aus Gründen der Genauigkeit, die aber hier nicht interessieren.

Frage kommenden Gewichtsverhältnisse durch diese, von jedem durchführbare leichte Berechnung gegeben.

Die für den Baustoff-Chemiker wichtigsten Atomgewichte (abgerundet) sind im nachfolgenden wiedergegeben:

Aluminium	27	Magnesium (Mg)	24
Kohlenstoff (C)	12	Mangan (Mn)	55
Calcium (Ca)	40	Stickstoff (N)	14
Chlor (Cl)	36	Natrium (Na)	23
Kupfer (Cu)	64	Sauerstoff (O)	16
Fluor (F)	19	Blei (Pb)	207
Eisen (Fe)	56	Radium (Ra)	226
Wasserstoff (H)	1	Schwefel (S)	32
Quecksilber (Hg)	201	Silicium (Si)	28
Kalium (K)	39	Zink (Zn)	65

Aus ihnen lassen sich die Molekulargewichte einfacher Verbindungen, wie CaO ohne weiteres berechnen. Die jedermann bekannte Erfahrung, daß Radium, Blei und Quecksilber die schwersten Elemente sind, ist durch die Zahlen bestätigt.

A. Anorganische Baustoffe.

Unter anorganische Baustoffe versteht man alle diejenigen Baustoffe, welche keine pflanzlichen oder tierischen Bestandteile enthalten, oder diese nur in geringerem Maße als Verunreinigungen aufweisen. Es gehören hierher:

I. die Natursteine, die entstanden sind entweder aus dem glühend-flüssigen Magma, das einst die Oberfläche der Erde bildete (Granit, Basalt), oder aus den Verwitterungsprodukten dieses Magmas durch mechanischen oder durch chemischen Aufbau, beispielsweise unter Druck verfestigter Tiefseeschlamm (Schiefer), durch Verkittung verfestigter Sand (Sandstein) oder durch tierische Tätigkeit entstandener Kalkstein (Muschelschalen). Dann sind weiter besprochen die

II. Bindemittel, welche auf chemischem Wege aus gewissen Natursteinen, wie Kalkstein, Gipsstein, Tonmergel usw. künstlich hergestellt werden,

III. die Kunststeine, die aus dem Bindemittel nach II. oder unter Verwendung anderer Bindemittel hergestellt sind,

IV. die Ziegelsteine oder Backsteine, die man aus gebranntem Ton in der üblichen Weise aufbereitet, und schließlich

V. die gegossenen Steine aus Schlacke (Mansfelder Schlacke, Hochofenschlacke) oder aus Naturstein (Basalt),

VI. Eisen, Stahl und

VII. Leichtmetall.

I. Natursteine.

a) Die verschiedenen Arten von Steinen.

Die Natursteine sind neben dem Holz das erste Baumaterial, welches der Mensch zur Herstellung seiner Behausungen verwendete. Zunächst wurden diese Natursteine unbehauen verbaut oder aufeinandergeschichtet, später fand dann eine mehr oder weniger weitgehende Formgebung statt. Die Steine haben ja einem ganzen Zeitalter den Namen gegeben, während welcher der „Steinzeitmensch“ seine Werkzeuge aus Feuerstein oder Flintstein anfangs plump, im Neolithikum in vollkommenster Form und Weise zurechtschlug und schliff. Die Widerstandsfähigkeit der Steine sowohl gegen mechanische, als auch vor allen Dingen gegen physikalische und chemische Beanspruchung, wie Frost und Hitze, Wellenschlag und chemische Verwitterung, ist außerordentlich verschieden. Sie hängt nicht allein von den Steinen selbst ab, sondern auch von dem Klima, unter welchem sie verarbeitet werden, und von der Art und Weise, wie man

sie versetzt¹. Gegen Witterungseinflüsse durch vorspringende Dächer einigermaßen geschützte Steine werden selbstverständlich länger halten als ungeschützte; solche, die keinen Frost zu ertragen haben, wie beispielsweise die Quader der Pyramiden, haben länger Bestand als solche, die Frost, Hitze und Rauchgasen ausgesetzt sind. So zeigt sich beispielsweise jetzt bei den nach London gebrachten ägyptischen Obeliskten, die viele Jahrtausende lang in Ägypten vollkommen unverändert geblieben sind, unter dem Einfluß des Frostes, der Feuchtigkeit und der Rauchgase starke Verwitterung.



Abb. 6. Dünnschliff von Tiefengestein (Granit): Die einzelnen, den Granit aufbauenden Mineralien, wie Feldspat, Glimmer, sind deutlich zu sehen. Sie sind bei der langsamen Erstarrung, gut auskristallisiert und fest verkittet.

1. Tiefengesteine.

Die Entstehung der Erdkruste stellen wir uns ja so vor, daß auf der Oberfläche des noch glühendflüssigen Erdballs Gesteinsschmelzen schwammen wie im Hochofen die Schlacke auf dem noch glühendflüssigen Eisen schwimmt. Diese Gesteinsschmelzen erkalteten langsam, offenbar im Laufe von vielen Jahrhunderttausenden, in den tieferen Lagen unter dem sehr hohen Druck der aufliegenden Gesteinsmasse. Sie bildeten dabei Kristalle, die sich innig miteinander verfilzten und durch diese Verfilzung die guten Eigenschaften der Tiefengesteine hervorriefen. Dabei wurden die Kristalle um so größer, je langsamer die Abkühlung stattfand (Abb. 6). Als Kristallarten kommen in Frage:

¹ Vgl. auch Grengg: Bewertung und Prüfung natürlicher Gesteine, Straßenbau 1939, S. 127.

Feldspat, Glimmer u. dgl. Nach ihrer chemischen Zusammensetzung sind diese Gesteine überaus widerstandsfähig gegen Angriffe von Säuren. Das dichte Gewirr der eng verfilzten Kristalle macht sie sehr fest gegen Schlag, Stoß und Druck. Es gehören hierher der Granit, der Syenit, Gabbro usw. (Näheres siehe in der Tabelle, S. 22.) Den Tiefengesteinen nah verwandt sind die sog. Ergußgesteine, zu welchen Diabas, Basalt und Porphyry zählen. Sie sind wesentlich feinkristalliner als die Tiefengesteine, da sie infolge der schnellen Abkühlung nach dem Vulkanausbruch



Abb. 7. Basaltbruch: Die Säulenformgestaltung des Basalts ist eingetreten bei der verhältnismäßig raschen Abkühlung nach der Vulkaneruption.

schneller erstarrten; auch sie sind außerordentlich widerstandsfähig gegen die Atmosphärien. Infolge ihres feinkristallinen Aufbaus werden sie aber im Gebrauch, wie beispielsweise Basalt, sehr leicht glatt. Die merkwürdige Säulenform, in der sie häufig auftreten, hat mit der Kristallbildung nichts zu tun, sondern ist eine Folge der Abkühlungsart. Diese Form macht aber den Säulenbasalt für manche Bauzwecke (Molenbau, Straßenbegrenzung) besonders geeignet (Abb. 7). Es sei darauf verwiesen, daß es Basalte gibt, die infolge innerer Umlagerungen an der Sonne zerfallen, die sog. Sonnenbrenner.

Ähnlich aufgebaut wie die genannten Steine sind die künstlichen Gesteinsschmelzen, welche entstanden sind aus Erzeugnissen der Industrie, wie Mansfelder Schlacke von der Kupfererzeugung, Hochofenschlacke von der Eisenerzeugung und Phosphorschlacke von der Phos-

phorerzeugung. Alle eignen sich teilweise für Pflastersteine, bisweilen werden sie auch für Straßenbau als Kleinschlag und als Betonzuschlag verwendet. Zu verlangen von ihnen ist, daß sie an der Luft nicht zerfallen, was bei falscher chemischer Zusammensetzung vorkommen kann.

2. Sedimentgesteine.

Die Tiefen- und Ergußgesteine, welche ursprünglich die einzigen Gesteinsarten bildeten, welche an der Erdoberfläche vorkamen, wurden durch den Verwitterungsvorgang allmählich abgebaut. So löste sich aus

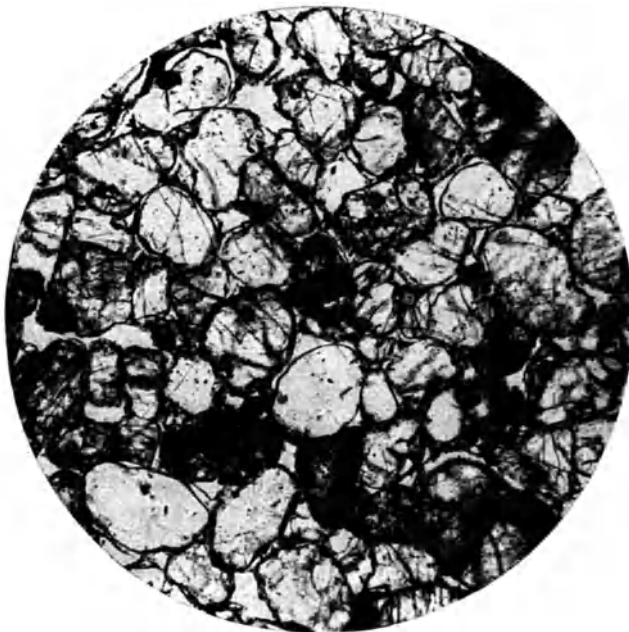


Abb. 8. Dünnschliff von Sandstein: Der Sandstein ist aufgebaut auf verkitteten Quarzkörnern, die ursprünglich entstanden bei der Verwitterung von anderem Gestein. Die einzelnen Quarzkörner sowohl wie die Kittmasse sind deutlich zu sehen.

dem Feldspat das Kali, der Glimmer wurde weggeschwemmt, der Quarzsand blieb liegen, und es entstanden unter dem Einfluß von Wasser, Frost, Hitze, Wind und Kohlensäure der Luft und des Wassers Trümmergesteine, die wir heute noch als Sand und Kies u. dgl. kennen. Die so aus dem Abbau einer Gesteinsart entstandenen und zu gewaltigen Bänken aufgehäuften Trümmergesteine wurden teilweise wieder zu sog. Sedimentgesteinen verfestigt. Auch auf chemischem Wege sind Sedimentgesteine entstanden, die heute teilweise ausgezeichnete Baustoffe darstellen (Kalkstein siehe S. 18).

Das bekannteste mechanische Sediment, das wir in noch nicht verfestigtem Zustand kennen, ist der Kies und Sand. Je nach dem Flußbett, aus dem er stammt ist er naturgemäß aus denjenigen Trümmern auf-

gebaut, die aus dem Gebirge entstehen konnten, welche der Fluß durchströmte. Je weiter der Fluß vom Ursprung ab ist, desto widerstandsfähiger sind seine Kiese gegen Verwitterung; denn auf dem Wege vom Ursprungsort bis zum Lagerort sind naturgemäß die Kiese den starken mechanischen Beeinflussungen des strömenden Wassers, dessen lösender Wirkung sowie der Zerspaltung durch Frost, oft durch Jahrtausende, ausgesetzt gewesen. Diese energischen Einflüsse vernichteten alle weichen, löslichen oder zerfrierbaren Steine, so daß bloß die widerstandsfähigsten übrig blieben.

Das bekannteste verkittete Trümmergestein ist der Sandstein, dessen Güte in erster Linie von seinem Gefüge und dann vor allem von dem Bindemittel, welches die einzelnen Sandkörner wieder verkittet, abhängt (Abb. 8). Sandsteine mit kalkigem Bindemittel sind weniger widerstandsfähig als solche mit quarzigem Bindemittel. Deshalb ist der Quarzit besonders widerstandsfähig; am wenigsten beständig sind die Sandsteine mit tonigem Bindemittel. Man erkennt sie sofort, wenn man sie anhaucht: sie riechen dann nach feuchtem Ton. Vor solchen Bausteinen hütet sich der erfahrene Baumeister, da sie sehr leicht verwittern und oft in wenigen Dutzend Jahren völlig zugrunde gehen. (Abb. 9.) (Über Verwitterung siehe S. 19.)

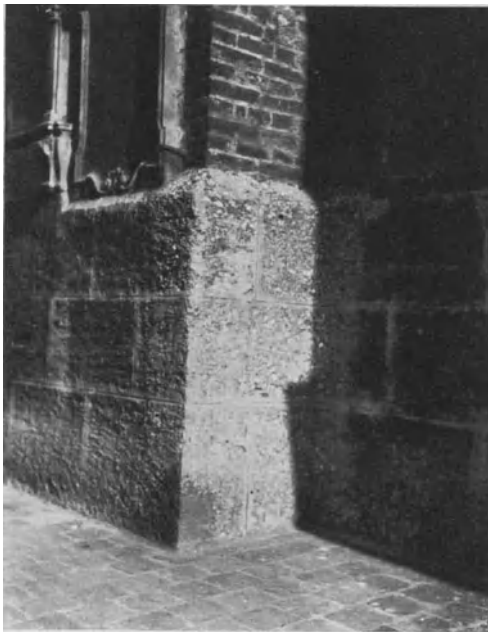


Abb. 9. Nagelfluhfundament von der Frauenkirche in München. Die Nagelfluh ist entstanden aus Geröllen an Flüssen und Bächen, die später durch kohlensauren Kalk zu einem sehr widerstandsfähigen Stein verkittet wurden: Naturbeton.

Die Grauwacke enthält neben Quarzkörnern, wie sie hauptsächlich den Sandstein aufbauen, auch noch andere Gesteinstrümmer und findet besondere Verwendung als Betonzuschlag.

Der Tonschiefer ist in der Hauptsache aus Tiefseeschlamm entstanden; er hat seine schieferige Beschaffenheit — die ihn für manche Bauwerke wenig, dagegen zur Dachschieferherstellung besser geeignet macht — erhalten unter dem überaus hohen Gebirgsdruck, dem er lange Zeit ausgesetzt war, da hoher Druck erfahrungsgemäß zu schieferigem Gefüge führt.

Schließlich sei noch die in Süddeutschland bekannte Nagelfluh genannt, welche aus Geröllen von kohlensaurem Kalk besteht, die wieder mit Kalk zusammengeklebt sind (Abb. 10).

Alle kohlensauen Kalk enthaltende Gesteine sind naturgemäß nicht säurebeständig, sie eignen sich aber dennoch ausgezeichnet für gewöhnliche Bauwerke, hauptsächlich, wenn das Gefüge der Steine dicht ist. Will man säurefeste Bauwerke herstellen, beispielsweise in chemischen Fabriken, so muß man solche Steine heranziehen, die säurebeständig

sind, wie beispielsweise Quarzit.



Abb. 10. Verwitterungserscheinungen an einer Soester Kirche: Sandstein ist verhältnismäßig porös und die einzelnen Quarzkörner durch ein wenig widerstandsfähiges Bindemittel verbunden. Das Bindemittel wird durch das Wasser gelöst, der Sand rieselt herab.

Neben dem auf die geschilderte Weise durch Zertrümmerung von Urgesteinen und nachträgliches Zusammenbacken der Trümmer entstandenen „mechanischem“ Sediment spielt noch eine große Rolle das chemische Sediment, dessen Hauptvertreter der schon genannte Kalkstein ist. Dieser besteht aus kohlensaurem Kalk (Calciumkarbonat, CaCO_3) und kommt in ungeheuren Mengen gebirgsbildend vor. Das ganze bayerische Vorgebirge vor den Alpen besteht aus Kalkstein. Der Kalkstein ist entstanden in der Hauptsache aus Muschelschalen, Schneckenhäusern und Korallen, also aus durch Lebewesen che-

misches aus dem Kalk des Wassers und der Kohlensäure der Luft aufgebautem Kalkkarbonat. Dieses wurde durch den Wellenschlag fein zerrieben, später hat sich dann der Schlamm verfestigt. Die Kalksteine sind in ihrem Aufbau sehr verschieden: Wurde dem Meer, in dem der Prozeß der Bildung der Tiergehäuse und deren Zerreibung vor sich ging, gleichzeitig durch Flüsse Tonschlamm zugeführt, so sind die Kalksteine mehr oder weniger tonhaltig, man nennt sie, wenn der Kalk vorherrscht, Kalkmergel, wenn der Ton vorherrscht, Tonmergel. Die Mergel eignen sich infolge ihres Tongehaltes, der sie weich und wenig widerstandsfähig macht, nicht als Bausteine, dagegen sind sie vorzügliche Rohmaterialien für die Zementfabrikation.

Ein reines chemisches Sedimentgestein ist der Dolomit, der gleichfalls die bekannten ungeheuren Gebirge bildet. Sowohl dem Dolomit als dem Kalkstein ist gemeinsam, daß sie sich im Laufe der Zeit, allerdings in großen Zeiträumen, in kohlensäurehaltigem Wasser auflösen. Der Kalk wird dann als wasserlöslicher doppeltkohlensaurer Kalk weggeführt und die zurückbleibenden Steine nehmen die bekannte Form an, die den aus ihnen gebildeten Gebirgen die merkwürdigen bizarren Formen gibt (Dolomiten). Da gleichzeitig gewaltige Auswaschungen und Löcher entstehen, vermögen sich größere Wassermengen auf solchen Gebirgen nicht zu halten, sie veröden deshalb (Karstbildung). Aus dem Wasser scheidet sich bei entsprechend günstigen Verhältnissen der kohlensäure Kalk unter Entweichen der Kohlensäure wieder ab in den berühmten Tropfsteinhöhlen. Die Kalkbildung in Tunneln, die häufig auch in der zapfenförmigen Form der Stalaktiten auftritt, ist ein ähnlicher Vorgang, nur stammt der Kalk hier meist aus dem Mörtel (Abbildung 12). Gipsstein hat in roher Form als



Abb. 11. Verwitterung durch Salzbildung (Kölner Dom): Das auskristallisierte Salz zersprengt den Stein. Die Auskristallisation tritt ein, wo starke Verdunstung stattfindet, also auch an geschützten Stellen, weil hier das schädliche Salz nicht ausgewaschen wird. Vom Regen getroffene Stellen blieben ohne

Verwitterung, weil hier das Salz stets herausgelöst wird.

Baumaterial eine geringe Bedeutung, dient aber in gebranntem Zustand als Gips zur Mörtelbildung (vgl. S. 41). Einen schnellen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften der Gesteine gibt die Tab. 1 (s. S. 22 u. 23).

b) Die Verwitterung.

Die Verwitterung der Gesteine spielt eine viel größere Rolle als gemeinhin angenommen wird und tritt sehr viel schneller ein als bekannt ist. So sind z. B. die gewaltigen Wiederherstellungsarbeiten am Kölner Dom zu einem recht großen Teile an denjenigen Partien des Domes

notwendig, welche erst vor 80 Jahren hergestellt sind. Außer dem Chor und einem Turmstumpf ist ja der Kölner Dom ein modernes Bauwerk, zu welchem leider teilweise recht ungeeignete Sandsteine verwendet worden sind.

Für die Verwitterung kommen in Frage zunächst Temperaturwechsel und Wind, weiter Wasser und in ihm gelöste Gase und schließlich Pflanzenwuchs.



Abb. 12. Stalaktitenbildung in einem Betontunnel: Das Wasser mit einem hohen Gehalt an aggressiver Kohlensäure hat den Kalk des Betons als kohlensauren Kalk gelöst. Aus der Lösung schied sich wieder kohlensaurer Kalk unter Entweichung von Kohlensäure ab.

Verwitterung tritt schon bei gewöhnlicher Sonnenbestrahlung ein. Die in der Gesteinsmasse vorhandenen Kristalle haben verschiedene Ausdehnungskoeffizienten, sowohl unter sich als auch in den verschiedenen Achsen der einzelnen Kristalle. Bei dauernd wechselnder Erwärmung und Abkühlung findet durch die immer wiederholte Bewegung eine Lockerung des Gefüges statt, so daß der Stein schließlich absandet oder zerbröckelt. Besonders schädlich wirken natürlich plötzliche Erwärmungen und Abkühlungen, also beispielsweise starke Sonnenbestrahlung mit nachfolgender Beschneigung, wie sie im Hochgebirge häufig stattfindet. Deshalb verwittert das Gestein in Hochgebirgen auch ohne Rauchgase viel schneller als in der milderen Ebene mit ihren geringen Klimagegensätzen (Abb. 13).

Wasser wirkt bei dauernder Strömung zunächst mechanisch zerstörend, besonders durch mitgeführten Sand. Wir kennen ja viele 100 und 1000 m tiefe Schluchten, die das Wasser in die Erdrinde selbst durch härteste mächtige Urgesteinsschichten gefressen hat. Aber auch bei Rohrleitungen, gleich ob sie aus Eisen oder Beton sind, können, wenn

das Wasser sandführend ist, starke mechanische Beschädigungen durch einfachen Abrieb auftreten. Die gefürchteten Beschädigungen an Flußwehren, Druckrohrleitungen von Talsperren u. dgl. gehören hierher. Viel schlimmer als diese Art der mechanischen Beschädigung ist die chemische, also zunächst die lösende Wirkung des Wassers an sich, dann die erweichende auf mergelige Bindemittel, wie beispielsweise im Sandstein, und schließlich die viel gefährlichere durch den Gehalt des Wassers an freier Säure. Hier kommt vor allen Dingen Kohlensäure in Betracht (vgl. Abb. 10, 11 u. 12). In Städten spielt daneben auch die schweflige Säure eine



Abb. 13. Algenbildung an Gesteinen. Als erstes Stadium der Steinerstörung tritt die Alge auf, welche imstande ist, freie Säure abzuscheiden und dadurch das Gestein aufzulösen: Rauwerden von Marmor. Im zweiten Stadium herrscht die höhere Pflanze vor, beispielsweise Steinbrech, der mit seinen Wurzeln nicht nur lösend, sondern auch sprengend wirkt. Die Algenbildung wird begünstigt durch Feuchtigkeit. Daneben wirken Frost und Hitze, Sturm und Wasser.

große Rolle, denn der Stadtatmosphäre werden aus der verbrennenden Kohle der Haushaltungen täglich viele tausend Kubikmeter freie schweflige Säure zugeführt, die sich in der Luft sofort zu Schwefelsäure oxydieren und gesteinszerstörend wirken. Wir konnten durch Analyse von Wasser, das aus verschiedenen hohen Schichten einer Stadtatmosphäre entnommen war, nachweisen, daß in ungefähre Dachhöhe weitaus die größten Säuremengen in dem Regenwasser gelöst sind. Es wurden gefunden¹:

Entnahmestelle: Kirchturm der „Herz Jesu“- Kirche in Düsseldorf	Höhe m	SO ₂ mg/l	aggr. CO ₂ mg/l	ph-Wert
Ebene Erde	—	15,6	22,0	6,4
Fensterchen unter Turmuhr, Westseite.	20	13,7	15,4	6,4
Balkon, Westseite	40	56,7	19,8	6,4
Balkon, Ostseite	40	144,0	22,0	6,4
Fiale, wo der Helm beginnt, Westseite .	60	52,1	22,0	6,4

Das Wasser höchsten Säuregehaltes wirkt besonders nachteilig; tatsächlich wurde ja auch bei vielen Domen in Dachhöhe die größte Zerstörung erkannt². Die „schwache“ Kohlensäure ist ein viel größerer Schädling in diesem Sinne als gemeinhin angenommen wird. Auf der einen Seite ermöglicht sie allein unser organisches Leben, da sie den

¹ Grün: Die Verwitterung der Bausteine vom chemischen Standpunkt. Chem.-Ztg. 1933, S. 401.

² Mitt. des Dombaumeisters Göltenpfennig, Köln.

Tabelle 1. Die wichtigsten Eigenschaften der als Bausteine und für

Gesteinsart	Farbe	Bruch	Oberfläche	Aussehen	Mineralien	Eigen- Raum- gewicht
1. Eruptiv						
Granit	dunkelrot, hellrot, weiß, grau, grün und fleischfarben	kubisch	rauh	gekörrnt, mit Einschlüssen von Glimmer	Feldspat, Quarz und Glimmer	2800
Syenit	grau und fleischfarben	kubisch	rauh	fein bis körnig	Feldspat und Hornblende	2800
Grünstein Diabas, Diorit, Gabbro	grünlich und bräunlich bis schwarz	kubisch	rauh	fein bis grobkörnig	Feldspat und Hornblende oder Augit	2900
Porphy	rosa bis grau, häufig mit hellen Einsprengungen	kubisch	rauh	größere Kristalleinschlüsse in feinkörniger Grundmasse	Quarz und Feldspatkristalle in feinkörniger Grundmasse von Feldspat u. Quarz	2900
Basalt	grauschwarz bis bläulich	muscheliger, splitterig	wenig rauh	dicht, körnig Säulige Absonderung	Feldspat, Augit oder Hornblende, Olivin, Erze	3000
Trachyt und Andesit	grau und bräunlich	grob, splitterig	rauh	fein und dicht, häufig mit Einsprengungen von großen Sanidinkristallen	Feldspat teilweise mit großen Sanidinkristallen	2700
2. Verfestigte Sedi-						
Kalkstein	schwarz, grau bis weiß, auch grünlich und gelb	kubisch	mehr oder weniger rauh	derb, dicht und fest, oft mit Muscheleinschlüssen, bisweilen kristallin (Marmor)	Kalkspat CaCO_3 Kohlensaurer Kalk	2600
Dolomit	schwarzgrau bis hellblau	kubisch	rauh	dicht und derb	Doppelkarbonat CaCO_3 MgCO_3	2200
Quarzit	hell bis weiß	kubisch	glatt	schwach glänzend	Quarz $5, \text{O}_2$	2500
Gipsstein	weißlich, rosa und marmoriert	kristallisch	rauh	durchscheinend	$\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	2300
Sandstein	Alle Farben möglich: weiß, grün, grau, rot, gelb	kubisch	rauh, sandig	sandig mit Einsprengungen von Glimmer	Quarzsand, der verkittet ist durch Bindemittel aus Kieselsäure, kohlensauren Kalk oder Ton	2400 bis 2700
Grauwaacke	grau, sandsteinähnlich, auch rot	kubisch	rauh	fein bis grobkörnig	enthält neben Sand auch andere Gesteinstrümmer	2700
Tonschiefer	dunkelgrau bis schwarz, auch grünlich, rötlich und bläulich	schieferig	glatt	schieferiger Bruch	Quarzsand mit Ton und Glimmer	2000
3. Lockere Sedi-						
Kies	gelb, weiß, grau rot	rundgerollt	glatt	rundlich, je nach den Steinen, aus denen sie entstanden sind	Für Rheinkies, Quarz und Feldspat, für alle anderen die bisher genannten Gesteine	1600
Kalksteinkies (Isarkies)	hellgrau bis schwarz	rundgerollt	glatt	rundgerollte Kalksteinbrocken	CaCO_3 usw.	1800
Tuff	grau bis gelbbraun	muscheliger	rauh	porös mit eingeschlossenen Gesteinsbrocken	je nach dem Eruptivgestein aus dem er entstanden ist	2000
Bims Kies	gelb bis braun	rund, körnig	rauh	körnig und leicht, bimssteinähnlich	wie Tuff	1100

Schwerbeton als Zuschlagsstoffe in Betracht kommenden Gesteine.

Gesteine	Eigenschaften				Gütekennzeichen	Fehler	Brauchbarkeit	Bemerkungen
	Druckfestigkeit kg/cm ²	Wasser- auf- nahme	Wetter- bestän- digkeit	Feuer- bestän- digkeit				
gesteine.								
über 1600	<0,5%	gut	gut	gut	feines Korn, viel Quarz, wenig Glimmer	sehr grobkörnig, verwittert	gut brauchbar	Gneis hat fast dieselbe Zusammensetzung und Eigenschaften wie Granit, bricht aber plattenförmig
über 1400	<0,5%	gut	gut	gut	Flaseriges Gefüge, viel Hornblende	viel Glimmer, Schwefelkies, angewitterter Feldspat	gut brauchbar	
1900 bis 2100	<0,5%	gut	gut	gut	gleichmäßige feinkörnig	angewitterter Feldspat, Schwefelkies, schieferiges Gefüge und Serpentinegehalt	gut brauchbar	Die oft als schwarz-schieferiger Granit oder Odenwälder Syenit bezeichneten Steine sind eigentlich Grünschiefer
1800 bis 3000	1,5%	gut	gut	gut	viel Quarz u. Hornblende oder Augit, feinkörnig, harte Grundmasse	Grundmasse ritzbar mit d. Messer, Tongeruch beim Anhauchen, Schwefelkies	gut brauchbar	Vorsicht vor Sonnenbrennern
2000 bis 5000	<1% gut	gut, Sonnenbrenner zerfallen	sehr gut	sehr gut	dicht, dunkel, feinsplittig	hellgrau glasige Anteile, sternförmige Flecken: Sonnenbrenner	gut brauchbar	„
700	4,7%	häufig schlecht	ziemlich gut	gut	gleichmäßige Struktur ohne Sandkristalle	große Sandkristalle, Glimmer, Porosität	brauchbar bei geringer Beanspruchung	
mentgesteine.								
1000 bis 1800 bei porigem Kalkstein 200—600	0,5 bis 4%	bei dichtem Stein sehr gut	gut	bis 800° gut	derb, dichte Beschaffenheit	porige Beschaffenheit, hohe Wasseraufnahme	sehr verschieden	Braust in Säure stark auf
1000 bis 3000	2,5%	gut	gut	wie Kalkst.	wie Kalkstein	wie Kalkstein	wie Kalkstein	Braust in Säure schwach auf
3000 gering	<1% 7,5%	sehr gut schlecht	sehr gut	zerspringt keine	dichtes Gefüge kein Baustein	schieferig	gut brauchb. unbrauchbar	Als Zuschlagsstoff unbrauchbar, da er Treiben verursacht
stark schwankend bis 1200	4 bis 10%	schlecht wenn porös	ziemlich gut	gut	gleichmäßige Sandkörner, kieseliges Bindemittel	viel Glimmer, toniges oder mergeliges Bindemittel, in Säure aufbrausend, erdiger Geruch	verwittert wenn porös, sehr bald	Als Zuschlagsstoff für Beton sind nur die allerdichtesten Sandsteine geeignet, die meisten sind unbrauchbar
1000 bis 3000	1—2%	mittel bis gut	gut	gut	viel Quarz, kieseliges Bindemittel	viel Schiefer- oder Kalkbrocken, Schwefelkies	oft minderwertig	Grauwacken mit tonigem Bindemittel verwittern (erdiger Geruch)
600 bis 1700	0,5 bis 1%	meist gut	meist gut	meist gut	grobe Schieferung, nicht verblässend, hell klingend	im Wasser aufweichend, Kupfer und Schwefelkies, Bitumengeruch beim Erhitzen	oft minderwertig	Infolge seines schieferigen Bruches ist dieses Gestein als Betonzuschlag minder geeignet
mentgesteine.								
		wechselnd	wechselnd		festes Gerölle, gemischtes Korn	Verunreinigung (Wassertrübung) Sandsteingehalt	verschieden	
		gut	gut		wie Rheinkies	wie Rheinkies	gut	Nagelfluh ist ein in der Natur bereits verkittetes Trümmergestein aus kohlensaurem Kalk, sie ist meist sehr hart und fest
200	20 bis 35%	schlecht	gut		dichtes Gefüge	toniges Bindemittel	für geringste Beanspruchg. (vgl. Abb. 16)	Tuff ist entstanden durch Erhärten von vulkanischen Schlammen
der fertigen Leichtsteine 20—30		gut	gut		festes Korn	verwittertes Korn, Beimengung von Britzschichten	für Leichtbeton	

Kohlenstoff zur Bildung der Kohlehydrate, die wir essen, den Pflanzen darbietet, andererseits sorgt sie auch wieder dafür, daß alle Gesteine gelöst werden und zerfallen. Sie wirkt infolgedessen einerseits befruchtend auf die Erde, dadurch daß sie Gesteine zertrümmert, andererseits vernichtet sie auch unsere Bauwerke.

Granit und andere Urgesteine sind gegen diese Art der Verwitterung mit unserem menschlichen Zeitmaßstab gemessen verhältnismäßig beständig; es gibt aber

Granite, die in vergangenen geologischen Zeiträumen schädlicher Wirkung ausgesetzt waren, deshalb heute schon recht stark geschädigt sind und darum sich für Bauzwecke nicht mehr eignen.

Kalkstein hat, besonders wenn er derb, dicht und fest ist, eine erhebliche Lebensdauer, ist aber schon leichter anzugreifen dadurch, daß er gelöst wird. Die Höhlenbildung in Kalksteingebirgen ist auf diese „Lösung“ zurückzuführen; diese Art der Lösung nimmt aber so gewaltige Zeiträume in Anspruch, daß sie unseren Bauwerken wenig gefährlich wird. Nur das Rauhwerden von Marmor und das Angeätztwerden von Kalkstein (weiße Verfärbung von durch die Zeit nachgedunkelten Bauwerken) gehört hierher.

Sandstein verhält sich verschieden je nach dem Bindemittel, das den Sand zusammenhält (vgl. S. 16). Löst sich dies heraus, so rieselt der Sand herunter. Typisch für diese Art der Zerstörung ist die Tatsache, daß sie nur da eintritt, wo das Regenwasser dauernd den Stein trifft (Abb. 14), daß aber da, wo Regenschutz besteht, die Zerstörung ausbleibt. Im Gegensatz



Abb. 14. Verwitterung durch Lösungserscheinungen. Das Bindemittel des Sandsteins ist gelöst, der Sand des Sandsteins rieselt herab. Die Lösung tritt nur da ein, wo der Regen einwirken kann, an den geschützten Stellen oben im Torbogen keine Verwitterung.

hierzu tritt bei Zerstörung durch Auskristallisation von Salzen (Gips) die Verwitterung an regengeschützten Stellen ein, wo die Salze nicht ausgewaschen werden (vgl. Abb. 11).

Hand in Hand mit dieser Zerstörung geht die Zerstörung durch Algen, die sich auf den Steinen ansiedeln, an ihren Wurzeln verhältnismäßig starke Säuren abscheiden und dadurch die Oberfläche der Gesteine zunächst aufrauen, später zerstören. Sprengende Wirkung der Wurzeln höherer Pflanzen ist bekannt und spielt gegen die zerstörende Kleinarbeit der Milliarden von Algenwurzeln eine verhältnismäßig geringe Rolle.

Zur Verhinderung des Pflanzenwuchses ist es notwendig, das Bauwerk so zu gestalten, daß Algen möglichst wenig Wasser für ihr Leben be-

kommen. Bei völliger Trockenheit vermögen sie nämlich nicht zu gedeihen. Wenn völliger Wasserabschluß auch in unserem Klima nicht erreicht werden kann, so ist doch durch besondere Baugestaltung dazu beizutragen, daß nach Möglichkeit die Algenbildung unterbleibt. Wichtig ist natürlich auch die sofortige Beseitigung des Wassers durch Ableitung.

Auch Moorsäuren zerstören allmählich die Gesteine, kommen aber in der Natur nur in Mooren, moorigen Wäldern und im moorigen Untergrund vor, der allerdings häufiger ist als man annimmt.

Wichtig ist noch eine andere Säure, die schweflige Säure, welche in den Rauchgasen vorkommt. Sie führt überall da, wo Kalk vorhanden ist, zu Gipsbildung. Der Gips kristallisiert dann mit zwei Molekülen Wasser aus und zersprengt allmählich das Gefüge. Aber auch da wo kein Kalk vorhanden ist, vermag die schweflige Säure, die eine verhältnismäßig starke Säure ist, Gesteine sehr schnell anzugreifen. Die in den letzten Jahrzehnten beobachtete schnell fortschreitende Zerstörung an Bauwerken, die früher durch Jahrhunderte beständig geblieben waren, ist zweifellos zurückzuführen auf die Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlensäure aus den Rauchgasen und mit Schwefelsäure aus dem Schwefel, der hauptsächlich in der Braunkohle vorkommt (Abb. 11). Daß schließlich noch ungeeignete Mörtel, wie beispielsweise stark sulfathaltige Zementmörtel, zerstörend wirken können, sei hier ausdrücklich bemerkt.

Anormale Vorgänge, wie beispielsweise Feuer oder Rosten von einbetonierten und eingelegten Eisen, kommen auch bisweilen vor. So hat sich beispielsweise Quarzsand und Kies für Bauwerke, die wahrscheinlich einer Feuersbrunst oder einer sonstigen Erhitzung ausgesetzt werden, nicht bewährt, da bei der durch die Hitze ausgelösten Umwandlung des Quarzes in den raumgrößeren Tridymit Aussprengungen unter explosionsartige Erscheinungen auftreten können. Wichtig ist noch, darauf hinzuweisen, daß Eisen unter gar keinen Umständen in Natursteine eingelegt werden darf, ohne genügenden Schutz (Abb. 15). Eine dünne Zementhaut genügt hier nicht, es muß unter allen Umständen zum Ver-



Abb. 15. Zerstörungserscheinungen durch Rosten eingebetteter Eisen als Sprossen: In den Naturstein eines Kirchturmfensters in Köln eingebettete Eisen rosten und zersprengen den Stein.

gießen mit Blei gegriffen werden, wie sie diese unsere Vorfahren stets durchführten.

Literatur. Grün: Der Beton, Berlin 1937. — Wendehorst: Baustoffkunde, Leipzig 1931, S. 27. — Behrend: Baustoffkunde, Leipzig 1933, S. 31.

c) Der Schutz.

Der beste Schutz der Natursteine ist hohe Widerstandsfähigkeit des Steines selbst. Es muß also zunächst die richtige Gesteinsart für jeden Zweck herangezogen werden. Frost zerstört besonders leicht poröse Gesteine. Aber auch ohne Frost können solche weitgehend vernichtet werden. So sind beispielsweise Tuffsteine, die zum Bau der großen

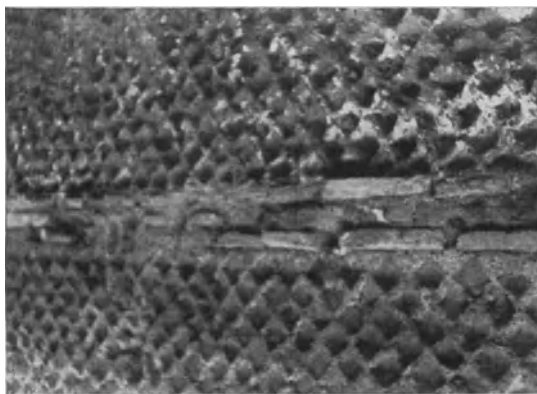


Abb. 16. Teil der großen Mauer in der Hadrians Villa in Tivoli bei Rom: Der als Vorsatz für Beton verwendete Tuffstein ist bis zu 10 cm Tiefe ausgewittert und völlig verschwunden. Nur die Mörtelstege sind zurückgeblieben und zeigen deutlich die bei den Römern so beliebte Vermauerungsart des Opus reticulatum. (Netzmauerwerk.)

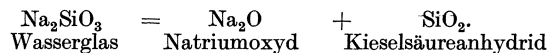
Mauer in der Hadriansvilla verwendet wurden, bis zu einer Tiefe von 10 cm im Laufe von 1800 Jahren ausgewittert (vgl. Abbildung 16), während das gleichzeitige Stehenbleiben des Mörtels zeigt, daß ein gut hergestellter Mörtel unter Umständen sehr viel widerstandsfähiger sein kann als ein Naturstein. Kalksteine sind in derbem und dichtem Zustand sehr widerstandsfähig; allerdings werden sie leicht auf der Oberfläche angeätzt, wie beispielsweise polierter Marmor, so daß der Glanz verschwindet. Ihre Beständigkeit ist aber meist sehr viel größer als diejenige poröser Sandsteine, Tuffsteine u. dgl.

Mechanisch kann zum Schutz viel getan werden durch zweckmäßige Verbauung. Wasser und Frost sind die größten Feinde jedes Natursteins und vermögen auf die Dauer alle zu vernichten. Frost allein schadet nicht, wohl aber abwechselnd Frost und Hitze. Sonnenbestrahlung kann schwer von dem Naturgestein ferngehalten werden, ebenso der Frost, dagegen ist es möglich, dem Wasser weitgehend den Zutritt zu verwehren, zumindestens seinen Abfluß zu erleichtern. Die kleinen Dächer an den Strebepfeilern unter gotischen Domen, die vielen dort angebrachten Wasserspeier und die überaus zahlreichen Tropfnasen, die wir heute oft nur als schmückende Zutaten betrachten, sind dies keineswegs, sondern sie sind zweckmäßig erdachte Vorrichtungen, um das Wasser so schnell wie möglich wegzuführen. Trotzdem die Erkenntnis von dieser Schädlichkeit des Wassers oder auch lagernden Schnees durchaus vorhanden

ist, legt doch häufig der moderne Baumeister nicht genügend Wert auf möglichst schnelle Beseitigung der schädlichen Einflüsse. Es ist notwendig, hier Wandel zu schaffen und sich stets auch bei modernen Bauausführungen Rechenschaft darüber zu geben, ob die Bauausführung auch dem Baustoff nicht zuviel zumutet. Wir sind zwar gewohnt, mit Beanspruchungszahlen in bezug auf Druckfestigkeit, Biegezug usw. genau zu rechnen, wir haben aber vollkommen vergessen, daß nicht bloß Zug und Druck unsere Baustoffe beanspruchen, sondern auch die Zeit, und daß deren Einfluß auf die Dauer sehr viel größer ist, als wir allgemein anzunehmen gewohnt sind. Zweckmäßige Baugestaltung muß deshalb mehr als bisher in den Vordergrund gestellt werden, denn nicht nur unser Auge hat Anspruch auf schöne Baugestaltung, sondern auch unsere Kinder wollen nicht mit ungeheuren Wiederherstellungskosten belastet sein.

Die chemische Behandlung als Schutz gegen die Witterungseinflüsse tritt gegenüber der Baugestaltung stark zurück, immerhin ist auf diesem Gebiete manches zu erreichen. Als chemischer Schutz werden vielfach empfohlen Fluatate oder Wasserglas, bisweilen auch in kombinierter Form, also beispielsweise Wasserglasbehandlung und nachträgliche Fluatierung.

Das Wasserglas ist Natriumsilikat und spaltet sich leicht in Kieselsäure und Natriumhydroxyd, welches letzteres an der Luft zu Natriumkarbonat (Soda) wird. Die Kieselsäure wirkt verdichtend, indem sie die Poren verstopft. Die Formel des Zerfalls des Wasserglases ist folgende:



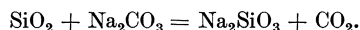
Die Kieselsäure scheidet sich als Gallerte ab.

Das Natriumoxyd, welches wasserhaltig als Natriumhydroxyd vorliegt (die Formel für Wasser ist der Einfachheit halber weggelassen), verbindet sich mit der Kohlensäure der Luft zu Natriumkarbonat, zu Soda, man sagt, es karbonisiert sich.



Die Soda führt zu unangenehmen weißen Ausblühungen, die allerdings durch den Regen bald wieder abgewaschen werden. Man nimmt deshalb an Stelle des Natronwasserglases oft Kaliwasserglas. Es bildet sich dann an Stelle von Soda Pottasche (K_2CO_3). Diese Pottasche ist hygroskopisch, d. h. sie zieht Wasser an aus der Luft und vermag infolgedessen nicht zu kristallisieren, kann allerdings, bevor sie ausgewaschen ist, zu nassen Flecken führen; ihre Beseitigung ist deshalb erwünscht (Abwaschen!).

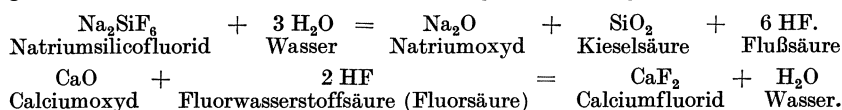
Wasserglas wird hergestellt durch Zusammenschmelzen von Quarzsand (Kieselsäure, SiO_2) mit Soda. Die Kohlensäure entweicht hierbei und es bleibt Natriumsilikat zurück nach folgender Formel:



Das Wasserglas sieht vollkommen aus wie unser gewöhnliches Fensterglas, d. h. es ist durchsichtig und amorph, aber es löst sich in Wasser. Das glasige Aussehen und die Löslichkeit in Wasser haben ihm den Namen „Wasserglas“ gegeben. Die

Löslichkeit ist allerdings zunächst gering, da der Scherben sehr dicht ist. Die Lösung wird in Fabriken unter Druck vorgenommen. Das Wasserglas selbst kommt dann in den Handel als konzentrierte Lösung, deren Konzentration man nach Graden mißt. Die meisten in den Handel kommenden Wasserglaslösungen haben ein Gewicht von ungefähr 30°/Bé (sprich: Beaumé). Bekannt ist seine Verwendung im Haushalt zur Eieraufbewahrung.

Die Flu ate kommen unter sehr zahlreichen Decknamen in den Handel, wie Lithurin, Keßlersche Flu ate u. dgl. Im chemischen Sinne sind sie Salze der Kieselfluorwasserstoffsäure, mit dem ungekürzten chemischen Namen heißen sie Siliciumfluoride. Das meist in den Handel kommende Flu at ist das Magnesiumsiliciumfluorid, welches als Abfalllösung in der chemischen Industrie anfällt. Es werden aber auch Bleisiliciumfluoride, hauptsächlich zum Schutz gegen Schwefelsäure, Ammoniumsiliciumfluorid und Aluminiumsiliciumfluorid verwendet. Diese Fluoride zerfallen gleichfalls in ähnlicher Form wie Wasserglas nach folgender Formel:



Es bildet sich also aus der Fluorwasserstoffsäure und dem Kalk des Gesteins Calciumfluorid, welches in Wasser unlöslich ist. Der Kalk des Gesteins wird in ein unlösliches Salz übergeführt und die Widerstandsfähigkeit des Gesteins dadurch erhöht. Naturgemäß eignen sich deshalb die Flu ate hauptsächlich zur Behandlung von kalkhaltigen Gesteinen, als welches vor allen Dingen der Beton genannt sei (vgl. S. 58 ff.).

Die Flu ate reagieren stark sauer und kommen meist als Flüssigkeit in den Handel, so das meist gebrauchte Magnesiumsiliciumfluorid. Infolge ihrer sauren Reaktion zerfressen sie Eisenbehälter sehr schnell und müssen deshalb in Glasflaschen aufbewahrt werden. Bei ihrer Verarbeitung sind die Hände der Arbeiter durch Gummihandschuhe zu schützen; wenn sie aufgespritzt werden, was häufig der Fall ist, sind Gasmasken notwendig, da der Nebel giftig wirkt.

Zusammenfassung: Zu I. Natursteine sind ein ausgezeichnetes Baumaterial, hauptsächlich zur Herstellung von schwer beanspruchten Bauten, da sie hohe Festigkeit mit erheblicher Dichte vereinigen. Für Wohnhäuser eignen sie sich wohl zur Verblendung, nicht aber zur Auf führung des ganzen Bauwerkes, da sie wenig wärmehaltend sind, weil sie keine Poren, die allein einen Baustoff wärmesperrend machen, enthalten. Bei der Auswahl der Natursteine muß auf die Erfordernisse, denen das Bauwerk gerecht werden soll, Rücksicht genommen werden. Es ist keineswegs immer notwendig, nur hochdruckfeste Natursteine zu verwenden, auch weniger druckfeste Gesteine können für viele Zwecke Verwendung finden. Als das wärmehaltigste Gestein ist der Tuffstein anzusprechen, da er sehr viel Poren hat; er verwittert aber auch verhältnismäßig leicht.

Der Verwitterung unterliegen die Natursteine in völlig verschiedenem Maße. Auch bei dem gleichen Steinbruch können ganz verschiedenartig widerstandsfähige Steine gefunden werden. Die festesten Gesteine sind im allgemeinen die Urgesteine und die Ergußgesteine, da diese aus dem feuerflüssigen Zustand durch Abkühlung entstanden sind und deshalb

ein besonders dichtes verfilztes Gefüge aufweisen. Wesentlich poröser sind die meisten Sedimentgesteine, die aus Trümmern durch Absetzen und Verkitten entstanden sind, wie Schiefer aus feinem Ton. Die meist verwendeten Gesteine sind verkittete Trümmergesteine, d. h. solche, die sich bildeten aus Trümmern, wie Sand, Kies oder Muschelschalen durch nachträgliche Verkittung, wie Sandstein, Nagelfluh, Muschelkalk.

Da die chemische Einwirkung auf die Gesteine, also die Verwitterung weitaus den gefährlichsten Feind darstellt, dem die Steine bei ihrem Leben im Bau zu erliegen drohen, so ist beim Einbau der Steine neben richtiger Auswahl auch auf richtige Versetzung und Schutz gegen Zutritt schädlicher Lösungen zu achten. Auch gewöhnliches Wasser, Regen, Schnee, vermögen Naturgesteine sehr schnell und sehr weitgehend zu schädigen, wenn sie ungehindert zutreten können, und wenn die Austrocknung erschwert wird. Frost abwechselnd mit Tauen zerstört, wenn Feuchtigkeit zugegen ist, auf die Dauer jedes Gestein. Schutz gegen dauerndes Beregnen, schnelle Abführung des Wassers und Ermöglichung schneller Austrocknung sind deshalb bei jedem Bauwerk schon in der Konstruktion vorzusehen.

II. Bindemittel.

Von den Bindemitteln Kalk, Gips und Zement ist in unserem Zeitalter des Betons der Zement das wichtigste. Zum Verständnis der Erhärtungsvorgänge bei Zement, in etwas geringerem Maße auch bei den anderen Bindemitteln, ist es unbedingt notwendig, sich klar zu sein über die verschiedenen Arten der chemischen Verbindungen, die es gibt, da nicht nur die Erhärtungsvorgänge selbst, sondern auch die Widerstandsfähigkeit der erhärteten Mörtel und Betone gegen aggressive Flüssigkeiten dieses Verständnis voraussetzen.

Grundsätzliches über Einteilung und Aufbau der hier wichtigen chemischen Verbindungen.

Der Chemiker teilt alle in der Natur oder im Laboratorium vorkommenden Verbindungen ein in drei große Gruppen, nämlich in

Basen,

Säuren

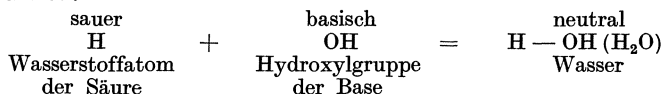
und das Vereinigungsprodukt der beiden:

Salze.

Basen sind solche Verbindungen, welche alkalisch reagieren, also rotes Lackmuspapier blau färben und das Bestreben haben, sich mit einer Säure zu einem Salz zu vereinigen. Hierbei tritt eine OH-Gruppe aus. Man nennt diese OH-Gruppe häufig: Hydroxyl-Gruppe. Basen wirken auf organische Substanzen zerstörend, sie „ätzen“. Eine der bekanntesten Wirkungen ist diejenige der Soda, die ja bekanntlich Ölfarbenanstrich u. dgl. vernichtet; auch die ätzende Wirkung des gelöschten Kalkes (Ca(OH)_2) ist gefürchtet.

Säuren sind solche chemischen Verbindungen, welche sauer reagieren, d. h. blaues Lackmuspapier rot färben, und welche das Bestreben haben,

sich mit Basen (unter Wasseraustritt) zu Salzen zu vereinigen. Alle Säuren enthalten ein oder mehrere Wasserstoff(H)-Atome, die bei dieser Vereinigung mit der (OH)-Gruppe der Base zusammen Wasser ($H-OH$, abgekürzt geschrieben H_2O) bilden. Folgendes Schema erklärt die Verhältnisse:

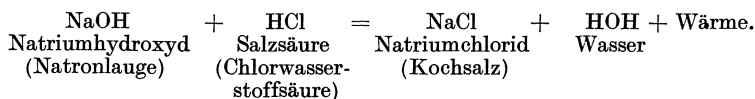


Wasser kann demnach als Base und Säure „in einer Person“ betrachtet werden; man nennt es amphoter.

Es gibt schwache und starke Säuren und Basen. So ist z. B. Salzsäure eine starke Säure, Milchsäure eine schwache Säure, Natronlauge eine starke Base, Kalk eine schwache Base. Schließlich gibt es noch Elemente, welche einer starken Base gegenüber als Säure, dagegen einer starken Säure gegenüber als Base auftreten. Als Beispiel sei genannt das Aluminium. Dieses ist im Aluminiumsulfat ($Al_2(SO_4)_3$) das „Metall“, also die Base, im Natriumaluminat ($NaAlO_2$ als Oxyd) der „Säurerest“ der Tonerdesäure.

Salze sind, wie aus obigem hervorgeht, Vereinigungsprodukte von Basen und Säuren, bei deren Bildung Wasser abgespalten wird.

Am besten verstehen wir diese Dreiteilung an einer einfachen Formel:



Diese Formel bedeutet, daß die Base Natronlauge, die stark ätzend wirkt, sich mit der Säure HCl, der Salzsäure, die verbrennend auf die Haut zu wirken vermag, unter Wasseraustritt (HOH oder kurz H_2O) verbindet zu dem Salz Natriumchlorid, wobei gleichzeitig Reaktionswärme frei wird. Man nennt ein derartiges Freiwerden von Wärme einen exothermen Vorgang. Die Reaktion selbst nennt man eine Salzbildung aus Basen und Säuren. Sowohl die Base für sich als auch die Säure für sich haben ganz andere Eigenschaften als das sich bildende Kochsalz, welches ja als Nahrungsmittel dient, während die freien Säuren bzw. Basen organischen Stoffen und dem menschlichen Leben abträglich sind.

Die meisten Salze reagieren neutral, d. h. sie verändern weder die Farbe von rotem, noch von blauem Lackmuspapier, aber nur dann, wenn sie aus ungefähr gleichstarken Säuren oder Basen gebildet sind. Salze, in welchen die Säure stärker ist als die Base, also z. B. Aluminiumsulfat (schwache Base: Aluminiumoxyd; starke Säure: Schwefelsäure) reagieren sauer, solche Salze dagegen, in welchen die Base stärker ist als die Säure, z. B. Soda (starke Base: Natriumhydroxyd, schwache Säure: Kohlensäure) reagieren alkalisch, ohne daß diese Salze als saure oder basische Salze bezeichnet werden können.

Saure Salze sind solche, in welchen noch Wasserstoffatome übrig sind, die nicht mit Basen abgesättigt wurden. So ist Natriumbikarbonat ($NaHCO_3$) ein saures Salz, weil es noch freie Wasserstoffatome hat, die durch Metalle ersetzt werden können. Es ist also teilweise noch eine „Säure“. Es wird durch weiteren Zusatz von Natronlauge in neutrales Natriumkarbonat (Na_2CO_3) verwandelt. Es ist nicht nötig, daß ein saures Salz auch sauer reagiert, so reagiert Natriumbikarbonat alkalisch, weil eben Natronlauge eine sehr starke Base, Kohlensäure dagegen eine schwache Säure ist.

Die Bindemittel.

Es gibt zwei große Gruppen von Bindemitteln, und zwar

1. die unhydraulischen, das sind Bindemittel, die an der Luft zu erhärten vermögen, aber keinen wasserbeständigen Mörtel ergeben, und

2. die hydraulischen Bindemittel, das sind solche Bindemittel, die auch unter Wasser erhärten und damit einen Mörtel oder Beton liefern, der dauernd wasserbeständig ist.

1. Zu den unhydraulischen Bindemitteln gehört der altbekannte Kalk, weiter der gleichfalls seit alten Zeiten als Bindemittel benutzte Gips und schließlich das Steinholz, das aus gebrannter Magnesia und Magnesiumchloridlauge besteht.

Den Übergang zu den hydraulischen Bindemitteln bilden die Mischungen, die aus Kalk einerseits und aus Hydrauliten oder Puzzolanen andererseits bestehen. Unter Puzzolanen versteht man Stoffe, die unter Einwirkung eines Anregers, z. B. Kalk, vermutlich unter Abspaltung von Kieselsäure, die sich mit dem Kalk zu Calciumsilikat verbindet, zu erhärten vermögen, die allein aber kein oder nur ganz geringes Erhärtungsvermögen besitzen. Treten diese Puzzolane zum Kalk, so machen sie aus diesem ein hydraulisches Bindemittel.

2. Die zurzeit wichtigsten hydraulischen Bindemittel sind die verschiedenen Zemente, die in den Deutschen Normen zusammengefaßt sind, und deren Mischung mit Sand oder Kies man Mörtel oder Beton nennt. Der die einzelnen Körner des Zuschlages verkittende Zementstein selbst besteht einerseits aus der starken Base Kalk, andererseits aus den schwachen Säuren Kieselsäure und Tonerde. Zement ist also im chemischen Sinne ein Gemisch von Calciumsilikat und Calciumaluminat. Die Kieselsäure ist bei gewöhnlicher Temperatur eine überaus schwache Säure; aus diesem Grunde allein muß schon Beton alkalisch reagieren, da in ihm ja eine starke Base einer schwachen Säure gegenübersteht.

a) Kalk.

Da zwischen dem unverarbeiteten und dem verarbeiteten Kalk naturgemäß ganz wesentliche Unterschiede bestehen, ist es notwendig, die unverarbeiteten getrennt von dem verarbeiteten Kalk zu besprechen.

1. Unverarbeiteter Kalk.

Das Rohmaterial für den Kalk ist der Kalkstein, der in ungeheuren Mengen, zum großen Teil gebirgsbildend, z. B. in den Voralpen (Zugspitze, Watzmann), im oberbayrischen Gebirge usw. vorkommt, und der in etwas anderer Form auf Rügen als Kreide ansteht. Der kohlen saure Kalk hat sich gebildet aus der Kohlensäure der Luft, welche dieser durch Lebewesen aller Art, wie Muscheln, Schnecken, Kreidetierchen usw., deren Schalen aus kohlen saurem Kalk bestehen, entzogen wurde; die zu dieser Kalkbildung notwendige Base, der Kalk, wurde den Urgesteinen bzw. dem Wasser entnommen. Es liegt auf der Hand, daß ungeheure Mengen von Kohlensäure aus der Luft auf diese Weise gebunden und dem Kreislauf entzogen wurden, und man führt auf diese Entziehung auch das Sinken der Durchschnittstemperatur auf der Erde und das Zurückgehen des Pflanzenwachstums z. B. gegenüber der Steinkohlenzeit zurück, denn da die Pflanzen ihren Kohlenstoff (C) aus der Kohlensäure (CO_2) der Luft entnehmen, ist es klar, daß in einer kohlen säure ärmeren Luft die

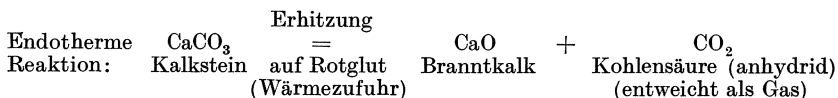
Pflanzen schlechter wachsen werden als in einer kohlenensäurereichen. Man ist deshalb auch in letzter Zeit zur Kohlensäuredüngung übergegangen, und führt überhaupt einen Teil der Düngewirkung darauf zurück, daß sich die untersten Luftschichten mit der aus dem verfaulenden Dünger stammenden Kohlensäure anreichern, Kohlensäure ist schwerer als Luft und bleibt deshalb bei Windstille auf dem Boden „liegen“.

Der Baukalk wird aus dem Kalkstein dadurch gewonnen, daß man diesen, oder auch Muschelschalen oder Kreide auf Rotglut erhitzt (Abb. 17). Es entweicht dann die Kohlensäure als Gas, zurück bleibt der

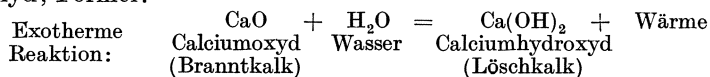


Abb. 17. Kalkofen: Hier wird Kalkstein (CaCO_3) gebrannt und hierdurch die Kohlensäure ausgetrieben: Entstehung von Branntkalk (CaO).

gebrannte, ungelöschte Kalk (CaO). Die Formel, die diesen Vorgang übersichtlich darstellt, ist folgende:



Eine derartige Reaktion, die unter Wärmezufuhr stattfindet, nennt man eine endotherme Reaktion. Gegensatz dazu: exotherme Reaktion, bei der Wärme frei wird, z. B. Löschen von Kalk oder Neutralisieren von Salzsäure durch Natronlauge, siehe S. 30. Der Branntkalk nimmt aus der Luft Wasser auf, ein Teil der beim Brennen gebundenen Wärme wird nun wieder frei (exotherme Reaktion) und der Kalk zerfällt unter lebhafter Wärmentwicklung zu dem sehr leichten Pulver Calciumhydroxyd; Formel:



Man nennt diese Wasseraufnahme Ablöschen des Kalkes und das Endprodukt Löschkalk. Der Kalk bläht sich beim Löschen stark auf und vergrößert sein Volumen, er „gedeiht“. Gutes Gedeihen ist wichtig, da es dem Kalk ausgiebiger macht. Man kann das Löschen durchführen dadurch, daß man den Kalk entweder in Wasser taucht und dann an der Luft zerfallen läßt (Trockenlöschung) oder dadurch, daß man ihn mit Wasser übergießt und in Wasser wirft (Naßlöschung). Im ersteren Fall arbeitet man in der Weise, daß man den in Körben befindlichen Kalk in Wasser taucht, bis er sich vollgesaugt hat, und dann in Haufen liegen läßt. Unter starker Wärmeentwicklung zerfällt dann der Kalk zu trocken gelöschtem Kalk, wie er häufig in Säcken in den Handel kommt.

Die ältere Art des Kalklöschen ist die des Einsumpfens (Abbildung 18). Man überschüttet den trockenen Kalk mit einem großen Überschuß von Wasser, wobei er dann unter starker Wärmeentwicklung zu dem sog. Kalkteig ablöscht, der zweckmäßigerweise vor der Verarbeitung durch ein Sieb gegeben wird, um ungelöschte Anteile zu entfernen. Diese ungelöschten Anteile, die sog. „Krebse“



Abb. 18. Kalklöschen: Durch das Löschen des Kalkes (Übergießen des Branntkalks mit Wasser) wird unter Wärmeentwicklung Kalkhydrat gebildet (Wasseranlagerung).

sind entweder totgebrannte, also beim Brennen zu hoch erhitzte Teile, die nur langsam ablöschen, oder solche, die in ihrer chemischen Zusammensetzung dem Zement nahestehen, die also die Kieselsäure und Kalk enthalten und deshalb Wasser nur nach langen Zeiträumen annehmen. Die „Krebse“ führen im fertigen Bauwerk zu den bekannten unangenehmen Absprengungen, die man Kalkbläschen nennt. Diese entstehen in der Weise, daß die beim Löschen fehlerhafterweise nicht mit abgelöschten Kalkstückchen manchmal Monate, oft erst Jahre nach Erhärtung des Putzes ablöschen und infolge ihres nun größeren Raumbedarfes, der durch die Wasseraufnahme entsteht, die überliegende Schicht mechanisch heraustreibt, meist in Form eines kleinen Kraters, an dessen Grund dann das treibende Kalkstückchen liegt.

Auf der Baustelle ist es notwendig, einen Kalk stets auf seine Ablöschbarkeit zu prüfen, d. h. festzustellen, wieviel Prozent von ihm ablöschen. Man arbeitet in der Weise, daß man feststellt, wieviel ungelöschte Kalkanteile nach einer gewissen Zeit, z. B. ein bis zwei Tage, zurückbleiben, wenn man den Kalk in der beschriebenen Weise naß oder trocken löscht und dann durch ein feines Sieb gibt, auf dem die ungelöschten Steinchen zurückbleiben.

Der Dolomitkalk (Graukalk) wird in gleicher Weise erhalten wie der gewöhn-
Grün, Chemie. 3. Aufl.

liche Branntkalk aus Dolomit ($[\text{Ca}, \text{Mg}] \text{CO}_3^*$). Er besteht also aus $\text{CaO} + \text{MgO}$, wobei der Gehalt an MgO mehr als 5% sein muß. Er löscht träger als Branntkalk oder Weißkalk und ergibt kein weißes, sondern ein graues Pulver.

Während das Nötige über das Löschen von Stückkalk oben schon gesagt ist, muß noch bezüglich des Einsumpfens von in Säcken gelieferten gemahlenen Branntkalkes folgendes hinzugefügt werden:

Diese gemahlenen Branntkalken haben ganz verschiedene Eigenschaften in bezug auf Ablöschdauer. Diese Ablöschdauer muß also vom Lieferwerk angegeben werden, oder ist auf den Säcken aufzudrucken. Nach DIN 1060 sind die Kalke wie folgt eingeteilt:

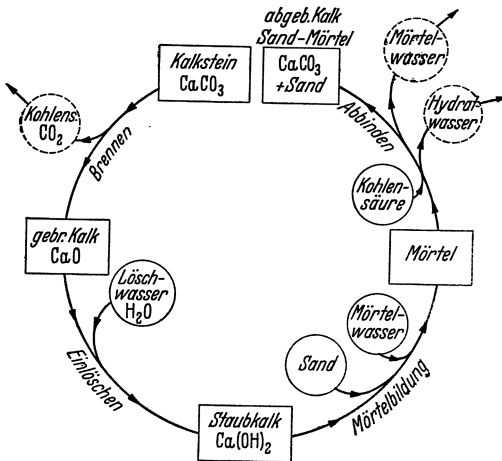


Abb. 19. Kreislauf des Kalkes. Kalkstein (CaCO_3) wird gebrannt, die Kohlensäure entweicht, der gebrannte Kalk wird gelöscht und hydratisiert sich zu Staukalk (Kalkhydrat). Nach der Mörtelbildung tritt die Kohlensäure wieder hinzu. Das Hydratwasser und das Mörtelwasser entweichen und das Kalkhydrat wird in kohlensauren Kalk zurückverwandelt.

„Im Anlieferungszustand ohne Einsumpfen oder Mörtelliegezeit zu verarbeiten, nach 12 Stunden Einsumpfdauer oder Mörtelliegezeit zu verarbeiten, nach 24 Stunden Einsumpfdauer oder Mörtelliegezeit zu verarbeiten, nach 48 Stunden Einsumpfdauer oder Mörtelliegezeit zu verarbeiten“.

Die Ergiebigkeit infolge des „Gedeihens“, also infolge der Raumvergrößerung bei der Wasseraufnahme infolge des Löschvorganges beträgt durchschnittlich bei Weißkalk

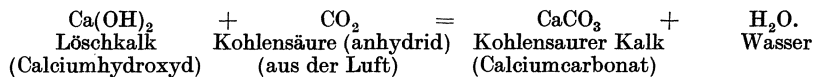
- 11 l Kalkteig,
- bei Dolomitmalk
- 11 l Kalkpulver eingelaufen,
- bei Wasserkalk
- 7 l Kalkpulver eingelaufen.

Zur Verarbeitung wird der Kalk mit Sand gemagert, da der Kalk allein ein viel zu dichtes Gefüge für den Mörtel abgeben würde und nicht erhärten könnte, und da er außerdem überaus stark schwindet, also sein Volumen verkleinert und dadurch Risse herbeiführt. Ein guter normaler Kalkmörtel soll 9—10% Calciumoxyd (CaO) enthalten und so hergestellt werden, daß er verhältnismäßig porös ist, um der Luft den Zutritt zu gestatten, da diese für die Austrocknung und Erhärtung notwendig ist. Das Verarbeitungsverfahren ist also ein ganz anderes als beim Zement, bei dem man auf dichte Mörtel hinzuarbeiten trachtet. Über den Kreislauf des Kalkes gibt Abb. 19 übersichtlichen Aufschluß. (Einteilung der Kalke, S. 40.)

2. Verarbeiteter Kalk.

Der in der beschriebenen Weise verarbeitete Kalk erhärtet langsam zu dem uns bekannten Kalkmörtel, der vor reinem Zementmörtel den Vorzug hat, daß er nagelbar und luftdurchlässig ist, wobei er natürlich aber die Festigkeiten des Zementmörtels niemals zu erreichen vermag. Die Erhärtung wird herbeigeführt einerseits durch Austrocknung, andererseits durch Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft, wobei das Kalkhydrat unter Wasserabgabe sich wieder in kohlensauren Kalk, aus dem

es entstanden ist, zurückverwandelt. Man kann diesen Prozeß beschleunigen einerseits durch Herstellung eines recht porösen Mörtels, durch den die Luft hindurchtreten kann, andererseits durch Anreicherung der Luft mit Kohlensäure bei gleichzeitiger Wärmeentwicklung, wie sie herbeigeführt wird durch das Aufstellen von Koksöfen in dem neuen Bauwerk. Die Formel der Karbonisierung des Kalkes ist folgende:

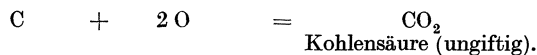


Die Karbonisierung ist aber niemals vollständig, sondern teilweise und nur oberflächlich. Man hat in alten mit Kalk gemauerten Bauwerken noch nach Jahrhunderten nichtkarbonisierten Kalk nachgewiesen. Beim Trocknen von Bauwerken mit Koksöfen ist sehr streng darauf zu achten, daß der Raum, in dem sich brennende Koksöfen befinden, nicht vorzeitig vor guter Lüftung von Menschen betreten wird. Es bildet sich nämlich bei der Verbrennung des Kokes bei ungenügendem Luftzutritt das Kohlenmonoxyd als Vorstufe des Kohlendioxyds. Kohlenmonoxyd verbrennt zu dem erwünschten Kohlendioxyd mit blauer Flamme, tritt aber bei Luftmangel auch unverbrannt in die Wohnräume. Im Volksmund wird es „Kohlen-gas“ genannt. Es ist völlig geruchlos und ein überaus starkes Gift. Die Formeln der unvollständigen und vollständigen Verbrennung von Kohlenstoff, also Koks, sind folgende:

1. Unvollständige Verbrennung (Sauerstoffmangel):



2. Vollständige Verbrennung:



Im menschlichen Körper verbindet sich beim Atmungsvorgang das bei unvollständiger Verbrennung entstehende Kohlenmonoxyd, ähnlich wie Sauerstoff mit den roten Blutkörperchen, ohne aber wie der Sauerstoff dessen Rolle als Oxydationsmittel zu erfüllen; es vergiftet im Gegenteil die roten Blutkörperchen, die dann später zerfallen und weitere Vergiftungen des Organismus herbeiführen. Kohlenoxydvergiftungen sind sofort zu erkennen an dem hellroten Blut der Vergifteten bei Blutentnahme. Sie kündigt sich an durch starke Kopfschmerzen in der Stirngegend und ist überaus gefährlich, da sie noch nach Tagen den Tod herbeizuführen vermag. Sie ist also nicht zu verwechseln mit einfachen Erstickungserscheinungen, wie sie bei Kohlendioxyd, also Kohlensäure, oder beim Ertrinken eintreten, sondern es ist eine echte Vergiftung, bei der das Blut zerstört wird. Beim Austrocknen von Bauwerken mit offenem Feuer (Kokskörbe) ist diesem Umstand auf das sorgfältigste Rechnung zu tragen.

Will man mit Kalk Bauwerke ausführen, die im Wasser Bestand haben sollen, wie z. B. Talsperren, Ufermauern, so ist es notwendig, dem Kalk Stoffe zuzufügen, die mit ihm in Wechselwirkung treten und unlösliche Kalksilikate zu bilden vermögen, da Kalk allein ja wasserlöslich ist. Als solche Hydraulite oder Puzzolane, nach ihrer Entdeckung durch die Römer auf der Insel Pozzuoli genannten Stoffe, kommen in Betracht zunächst die natürlichen,

Puzzolanerde, ferner
Traß, also gemahlener Tuffstein,

weiter die künstlichen:

Ziegelmehl,
Glasmehl,
Hochofenschlacke u. ä.

bei Hitzebehandlung entstandene Materialien.

3. Puzzolane.

α) Traß-Kalk-Mörtel. In Deutschland ist die wichtigste natürliche Puzzolane der Traß, der aus einem im Brohltal am Rhein und an verschiedenen anderen Stellen vorkommenden Stein durch Vermahlen gewonnen wird. Der anstehende Traß in ungemahlenem Zustand bildete sich durch Verfestigung eines heißen Schlammstromes aus Bimssteintuff und Resten des im Brohl- und Nettetales vorkommenden Devongesteines. Je nach der Lagerungsart der Tuffsteine durch die Jahrtausende haben diese ganz verschieden starke hydraulische Eigenschaften. Als beste Qualität gilt der unter der Grundwasserlinie entnommene Tuff, der grau aussieht, man nimmt an, daß im Lauf der Zeit unter dem Einfluß des Grundwassers eine gewisse Hydratisierung erfolgte, die den Traß besonders reaktionsfähig macht. Bei Normentraß ist deshalb ein bestimmter Glühverlust, der nicht unter 7 % betragen soll, vorgeschrieben da dieser die Höhe der Hydratbildung kennzeichnen soll. Weniger glühverlustreiche Trasse, wie Bergtraß, erhärten mit Kalk aber gleichfalls, wenn auch teilweise erheblich schwächer.

Der Traß-Kalkmörtel, der durch Vermischung von gelöschtem Kalk mit Traß hergestellt wird, erhärtet überaus langsam. Bei diesem Erhärtungsvorgang entsteht aus der Kieselsäure (SiO_2) des Trasses und der Base Kalk (CaO) eine in Wasser schwerlösliche Verbindung nämlich Kalksilikat, das den eingebrachten Kies und Sand zu einem dichten Gefüge verkittet (einige unwichtige Nebenreaktionen sind hier weggelassen, da es sich im Vorliegenden nur um eine Abhandlung zur Weckung des chemischen Verständnisses, nicht aber um ein wissenschaftliches Werk handelt). Der Traß-Kalkmörtel wurde von Intze in erheblichem Umfange zur Erbauung seiner schönen Talsperren verwendet. Er wird heute, da er zu langsam erhärtet, nur noch wenig gebraucht; meist arbeitet man jetzt unter Verwendung von Zement, Kies und Sand, welchem Gemisch man bisweilen noch Traß zur Erhöhung der Elastizität zufügt.

β) Hochofenschlacke — Kalk-Mörtel. Die Hochofenschlacke muß herangezogen werden in wassergranuliertem Zustand. Die Verwendung von Stückschlacke, das ist langsam erkaltete Schlacke, ist zwecklos. Der auf den Hütten erhältliche „Schlackensand“ gibt bei Vermischung mit Kalk einen beliebten Mauermörtel, der deshalb besonders gut erhärtet, weil die hydraulischen Eigenschaften der Hochofenschlacke durch den Kalkzusatz „geweckt“ werden und der Schlackensand in die Erhärtung eingreift, während ja gewöhnlicher Rheinsand, der nur aus reaktionsunfähiger Kieselsäure (Quarz) besteht, ohne diesbezügliche Wirkung bleibt. In weit höherem Maße reagiert aber die Hochofenschlacke, wenn

sie vor dem Zusatz zum Kalk oder Zement fein gemahlen wird. Eine solche gemahlene Hochofenschlacke ist der Thurament. Bei Verwendung von Hochofenschlacke als Bindemittelbestandteil muß ihre chemische Zusammensetzung streng berücksichtigt werden, da nur solche Schlacke, die einen gewissen Gehalt an Kalk hat, gut hydraulisch erhärten kann. Allzusaure Schlacken, also allzu kieselsäurereiche Schlacken, sind reaktionsträge und erhärten deshalb langsam, teilweise so träge wie Traß. Über die Festigkeiten, die erzielt werden können, gibt nachfolgende Kurventafel einen klaren Überblick (Abb. 20).

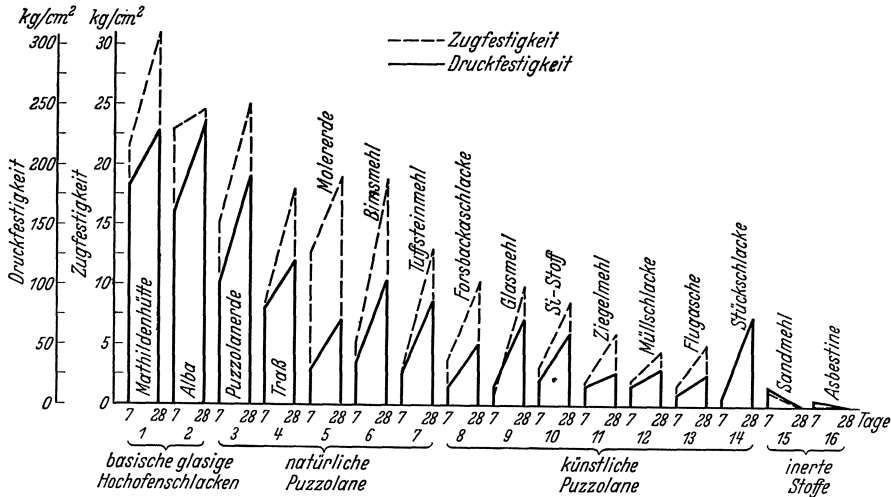


Abb. 20. In der Kurventafel sind die Zugfestigkeiten (punktirt) und in kleinerem Maßstab ($\frac{1}{10}$) die Druckfestigkeiten (ausgezogen) nach 7 und 28 Tagen eingezeichnet. Die Mörtel waren im Mischungsverhältnis 1 : 3 (Normensand) hergestellt, die Bindemittel aus der betreffenden eingeschriebenen Puzzolane und Kalk: 95 : 5.

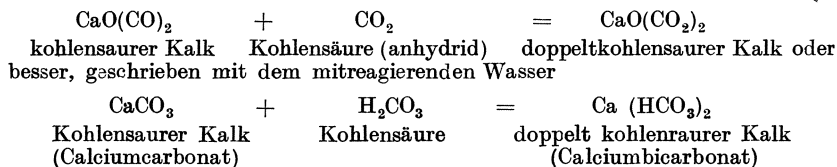
Die Zahlen zeigen: Die Hochofenschlacken geben weitaus die höchsten Festigkeiten. Die natürlichen Puzzolane unterscheiden sich stark: Puzzolanerde und Traß erhärten am besten, dann kommt die in Dänemark viel verwendete Molererde, eine Kieselgurart, zuletzt Mehl aus Birksand und Tuffstein. Wenig Erhärtungsfähigkeit hat die schwedische sehr „saure“ Holzkohlenschlacke (Forsbacher) Glasmehl, Ziegelmehl usw. Zum Vergleich verwendete „inerte“ Stoffe (Sandmehl, Asbest) erhärten gar nicht.

Es ist möglich, den Kalk und die Puzzolane bereits in der Fabrik zu vermahlen, das Verfahren hat aber für Kalk-Puzzolanzemente geringe Bedeutung. In früheren Zeiten hat man die sog. Schlackenzemente aus Hochofenschlacke und Kalk fabrikmäßig hergestellt, ein Verfahren, das aber zugunsten der Hochofenzemente und der Traßzemente, bei welchen nicht Kalk, sondern Portlandzementklinker der Anreger ist, wieder verlassen wurde, da die letzteren Zemente ungleich höhere Festigkeiten erreichen vermögen.

Lösung von Kalkmörtel in Wasser.

Aus kalkhaltigem Mörtel vermag, hauptsächlich wenn er porös ist, ein Teil des Kalkes wieder gelöst zu werden, und zwar hauptsächlich von Wasser, welches entweder sehr weich ist, also gar keinen Kalk enthält und deshalb zur Kalkaufnahme neigt oder durch kohlensäurehaltiges Wasser. Der Kalk löst sich hierbei in dem Wasser, welches keine Kohlensäure enthält, zunächst auf, soweit er noch als freier Kalk vorliegt, zu Kalkhydrat. Bei Kohlensäuregegenwart bildet sich doppelt-kohlensaurer Kalk. Von dieser Bildung wird dann auch derjenige Kalk getroffen,

der bereits als kohlenaurer Kalk vorliegt. Die Formel für diesen Vorgang ist folgende (abgekürzt, unter Weglassung des Wassers):



Der doppelkohlensaurer Kalk ist in Wasser löslich, und zwar desto mehr, je höher der Druck ist, unter dem das Wasser steht. Bei Aufheben des Druckes zerfällt der doppelkohlensaurer Kalk unter Entweichen der Kohlensäure zu einfachkohlensaurer Kalk (vgl. S. 76). Der kohlenaurer Kalk scheidet sich als weißer Belag, der erhebliche Dichte annehmen kann, auf der Mauer ab. Diese Ausblühungen, die häufig als Mauersalpeter bezeichnet werden, mit diesem Salz aber gar nichts zu tun haben, sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (Abb. 12).

4. Hydraulischer Kalk.

Hydraulische Kalke sind solche Kalke, die unter Wasser erhärten und ein Bauwerk geben, welches wasserbeständig ist; sie haben also zementartige Eigenschaften, ohne aber auch nur annähernd die hohe Festigkeit des Zementes zu erreichen. Andererseits stehen sie den Kalken nahe, da sie wesentlich träger erhärten als die Zemente. Es gibt sehr schwach hydraulische Kalke und stark hydraulische Kalke. Die letzteren hat man eine Zeitlang „Zementkalke“ genannt. Man ist aber in letzter Zeit von diesem irreführenden Namen abgekommen, und zwar deshalb, weil die Erhärtung, die mit den hydraulischen Kalken erreicht wird, nur verhältnismäßig schwach ist, der Zusatz „Zement“ den Baufachmann aber vortäuscht, daß es sich um ein wie Zement erhärtendes Produkt handelt. Außerdem ist der Name „Zement-Kalk-Mörtel“ oder „verlängerter Zementmörtel“ schon vorbehalten den Erzeugnissen, die aus Kalk und Zement bestehen. Man verwendet die letzteren gern zum Mauern, da die Verarbeitung von Mauerwerk mit Kalkmörtel allein nur zu träger Erhärtung führt, das Mauerwerk mit verlängertem Zementmörtel aber sehr viel schneller belastet werden kann als Kalkmörtel-Mauerwerk.

Die normalen hydraulischen Kalke verdanken ihre Erhärtungsfähigkeit der Tatsache, daß in dem Rohmaterial, das zu ihrem Brennen herangezogen wird, neben dem Hauptbestandteil Kalk (CaO) Kieselsäure und Tonerde vorhanden sind. Man nennt Kieselsäure und Tonerde „Hydraule-Faktoren“, d. h. also Faktoren, die das Bindemittel hydraulisch, d. h. für Wasserbauten geeignet machen. Je nach der Menge der Hydraule-Faktoren, die vorhanden sind, ist der Kalk mehr oder weniger stark hydraulisch, d. h. er hat verschieden hohe Widerstandsfähigkeit gegen Wassereinwirkung und gegen Druckbeanspruchung. Die besseren hydraulischen Kalke, die hohe Festigkeiten erreichen und auch für den Wasserbau geeignet sind, haben demnach viel Kieselsäure und viel Tonerde. Sie stehen also in ihrer chemischen Zusammensetzung zwischen der Kalkecke des Dreistoffsystems (vgl. S. 47) und zwischen dem Zementfeld. Es gibt auch hydraulische Kalke, die kalkärmer sind als die Port-

landzemente, die also ganz besonders viel Hydraulik-Faktoren enthalten, so daß der Kalkgehalt auf ungefähr 50 % herabgedrückt ist. Diese Kalke nennt man „Romankalke“, früher „Romanzemente“. Allen hydraulischen Kalken gemeinsam ist die Tatsache, daß sie beim Brennen nicht gesintert werden, sondern daß man sie bloß unter der Sintergrenze erhitzt; man brennt sie also viel schwächer als Portlandzement. Außerdem wird natürlich das Rohgut, also der Kalkstein, nicht wie beim Portlandzement gemahlen, sondern es wird in Stückform, wie es aus dem Bruch kommt, in den Ofen gebracht. Da in einem Kalksteinbruch naturgemäß je nach den Entstehungsbedingungen des Kalksteins vor Millionen Jahren der Tonerdegehalt und der Kieselsäuregehalt in den einzelnen Schichten oft wechselt, schwanken auch die hydraulischen Kalke meist stark in ihrer chemischen Zusammensetzung, da sie ja nicht durch die Aufbereitung gleichmäßig gemacht werden.

Das Brenngut verhält sich verschieden, je nach der chemischen Zusammensetzung. Solche Kalke, die nur wenig Kieselsäure und Tonerde enthalten, löschen ab, d. h. sie zerfallen bei Zufügung von Wasser unter Wärmeerzeugung, genau wie der gewöhnliche Branntkalk. Sie stehen also diesem nahe. Bei hohem Kieselsäure- und Tonerdegehalt findet nur ein teilweiser Zerfall statt, der meist dann auch langsam vor sich geht. Schwer löschende Kalke werden häufig in Löschsilos zum Zerfall gebracht, indem man das angefeuchtete Material in große Behälter bringt. Dabei entsteht starke Erhitzung, die einen weitergehenden Zerfall des Brenngutes erzwingt als wenn nur bei gewöhnlicher Temperatur gelöscht würde. Stark kieselsäurehaltige Kalke zerfallen mit Wasser überhaupt nicht und müssen nach dem Brennen gemahlen werden (Romankalk).

Außer den oben skizzierten reinen hydraulischen Kalken gibt es noch zahlreiche Mischprodukte von Kalk mit Traß, Hochofenschlacke und Ziegmehl, oder Mischungen von hydraulischem Kalk mit den genannten Erzeugnissen, mit Rohmehl, also mit ungebranntem, gemahlenem Kalkstein, mit Basaltmehl u. dgl. Die auf diese Weise erzeugten Produkte sind so vielfältig, daß sie im Rahmen dieses Buches nicht besprochen werden können, zumal ungefähr jede Fabrik sich nach ihren Verhältnissen richtet, also bei der Herstellung die chemische Zusammensetzung ihrer Rohstoffe, ihre Brenneinrichtungen und Mühlen berücksichtigt. Wie überaus verschieden die Festigkeit solcher Erzeugnisse ist, geht aus umstehender Abb. 21 hervor¹, die beweist, daß die Festigkeiten von Zementfestigkeit bis herunter zur gewöhnlichen Kalkfestigkeit, also von 50—500 (kg/cm²) Druckfestigkeit schwanken.

Eine Einteilungsmöglichkeit geben die neuen, sehr umfangreichen Normen für Baukalk (DIN 1060), die in der Hauptsache folgendes besagen: Natürliche Baukalke (im folgenden Kalk genannt) sind Mörtelbindemittel, die entstehen, wenn kohlensaurer Kalk in seinen verschiedenen Abarten unterhalb der Sintergrenze gebrannt wird.

Kalke werden nach ihrem Gehalt an artbestimmenden Bestandteilen, wozu Erdalkalien (Kalziumoxyd, Magnesiumoxyd) und lösliche

¹ Grün: Unfug mit der Bezeichnung Zementkalk, Toni 1937, Nr. 85.

saure Bestandteile (Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd) zu rechnen sind, eingeteilt.

In erster Linie bedingt die Zusammensetzung der Kalke neben dem Gefüge den Grad des Zerfallens beim Benetzen mit Wasser und ihre Fähigkeit, unter Wasser beständig zu sein und zu erhärten. Hiernach unterscheidet man folgende Kalkarten:

a) Kalke, die an der Luft erhärten:

1. Weißkalk,
2. Dolomitkalk, (Graukalk).

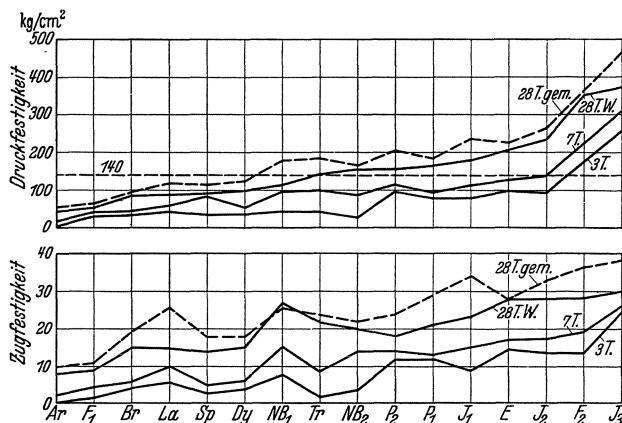


Abb. 21. Normenfestigkeiten verschiedener, unter dem Namen „Zementkalk“ verkaufter Bindemittel. Die Kurventafel zeigt die überaus verschieden starke Erhärtungsfähigkeit der einzelnen Erzeugnisse, die von besten Festigkeiten bis zu ganz minderwertiger Qualität schwankt. (Entnahme der Produkte aus dem Handel innerhalb 6 Monaten.)

b) Kalke, die auch unter Wasser erhärten:

1. Wasserkalk,
2. hydraulischer Kalk (früher Zementkalk genannt),
3. hochhydraulischer Kalk (hydraulischer Kalk höherer Festigkeit und Romankalk).

Weißkalk ist ein Kalk, der, bezogen auf die Summe der artbestimmenden Bestandteile, mindestens 90% CaO enthält. Etwa vorhandener Gehalt an MgO darf 5% nicht überschreiten.

Weißkalk löscht je nach der Höhe seines Kalziumoxydgehaltes kräftig und zeigt nach dem Löschen zu Kalkteig weiße oder schwach getönte Färbung.

Dolomitkalk (Graukalk) ist ein Kalk, der, bezogen auf die Summe der artbestimmenden Bestandteile, mindestens 90% CaO + MgO enthält, wobei der Gehalt an MgO mehr als 5% sein muß. Dolomitkalk zeigt gegenüber Weißkalk im allgemeinen trägeres Löscherhalten und nach dem Löschen seltener weiße, meist grauweiße oder dunklere Färbung.

Wasserkalk ist ein Kalk, der, bezogen auf die Summe der artbestimmenden Bestandteile, mehr als 10% lösliche saure Bestandteile

enthält und eine Mindestfestigkeit von 15 kg/cm² nach 28 Tagen besitzt. Wasserkalk mit mehr als 5% MgO erhält den Zusatz „dolo-mitisch“.

Wasserkalk löscht träge, zerfällt vollständig zu Pulver und ist bei sachgemäßer Behandlung wasserbeständig.

Hydraulischer Kalk ist ein Kalk, der, bezogen auf die Summe der artbestimmenden Bestandteile, mindestens 15% lösliche saure Bestandteile enthält, unter Wasser erhärtet und seine Mindestfestigkeit von 40 kg/cm² nach 28 Tagen hat.

Natürlicher hydraulischer Kalk zerfällt bei Zusatz von Wasser nur teilweise.

Künstlicher hydraulischer Kalk ist ein Erzeugnis auch anderer Entstehung, das in der Hauptsache aus unterhalb der Sintergrenze gebranntem Kalk besteht und ebenfalls unter Wasser erhärtet.

Hochhydraulischer Kalk unterscheidet sich vom hydraulischen Kalk lediglich durch die höhere Mindestfestigkeit von 80 kg/cm² nach 28 Tagen.

Zum hochhydraulischen Kalk rechnet auch der Romankalk mit gleicher Mindestfestigkeit. Romankalk ist ein Kalk, der aus silikatreichem Kalkstein gewonnen wird. Er zerfällt nicht bei Zusatz von Wasser und wird daher nur gemahlen geliefert.

Wichtig ist für den Verbraucher, daß der Sack die Bezeichnung „gelöscht“ oder „ungelöscht“ tragen muß.

Gekennzeichnet sind

Wasserkalke mit	1 schwarzen Streifen,
Hydraulische Kalke mit	2 schwarzen Streifen,
Romankalke mit	3 schwarzen Streifen.

Die Festigkeiten (1 Gewichtsteil Kalkpulver, 3 Teile Normensand) betragen bei Lagerung an feuchter Luft nach 28 Tagen:

	Zug	Druck	
Wasserkalk	3	15	kg/cm ²
Hydraulischer Kalk	5	40	„
Hochhydraulischer Kalk	9	80	„
Normenzement	25	300	kg/cm ²

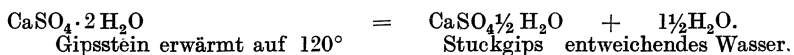
Weit in der überwiegenden Mehrzahl sind diejenigen hydraulischen Kalke, die geringe Festigkeiten haben; hohe Festigkeiten hydraulischer Kalke sind verhältnismäßig selten.

b) Gips.

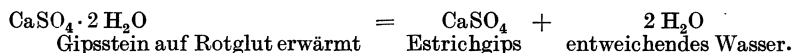
Gips ist ein Calciumsulfat = schwefelsaurer Kalk und kommt in der Natur, z. B. im Harz, vor, häufig mit Steinsalz zusammen oder in dessen Nähe. Calciumsulfat tritt ohne Wassergehalt als Anhydrit auf. Dieser kann aber nicht auf Stuckgips u. dgl. verarbeitet werden, da er kein Hydratwasser enthält. Um so wichtiger ist aber der hydrattwasserhaltige „Gipsstein“, bei dessen „Brennen“ je nach der angewendeten Temperatur zwei ganz verschiedene Gipsarten entstehen, näm-

lich entweder der schnell festwerdende Stuckgips oder der langsam erhärtende Estrichgips.

Erhitzt man den gemahlenden Gipsstein auf nur 120° , ein Verfahren, welches man „Gipskochen“ nennt, so entweicht nur ein Teil des Wassers und der Rückstand bindet bei Zusatz von Wasser verhältnismäßig schnell zu einem weichen Erzeugnis ab, aus welchem die bekannten Gipsdielen u. dgl. hergestellt werden. Wetterbeständig ist dieses Material nicht, es zerfriert leicht und „fault“ bei dauernder Wassereinwirkung. Infolgedessen kann es nicht für Außenbauwerke Verwendung finden. Die Formel für den „Kochvorgang“ lautet:



Erhitzt man den Gipsstein höher als 120° , so wird er tot gebrannt, d. h. er gibt mit Wasser eine schmierige Masse, die überhaupt nicht mehr erhärtet; nur wenn man die Erhitzung über Rotglut (600°) steigert, entweicht sämtliches gebundene Wasser und das so entstandene Erzeugnis, der Estrichgips vermag wieder mit Wasser zusammen, allerdings in sehr langer Zeit, abzubinden. Die Formel lautet:



Während Stuckgips bereits nach einer halben Stunde zu einem mit dem Fingernagel ritzbaren Erzeugnis abbindet, wird Estrichgips erst im Verlauf mehrerer Tage und Wochen vollkommen fest und hart, ist aber dann wesentlich widerstandsfähiger gegen mechanische Beanspruchung als der Stuckgips, und vor allen Dingen, er wird fast völlig wetterbeständig. So ist z. B. die aus vorgeschichtlicher Zeit stammende Burg des Königs auf Kreta und manche Burg im Harz unter Verwendung von Estrichgips als Mörtelbildner erbaut. Allerdings sind in unserem Klima neuerdings erhebliche Zerstörungen von Estrichgipsarbeiten im Verlauf im Freien längerer Zeiträume festgestellt worden.

Die Mahlfeinheit des Stuckgipses wird im allgemeinen etwas weiter getrieben als die des Estrichgipses. Auch Anhydrit vermag bei sehr feiner Mahlung mit Wasser im Laufe der Zeit zu erhärten, technische Bedeutung hat diese Tatsache nicht, obgleich in mörtelarmen Zeiten nach dem Krieg, als Kohle zum Brennen fehlte, solche Erzeugnisse z. B. als „Leukolith“ in den Handel kamen.

Bei der Verarbeitung ist es notwendig, den Stuckgips in das Wasser, das zu seiner Erhärtung notwendig ist, hinein zu gießen, also nicht etwa wie bei anderen Mörteln das Wasser dem Gips zuzusetzen. Dabei sind verhältnismäßig große Wassermengen notwendig. Der Stuckgips ist leicht, er hat nur ein Litergewicht von 12—1300 g, im erhärteten Zustand ist sein Raumgewicht entsprechend niedrig. Er ist demgemäß verhältnismäßig gut wärmehaltend. Er vermag Sand und ähnliche Zuschläge nur in geringem Maße zu binden, dagegen organische Substanzen, z. B. Schilfrohr und Kokosfasern. Wesentlich schwerer ist der Estrichgips, der an das Gewicht von Zement mit einem Litergewicht von 1500 g herankommt und im abgeordneten Zustand verhältnismäßig schwer ist. Sehr reiner

Gips heißt Alabaster und das aus ihm erbrannte Erzeugnis demgemäß Alabastergips.

Man kann die nur etwa 10 Minuten betragende Abbindezeit des Stuckgipses dadurch hinauszögern und auf diese Weise seine Verarbeitbarkeit erhöhen, daß man als Anmachwasser Leimwasser nimmt, ebenso kann man die Festigkeit erheblich heraufsetzen dadurch, daß man dem Anmachwasser Alaun zusetzt oder den Gipsstein unter Alaunzusatz ein- oder zweimal brennt. Den so hergestellten, bei großer Bildsamkeit zu hoher Festigkeit erhärtenden Gips nennt man häufig Marmorzement. Mit Zement hat aber dieses Erzeugnis nichts zu tun. Man verwendet es zum Ausfugen von Platten und zur Herstellung künstlichen Marmors. Die in unseren Barockschlössern häufig anzutreffenden Marmorimitationen sind oft auf diese Art hergestellt. Auch nachträgliche Behandlung von bereits erhärteten Formstücken aus Gips mit Alaun führt zu einer gewissen Erhöhung der Oberflächenhärte. Gips eignet sich besonders zur Herstellung von Bildwerken in Formen, weil er bei der Wasseraufnahme eine geringe Raumvergrößerung von ungefähr 1 % zeigt; dadurch füllt er alle Fugen und Feinheiten der Form sehr gut aus und gibt ein genaues Abbild.

Eine besondere Anwendungsart des Gipssteins ist der Zusatz zum Portlandzement. Er hat bei dieser Verwendungsweise die Obliegenheit, die Abbindezeit zu verlängern, da frisch gebrannter Portlandzement nach dem Vermahlen meist Schnellbinder ist (s. Zement). Zu hohen Zusatz darf man nicht verwenden, da sonst Treiben eintritt. Deshalb ist in den Normen der Gipszusatz auf 3 % beschränkt. Häufig trifft man auf Baustellen die Geflogenheit an, Gips und Portlandzement zusammenzumischen, um ein schnelleres Abbinden und Erhärten herbeizuführen. Diese Arbeitsweise ist durchaus unzuweckmäßig und muß unter allen Umständen verhindert werden, da der Zement durch den hohen Gipszusatz zum Treiben gebracht wird. Das Bauwerk erhält Risse und zerfällt schließlich, häufig unter Zersprengung der Steine, wenn das Gemisch als Fugenkitt verwendet wurde. Gips ist also stets für sich allein, niemals aber mit Zement gemischt zu verarbeiten, während die Verarbeitung von Kalk mit Gips oder von Kalk mit Zement als sog. verlängelter Zementmörtel bekannt, üblich und zulässig ist.

c) Unverarbeiteter Zement.

Auch hier wieder sei zunächst der Rohstoff, also der unverarbeitete Zement besprochen und später die Besprechung des verarbeiteten Zements, des Mörtels und Betons angefügt.

Chemisch gesehen sind alle Zemente Salze der Kieselsäure und Tonerde mit Kalk, also Calciumaluminat und Calciumsilikate, in welchen noch Eisenoxyd und andere Oxyde vorhanden sind, die wohl die Eigenschaften beeinflussen können, aber für den chemischen Aufbau im großen gesehen nicht von ausschlaggebender Wichtigkeit sind. Manchen Zementen, wie Traßzement oder Hüttenzement, sind noch Puzzolane zugemahlen, welche die Aufgabe haben, den aus dem Portlandzement beim Zusatz des Anmachwassers abgespaltenen Kalk aufzunehmen und gleichzeitig, wie beispielsweise Hochofenschlacke, selbst zu erhärten und so bei gleichzeitiger Herabsetzung des Kalkgehalts zur Erreichung der gewünschten Festigkeit beizutragen. Diese Festigkeit, also das Erstarren und Erhärten, wird dadurch hervorgerufen, daß die feingemahlenen

Silikate Wasser aufnehmen, sich also hydratisierten, wobei sich neue Salze bilden, die während der Bildung gesteinsartig erhärten. Neben diesen Hauptreaktionen her laufen noch andere Nebenreaktionen, wie z. B. die Abspaltung von Kalkhydrat („freier Kalk“), die aber für den Erhärtungsvorgang selbst bedeutungslos sind. Beim Tonerdezement entstehen die gegen Wärme empfindlichen, aber sulfatbeständigen Aluminate, bei den Normenzementen mehr die wärmeunempfindlichen Silikate.

Normenzemente.

Die wichtigsten Zemente sind die Normenzemente. Zur Zeit werden in Deutschland jährlich ungefähr 18 Mill. t Normenzement erzeugt, von welchen ungefähr 15 Mill. auf Portlandzement, die restlichen 3 Mill. auf Hüttenzement entfallen. Außerdem werden noch geringe Mengen Traßzement und Tonerdezement hergestellt. Für die Beurteilung der Normenzemente maßgebend sind die Deutschen Normen, die zusammengefaßt sind für Portlandzement. Eisenportlandzement und Hochofenzement. Für Tonerdezement bestehen keine Normen. Die neuerdings für Traßzement eingeführten Normen verlangen für dieses, hauptsächlich für Wasserbauten geeignete Bindemittel, gleiche Festigkeiten wie diejenigen, die für die Normenzemente vorgeschrieben sind und beschränken den Traßzusatz für Regeltraßzement auf 30 %.

Der Name Portlandzement stammt daher, daß der erste Erfinder des Zementes, ein Maurer Aspdin in Südengland, in seiner Patentschrift aussagt, er habe ein Bindemittel erfunden, welches zu einer solchen Festigkeit erhärtet, wie der Portlandstein sie aufweist. Dieser Portlandstein, der in der Heimat Aspdins vorkommt und dort als Bruchstein zur Errichtung von Mauern u. dgl. Verwendung findet, hat chemisch mit dem Portlandzement nichts zu tun. Aspdin wollte in seiner Namengebung bloß zum Ausdruck bringen, daß sein Erzeugnis zu einer solchen Festigkeit erhärtet, wie sie der als Baumaterial jedem in seiner Heimat bekannte Stein aufweist. In Deutschland hat man den Namen von dem ursprünglich nur aus England importierten, aber sehr begehrten Zement übernommen, um damit die Gleichartigkeit des Inlanderzeugnisses mit der beliebten Importware darzutun. Portlandzemente bestehen aus feingemahlenem Portlandzementklinker (über Portlandzementklinker siehe Seite 45 u. f.).

Die Hüttenzemente verdanken ihren Namen dem Umstand, daß sie aus Mischungen von Portlandzement mit Hochofenschlacke, die bei der Verhüttung von Eisenerz entfällt, bestehen. Es gibt zwei Arten von Hüttenzement, nämlich: Eisenportlandzement und Hochofenzement. Eisenportlandzement enthält mindestens 70 % Portlandzementklinker, einige Prozent Gips, Rest Hochofenschlacke, er steht also dem Portlandzement nahe. Bei Hochofenzement ist der Hochofenschlackenanteil überwiegend, denn für diesen ist ein Mindestgehalt von 15 % Klinker vorgeschrieben, die Klinkerhöhe aber dadurch nach oben begrenzt, daß in den Normen ein Kalkgehalt von höchstens 55 % gestattet ist. Diese Beschränkung ist gegeben, um zu erreichen, daß der Hochofenzement ein kalkarmer Zement mit allen Eigenschaften dieser Zemente — hohe Salzwasserbeständigkeit und geringe Abbindewärme — bleibt.

Die Rohstoffe.

Die Rohstoffe für den Portlandzement sind Kalkmergel oder andere Gesteinsarten, die Kalk, Kieselsäure und Tonerde gleichzeitig enthalten, beispielsweise Kalkstein und Ton. In allen diesen genannten kalkhaltigen Rohstoffen ist der Kalk stets gebunden an Kohlensäure als kohlensaurer Kalk. Beim Brennvorgang entweicht diese Kohlensäure. Eine untergeordnete Herstellungsweise ist diejenige aus Gips (schwefelsaurem Kalk), welche zu einem ausgezeichneten Portlandzement führt, die aber infolge ihrer Kostspieligkeit geringe Bedeutung hat. Naturgemäß entweicht bei dieser Herstellungsweise — an Stelle der Kohlensäure, die beim normalen Verfahren ausgetrieben wird — die Schwefelsäure des Gipses, die dann in der chemischen Industrie verwendet wird.

Die Kalkmergel kommen in der Natur bisweilen in derjenigen chemischen Zusammensetzung vor, die notwendig ist zur Erzeugung des fertigen Portlandzementes. Man kann sie dann ohne Zerkleinerung brennen, das Erzeugnis heißt Naturzement. Meist sind aber die Mergel nicht so zusammengesetzt, wie man dies für den fertigen Zement wünscht, sondern sie sind je nach den Bedingungen, unter denen sie entstanden sind, mehr oder weniger tonhaltig, ihre Zusammensetzung in bezug auf Kalk-, Tonerde- und Kieselsäureanteil schwankt also oft in weiten Grenzen. Um die richtige, stets gleichmäßige Zusammensetzung zu bekommen, muß man dann Mergel verschiedener Zusammensetzung mahlen und mischen, so daß das „Rohmehl“ vor dem Brennen diejenige Zusammensetzung hat, welche man für das fertige Erzeugnis wünscht. Aus diesem Grunde ist auch in der Begriffserklärung für Portlandzement verlangt, daß die Rohstoffe, also die Mergel und Kalksteine, vor dem Brennen fein zerkleinert und innig gemischt werden. Bei guter Aufbereitung sind die Portlandzemente infolge dieser Mischung, durch die man jedes Schwanken des Rohmaterials in bezug auf seine chemische Zusammensetzung auszugleichen vermag, sehr gleichmäßig in ihrer chemischen Analyse.

Der Brennvorgang wird soweit getrieben, daß das Brennerzeugnis stark gesintert ist. Dieses stark gesinterte Erzeugnis nennt man Klinker. Er besteht, wenn er im Drehofen gebrannt wurde, aus kugeligen Gebilden, welche sehr hart sind und bei guter Zusammensetzung viele Jahre an der Luft lagern können, ohne zu zerfallen. Der eigentliche Grundbestandteil des Klinkers ist das Tricalciumsilikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Daneben sind aber auch noch Bicalciumsilikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), Brownmillerit und Aluminate in der glasigen Grundmasse vorhanden. Am schnellsten hydratisieren sich beim Anmachen mit Wasser die Aluminate. Aus diesem Grunde haben hoch tonerdehaltige Portlandzemente meist eine kürzere Abbindezeit. Den erbrannten Klinker mahlt man dann unter Zusatz von 2—3% Gips, der regulierend auf die Abbindezeit wirkt, zum fertigen „Portlandzement“. Für die Herstellung der „Hüttenzemente“ nimmt man an Stelle des aus dem Boden gewonnenen Kalkmergels die bei der Eisenerzeugung gewonnene Hochofenschlacke, da diese ja die gleichen wichtigen Oxyde wie Kalkmergel, nämlich Kalk, Kieselsäure und Tonerde enthält und vermahlt sie mit Kalkstein zu Rohmehl, das zu Klinker gebrannt wird. Der so entstandene Portlandzementanteil wird dann mit Hochofenschlacke, die schnell gekühlt sein muß, (da sie sonst nicht „hydraulisch erhärtet“) in wechselnden Prozentverhältnissen fein vermahlen.

	Klinker	Hochofenschlacke
Es bestehen:		
Portlandzement	100%	0%
Eisenportlandzement aus etwa	70%	30%
Hochofenzement aus etwa	30%	70%

Dazu kommen jeweils etwa 3% Gipsstein in jedem Zement zur Regelung der Abbindezeit.

Traßzement ist ein Mischprodukt von Portlandzement und Traß, und zwar gibt es Mischungen von 30% Traß und 70% Portlandzement und 40% Traß und 60% Portlandzement. Der meist hergestellte Traßzement ist der mit 30% Traß, den man „Regeltraßzement“ nennt. Der Traß ist bekanntlich eine Puzzolane, die allein nicht erhärtet (vgl. auch unter Puzzolane, S. 36). Traß wird erzeugt durch Vermahlen von Tuffstein, welcher entstanden ist aus erhärteten Schlammströmen, die beim

Ausbruch der Vulkane des Laacher Seegebietes und auf ähnliche Weise an anderen Stellen entstanden.

Puzzolane sind Verbindungen, die langsam er härten, wenn ihnen ein Anreger zugefügt wird. Dabei findet eine Bindung des freien Kalkes aus dem Portlandzementklinker statt unter gleichzeitiger Kieselsäureabspaltung, die zur Dichtung des Mörtels beiträgt. Traß erhärtet demgemäß nicht für sich allein, und er kann deshalb im offenen Wagen verschickt werden oder im Regen liegen. Bei der Verarbeitung auf der Baustelle muß er aber unter allen Umständen Zementzusatz erhalten, um sein Erhärungsvermögen anzuregen. Traß allein erhärtet nicht.

Tonerdezement hat seinen Namen wegen seines verhältnismäßig hohen Tonerdegehalts von ungefähr 40 %. Er wird in gleicher Weise wie Hochofenschlacke im Hochofen erschmolzen, wobei als Nebenprodukt Eisen entsteht. Während der Portlandzement auf Bildung wasserreicher, also hydratisierter Kalksilikate beruht, sind beim Tonerdezement Kalkaluminat die Träger der Erhärtung.

1. Chemische Zusammensetzung.

Das Dreistoffsystem Kalk — Kieselsäure — Tonerde.

Die chemische Verschiedenheit der einzelnen hydraulisch erhärtenden Stoffe und sonstigen Baumaterialien ist sehr schwer zu übersehen, da

Tab. 2. Chemische Zusammensetzung von Portlandzement, Hochofenzement, Traß, Kalk usw. nach dem Kalkgehalt geordnet.

	Hydr. Kalk	PZ	Erz. Z.	EPZ	HOZ	Rom. Zt.	HOS bas.	TOZ	HOS- sauer	Rhein. Traß
Unlösliches . . .	3,5	—	—	—	—	7,2	—	—	—	40,3
Kieselsäure SiO_2 .	12,1	22,0	22,7	24,5	26,4	24,4	31,6	9,6	45,3	30,1
Tonerde Al_2O_3 . .	4,4	7,3	4,4	7,0	11,4	9,7	15,8	47,6	18,7	13,7
Eisenoxyd Fe_2O_3 .	2,5	3,3	6,2	2,3	—	3,9	—	1,2	—	4,2
Eisenoxydul FeO .	—	—	—	—	1,8	—	0,8	—	1,8	—
Manganoxyd MnO .	Sp.	0,1	0,1	0,4	0,3	Sp.	0,5	0,3	0,7	0,2
Kalkerde CaO . .	75,7	64,0	62,5	59,0	51,1	49,1	43,7	37,7	27,8	3,9
Magnesia MgO . .	1,2	1,4	1,0	2,0	3,1	3,3	3,3	0,9	3,6	1,3
Calciumsulfid CaS .	0,2	—	—	1,4	2,6	—	4,1	1,8	1,0	—
Gips CaSO_4 . . .	0,4	1,9	3,1	3,4	3,3	3,4	0,2	0,9	Sp.	0,2
Rest	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	6,1
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

sehr viel Analysen in Betracht kommen. Die chemische Zusammensetzung einiger Bindemittel, wie hydraulischer Kalk, Portlandzement, Tonerdezement, Traß usw. ist in Tab. 2 zusammengestellt. Diese kleine Zusammenstellung zeigt die überaus große Verschiedenheit, die bei den einzelnen Zementen und Puzzolanen im Kalkgehalt von ungefähr 4 bis 75 % schwankt. Eine einigermaßen sichere Orientierung und ein tiefergehendes Verständnis ist deshalb nur mit der graphischen Darstellung der Analysen in der Ebene möglich, mit der sich auch der Nichtchemiker etwas beschäftigen muß, wenn er einen schnellen und klaren Überblick über die chemischen Verhältnisse bekommen will. Diese graphische

Darstellung — das Dreistoffsystem (vgl. Abb. 22), so genannt, weil man stets nur die drei Hauptstoffe Kalk, Kieselsäure, Tonerde (CaO , SiO_2 , Al_2O_3) darstellt — wird gebildet von einem gleichseitigen Dreieck. Die Seiten dieses Dreiecks sind in 100 unterteilt, da man ja eine Analyse auf 100 berechnet. An den Ecken liegen nun die Punkte für diejenigen Stoffe, die aus 100 % einer der drei Komponenten zusammengesetzt sind, also Kalk, Kieselsäure und Tonerde. Man hat die Gewohnheit, Kalk an die

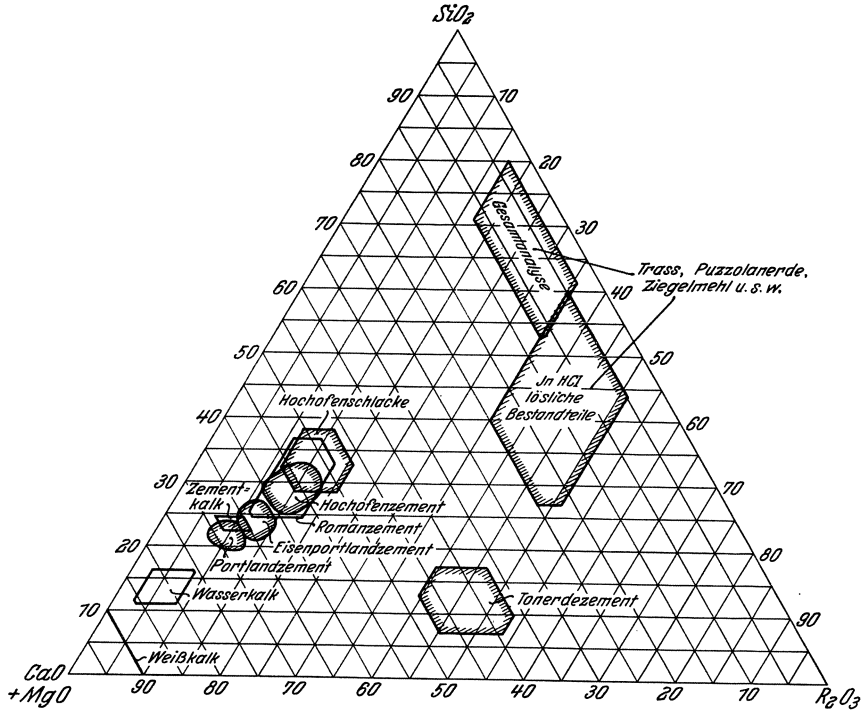


Abb. 22. Das Dreistoffsystem: Kalk—Kieselsäure—Tonerde. In das gleichseitige Dreieck können alle Stoffe eingetragen werden, die aus Kalk, Kieselsäure und Tonerde bestehen, also auch alle Bindemittel und Baustoffe. Die Summe muß 100 betragen, die stets vorhandenen akzessorischen Bestandteile werden den verwandten Oxyden zugerechnet, also z. B. die Magnesia dem Kalk usw.

SiO_2 = Kieselsäure, CaO = gebrannter Kalk, MgO = gebrannte Magnesia, $\text{CaO} + \text{MgO}$ = Basen, R_2O_3 = Al_2O_3 Tonerde + Eisenoxyd (Fe_2O_3), Erden, SiO_3 = Kieselsäure.

linke Ecke, Kieselsäure an die obere Spitze und Tonerde an die rechte Ecke zu setzen. Auf diese Weise entstehen zunächst drei Zweistoffsysteme, nämlich die 3 Seiten des Dreiecks: die Zweistoffsysteme „Kalk — Kieselsäure“, „Kalk — Tonerde“ und „Tonerde — Kieselsäure“. Es liegen nun auf diesen drei Seiten des Dreiecks jeweils die Kalksilikate, die Kalkaluminat und die Aluminiumsilikate. Im Dreistoffsystem, also im Innern des Dreiecks, befinden sich die Punkte für diejenigen Verbindungen, welche aus drei Stoffen bestehen; benachbart sind miteinander verwandte Verbindungen, die auch ähnliche Eigenschaften haben, voneinander entfernt liegen diejenigen, die wenig miteinander

gemein haben. Gegen die Kieselsäureecke zu liegen die kieselsäurereichen, gegen die Kalkecke die kalkreichen Verbindungen oder Gemische.

Aus dem Dreistoffsystem läßt sich ablesen

1. welche prozentuale chemische Zusammensetzung eine Verbindung hat, welche in das Dreistoffsystem eingezeichnet ist,

2. welche Eigenschaften sie voraussichtlich aufweist (gleiche physikalische Aufbereitung vorausgesetzt).

In das Dreistoffsystem kann man für jede chemische Verbindung, deren Zusammensetzung bekannt ist, einen Punkt eintragen. Fallen die Punkte verschiedener Erzeugnisse zusammen oder in die Nähe, so sind diese verwandt. Die Punkte verwandter Verbindungen bedecken, da sie ja alle benachbart liegen, Flächen, so daß für jede Verbindungsart (Portlandzement, Traß usw.) begrenzte Räume entstehen, in welche jeweils alle Portlandzemente, Trasse, Ziegelmehle, Hochofenschlacken usw. fallen. Für die Eintragung muß man die Gesamtanalysen immer auf drei Stoffe umrechnen, da man mehr Stoffe als drei nicht graphisch darstellen kann. Um diese Reduktion durchzuführen, vereint man als Basen Kalk und Magnesia, als Erden Tonerde und Eisenoxyd, als Säuren Kieselsäure, Titansäure und Manganoxyd. In der Abb. 22 sind die Flächen eingezeichnet. Man sieht aus der Fläche des Portlandzementes, daß er tatsächlich in der Hauptsache aus Kalk aber auch aus Tonerde und Kieselsäure besteht. Der Haupt- und wichtigste Bestandteil des Portlandzementes ist Tricalciumsilikat.

Eine Herstellung aus reinem Tricalciumsilikat auf technischem Wege ist nicht möglich, da dieses Erzeugnis einen zu hohen Schmelzpunkt hat. Man setzt deshalb diesen Schmelzpunkt durch Eisenoxydzusatz herab. Es entstehen dann beim Brennen Mischungen, die bei Weißglut halb flüssig sind („Sintern“!).

Erzeugnisse, die außerhalb der derartig entstandenen Flächen liegen, gehören nicht zu Stoffen, die durch die Fläche bezeichnet sind. Aus den Flächen läßt sich ablesen, in welchen Graden beispielsweise der „Erden“-gehalt des Portlandzements schwanken kann, daß er also zwischen 6—15% liegt, daß der Basengehalt zwischen 66—72%, der Kieselsäuregehalt zwischen 19—24% schwanken darf. (Die Zahlen für die chemischen Analysen sind etwas geringer, da ja im Kalkgehalt auch noch Magnesia enthalten ist.) Die Fläche für die Hochofenschlacke ist von der Kalkecke etwas entfernter als diejenige für Portlandzement, da die Hochofenschlacke weniger Kalk enthält, dafür aber mehr Tonerde und Kieselsäure. Die Tonerdezementflächen weisen einen nur sehr geringen Kieselsäuregehalt auf.

2. Das Brennen.

Das Brennen des Rohmehls, welches ein Gemenge der verschiedenen Oxyde, teilweise an Kohlensäure gebunden, darstellt, hat den Zweck, eine Vereinigung dieser Oxyde zu chemischen Verbindungen herbeizuführen. Es wird bei möglichst hoher Temperatur in Schacht- oder Drehöfen durchgeführt (Abb. 23). Die Schachtöfen sind einfach gemauerte Schächte, aus deren Grundflächen der entstandene Klinker durch mechanische Austragung ausgebrochen wird. Drehöfen sind schamotteausgepanzerte, schräg gelagerte Rohre, die sich langsam drehen. Am höher

gelagerten einen Ende wird das Rohmehl einlaufen gelassen, am tieferen anderen Ende brennt eine von Kohlenstaub genährte Stichflamme,



Abb. 23. Drehofen zur Herstellung von Zement: Das Rohmehl (Mergel oder Mischung von Hochofenschlacke und Kalkstein) wird am hochgelegenen Ende des Ofens aufgegeben und durchläuft das sich langsam drehende Rohr. Am unteren Ende wird eine Flamme aus Kohlenstaub eingeblasen. Hierdurch wird zunächst die Kohlensäure ausgetrieben, danach sintert das Rohmehl zu Klinker.

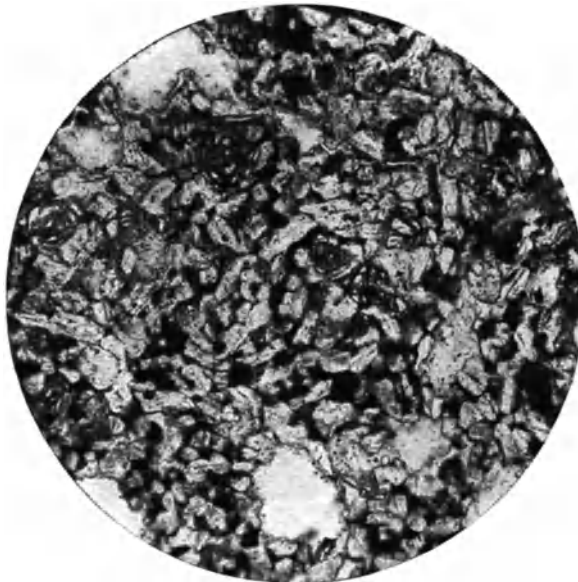


Abb. 24. Dünnschliff von Portlandzementklinker: In der Hauptsache besteht der Portlandzement aus Tricalciumsilikat. Die prismatischen Kristalle sind deutlich zu sehen.

welcher das Rohmehl entgegenläuft (Gegenstromprinzip). Zuerst wird die Kohlensäure ausgetrieben, die mit den Rauchgasen entweicht. Dann sintert das Rohmehl in der (erweiterten) Sinterzone, zu harten rundlichen Knollen, den Klinkern, in welchen die für die Herbeiführung der Erhärtung nötigen hochkalkigen Silikate vorhanden sind (Abb. 24).

3. Die Kühlung.

Bei Portlandzement und besonders bei Hochofenschlacke ist, um hydraulische Eigenschaften herbeizuführen, eine schnelle Abkühlung



Abb. 25. Dünnschliff von Hochofenschlacke: Hochofenschlacke muß in glasiger Form dem Zement zugemahlen werden, da sie sonst kein Erhärtungsvermögen hat. Entglaste, also kristallisierte Hochofenschlacke dient nur als Betonzuschlag. Eisenportlandzement enthält bis zu 30% Schlacke, Hochofenzement bis zu 85% Schlacke. Auf dem Bild ist eine durch partielle schnelle Abkühlung teilweise glasig gewordene (unterer Teil), teilweise kristallisierte (oberer Teil, Melilith-Bildung) Hochofenschlacke dargestellt.

erwünscht. Man erreicht diese dadurch, daß man den weißglühenden Klinker durch Kühltrommeln schickt oder die glühend-flüssige Hochofenschlacke in Wasser laufen läßt. Infolge einer derartig schnellen Abkühlung sind bei der Schlacke die einzelnen Oxyde aus Zeitmangel nicht imstande, zu festen Verbindungen zusammenzutreten und Kristalle zu bilden, sondern sie bleiben getrennt und erstarren zu amorphen Gesteinsschmelzen, die man wegen ihres glasigen Aussehens unter dem Mikroskop „Gläser“ nennt (Abb. 25 u. 26). Die so erstarrten Hochofenschlacken sind reaktionsfähig, da in ihnen noch erhebliche Mengen von Energie aufgespeichert sind, die bei langsamer Abkühlung zur Bildung von Verbindungen und Kristallen verbraucht worden wären.

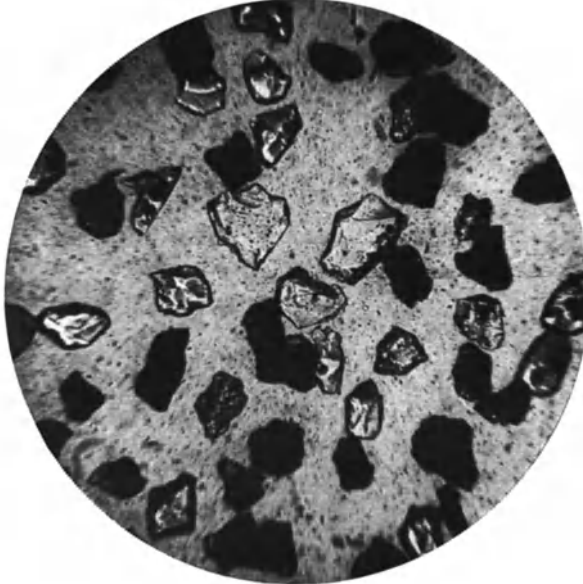


Abb. 26. Pulverpräparat von Hochofenzement: In dem mikroskopischen Präparat ist glasige Schlacke enthalten (durchsichtig), die deutlich neben den Klinkeranteilen (dunkel gefärbt) zu sehen ist. Hüttenzemente sind also Mischungen von Portlandzementklinker und glasiger Hochofenschlacke.

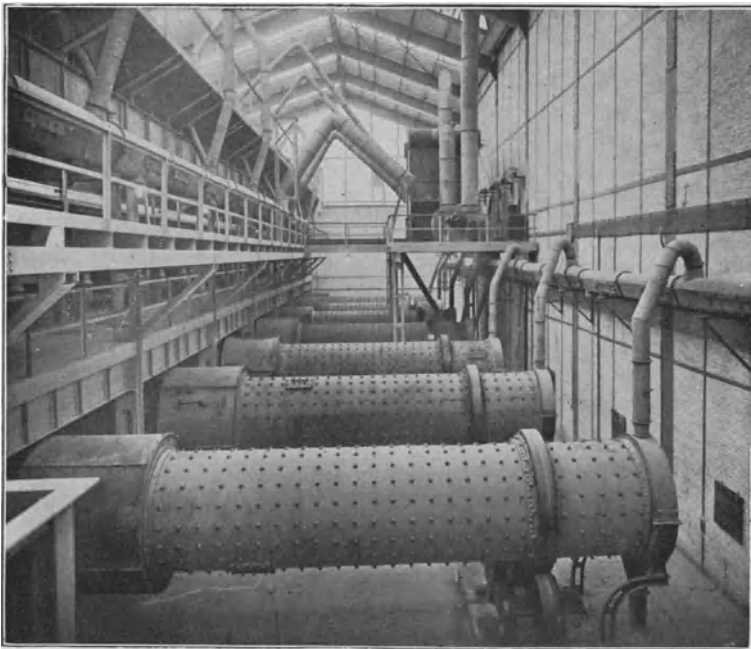


Abb. 27. Stahlmühlen: Der Klinker wird in der Mühle entweder für sich zu Portlandzement oder mit Schlacke zu Hüttenzement vermahlen. Die Stahlmühlen bestehen aus gepanzerten Stahlrohren von beispielsweise 2 m Durchmesser und 20 m Länge, die in meist 3 Kammern geteilt und zu $\frac{1}{3}$ mit Stahlkugeln von Kammer zu Kammer in fallender Größe gefüllt sind. Sie werden in schnelle Umdrehung versetzt, der Fall der Kugeln zerkleinert durch seinen Schlag das Mahlgut.

Wird die so erzeugte Hochofenschlacke nun fein gemahlen und mit etwas Kalk oder Portlandzement vermischt, so entstehen bei Wasserzusatz aus dem Mischprodukt Salze, es bilden sich also wasserhaltige Kalksilikate, die zu einer Erhärtung des mit Wasser angemachten Pulvers führt. Als Anreger kann neben gebrannten Kalk oder Klinker auch Gips dienen. Auf letztere Weise entstehen dann die Gips-Schlackenzemente, die hauptsächlich in Frankreich und Belgien unter dem Namen „Cilor“ oder „Sealithor“ in den Handel kommen und denen besonders Salzwasserbeständigkeit nachgerühmt wird.

4. Das Mahlen.

Das Mahlen erfolgt auf Mühlen, welche aus mit Stahlgepanzten Eisenrohren beispielsweise von 2—3 m Durchmesser und 20 m Länge bestehen, die in mehrere Kammern eingeteilt sind (Abb. 27). In der ersten Kammer, in welche das Rohmaterial (Mergel oder Klinker) einläuft, befinden sich sehr große Kugeln, in den folgenden beiden, durch geschlitzte Panzerbleche voneinander abgetrennten Kammern, sind immer kleinere Mahlkörper. Der fertige Zement (oder das Rohmehl) verläßt die Mühle, nachdem es die letzte Kammer mit der Füllung kleinster Kugeln oder Zylinder durchwandert hat. Die Feinheit des Erzeugnisses ist so groß, daß auf dem Sieb mit 5000 Maschen je Quadratzentimeter nur etwa 5—30 % zurückbleiben. Solche zurückbleibende Teilchen haben einen Durchmesser von über etwa 0,09 mm. Der Hauptanteil des Zementes ist also wesentlich feiner, die Staubkörnchen haben Durchmesser von nur tausendstel Millimetern. Ein Kubikzentimeter eines derartigen Staubes hat demgemäß eine Oberfläche von mehreren Quadratmetern.

d) Verarbeiteter Zement.

1. Das Erstarren.

Ein gemahlener mit Wasser angemachter Portlandzementklinker erhärtet meist in wenigen Minuten. Eine derartig schnelle Erstarrung ist aber nicht erwünscht, da man ja an der Baustelle Zeit haben muß, um den Zement mit Wasser und Kies zu mischen, an Ort und Stelle zu bringen und zu verarbeiten. Man setzt deshalb dem Zement beim Vermahlen etwas Gips zu, da erfahrungsgemäß dieser Gips den Erstarrungsbeginn hinauszögert.

Bei sehr heißem Wetter kann diese Wirkung des Gipses aus noch nicht gänzlich aufgeklärten Gründen, glücklicherweise in sehr seltenen Fällen, bei Lagern des Zementes wieder verschwinden, d. h. der in der Fabrik normal bindende Zement, dessen Erstarrungsbeginn nach zwei bis drei Stunden lag, fängt plötzlich an, Schnellbinder zu werden, d. h. schnell zu erstarren. Derartige Zemente (Umschläger) sind natürlich unbrauchbar. Es ist deshalb zu empfehlen, auf jeder Baustelle, gemäß den Vorschriften der Normen, von jeder Sendung Zement einen kleinen Kuchen anzumachen und mit der Nagelprobe den Erstarrungsbeginn festzustellen, damit man sicher ist, nicht etwa in die Mischmaschine Zement zu bekommen, der ein Schnellbinder infolge Umschlagens ist. Die Gefahr, daß bereits ein Schnellbinder von der Fabrik gesandt wird, ist gering, da die Zemente sehr scharf kontrolliert werden.

Auf größeren Baustellen wird auch noch die Kochprobe durchgeführt, welche Kalktreiben anzeigt. Im allgemeinen halte ich die Durchführung dieser Kochprobe nicht für unbedingt notwendig, da bei dem heutigen Stand der Fabrikation, wenigstens bei Normenzement, Treiben nicht vorkommt, bei Naturzement ist die Kochprobe dagegen anzuraten.

Die Abbindereaktion geht um so schneller vor sich, je höher die Temperatur, bei der sie verläuft, und je feiner der Zement gemahlen ist. Sie kann noch weiter beschleunigt werden durch Zusatz gewisser Salze, wie beispielsweise Chlorcalcium.

Zunächst tritt eine Erstarrung ein, von der verlangt werden muß, daß sie nicht zu früh stattfindet, weil sonst der Zement sich nicht verarbeiten läßt, hauptsächlich bei Großbaustellen. Anschließend geht dann die Erstarrung über in das steinartige Erhärten. Bei allen Zementen ist die Zeit zwischen Erstarrung, wenn die Zemente also in einen puddingartigen Zustand übergegangen sind, und der Erhärtung, also der Steinwerdung, die gefährlichste. In dieser Zeit muß der Zement sorgfältig geschützt werden vor Austrocknung, Hitze, Frost und Erschütterung, da sonst Schwindung, also Reißen durch Austrocknen, Erfrieren durch Frost, dazu völlige mechanische Zerstörung des Betons oder schließlich Zerklüftung des Betons, also z. B. Abspringen von Kanten durch Erschütterung herbeigeführt werden kann.

2. Die Grundlagen der Erhärtung.

Der Klinker, der beim Brennen entsteht, ist eine Mischung von Kristallen, die in der Hauptsache aus Kalksilikaten mit sehr hohem Kalkanteil besteht, die in einer glasigen Grundmasse liegen. Ursprünglich nannte man um die Jahrhundertwende die einzelnen Kristalle, die man wohl unter dem Mikroskop sah, deren chemische Zusammensetzung man aber nicht kannte, nach dem Alphabet A-lit, Belit, Celit, Felit, Bezeichnungen, die man bisweilen noch in der Literatur findet.

Heute wissen wir die chemische Zusammensetzung, die im folgenden wiedergegeben sei:

- | | | |
|---|--|--|
| 1. A-lit, $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | Tricalciumsilikat, stark erhärtend, Hauptbestandteil eines guten Klinkers (Abb. 24). | |
| 2. Belit, $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | α Dicalciumsilikat | } zwei verschiedene Modifikationen
} α und β der Verbindungen gleicher Zusammensetzung |
| 3. Felit, $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | β Dicalciumsilikat | |
| 4. Celit, $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | Brownmillerit. | |
| 5. — $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | Tricalciumaluminat, gleichzeitig Bestandteil des Tonerdezementes (Abb. 28). | |
| 6. CaO | freier Kalk. | |
| 7. — $12 \text{ CaO} \cdot 7 \text{ Al}_2\text{O}_3$ | (früher Pentacalciumtrialuminat genannt) besonders wichtig im Tonerdezement. | |

1, 2 und 3 sind demnach Kalksalze der Kieselsäure, 5 und 7 sind Salze der Tonerdesäure, 6 ist die freie Base Kalk.

Das ganze Gemisch ist überaus kalkreich, denn die normale Verbindung zwischen Kalk und Kieselsäure ist das CaOSiO_2 , das Monocalciumsilikat.

Bei der hohen Temperatur der Klinkerentstehung (1500°) sind die hochkalkigen Verbindungen beständig. Man kann sich vorstellen, daß die Kieselsäure bei hohen Temperaturen eine „starke“ Säure ist und dann große Kalkmengen zu den eben erwähnten Silikaten, besonders Tricalciumsilikat bindet. Bei der tiefen Temperatur der Zementverarbeitung sind diese Verbindungen nicht mehr beständig, sie zerfallen, wenn das Gemisch fein gemahlen und mit Wasser angemacht, wieder „reaktionsfähig“ wird.

Das Erhärten des Portlandzementes zerfällt in zwei Teile, und zwar erfolgt zunächst

das Erstarren, auch Abbinden genannt, weiter
das Erhärten, das Versteinern.

Das Erstarren wird hervorgerufen durch das Zerfallen der hochkalkigen Silikate, die bis zur Bildung des „normalen“ Monocalciumsilikat abgebaut werden können. Beispielsweise gilt für das Tricalciumsilikat die höchstkalkige Verbindung (analog auch für die anderen Silikate) die schematische Formel:



(Im allgemeinen erfolgt der Abbau nicht so weit, sondern nur bis zum $2\frac{1}{2} \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Es bildet sich also weniger freier Kalk als nach der wiedergegebenen schematischen Formel.)

Das entsprechende Kalksilikat, das niedriger im Kalk ist als das Ausgangsprodukt Tricalciumsilikat, scheidet sich als „Gel“¹ ab, welches die Zement- und Sandkörner zu einer puddingartigen, nicht mehr formbaren, aber noch schneidbaren Masse verbindet².

Das Erhärten erfolgt dadurch, daß der von der Spaltungsreaktion unberührte Kern der einzelnen Klinkerteilchen nun allmählich sich auch hydratisiert und das von ihm hierzu gebrauchte Wasser, den im ersten Stadium gebildeten „Gelen“ entzieht, die infolge dieses Entzugs durch „inneres Austrocknen“ erhärten (Haus Kühl). Kurz zusammengefaßt heißt das:

Das Erstarren des Portlandzementes wird durch Gelbildung aus zerfallenden, hochkalkigen Silikaten des Kalkes,

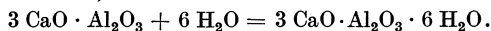
das Erhärten durch Austrocknung der Gele herbeigeführt.

Das Schrumpfen der Gele bei der Austrocknung hat Schwinden im Gefolge. Der freiwerdende Kalk scheidet sich in Kristallform ab; ist seine Bindung z. B. der Herstellung sulfatbeständigen Betons erwünscht, so sind kalkbindende Zusätze oder solche, die erhärten ohne Kalk abzuscheiden (Hochofenschlacke) nützlich.

Bei Luftbauten wird der freie Kalk an der Oberfläche sehr bald durch die Kohlensäure der Luft in Calciumkarbonat (CaCO_3) übergeführt, bei Wasserbauten kann er in der Oberfläche im Laufe der Zeit ausgelaugt werden, ohne daß eine Herabsetzung der Festigkeiten die Folge zu sein braucht. Wirkt stark kohlen-säurehaltiges oder besonders salzarmes oder sulfathaltiges Wasser auf den Beton ein, so sucht der freie Kalk, der ja eine ungesättigte Verbindung, eine freie Base darstellt, sich abzusättigen, indem er sich mit der Kohlensäure, bzw. der Schwefel-säure verbindet, oder indem er sich in dem kalkarmen Wasser als leicht lösliche Verbindung auflöst. Bei Kohlensäureeinwirkung bildet sich in Wasser leicht löslicher doppeltkohlen-saurer Kalk, bei Sulfateinwirkung dagegen entsteht Calcium-sulfat (Gips). Die Folge ist eine Zerstörung des Betons entweder durch Zermürbung, weil einfach das Bindemittel verschwindet (denn die Aufspaltung des vorhandenen Calciumsilikates kann nach Verschwinden des freien Kalkes weitergehen) oder aber durch Treiben, wenn Gips auftritt, der zusammen mit der Tonerde des Zementes sich in das äußerst schädliche Calcium-Aluminiumsulfat (Zementbazillus, s. unten) umwandelt.

¹ Gele sind amorphe, d. h. gestaltlose, nicht kristalline, wasserhaltige Gebilde (Gelatine!). Der „feste Anteil“ ist sehr locker ausgebildet, hat eine ungeheuer große Oberfläche und vermag deshalb viel Wasser „kapillar“ festzuhalten. Solche Kapillaren haben Durchmesser von weit unter $\frac{1}{10\,000}$ mm.

² Gleichzeitig nimmt das vorhandene, oben unter 5. genannten Tricalcium-aluminat auch Wasser auf, nach der Formel:



Es wird also zu Hydrat, ohne zu zerfallen, und bildet winzige Kristalle; diese Reaktion ist aber für das Verständnis nebensächlich und sei deshalb vernachlässigt.

Beim Hüttenzement ist der Erhärtungsvorgang ähnlich wie bei Portlandzement, zunächst natürlich für den Portlandzementanteil. Dabei findet eine Wechselwirkung zwischen diesem Portlandzementanteil und der zugesetzten Hochofenschlacke statt (Abb. 26). Denn der Portlandzementanteil ist ein hochkalkiges Silikat mit einem Kalküberschuß, während die Hochofenschlacke ein kalkarmes Silikat ist mit einem gewissen Kalkmangel.

Beim Anmachen des Mischproduktes mit Wasser findet nun neben der Selbst-erhärtung des Portlandzementanteils eine Wechselwirkung zwischen dem freien Kalk und der Hochofenschlacke statt, durch welche nun auch die Hochofenschlacke



Abb. 28. Tonerdezement: Das Bindemittel unterscheidet sich wesentlich vom Portlandzement (Abb. 24). Tonerdezement besteht aus Calciumaluminiumsilikat, dessen Formel völlig anders ist als diejenige des Tricalciumsilikates aus dem Portlandzement.

zu erhärten beginnt. Die Folge ist, daß im Hüttenzement ein Teil der Festigkeit auf die erhärtende Hochofenschlacke zurückzuführen ist, die zwar langsamer erhärtet als der Portlandzementanteil, dafür aber auch weniger Wärme als „Abbindewärme“ freisetzt. Daneben findet innere Dichtung des Gefüges durch Quellung (Abscheidung von Kieselsäure) und Kalkbindung statt. Entsprechend treten auch die Folgeerscheinungen des Vorhandenseins von freiem Kalk beim Hüttenzement mit steigendem Schlackengehalt zurück, d. h. die Hüttenzemente sind widerstandsfähiger gegen Sulfatwirkung und ähnliche Einflüsse als die Portlandzemente.

Bei der Erhärtung des Tonerdezementes bilden sich neben den für die Normenzement-erhärtung so wichtigen Kalksilikaten vor allem Kalkaluminat (Abb. 28). Diese spielen im Portlandzement und im Hüttenzement nur eine untergeordnete Rolle. Gemäß des vollkommen anderen Erhärtungsvorgangs hat der Tonerdezement auch Eigenschaften, welche ihn grundlegend vom Portlandzement unterscheiden.

3. Abbindewärme.

Beim Abbinden jedes Zementes, sowie bei der Erhärtung werden erhebliche Wärmemengen frei. Am größten sind diese Wärmemengen beim Tonerdezement, etwas geringer beim Portlandzement und am geringsten bei den Hüttenzementen und beim Traßzement. Bei der Verarbeitung von Tonerdezement zu größeren Bauelementen kann dieses Auftreten von Wärme von Nachteil sein, da hierdurch Spannungen entstehen, welche im weiteren Verlauf zu Rißbildung führen können. Noch wichtiger als diese Nebenerscheinung ist die Tatsache, daß der Tonerdezement empfindlich ist gegen Wärme. Bei hoher Wärme vermag er überhaupt nicht abzubinden, bei längerer Einwirkung auf den bereits abgebundenen Zement wird er geschädigt. Wird nun in einem größeren Block aus Tonerdezementbeton nicht in geeigneter Weise für Abführung der Wärme gesorgt, so bleibt der Block im Innern, da wo die Wärme sich staut, und ein gewisses Maß übersteigt, weich. Es muß demgemäß bei Verarbeitung von Tonerdezement auf diese starke Wärmeentwicklung beim Erstarren und Erhärten Rücksicht genommen werden. Diese Wärmeentwicklung kann aber auch an anderen Stellen von Vorteil sein, so z. B. bei Frost. Gegen Frost ist Tonerdezementbeton wesentlich weniger empfindlich als Portlandzement, Hüttenzement oder gar Traßzement.

Eine weitere Folge der chemischen Zusammensetzung des Tonerdezements ist seine höhere Beständigkeit gegen manche Wässer. Der Tonerdezementbeton enthält keinen freien Kalk und wird deshalb durch Sulfate nicht so leicht zerstört wie der Portlandzement. Auch Kohlensäure vermag ihm, wenn er einmal erhärtet ist, wenig anzuhaben. Trifft ihn dagegen Kohlensäure während der Erhärtung, so vermag diese in einer oberflächlichen Zerstörung ein Absanden des Zementes herbeizuführen, welches aber in weitaus den meisten Fällen ohne größere Bedeutung ist.

4. Mischung verschiedener Zementarten.

Wichtig zu wissen ist, daß der Tonerdezement durch beigemischten Portlandzement in seiner Erhärtung geschädigt wird, wie ebenso der Normenzement durch Zumischung von Tonerdezement. Es muß deshalb bei Verarbeitung der verschiedenen Zementsorten auf der gleichen Baustelle unter allen Umständen dafür gesorgt werden, daß ein zufälliges Mischen nicht vorkommt, da sonst ein Nichterhärten oder ungenügendes Erhärten des Betons die Folge dieses Versehens sein würde. Strengste Einteilung der Baustelle ist also in diesem Falle der Verarbeitung beider Zemente am gleichen Ort zu fordern.

Die Vermischung der Normenzemente unter sich ist ohne weiteres möglich, da ja bei ihnen der Erhärtungsvorgang auf gleicher Grundlage beruht.

5. Traßzement.

Die guten Erfahrungen in bezug auf Salzwasserbeständigkeit beim Hüttenzement ließ die Traßzemente, also die Mischungen von Portlandzement mit Traß entstehen. Der Traß ist aber eine sehr viel reaktions-trägere Puzzolane als die Hochofenschlacke, erhärtet selbst nur in ver-

hältnismäßig geringem Maße und hat außerdem ein weiches Korn. Infolgedessen setzt Traß die Festigkeit von Zementen sehr viel stärker herab, wenn er als Zementersatz gebraucht wird, als Hochofenschlacke. Seine günstige Wirkung ist in der Hauptsache dichtend. Da er als Zementersatz nicht dienen kann, muß deshalb bei seiner Verarbeitung, die auch auf der Baustelle durchgeführt werden kann, insofern vorsichtig vorgegangen werden, als man nicht zu große Zementmengen durch Traß ersetzen darf. In den Richtlinien für die Bauausführungen in Moor- und Meerwasser ist deshalb auch vorgeschrieben, daß Traß überhaupt nicht als Zementersatz gebraucht werden darf, sondern lediglich als Zuschlag zu rechnen ist (Abb. 29).

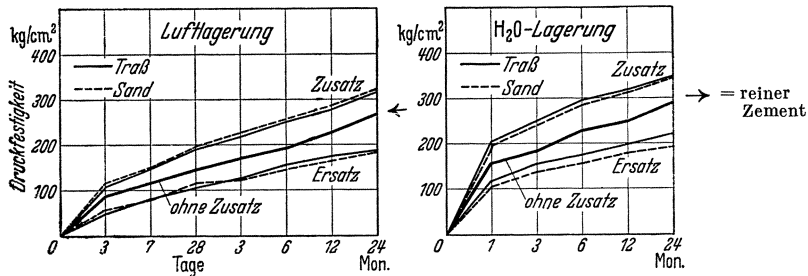


Abb. 29. Beim Vergleich der Festigkeiten von Sandmehl und Traß als Zusatz zum Zement (15–20%) oder als Ersatz für Zement zeigt sich folgendes:

Zusatz erhöht die Festigkeit durch Erhöhung der Dichtigkeit für beide Mehle, Ersatz drückt sie herab. Bei Wasserlagerung wirkt Traß deutlich besser als das Sandmehl, bei Luftlagerung ist die Wirkung praktisch gleich. (Die mittlere Kurve ist jeweils der Portlandzement allein. H₂O-Lagerung heißt Wasserlagerung.)¹

6. Steinmehlzemente.

Steinmehlzemente werden neuerdings auch bisweilen, hauptsächlich in Frankreich, in den Handel gebracht. Sie haben zwar scheinbar einen geringeren Kalkgehalt als der Portlandzement, wenn man die absolute Analyse betrachtet, stellen aber letzten Endes nicht anderes dar, als Zemente, die schon mit einem Teil des feinen Zuschlags vermahlen sind. Sie haben in den Normenfestigkeiten meist die gleichen Zahlen wie Traß- oder Hüttenzement, in stärkerer Verdünnung aber, also bei Beton oder bei höherem Wasserzusatz, sinkt die Festigkeit stärker ab als bei den genannten Zementen und beim Portlandzement, weil sich natürlich dann in diesem stärker gemagerten Mischungsverhältnis die Verdünnung des Zements durch das Sandmehl schädlich geltend macht. Im übrigen ist der Zusatz von Sandmehl, wenn er in den Zuschlag gerechnet wird, bisweilen zu empfehlen, stets aber Bedacht zu nehmen darauf, daß Sandmehl kein Zement, auch keine Puzzolane, sondern ein inerter Stoff ist, welcher nur porenfüllend, also dichtend wirken kann, in den Erhärtungsmechanismus dagegen nicht eingreift.

¹ Grün: Traß und Sandmehl als Mörtelzusatz. Chemie der Erde 1930, Bd. 5 und 1931, Bd. 6.

7. Beton.

Beton ist ein verkittetes Trümmergestein. Die Maßgaben für sein physikalisches und chemisches Verhalten sind demnach

erstens die Eigenschaften des zu verkittenden Trümmergesteins,

zweitens die Eigenschaften des Bindemittels, das dieses Trümmergestein verkittet, und

drittens der Formzustand, der durch die Verdichtung, Verarbeitung usw. hervorgerufen wird.

Die Hauptanforderung, die man an einen Beton stellt, ist Beständigkeit, und zwar nicht bloß in bezug auf Zug- und Druckbeanspruchung, sondern auch in bezug auf Einwirkung schädlicher Einflüsse wie Frost und Hitze, Erschütterungen, Sprengwirkung und vor allen Dingen chemische Beeinflussung. Die letztere ist besonders abträglich und besonders vielseitig in bezug auf die verschiedenen Möglichkeiten. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß ein guter Beton, der nach den Regeln der Baukunst hergestellt ist, eine hohe Beständigkeit gegen alle möglichen aggressiven Lösungen aufweist, und daß selbst bei hoher Aggressivität oder Konzentration der Lösung Schutzmaßnahmen verhältnismäßig leicht und einfach durchzuführen sind. Dennoch war es notwendig, die chemischen Einwirkungen besonders eingehend zu besprechen, da sie sehr verschiedenartig sind, wenn sie auch verhältnismäßig selten auftreten. Das diesbezügliche Kapitel mußte also recht umfangreich werden und mehrere Seiten umfassen. Aus diesem Umfang kann aber nicht darauf geschlossen werden, daß jeder Beton allen möglichen Gefahren ausgesetzt wäre und daß ein Schutz immer angebracht sei. Die aus dem Umfang der entsprechenden Abhandlung über aggressive Wässer, die, wenn sie gründlich sein wollen, recht viel Platz einnehmen müssen¹, häufig gezogene Schlußfolgerung, jeder Beton sei gefährdet, ist falsch. Beton ist trotz der Gefahren, die ihm bisweilen drohen, nicht nur das billigste, sondern auch das beständigste Baumaterial, dessen Widerstandsfähigkeit am besten bewiesen wird durch die Tatsache, daß sehr viel Römerbauten, besonders in Italien, aus Beton noch heute, soweit sie nicht als Steinbrüche benutzt wurden, völlig intakt sind, trotzdem vor 1800 Jahren ein Zement verwendet worden ist, der sich mit der Güte unserer heutigen Zemente nicht annähernd messen kann.

a) Physik des Betons.

Für die physikalischen Eigenschaften des Betons, also für sein Gewicht, für seine Dichtigkeit, für sein Verhalten gegen Durchnässung und Austrocknung, gegen Wärme und Hitze sowie gegen Frost ist vor allen Dingen der Aufbau des Betons maßgebend. Deshalb sei dieser im Hinblick auf diese Einflüsse kurz besprochen:

Je nach den Eigenschaften, die ein Beton haben soll, wird das Gewicht gewählt und zwar wird man einen Schwerbeton, der hohe Beanspruchung, wie beispielsweise Explosionen (Festungsbau) oder Erschüt-

¹ Grün: Der Beton. Berlin: Springer 1937. — Kleinlogel: Einflüsse auf Beton. Berlin: Ernst & Sohn 1930.

terungen (Maschinenfundamente) oder schließlich Abnutzung (Straßenbau) ausgesetzt ist, besonders schwer machen. Einen Beton für bewohnbare Bauten dagegen wird man leicht herstellen, damit er die Wärme hält (Leichtbeton S. 66).

Schwerbeton. Für Schwerbeton ist hohe Dichtigkeit erforderlich, man verwendet möglichst schwere Zuschlagstoffe, also beispielsweise Granit oder Kies, nicht aber Sandstein und schließlich verdichtet man bei geringstem Wasserzusatz möglichst stark. Die Dichtigkeit wird also bestimmt einerseits von dem Zuschlag, andererseits von dem Zementgehalt und von der Art, wie der Zementleim, der die Zuschlagkörner zusammenbindet, beschaffen ist (vgl. auch Dichtigkeit des Betons, S. 60 u. 63).

Für die Erkennung des inneren Aufbaus des Betons ist es zweckmäßig, diesen mit der Steinsäge zu zerschneiden, da nur bei dieser Arbeitsweise das Gefüge richtig sichtbar wird, Hohlräume in Erscheinung treten und das Korngrößenverhältnis der Zuschlagsstoffe erkannt wird. Alleiniges „Betrachten“ fertiger Betonwürfel ist zwecklos, da der stets sich bildende „Überzug“ von Zementschlamm einen Einblick in das Gefüge verhindert. Wir schneiden deshalb bei wichtigen Feststellungen die zu prüfenden Betonkörper durch oder zwecks Ermittlung der Festigkeit von Bauwerksbeton aus diesem Würfel heraus. Das Verfahren ist teuer, aber gut. Allerdings ergibt dies Verfahren etwas niedrigere Druckfestigkeitszahlen, als sie im Bauwerk vorhanden sind, da durch das Schneiden und das vorhergehende Ausstemmen der Beton immerhin schon etwas geschädigt wird¹.

So haben aus dem Beton herausgebohrte Kerne Minderwerte gegeben von 10—30 %, in der Richtung, daß an den Bohrkernen von 15 cm Durchmesser nur das 0,7—0,9fache gefunden wurde gegenüber den Würfeln (20 cm³), die durch normengemäßes Stampfen in Stahlformen erhalten waren. Bei Prüfung kleinerer Würfel werden höhere Festigkeiten gefunden als bei größeren und zwar betragen bei kleinen Würfeln mit 10 cm Kantenlänge die Festigkeitsunterschiede ungefähr 35—45 % gegenüber normalen Würfeln von 30 cm². Würfel mit ungefähr 50 cm Kantenlänge geben ungefähr die Bauwerksfestigkeit, wobei allerdings noch die

Tab. 3. Wasseraufnahme und Raumgewicht von Purzementen, die mit steigendem Wassergehalt angemacht wurden.

Reihe	Wasserzusatz %	Hochofenzement		Portlandzement	
		Wasser- aufnahme %	Raum- gewicht	Wasser- aufnahme %	Raum- gewicht
I erdfeucht	25	2,5	2,04	—	—
	23	—	—	3,6	2,11
II plastisch	29	4,6	2,01	—	—
	28	—	—	9,1	1,98
III flüssig	35	8,9	1,90	—	—
	32	—	—	10,9	1,91

¹ Kosack: Zur Frage des Einflusses des Schneidens auf die Druckfestigkeit von Betonwürfeln. Bauing. 1938, S. 634.

beim Herausstemmen entstehenden Schädigungen zu berücksichtigen sind¹.

Dichtigkeit des Betons von der Zementseite (Höhe des Wasserzusatzes). Die Höhe des Wasserzusatzes ist von ausschlaggebender Bedeutung, da sie die Dichtigkeit des Zementleims bestimmt. Wie stark diese Dichtigkeit des Zementleims, also des beim Abbinden und Erhärten entstandenen neuen Steins, durch den Wasserzusatz beeinflusst wird, geht aus vorstehender Tabelle 3 hervor.

Es ist deshalb für Bauwerke, die irgend einem aggressiven Wasser ausgesetzt werden, zu verlangen, daß sie nicht mit zu hohem Wasserzusatz hergestellt, dennoch aber ausgezeichnet verdichtet werden. Die höchsten Festigkeiten werden erreicht bei erdfeuchtem Beton. Dieser eignet sich aber häufig nicht für Schleusen oder Talsperren, da sein Gefüge zu undicht ist. Es muß also so gearbeitet werden, daß bei verhältnismäßig geringem Wasser-Zusatz doch größte Dichtigkeit des Betongefüges erreicht wird. Dabei kann man den Wasserzusatz gering halten, wenn für besonders gute Verdichtung, wie beispielsweise durch Rüttler, gesorgt ist. Auf die Gefahr der Entmischung bei zu trockenem oder zu nassem Beton sei nur nebenher hingewiesen. Gußbeton erreicht nur geringe Festigkeit, da der Zementstein bei zu hohem Wasserzusatz zu porös und infolgedessen zu weich wird. Im Gußbeton dient ein Teil des Wassers ganz einfach als Transportmittel, es ist also überschüssig und wird, nachdem der Transport beendet ist, von dem Beton wieder abgestoßen oder es verdunstet später. Nach dem Entweichen des Wassers bleiben Poren zurück, besonders dann, wenn der Beton austrocknen kann. Gußbeton ist also stets mit der geringsten notwendigen Menge Wasser anzumachen. Empfehlenswert ist bei ihm die Heranziehung von Steinmehlen, wie Traß u. dgl. zwecks Dichtung. Die Verarbeitung von Hochofenzement mit Traß zusammen ist durchaus zulässig, ich halte sogar einen Hochofenzement, der geringe Traßanteile enthält, unbedingt in bezug auf Wasserdichtigkeit und auf Salzwasserbeständigkeit für ein gut brauchbares Bindemittel. Der dichteste Beton wird am sichersten erhalten bei plastischer Verarbeitung unter gutem Stochern oder Erschüttern der Schalung. Dieses Stochern und Erschüttern muß unter allen Umständen systematisch und zweckmäßig durchgeführt werden entweder von Hand oder noch besser durch Rüttelmaschinen oder durch Beklopfen der Schalung von außen mit Lufthämmern. Ein Beton, der in dieser Weise, aus geeigneten, zweckmäßig gekörnten Zuschlagstoffen unter genügendem, aber nicht zu hohem Wasserzusatz hergestellt wurde, ist unter allen Umständen auch ohne Anstrich u. dgl. wasserdicht, besonders dann, wenn er nicht allzu stark auszutrocknen vermag. Verliert er seine Wasserdichtigkeit durch starkes Austrocknen, so gewinnt er diese bis zu einem gewissen Grade bei neuem Annässen wieder, denn im Innern des Betons treten beim Hinzukommen von Wasser ähnliche Quellungerscheinungen auf wie in Holz. Schließlich sei noch erwähnt die Höhe des Zementzusatzes und sein Einfluß sowie die Art des Zements.

¹ Vgl. Betonkalender 1939, S. 200.

Auf die überaus schädliche Wirkung der Arbeitsfugen in bezug auf Wasserdichtigkeit und Salzwasserbeständigkeit sei hier noch verwiesen. Beim Erhärten des unterhalb der Arbeitsfuge liegenden Betons hört die zur Erhärtung führende Kristall- bzw. Gelbildung auf. Sie setzt sich also in den später aufgetragenen Beton hinein nicht fort. Ebenso vermag natürlich das im später aufgetragenen Beton neu entstehende Gel sich nicht fest mit dem alten Beton zu verbinden, besonders wenn dieser verschmutzt ist. Auch entstehen in den Arbeitsfugen häufig dadurch Undichtigkeiten, daß bei Stampfbeton der neu aufgetragene Beton im unteren Teil nicht genügend gestampft wird, besonders dann, wenn die Schicht zu dick gewählt wurde. Deshalb sind sehr häufig die Arbeitsfugen Ausgangspunkte für die Zerstörung und Stellen höherer Undichtigkeit. Man betrachte sich einmal Mauern an Böschungen, beispielsweise alte Eisenbahnbauten. Man sieht hier abscheulich aussehende weiße Kalkaussinterungen (Kalkvorhänge!), die in folgender Weise entstanden sind:

In den Beton von oben eingedrungenes Wasser ist durch diesen hindurchgesickert bis zur Arbeitsfuge. Es vermag die Arbeitsfuge nun nicht weiter von oben nach unten zu durchdringen, da die Oberfläche des alten Betons seinerzeit bei der Herstellung durch das Stampfen dicht geworden war. Infolgedessen tritt es aus der Mauer in der Arbeitsfuge aus, zumal ja die unterste Schicht des später aufgetragenen Betons infolge mangelnder Verdichtung porös ausgefallen war und scheidet den gelösten Kalk an der Wand als Calciumkarbonat ab. Ein in Arbeitspausen mit vielen Arbeitsfugen hergestelltes Gebäude ist eigentlich gar kein monolithisches Bauwerk, sondern es besteht aus einzelnen Quadern, die Quader werden gebildet von den unregelmäßigen Betonblöcken, wie sie entstanden sind durch die Arbeitsfugen bei der Erstellung (Abb. 30).



Abb. 30. Kalkausscheidung an einem mit starken waagerechten Arbeitsfugen errichteten Bauwerk. Der Kalk wurde vom Wasser, das von oben eindrang, aus dem Beton gelöst und schied sich auf der Oberfläche aus dem an den Arbeitsfugen austretenden „Kalk“wasser ab.

Die Höhe des Zementzusatzes ist natürlich von größter Bedeutung. Bei einem normalen Bauwerk genügen die Mengen, wie sie in den Betonvorschriften angegeben sind, d. h. 250 kg Zement im Kubikmeter Beton. Bei höheren Anforderungen an die Festigkeit muß natürlich die Zementmenge erhöht werden: ganz besonders wichtig ist diese Erhöhung, wenn

Wasserdichtigkeit verlangt wird, oder gar Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Einflüsse. Bei Meerwasserbauten ist meiner Ansicht nach eine Verwendung von 450 kg Zement auf den Kubikmeter Beton unbedingt notwendig. Bauwerke mit geringerem Zementgehalt werden im Laufe der Zeit zugrunde gehen, auch dann, wenn verhältnismäßig widerstandsfähige Zemente für ihre Errichtung verwendet wurden.

Quellen und Schwinden. Auf das Quellen und Schwinden des Betons hat der Zuschlag einen nur untergeordneten Einfluß, einen um so höheren dagegen der Zementleim. Der hochzementhaltige Beton schwindet und quillt mehr als solcher mit geringerem Zementgehalt, da die Gele bei hohem Zementgehalt natürlich das Übergewicht haben. Fette Putze reißen deshalb leicht, besonders wenn sie schnell austrocknen. Um das Schwinden zu verhindern, ist also langsame Austrocknung erforderlich. Hoher Zementzusatz in gut hergestelltem Beton erhöht aber auch dessen Festigkeit, so daß wiederum die Rißbildung erschwert wird. Denn die Risse entstehen in dem Augenblick, da die innere Zugfestigkeit des Betons durch die Schwindspannung überwunden wird. Bei schnell eintretender hoher Zugfestigkeit bleibt also auch eine starke Schwindung ohne schädlichen Einfluß, da keine Risse auftreten können, weil die Schwindspannung (der „Schwindzug“) geringer bleibt als die Zugfestigkeit. Die heute noch oft vertretene Ansicht, daß zu hoher Zementgehalt in Schwerbeton leicht Risse veranlassen würde, hat sich bis heute nicht bestätigt, denn in Holland mit 600 kg Zement je Kubikmeter Beton hergestellte Straßen liegen gut und rissefrei.

Wärmeausdehnung. Die Wärmeausdehnung des Betons spielt im allgemeinen eine untergeordnete Rolle. Nur bei großflächigen Bauwerken, wie Platten für Autobahnen, muß mit starker Ausdehnung bei Sonnenbestrahlung und entsprechender Zusammenziehung bei Frost gerechnet werden. Man bringt deshalb alle 15 bis 20 m 1 und 2 cm breite Fugen an, um den Platten das Zusammenziehen und Ausdehnen zu ermöglichen.

Hitze. Hitze verträgt Beton bis zu recht erheblichen Graden von mehreren 100°. Er verliert dann allerdings auf der Oberfläche Wasser. Bei höheren Graden, Rotglut bis Weißglut, also bei Schadenfeuer, hat sich stets gezeigt, daß genügend tief eingebettetes Eisen (2—3 cm) befriedigend geschützt wurde. Zwar wird bei solchen Feuern die Oberfläche des Betons einige Zentimeter tief zermürbt, aber nur in geringe Tiefen, der Kern bleibt intakt. Quarz hat sich bei solchen Bauwerken, die vermutlich starker Hitzeeinwirkung ausgesetzt werden, nicht bewährt infolge des leichten Abplatzens durch die eintretende Umwandlung des Quarzes in Tridymit (Raumvergrößerung).

Frost. Frost vermag abgebundenem, dichten Beton nichts anzuhaben, schädigt ihn aber in Stadium I und II (vgl. S. 70 und 71), also während der Erhärtung, bevor er steinartig geworden ist, besonders durch Aufrieren, das veranlaßt wird durch die Ausdehnung des sich zu Kristallen zusammenschließenden Wassers. Mit diesem Auffrieren geht gleichzeitig außer der Raumvermehrung eine Entmischung Hand in Hand. Im allgemeinen ist es aber leicht, durch Schutz des Bauwerks mit Ummantelung, noch leichter durch Anwärmen der Zuschlagstoffe, die Frostgefahr

herabzumindern. Im letzteren Falle sind die in den Beton gebrachten Wärmemengen so groß, daß hauptsächlich bei geringen Frostgraden der Beton längst erhärtet ist, bis er vom Frost getroffen wird¹.

Auch chemische Beeinflussung des Zementes ist möglich in der Art, daß man das Anmachwasser mit Salzen versetzt, die das Gefrieren des Wassers verhindern und gleichzeitig die Erhärtungszeit des Betons verkürzen. Als solche Salze kommen Chlorcalcium (Calciumchlorid) und Aluminiumchlorid in Betracht. Mischungen dieser und ähnlicher Salze kommen als „Ceresit schnell“, „HAD-Frostschutz“, „Tricosal“ usw. in



Abb. 31. In Zerstörung begriffene norwegische Talsperre: Das sehr weiche kohlensäurereiche Wasser zermürbt den Beton. Die starken Kalkausscheidungen weisen auf diese noch nicht in Erscheinung getretene Zermürbung hin (Bild Rolfsen).

den Handel. Bei Verwendung dieser Salze müssen Vorversuche durchgeführt werden, um die Beeinflussung des Erstarrungsbeginns festzustellen. Zu hohe Konzentrationen sind zu vermeiden, da sie zu Schnellbindern, die sich nicht mehr verarbeiten lassen, führen. Jeder Zement spricht auf die gesamten „Abbindebeschleuniger“ anders an (vgl. S. 85).

Dichtigkeit des Betons von der Zuschlagsseite. Neben der Dichtigkeit ist auch die Form des Betonbauwerks von großer Bedeutung; wie man z. B. bei modernen Autos die Tropfenform bevorzugt, um den Luftwiderstand herabzusetzen, muß der Beton bezüglich seines Aufbaus so gestaltet werden, daß er der angreifenden Beanspruchung, beispielsweise der Explosionswelle oder der angreifenden Lösung oder dem Gas die geringste Oberfläche bietet. Die Form muß also unbedingt so beschaffen sein, daß schädliche Wässer oder Gase irgendwelcher Art nicht in das Innere des Betons einzudringen vermögen. Als solche schädliche Wässer

¹ Vgl. auch Bornemann: Betonarbeiten im Winter. Der Bautenschutz 1938, Heft 11.

können schon salzarme Flußwässer bezeichnet werden, denn sie vermögen porösen Beton im Laufe von wenigen Jahrzehnten zu lösen. So wurden in Norwegen und Schweden zahlreiche Talsperren im Laufe von zwanzig Jahren durch die salzarmen Flußwässer zerstört, weil der Beton nicht dicht genug war und infolgedessen sein Kalk herausgelöst wurde (Abb. 31). Der Dichte des Betons ist also allergrößte Aufmerksamkeit zu widmen.

Aus dem täglichen Leben ist es ja bekannt, wie stark der Widerstand eines dichten Körpers, auch wenn er an sich wasserlöslich ist, gegen die lösende Wirkung des Wassers ist. Erinnert sei nur an die verschiedenen Zuckermodifikationen; der gewöhnliche Kandiszucker löst sich nur außerordentlich schwer und langsam auf. Der aus demselben Stoff bestehende Kristallzucker dagegen zerfällt infolge seines porösen Gefüges in wenigen Sekunden. Will man also in der Praxis Körper herstellen, die sich schnell lösen, z. B. Tabletten irgendwelcher Medikamente, so macht man sie absichtlich porös und durchsetzt sie mit löslichen Salzen. Entsprechend muß auch ein Beton, der sich nicht lösen soll, dicht gestaltet werden. Diese dichte Gestaltung des Betons kann hervorgerufen werden zunächst natürlich durch Auswahl geeigneter Zuschlagsstoffe, weiter durch Anwendung genügender Zementmengen, schließlich durch die Art der Verarbeitung, d. h. die Höhe des Wasserzusatzes bzw. der Stampfarbeit.

Über den notwendigen Aufbau der Zuschlagsstoffe ist in den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton das Notwendige gesagt. Im nachfolgenden seien die hier gegebenen Anweisungen wiederholt:

a) In diesen Bestimmungen sind die einzelnen Körnungen wie folgt bezeichnet (vgl. DIN 1179).

Rückstand auf dem Sieb mit Millimeter Lochdurchmesser	Durchgang durch das Sieb	Bezeichnung	
		Natürliches Vorkommen	Zerkleinerte Stoffe
—	1	Betonfeinsand	Betonfeinsand
1	7	Betongrobsand	Betongrobsand
7	30	Betonfeinkies	Betonsplitt
30	70	Betongrobkies	Betonsteinschlag

Betonkiessand ist das Gemenge von Betonsand und Betonkies.

Als Betonzuschläge gelten nach diesen Bestimmungen u. a. auch Hochofenschlacke geeigneter Zusammensetzung¹, wie zerkleinerte Hochofenstückschlacke, zerkleinerte Hochofenschlackschlacke und Schlackensand, ferner zerkleinerte Lavaschlacke, Bimssand und Bimskies.

b) Die Kornzusammensetzung der Zuschläge beeinflusst im hohen Grade die Güte des Betons².

¹ Zerkleinerte Hochofenstückschlacke muß den „Richtlinien für die Lieferung und Prüfung von Hochofenschlacke als Zuschlagstoff für Beton und Eisenbeton“ entsprechen (vgl. Erlaß des Preuß. Ministers für Volkswohlfahrt vom 17. November 1931 — II 6313/2. 10, Zentralbl. d. Bauverw. 1931, S. 760).

Hochofenschlackschlacke und Schlackensand, die im Gegensatz zur Hochofenstückschlacke durch schnelles Abkühlen entstehen, fallen nicht unter diese Richtlinien. Sie müssen ihnen aber in den Punkten A1 und A111 und 4 entsprechen.

² Vgl. Graf: Der Aufbau des Mörtels und des Betons, 3. Aufl. Berlin: Springer 1930.

Die Körnung der Zuschläge ist durch Siebversuche zu prüfen. Die Zusammensetzung des Betonsandes soll zwischen den Sieblinien *A* und *C* der Abb. 32 liegen, diejenige des Gemisches aus Sand und Feinkies oder Splitt (also des Betonkiessandes) zwischen den Linien *D* und *F* der Abb. 33. Die Sieblinie des Brechsandes sollte in der Regel nicht tiefer liegen als in der Mitte zwischen den Linien *A* und *B* der Abb. 32.

In der Regel genügt es, den Anteil des Feinsandes und des Grobsandes festzustellen. Der Sand soll mindestens 20% und höchstens 70% Feinsand enthalten (Abb. 32). Im Gemisch aus Sand und Kies, Splitt oder Steinschlag (also im Betonkiessand) sollen mindestens 40% und höchstens 80% Betonsand sein (Abb. 33).

Als besonders gute Zuschläge gelten solche, deren Sieblinien zwischen den Linien *A* und *B* (Abb. 32) bzw. *D* und *E* (Abb. 33) liegen.

Bei wichtigen Bauwerken, stets aber bei Verwendung von flüssigem Beton ist vor Baubeginn eine zweckmäßige Körnung der Zuschläge durch Versuche festzulegen. Ihr Innenhalten (mit angemessenem Spielraum) ist während der Bauausführung wiederholt durch Siebversuche nachzuprüfen.

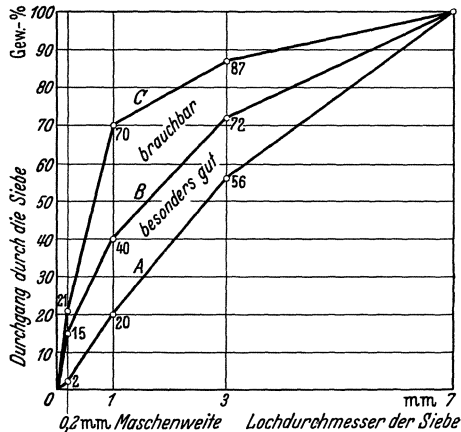


Abb. 32. Sieblinien für Sand.

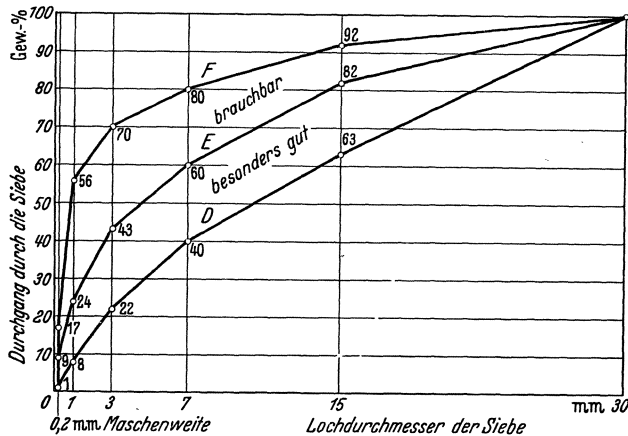


Abb. 33. Sieblinien für Kiessand.

Hinzuzufügen ist folgendes: Wird besonders dichter Beton verlangt, beispielsweise für Schachtbauten, so ist es zweckmäßig, unter allen Umständen Versuche mit den zur Verfügung stehenden Materialien zu machen, indem man Betonplatten oder Körper herstellt und diese unter Druck auf ihre Wasserdurchlässigkeit prüft. Die oben wiedergegebenen Kurven sind bei aller Zuverlässigkeit für ganz besonders stark beanspruchte Bauten insofern nachzuprüfen, als das betr. Zuschlagsmaterial

der Zusammensetzung, wie es endgültig verwendet werden soll, einer Prüfung als Beton zu unterziehen ist. Besonders wichtig ist dies wenn die Zuschlagsstoffe nicht rundkörnig sind, sondern aus Splitt bestehen und hier wieder ganz besonders, wenn ein Basaltsplitt, der sich bekanntlich aus länglichen Stücken zusammensetzt verwendet werden soll. Oft wird empfohlen, für solche hoch beanspruchte Bauwerke nur doppelt gebrochenen Basaltsplitt heranzuziehen, da in ihm die kubischen Körner vorwiegen; die günstige Wirkung des doppelten Brechens ist allerdings bestritten, Versuche geben schnell Aufschluß. Liegt rundkörniger Kies in allzu großen Stücken vor, so ist es ohne weiteres zulässig, diesen durch einen Steinbrecher gehen zu lassen, gebrochener Kies ist ein ganz ausgezeichnetes Zuschlagsmaterial. Die Einrede, daß das Brechen des

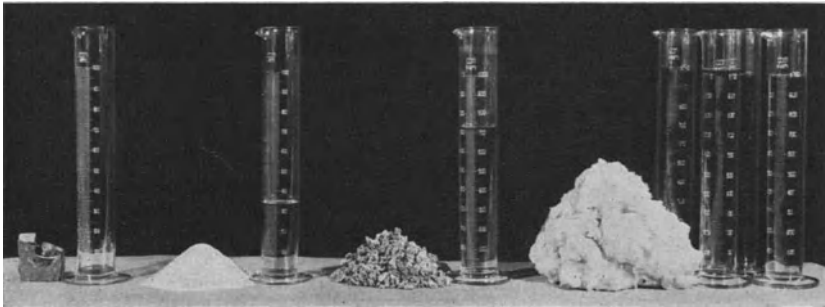


Abb. 34. Vergleich gleicher Gewichte von verschiedenen behandelten Gesteinsschmelzen: Stückschlacke (langsam erkaltet), Schlackensand (wassergranuliert), Hüttenbims (aufgebläht durch Dampfbildung zugeleiteten Wassers) und Schlackenwolle (zerstäubt durch Einblasen von Luft). Die Porenräume dieser einzelnen Gesteine sind dargestellt in Wassermengen. Das Bild zeigt den geringen Einfluß des Rohstoffs auf die Isolierfähigkeit, und dagegen den um so größeren der Rohstoffform, und die durch geeignete Behandlung steigende Porosität. (Das Wasser in den Glaszylindern stellt den „Porenraum“ dar.)

Kieses zu „Sprüngen“ in den gebrochenen Anteilen führe, konnte ich nicht bestätigt finden.

Leichtbeton. Bei Leichtbeton ist im Gegensatz zu Schwerbeton eine möglichst große Luftmenge in den Beton einzuschließen und zwar sind die Räume für den Einschluß der Luft klein zu wählen, damit auch die Luft sich nicht bewegen kann: Luft ist der beste Isolator gegen Wärmeauszug, aber nur dann, wenn sie still steht. Bewegte Luft vermag Wärme leicht zu transportieren (Wärmekonvektion), ich erinnere nur an die Tatsache, daß große Kälte für den Körper leicht zu ertragen ist, wenn kein Wind weht, Sturm dagegen geringe Kälte nahezu unerträglich macht.

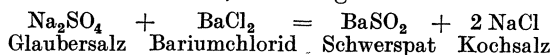
Die Poren für den Lufteinschluß kann man in den Beton hineinbringen entweder dadurch, daß man porige Zuschlagsstoffe verwendet oder dadurch, daß man den Zement mit Luftporen auf mechanische oder chemische Weise durchsetzt, ihn also aufbläht (Zementleichtsteine u. Abb. 34).

Leichtbeton, gleichgültig wie er hergestellt wird, ist in der Entwicklung begriffen und wird in näherer Zukunft besonders für den Wohnungs-

bau eine große Bedeutung erlangen, da er sehr schnell und in beliebiger Form meist auf dem Bauplatz hergestellt werden kann.

β) Chemie des Betons.

Seiner chemischen Beschaffenheit nach ist Beton ein durch Salze gebundenes, verkittetes Trümmergestein. Unter Salz im chemischen Sinne muß man sich nicht ein wasserlösliches Erzeugnis vorstellen, wie wir es im Kochsalz aus dem täglichen Leben kennen, sondern Salze sind chemisch gesehen, alle Verbindungen zwischen Basen einerseits und zwischen Säuren andererseits. So ist z. B. der Hauptbestandteil des Granits, der Feldspat, ein Salz von Natriumoxyd, Kaliumoxyd, Calciumoxyd, Aluminiumoxyd und Tonerde als Basen und Kieselsäure als Säure, wobei auch Doppelsalzbildungen, die hier aber nicht interessieren, eine Rolle spielen. Aus der Praxis ist uns bekannt, wie unlöslich die genannten Salze sind und wie groß deren Widerstandsfähigkeit gegen Verwitterung ist. Verwittern sie im Laufe der Jahrtausende doch, so entstehen neue Salze weniger komplizierter Zusammensetzung, wie beispielsweise Ton, also Aluminiumsilikat, d. h. ein Salz der Tonerde als Base und der Kieselsäure als Säure. Auch gewöhnlicher Backstein (Schamotte) und die meisten der uns bekannten hochwiderstandsfähigen Baustoffe sind in diesem Sinne Salze (Aluminiumsilikat: Mullit, Sillimanit). Zwischen Salzlösungen verschiedener Art treten nun, wenn Verwandtschaften bestehen — und diese bestehen meist — stets Wechselwirkungen ein, die mehr oder weniger schnell verlaufen. Die uns geläufigen Wechselwirkungen sind schnell verlaufende, da wir sie beobachten können. Langsam verlaufende, wie die oben geschilderte Umwandlung des Feldspats in Ton, können wir erst in ihrer Auswirkung erkennen, da die Umsetzung Jahrzehntausende in Anspruch nimmt. Als schnelle Wechselwirkung sei die Umsetzung von Bariumchlorid und einer Sulfatlösung erwähnt. Gießt man beide zusammen, so bildet sich sofort ein weißer Niederschlag, der aus schwer löslichem Bariumsulfat besteht, nach folgender Formel:



Auch, wenn Beton mit Salzen in Berührung kommt, treten naturgemäß Wechselwirkungen ein, da ja der Zement des Betons ein Salz, wenn auch ein äußerst schwerlösliches, nämlich Calciumsilikat ist. Häufig sind diese Reaktionen nur von untergeordneter Bedeutung. In seltenen Fällen vermögen sie aber größeren Umfang anzunehmen und führen dann einerseits entweder zu einer besseren Erhärtung des Betons (Calciumchlorid-zusatz zum Anmachwasser) oder aber zu einer Verfestigung des schon erhärteten Betons (Fluatierung von Fußböden zu deren Härtung), oder sie haben den Zerfall der Betons zur Folge. Die Einwirkung ist um so intensiver, je konzentrierter und wärmer die Lösung ist und je größer die Oberfläche ist, mit der die Salzlösung zu reagieren vermag, mit anderen Worten, je poröser der Beton vorliegt. Selbstverständlich ist ausschlaggebend in allen Fällen die Natur der reagierenden Salze.

Es muß deshalb zunächst bei der Errichtung des Bauwerks schon Rücksicht auf die Möglichkeit späterer schädlicher Einwirkung genom-

men werden. Beispielsweise sind Molen, auf welche schädliche Salze unter Umständen einwirken können, so zu gestalten, daß diese schädlichen Salze sich nicht in Wasserlachen sammeln und so im Laufe der Jahre dem Beton allmählich zugeführt werden. Bei Schornsteinen muß durch entsprechende Abdeckplatten der Beton vor herunterlaufender Flüssigkeit, die sich beim Niederschlagen der Rauchgase in Regenwasser bilden kann, gesichert werden (wie dies Abb. 35 zeigt) und schließlich

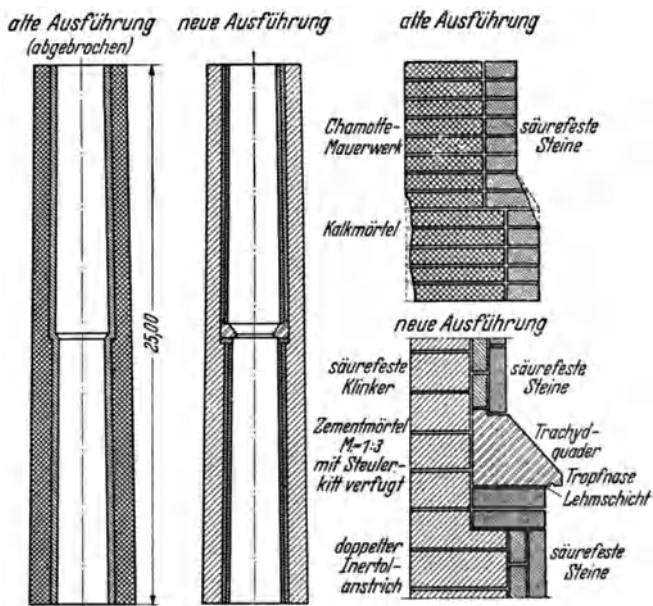


Abb. 35. Falsche und richtige Baugestaltung: Ein Schornstein, der bestimmt war zur Abführung von Nitrosegasen, mußte abgebrochen werden, weil er falsch gestaltet war (links). Bei richtiger Baugestaltung: Anbringung von Trachyt mit Tropfnasen, Abdichtung durch Lehmischen, Zementmörtel statt Kalkmörtel und Anstrich mit Bitumenlösung widerstand der Schornstein den starken Angriffen. (Vgl. auch Graf und Goebel, Schutz der Bauwerke, Berlin 1930.)

ist auch die Oberfläche von Bauwerken, die in rauchreichen Industriegebieten liegen, so zu gestalten, daß sich keine Staub- oder Rußnester bilden können, die bekanntlich immer stark sulfathaltig sind. Als letztes ist darauf hinzuweisen, daß bei Bildung schädlicher Wässer diese immer so schnell wie möglich abgeführt werden müssen. So ist beispielsweise bei Kohlenwäschen für gute Abführung der gipshaltigen Wässer zu sorgen, auf Molen am Meer ist die Aufhäufung salzwassergetränkten faulenden Tangs zu verhindern usw.

Chemische Einflüsse.

Art der Einwirkung. Die Art der Einwirkung ist unter Umständen ausschlaggebend für den Bestand des Bauwerkes. Ein Hochbau, bei welchem das Regenwasser auch an der Schlagseite schnell ablaufen, bzw. abtrocknen kann, wird sich ganz anders verhalten

als ein Bau, bei welchem das Wasser stets unter Druck einwirkt, oft sogar unter wechselndem Druck, wie bei Meerwasserbauten mit Ebbe- und Flutwirkung. Auch stagnierendes, also stehendes Wasser, verhält sich verschieden von strömendem. Besonders schädlich ist Druckwasser. Wirkt ein aggressives Wasser, z. B. Kanalwasser auf einen Beton längere Zeit ein, so vermag sich häufig auf der Oberfläche eine Schutzhaut, eine sog. Sielhaut u. dgl. zu bilden, oder aber die Oberfläche des Betons verdichtet sich dadurch, daß der ausgeschiedene Gips die Poren verstopft. Diese Art des Selbstschutzes des Betons kann natürlich nicht eintreten, wenn Strömung herrscht oder wenn starker Wellenschlag die sich bildende Schutzhaut immer wieder mechanisch zerstört oder den Gips löst. Deshalb können auch schwach sulfathaltige Wässer, die einem normalen Beton beim Stillstehen kaum etwas anzuhaben vermögen, dann wenn sie schnell fließen, zur Zerstörung führen. Auch die schleifende Wirkung von mitgeführtem Sand wirkt in diesem Sinn, z. B. in Kanälen, sie läßt meist Schutzanstriche und derartige Maßnahmen, die sonst von Nutzen sind, zwecklos werden.

Wichtiger noch als Strömung und Wellenschlag ist der Druck: Druckwasser vermag einen porösen Beton auch dann zu gefährden, wenn das Wasser schädliche Bestandteile überhaupt nicht enthält. Letzten Endes dürfen wir nicht vergessen, daß die Calciumsilikathydrate im chemischen Sinne wasserlösliche Salze sind, und daß sie sich infolgedessen in Wasser auflösen. Diese Lösung ist unerheblich bei dichten Bauwerken, denn wasserlöslich sind ja schließlich alle Kalksalze in geringem Maße. Diese Löslichkeit spielt aber überhaupt keine Rolle, wenn das kalkhaltige Gestein dicht ist. Sind doch unsere Kalksteine, die aus reinem Kalkkarbonat bestehen, mit unserer besten Bausteine (Muschelkalk, derber Kalkstein, Marmor). Poröse Kalksteine, also auch poröse Betone, werden aber von Wasser, allerdings in langen Zeiträumen, stets angegriffen, besonders von kohlensäurehaltigen Wässern. Alles Regenwasser ist aber kohlensäurehaltig. Die Auflösungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Menge des einwirkenden Wassers, von seinem Kohlensäuregehalt, besonders aber von dem Formzustand des aufzulösenden Gesteins. Einem dichten Gestein vermag der Auflösungsvorgang fast nichts anzuhaben; nur poröses Gestein löst sich schnell auf, da es eine große Oberfläche (auch im Innern) hat.

Verwiesen sei hier nochmals auf die bekannte Erscheinung, daß beispielsweise der dichte Kandiszucker sich in Wasser nur sehr schwer, dagegen der poröse Würfelzucker sich wesentlich leichter löst, am allerschnellsten natürlich aufgeschwemmter Staubzucker mit seiner ungeheuren Oberfläche. So konnte ich z. B. an einem Düker aus porösem Beton, der unter dem Mittellandkanal hindurchführte und von dem Kanalwasser durchtropft wurde, nach nur 12jährigem Betrieb starke Zerstörungserscheinungen feststellen, obgleich das Wasser nach seiner Analyse recht harmlos war. Dieses Wasser hatte sich beim Durchfließen angereichert von 40 mg Kalk auf 400 mg Kalk, seinen Kalkgehalt also verzehnfacht, dem Beton den Kalk entzogen und ihn zermürbt. Ein wasserdichter Beton hätte sich unter Einwirkung dieses Wassers in Jahrhunderten nicht verändert.

Vorsatzbeton wird bei manchen Talsperren angewendet, um die Wasserseite gegen den Durchtritt des Wassers zu schützen. Wenn er schon angewendet wird, muß die Schicht dieses Vorsatzbetons recht stark sein

(1 m bei Talsperren). Zweckmäßig ist es im allgemeinen, den ganzen Beton in sich dicht zu machen, da alle Verblendungen sei es Klinker oder Vorsatzbeton oder Schutzanstrich, nur einen kurzfristigen Schutz gewähren. Der Schutz selbst muß in den Beton verlegt werden, besonders dann, wenn Wasserdruck in Frage kommt, auch bei unschädlichem Wasser, da Wasser, wenn es den Beton schon durchfließt, immer Kalk mitnehmen wird. Ist es bei einem bestehenden Bauwerk nicht möglich, die Dichtigkeit so zu gestalten, wie es oben beschrieben ist und dadurch den Durchtritt von Wasser zu verhindern, so kann man sich unter Umständen dadurch helfen, daß man die Druckverhältnisse ausgleicht, d. h. daß man den Wasserdruck auf der einen Seite des Bauwerks ebenso hoch werden läßt wie auf der anderen Seite. Bei einem Kanal, der unter einer Schlackenhalde durchführte, die sulfathaltiges Wasser abgab und den Beton dadurch zerstörte, wurde die Rettung dadurch ermöglicht, daß man diesen vorher nur halb- oder viertelvollen Kanal so umgebaut hat, daß er ständig von dem unschädlichen Innenwasser gefüllt war. Dieses unschädliche Innenwasser drückte dann nach außen und verwehrte dem schädlichen Außenwasser den Eintritt, der Wassertunnel wurde auf diese Weise gerettet, indem er in einen stets gefüllten Düker verwandelt wurde.

Schließlich sei noch verwiesen auf die Tatsache, daß bei sulfathaltigen und ähnlich wirkenden Salzwässern die Hauptzerstörungszone gewöhnlich im Wasserspiegel liegt, wenn der Beton aus dem Wasser herausragt. Die Ursache für dieses Verhalten ist die Tatsache, daß in dieser Zone das Wasser dauernd in den Beton aufsteigt, wie Petroleum in einen Lampendocht, und durch Wind und Sonne zum Verdunsten gebracht wird, während es seine aggressiven Bestandteile in der Wasserlinie des Betons bzw. etwas oberhalb, zurückläßt. Diese Anreicherung führt, besonders wenn starke Verdunstung stattfindet, zur Zerstörung des Betons in der Wasserlinie. Beton, der aus dem Wasser herausragt, muß also stets ganz besonders dicht gestaltet werden, gegebenenfalls ist von Zeit zu Zeit die Wasserlinie mit einem Bitumenanstrich gegen allzu starke Einwirkung zu schützen. Derartige Schutzanstriche gehen allerdings nach einigen Jahren zugrunde, dennoch sollte aber wie bei einer Olfarbe als Rost- und Eisenschutz ihre Verwendung und ihre Schutzmöglichkeiten besser beachtet werden.

Gase vermögen Beton nicht zu beeinflussen, wenn kein Wasser vorhanden ist; bei geringeren Mengen Wasser, also beispielsweise Regenwasser, vermögen sie, genau wie bei Naturstein, zu Verwitterung zu führen, die einen dichten Beton aber nur wenig trifft. Schädliche Gase mit hoher Flüssigkeitsmenge, wie beispielsweise in Schornsteinen (schweflige Säure), müssen naturgemäß vom Beton ferngehalten werden.

Einwirkende Säuren und Salze. Bei einem Beton kann man drei verschiedene Stadien unterscheiden, in welchen die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen einwirkende Stoffe ganz verschieden ist.

I. Das erste Stadium ist das Stadium des Teigzustandes, es liegt vor bei frisch angemachtem Beton und geht allmählich (bei schnell bindendem Zement fast plötzlich), im Verlauf von ungefähr einer Stunde bis zwei Stunden über in

II. das zweite Stadium des erstarrten, aber noch nicht erhärteten Betons, dessen Beschaffenheit mit derjenigen eines Puddings verglichen werden kann. Jetzt ist die Plastizität verschwunden, Verletzungen durch eingedrungene Gegenstände oder Setzen der Schalung werden nicht mehr ausgeglichen, da der Beton nicht mehr teigförmig oder bildsam, aber

doch noch nicht fest ist. Sie erfolgen also leicht und bleiben. Schließlich folgt

III. das dritte Stadium, in welchem der Beton Zeit seines Lebens bleibt, die steinartige Erhärtung.

Am empfindlichsten ist der Beton gegen Einwirkungen mechanischer Art im zweiten Stadium, welches ungefähr 5—15 Stunden dauert. Auch Ausspülungen durch Lösungen können ihn in diesem Stadium treffen. Der Beton muß also unter allen Umständen im Stadium I und II behütet werden vor allzu starken Temperaturschwankungen und mechanischen Beanspruchungen durch Flüssigkeiten, also Ausspülung. Die mechanische Beanspruchung durch Erschütterung schadet gleichfalls dem Stadium II außerordentlich stark, dem Stadium I dagegen nicht.

Zu I. Frischbeton sofort nach der Mischung vor der Verarbeitung kann auf lange Strecken transportiert werden und es ist bemerkenswert, daß die Erschütterung beim Transport den Erstarrungsbeginn etwas hinauschiebt, ohne den Beton besonders zu schädigen. Auf diese Erfahrung aufbauend, hat man zunächst in Deutschland, später in großem Umfange in Amerika, „Betonfabriken“ errichtet, welche an Ort und Stelle des Kiesvorkommens den Beton fix und fertig mit Wasserzusatz herrichten, von wo er dann an den Verbrauchort oft 100 km weit und weiter gefahren wird. Diese zentrale Betonherstellung hat den Vorteil, daß der Korngrößenzusammensetzung, dem Zementzusatz und dem Mischvorgang viel größere Aufmerksamkeit gewidmet werden kann als dann, wenn der Kies an die Baustelle in unkontrollierbarer Form und Beschaffenheit angeliefert wird. Außerdem erspart man die Aufstellung zahlreicher Mischmaschinen an den einzelnen Baustellen (Transportbeton)¹.

Zu II. Die Ursache für die Empfindlichkeit des zweiten Stadiums liegt darin, daß in diesem Stadium bereits die Gele gebildet sind, welche zur Erhärtung führen. Sie sind aber noch weich wie ein frisch erstarrter Pudding und vermögen deshalb mechanischen Einwirkungen nicht standzuhalten, werden also leicht zerstört. Später erhärten sie dadurch, daß ihnen das Wasser von dem noch nicht hydratisierten Zement entzogen wird durch innere Austrocknung. Sind sie erst erhärtet, so werden sie weniger aufnahmefähig für Wasser und brauchen stärkere Kraftaufwendung zur Zerstörung. Außerdem tritt teilweise Karbonisierung ein, also Bildung von kohlensaurem Kalk, der den Beton dichtet und den freien Kalk bindet.

Zu III. In diesem dritten Stadium wächst mit steigender Erhärtung die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen mechanische, physikalische und chemische Beanspruchung. Da der Beton sich weitaus die längste Zeit seines Bestehens in diesem dritten Stadium befindet, hat es natürlich für den Baufachmann das größte Interesse, die Einwirkungsmöglichkeit verschiedener Gase und Flüssigkeiten während des dritten Stadiums kennen zu lernen, da der Beton in diesem Stadium mit den feindlichen Einflüssen der Umwelt in Berührung kommt. Gegen Er-

¹ Siehe Garbotz: Fertigbeton, ein Weg zur arbeitssparenden Herstellung von Beton. Der Deutsche Baumeister 1941, Heft 3, S. 23. — Grün: Warum nicht mehr Transportbeton. Deutsche Bauzeitung 1941, Nr. 39.

schütterung ist ein derartig erhärteter Beton verhältnismäßig sehr widerstandsfähig. Die Widerstandsfähigkeit gegen Druck und Zug ist bekannt. Als besonders wichtig und in den Rahmen dieses Buches fallend sei die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse ausführlich besprochen.

Beton ist (vgl. auch S. 53) eine Zuschlagsmischung, welche versteinert ist durch zwei erhärtende Salzgruppen, die Calciumsilikate und die Calciumaluminat. Das Gefüge, das diese Salzgruppen bilden, ist porös, mit je mehr Wasser sie angemacht wurden. Niedriger Wassergehalt bei der Verarbeitung erhöht also die Beständigkeit, da er die innere Oberfläche herabsetzt. Ihrem Charakter nach sind die genannten Silikate Salze der starken Base Kalk. Dazu sind die Salze hochkalkhaltig, vermögen also leicht Kalk abzugeben und schließlich haben sie noch etwas freien Kalk, der sich auch aus den Hydrosilikaten abspaltet, eingeschlossen. Sie werden also nicht empfindlich sein gegen die Einwirkung von Basen, da sie basischen Charakter haben. Um so empfindlicher sind sie gegen Säuren, die danach trachten, sich mit der Base Kalk zu Salzen zu verbinden.

Salze werden je nach ihrem Charakter einwirken, also saure Salze sauer, basische Salze basisch. Solche Salze, die aus einer starken Säure und einer starken Base bestehen, werden den Beton zerstören, beispielsweise alle Ammonsalze mit Ausnahme derjenigen, bei denen sich aus dem Säurerest und der Base Kalk ein unlösliches Salz zu bilden vermag. Es sind dies die Säurereste der Phosphorsäure und vor allen Dingen der Oxalsäure, denn Calciumphosphat ist schwer löslich, Calciumoxalat fast unlöslich in Wasser.

Als weitere große Gruppe, die besonders schädlich ist, seien die Magnesiumsalze genannt, da die Magnesiasalze Treiben hervorzurufen vermögen. Magnesiahaltige Böden, wie sie bei Verwitterung von Dolomit entstehen, sind nach Versuchen in der Schweiz nachteilig, wenn der Magnesiumgehalt über 2 % steigt¹.

Die Sulfate setzen sich mit dem Kalk des Betons um in Gips unter Durchlaufeneines Zwischenstadiums, in welchem sich Calcium-Aluminium-Sulfat bildet. Sulfate sind also immer schädlich, auch dann, wenn der Säurerest Sulfat „SO₄“ (bisweilen auch als SO₃ geschrieben) an eine starke Base, z. B. Natrium als Natriumsulfat (Glaubersalz) oder an Calcium in Calciumsulfat (Gips) gebunden ist. Freie Säuren zerstören (außer Oxalsäure, s. oben) den Beton stets, da die Base Kalk in ihm eine ausschlaggebende Rolle spielt, ebenso wie in allen anderen kalkhaltigen Gesteinen. Glücklicherweise kommen in der Natur nur wenig freie Säuren vor, dagegen ist auf Sulfate zu achten, weil sie im Meerwasser als Bittersalz oder Magnesiumsulfat eine große Rolle spielen und aus diesem Meerwasser in die Kaliläger und damit auch in unsere Grundwässer übergegangen sind. Folgende Tabelle gibt einen kurzen Über-

¹ Ich halte die Magnesia als Dolomit und dgl. (Calciummagnesiumcarbonat) nur dann für schädlich, wenn durch gleichzeitige Anwesenheit von Säuren (Schwefelsäure aus Mooren) sich Magnesiumsulfat bilden kann, da Dolomit sich noch niemals als schädlich (auch nicht als Zuschlag) erwies.

blick über die einzelnen schädlichen Salze, wie sie in der Natur vorkommen.

Tab. 4.

Häufig vorkommende Verbindungen, die Beton schädigen können.

Säuren			Salze		
Name	Formel	vorkom-mend in	Name	Formel	vorkom-mend in
Schwefelsäure . . .	H_2SO_4	Moor-wasser	Sulfate (schwefel-saure Salze) . .	$— SO_4''$	Grund-wasser
Schweflige Säure . .	H_2SO_3	Rauch-gas	„	„	Meer-wasser
Schwefelwasserstoff	H_2S	Siele Faul-schlamm	Ammonsalz . . .	$NH_4 \cdot —$	Kunst-dünger Sprengstoff
Kohlensäure. . . .	CO_2	Grund-wasser	Magnesiumsalz. .	$Mg \cdot \cdot —$	Boden (Dolomit)
Essigsäure	$\begin{matrix} CH_3 \\ COOH \end{matrix}$	Futter-tröge	—	—	—
Milchsäure	$C_3H_6O_3$	Grün-futter-silos	Fette, Öle. . . .	$\begin{matrix} C_{11}H_{23} \\ COO' \end{matrix}$	Pflanzen-und Tierfett
Zucker	$C_6H_{12}O_6$	Konser-venfabrik.	Huminsaure Salze	—	Moor

Diese schädlichen Säuren und Salze seien zunächst besprochen. Angeschlossen ist dann die Besprechung einiger Salze und Säuren, die in der Industrie eine Rolle spielen.

Säuren.

Schwefelsäure (H_2SO_4). Eigenschaften und Vorkommen: Schwefelsäure, die in Färbereien für die Farbbäder, ebenso in Beizeereien in großem Umfange verwendet wird, ist naturgemäß überaus schädlich. Die Schwefelsäure kommt in konzentrierter Form als Vitriolöl, in verdünnter Form unter dem Namen Schwefelsäure in Glasballons in den Handel und wird den Betonrohrleitungen oder anderen Leitungen zugeführt in Abwässern aus Beizeereien, Färbereien usw. Ihre Schädlichkeit ist so groß, daß sie auch gemauerte Kanäle zerstört, indem sie den Mörtel aus den Fugen herauslöst. In Städten muß deshalb besonderer Wert darauf gelegt werden, diese recht oft benutzte Schwefelsäure von derartigen Kanälen fernzuhalten. Da den Verbrauchern von Schwefelsäure deren Schädlichkeit sehr wohl bekannt ist, wird von dieser Seite häufig darauf geachtet, daß sie nur in unbewachten Augenblicken, beispielsweise nachts, den Leitungen zugeführt wird. Aus diesem Grunde ist eine strenge Überwachung notwendig. In der Stadt Düsseldorf wird diese automatisch dadurch erreicht, daß in verdächtigen Betrieben in den plombierten Abflußkanälen ein poröses Betonstück eingehängt ist. Ist das Wasser schädlich, so zeigten sich bald an diesem von Zeit zu Zeit besichtigten

Betonstück Korrosionserscheinungen. Eine besondere Bedeutung kommt der freien Schwefelsäure in manchen Mooren zu, wo sie zusammen mit Kohlensäure zur Zerstörung eingelegter Drainagerohre u. dgl. aus Beton geführt hat.

Wirkung: Schwefelsäure wirkt ähnlich wie Sulfat, indem sie den Kalk des Zementes in Gips überführt und dadurch zur Bildung des Calciumaluminiumsulfats führt (vgl. unter Sulfate Seite 80).

Schutz: Sollen Betonbauwerke in Mooren oder moorhaltigen Böden, wozu auch Sandböden, die von Moorschichten durchzogen sind, gehören,

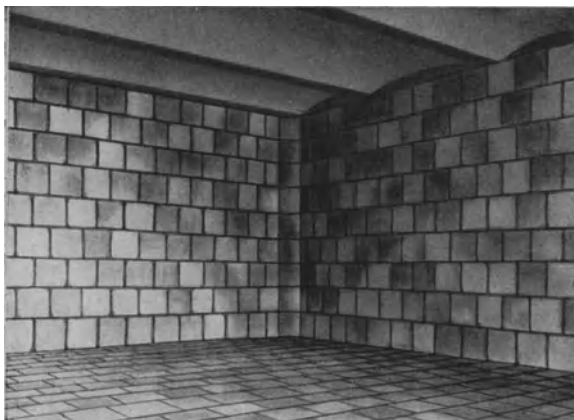


Abb. 36. Schutz von Beton und Mauerwerk durch in säurefesten Kitt verlegte Platten (Stellplatten) gegen Säurewirkung.

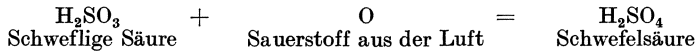
errichtet werden, so ist eine sorgfältige Untersuchung am Platze. Nach den Schweizer Untersuchungen¹, die sich auf besonders viele Moore erstreckten, die sich bekanntlich in den verlandeten Seen der Schweiz befinden, soll ein Boden weniger als 2 % Magnesia, unter 12 % Austauschsäure und 0,2 % Sulfat enthalten. Sind höhere Gehalte dagegen, so ist der

Beton stark gefährdet und muß geschützt werden (Abb. 36). Als solcher Schutz kommt in Betracht Ummauerung mit Klinkern in säurefestem Kitt, bei hohen Säurekonzentrationen Ausfugung der Ummauerung mit Bitumen (heiß oder als Spachtelmasse).

Schweflige Säure (H_2SO_3). Eigenschaften und Vorkommen. Schweflige Säure entsteht in Rauchgasen und hat in der letzten Zeit mit zunehmender Heranziehung der Braunkohle und schwefelhaltiger Steinkohle zur Heizung von Öfen und Herden in größtem Maße Verwitterung unserer Natursteindenkmäler und Betonbauwerke hervorgerufen. Bekannt ist die Entstehung von schwefliger Säure in Rauchgasen von Lokomotiven, die bereits zu Tunnelzerstörungen größten Umfanges geführt haben und die Anreicherung der Luft unserer Großstädte, hauptsächlich, wenn es lange nicht geregnet hat, mit dieser schwefligen Säure (Abb. 37). Schweflige Säure wird als solche verhältnismäßig selten angetroffen, da sie sich sofort zu Schwefelsäure oxydiert. Schweflige Säure

¹ Bericht 35 des Schweizer Verbandes f. d. Materialprüfung in der Technik. Zürich 1937, Dr. Gessner und Ing. Zollikofer.

ist ein stechend riechendes farbloses Gas. Ihre Oxydation an der Luft erfolgt nach der Formel:



Wirkung: Schweflige Säure vermag infolge des Oxydationsvermögens zu Schwefelsäure, wobei sie den Sauerstoff aus der Luft nimmt, genau wie Schwefelsäure zu wirken und zu Gipsbildung im Beton zu führen (vgl. auch unter Sulfate Seite 80).

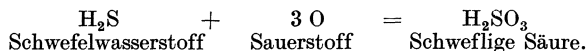
Da ein Zement nur verhältnismäßig geringe Mengen Gips verträgt (der Gipsgehalt von Normzement ist deshalb auf 3 % max. beschränkt) vergiftet der allzu hohe Gipsgehalt den Beton und den Mörtel, der unter Treiberscheinungen zerfällt.

Schutz: Am besten ist natürlich möglichst schnelle Ableitung der schwefligen Säure (in Flüssigkeiten kommt schweflige Säure selten vor — sie löst sich aber leicht und begierig in Wasser) oder Verkleidung des Betons durch Quarzitsteine, keramische Platten oder dgl., wobei die Fugen mit säurefestem Kitt abzudichten sind. Anstriche sind hier meist nutzlos, da schweflige Säure in Rauchgasen heiß ist und der Anstrich zerstört würde.



Abb. 37. Beispiel einer Schwefelsäurezerstörung: Die schweflige Säure der Rauchgase hat den Mörtel unter Gipsbildung gelöst. Das Bild wurde aufgenommen bei Frost. Das Wasser aus dem Gebirge über dem Tunnel ist durch die zerstörten Fugen hindurchgetreten, zu Eiszapfen gefroren und zeigt so die undichten Stellen, die sich da bildeten, wo die Lokomotivgase gegen die Decke geblasen wurden. (Bild Wolfsholz.)

Schwefelwasserstoff. Eigenschaften und Vorkommen: Schwefelwasserstoff, der beim Verfaulen organischer Substanzen, z. B. in Dunggruben auftritt, ist ein übelriechendes, farbloses Gas (faule Eier), welches als solches dem Beton nicht schädlich ist. Der Schwefelwasserstoff oxydiert sich aber schnell durch Sauerstoffaufnahme aus der Luft häufig unter Mithilfe von Bakterien nach der Formel:



Die schweflige Säure und die aus ihr durch Oxydation weiter entstehende freie Schwefelsäure (Formel s. S. 75 oben) sind überaus gefährliche Betonfeinde, welche den Beton unter Treiberscheinungen auflösen. Auf diesen

Vorgang der Oxydation des Schwefelwasserstoffes und des Gefährlichwerdens des an sich verhältnismäßig harmlosen Gases ist folgende Erscheinung zurückzuführen:

Wirkung: In Kanälen, welche Fäkalien abführen, und welche vollkommen von der Außenluft abgeschlossen sind, findet keine Betonzerstörung statt, obgleich reichliche Mengen von Schwefelwasserstoff hier auftreten, da der wenig schädliche Schwefelwasserstoff (H_2S) sich aus Sauerstoffmangel nicht zu oxydieren vermag. Wird aber an irgendeiner Stelle durch Lüftung Sauerstoff zugeführt, so findet man an diesen Stellen sofort starke Betonzerstörungen, weil hier der Schwefelwasserstoff sich zu schwefliger Säure bzw. Schwefelsäure oxydiert hat.

Schutz: Zweckmäßig ist es, bei solchen Zerstörungen zunächst durch ein Laboratorium festzustellen lassen, ob tatsächlich eine Anreicherung an Sulfat, also an schwefelsaurem Salz im Beton im Vergleich zu unzerstörtem Beton stattgefunden hat, und wenn dies aufgeklärt ist, die Luft vollkommen abzuschließen; andererseits kann man auch, falls die Abschließung nicht möglich ist, durch besonders starke Durchlüftung dafür sorgen, daß der gebildete Schwefelwasserstoff so schnell wie möglich weggeführt wird. Beide Maßnahmen führen zum Erfolg, Voraussetzung ist natürlich aber auch hier möglichst dichter Beton, allenfalls Schutzanstrich im Anfang des Bestehens und Heranziehung eines kalkarmen Zementes, der längere Lebensdauer verspricht als besonders kalkreiche Zemente. Steht ein solcher Zement nicht zur Verfügung, so ist Zusatz einer feingemahlten Puzzolane, wie Ziegelmehl, Traß, Hochofenschlacke u. dgl. anzuraten, da diese nicht nur den Beton dichten, sondern auch den freien Kalk binden. Auf die Dauer vermag aber kein Zement der freien Schwefelsäure zu widerstehen, sondern auch der besonders widerstandsfähige Tonerdezement wird schließlich vernichtet. Allerdings ist die Lebensdauer zweckmäßig herangezogener Zemente länger als diejenige von allzu empfindlichen Rohstoffen.

Kohlensäure H_2CO_3 (meist schreibt man nur die Formel für das Anhydrid (Kohlendioxyd) CO_2). Eigenschaften und Vorkommen: Die Kohlensäure ist ein Gas, das in ganz geringen Mengen (0,03 %) in der Luft vorkommt. Trotz der überaus geringen Mengen ist sie derjenige Stoff, welcher neben dem Sauerstoff unser Leben überhaupt erst ermöglicht. Denn die Pflanze nimmt aus der Kohlensäure der Luft den Kohlenstoff auf, aus welchem sie Kohlehydrate (Mehl, Kartoffelmehl, Holz und Zucker) aufbaut. Aus dieser Pflanze führen wir dann die Kohlehydrate unserem Körper zu. Die Kohlensäure ist eine schwache Säure, welche, da sie wasserlöslich ist, auch im Wasser vorkommt; sie tritt in dieses Wasser ein entweder aus der Luft (beispielsweise in Gletscherwasser oder in Regenwasser) oder aber aus faulenden organischen Substanzen, die ja Kohlensäure abgeben. Schließlich sei noch ihr Vorkommen erwähnt in vulkanischen Gegenden, wo die Kohlensäure durch die Hitze der Lava aus kohlensaurem Kalk (Kalkstein) freigemacht und den sog. Säuerlingen, d. h. den Wässern, die in vulkanischen Gegenden vorkommen, zugeführt wird. Ein großer Teil der Kohlensäure auf der Erde ist

bereits von Pflanzen und Tieren in gebundenem Zustand übergeführt worden. Die ungeheuren Gebirge der Voralpen (Watzmann, Wilder Kaiser) bestehen aus kohlensaurem Kalk. Diese mächtigen Gebirgsmassen und viele andere sind entstanden aus Muscheln, Schnecken, Korallen, Kreidestierchen und noch kleineren Lebewesen, die die Kohlensäure der Luft bzw. dem Wasser entnommen, sie mit Kalk zusammen zu kohlensaurem Kalk zum Aufbau ihres Wohngehäuses verbunden und dann beim Verenden zurückgelassen haben.

Wirkung: Trotzdem die Kohlensäure eine so schwache Säure ist, daß sie von vielen anderen Säuren (Salzsäure oder Essigsäure) unter „Aufbrausen“ leicht aus ihren Verbindungen vertrieben wird, vermag sie infolge ihrer großen chemischen Affinität zum Kalk Beton stark zu schädigen, allerdings nur dann, wenn sie in Wasser gelöst als Kohlensäure H_2CO_3 vorkommt. Das vorstehende Schema

zeigt die Art der Einwirkung übersichtlich (Abb. 38). Hier ist angenommen, daß eine Betonmauer von links nach rechts von kohlensäurehaltigem Wasser unter Druck durchflossen wird (Talsperre).

Im ersten Stadium der Einwirkung des kohlensäurehaltigen Wassers (II), dem man seinen Kohlensäuregehalt keineswegs ansieht, führt dieser den freien Kalk des Betons in kohlensauren Kalk über (II). Mit

Stadium	Angriff durch	Betonmauer Reaktionszone			Austritt bzw. Abscheidung
		1	2	3	
I	→	CaO	CaO	CaO	—
II	$\text{CO}_2 \rightarrow$	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$	CaO	CaO	—
III	$\text{CO}_2 \rightarrow$	$\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$	CaO	CaO	—
IV		—	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$	CaO	—
V	$2\text{CO}_2 \rightarrow$	—	$\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$ $\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$	CaO	—
VI		—	—	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$	$\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$
VII	$2\text{CO}_2 \rightarrow$	—	—	$\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$ $\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2 + \text{CO}_2$
VIII		—	—	—	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ $+ 2\text{CO}_2$

(Formel) — die Verbindung ist wasserlöslich

[Formel] — die Verbindung ist wasserunlöslich

CaO = freier Kalk des Betons

$\text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$ = doppelkohlensaurer Kalk

$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ = kohlensaurer Kalk

$\text{CO}_2 \rightarrow$ = kohlensäurehaltiges Wasser

$\text{CO}_2 \nearrow$ = gasförmige Kohlensäure

das Molekül Wasser (H_2O) ist der Übersichtlichkeit wegen in den Formeln weggelassen

Abb. 38. Schema der Einwirkung von Kohlensäure auf Beton bei der Durchdringung durch kohlensäurehaltiges Wasser.

dieser Bildung von Calciumkarbonat ist zunächst eine Dichtung und Festigung des Betons verbunden. Aus diesem Grunde erreichen Betonkörper, z. B. Normenkörper, die an der Luft erhärten, auch höhere Festigkeiten als im Wasser gelagerte Körper.

Im zweiten Stadium der Einwirkung (III) verwandelt nun die weiter zutretende Kohlensäure den einfach kohlensauren Kalk (CaCO_3) in doppeltkohlensauren Kalk ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), der im Gegensatz zu dem unlöslichen CaCO_3 in Wasser löslich ist und infolgedessen aus dem Beton ausgelaugt wird. Die so entstandene Lösung von doppeltkohlensaurem Kalk setzt sich bei tieferem Eindringen in den Betonkörper mit dem dort vorhandenen freien Kalk wieder zu einfach kohlensaurem Kalk um, wird also unschädlich und der Beton verdichtet sich an der betr. Stelle wieder (weiße Zone) (IV). An den Stellen, wo die Lösung den Beton in der beschriebenen Weise verlassen hat, ist jetzt der Beton poröser geworden als vorher, da aus ihm Kalk herausgelöst wurde. Bei weiterer Kohlensäureeinwirkung wird der neuerdings im Innern gebildet einfach kohlensaure Kalk nun wieder in doppeltkohlensauren Kalk übergeführt und in löslicher Form abtransportiert (V). Hat das Wasser, welches mit doppeltkohlensaurem Kalk gesättigt ist, Gelegenheit, den Beton zu verlassen (VI), so spaltet sich aus dem doppeltkohlensauren Kalk wieder 1 Molekül Kohlensäure ab, entweicht als Gas und aus der Lösung scheidet sich wieder einfach kohlensaurer Kalk ab, der als poröser, weißer, Überzug auf dem Beton zu erkennen ist (VII). Ein solcher Überzug, der bei Auftropfen von etwas Salzsäure stark aufbraust, ist immer ein Zeichen dafür, daß das Innere des Betons sich bereits in Auflösung befindet und an Kalk verarmt ist. Denn der abgeschiedene Kalk stammt in weitaus den meisten Fällen aus dem Beton und ist ein Bestandteil des Zementes gewesen.

Die Tropfsteinbildung in der Natur beruht auf genau dem gleichen Vorgang, daß nämlich in dem kohlensäurehaltigen Regenwasser, das durch das Kalkgebirge hindurchgetreten ist, Kalk als doppeltkohlensaurer Kalk gelöst wurde, der sich dann im Innern der Höhlen durch Temperatur- und Druckveränderung — zurückverwandelt in kohlensauren Kalk — schichtweise absetzt. Da die Kohlensäure kein Treiben hervorruft, sondern nur lösend wirkt (vgl. Abb. 39), ist ihre Wirkung eine verhältnismäßig weniger schädliche als die der Sulfate; sie ist bloß dann von erheblicher Bedeutung, wenn große Mengen Wasser in Frage kommen, die dauernd das Bauwerk umpülen, oder durchdringen, besonders wenn der Beton porös ist. Stehendes Wasser ist wenig schädlich, dagegen strömendes um so gefährlicher.

Schutz: Notwendig ist entweder die Ableitung des betr. Wassers, zumindest die Verminderung seines Druckes oder Druckausgleich dadurch, daß der Beton auch von der anderen Seite unter Druck gesetzt wird und vor allen Dingen dichtes Arbeiten, kalkarmer Zement, z. B. Romanzement oder Puzzolanzement, also Zement mit einem Gehalt an Hochofenschlacke (Hochofenzement). Auch Tonerdezement hat sich als günstig erwiesen. Der junge Beton wird zweckmäßig durch einen Anstrich geschützt. Soll älterer, bereits in Zerstörung befindlicher Beton, der porös ist und nicht gedichtet werden kann, vor kohlensäurehaltigem Wasser geschützt werden, so ist eine Umpackung mit kohlensaurem Kalk, also Kalkstein, der zweckmäßig auf eine Körnung von Erbsengröße gebracht wird, von Nutzen, da in solchen Fällen sich die schädliche Kohlensäure

an dem Kalkstein absättigt und zum Beton nicht vordringen kann. In gleicher Weise wirkt ein Zuschlag von kohlensaurem Kalk zum Beton selbst, es wird dann der Zuschlag allmählich aufgelöst, der Zement da-



Abb. 39. Kohlensäurezerstörung im Pumpbrunnen der Stadt Bonn: Die Körper sind stark angeätzt, ihr Gefüge ist nicht geschädigt (kein Treiben). Die porösen Körper aus Normensand sind stärker geschädigt als die dichtereren aus Rheinsand. (7 jährige Lagerung in sehr stark strömendem Wasser mit sehr hohem Kohlensäuregehalt.)

gegen geschont. Bei großen Mauerwerksstärken spielt die minimale Lösung des Zuschlags eine untergeordnete Rolle. Schädlich sind auch Wässer, die Ferrokarbonat enthalten, und zwar tritt bei Einwirkung

dieser Wässer die Zerstörung niemals unter dem Wasserspiegel, dagegen um so stärker an der Berührungsfläche Wasserspiegel—Luft auf, und zwar aus folgenden Gründen:

Das Ferrokarbonat wird durch den Sauerstoff der Luft oxydiert in Ferrikarbonat. Dieses Ferrikarbonat ist nicht beständig, sondern es zerfällt sofort in Kohlensäure und in Eisenhydroxyd, welch letzteres sich als roter Schlamm auf dem Beton abscheidet. Die freiwerdende Kohlensäure löst in der oben beschriebenen Weise den Kalk aus dem Zement und zerstört somit den Beton. Mit diesem Vorgang ist die bisher unverständliche Tatsache, daß unter dem Wasserspiegel der Beton erhalten bleibt, über dem Wasserspiegel dagegen zerfällt, erklärt. Tatsächlich finden sich auch bei Kohlensäurezerstörung durch eisenhaltiges Wasser immer große Mengen von Eisenhydroxyd, das den Beton rot verfärbt.

Essigsäure und Milchsäure. Essigsäure und Milchsäure kommen entweder in entsprechenden Fabriken vor oder sie entstehen bei der Bereitung von Kraftfutter im Silo aus Gras. Beton, der zur Futtermittelsilierung dient, muß aus diesem Grunde mit einem Schutzanstrich versehen und besonders dicht hergestellt werden.

Zucker. Zucker hat verhältnismäßig geringe Einwirkung auf dichten Beton, ist dagegen ein besonders großer Betonschädling, wenn er in das Anmachwasser gelangt. Die Versendung von Zement in Waggons, die vorher Zucker enthalten haben, hat schon dazu geführt, daß der Zement nicht mehr erhärtete. Allein dieses Beispiel zeigt, wie außerordentlich empfindlich Zement beim Erhärten gegen Zucker ist. Dieser muß deshalb unter allen Umständen ferngehalten werden, wenn der Beton angemacht wird. Auf dieser die Erhärtung störenden Einwirkung von Zucker beruht ein neuerdings aus Amerika gekommenes Verfahren, nach welchem die Schalung mit einer Zuckerlösung in Leim angestrichen wird, so daß die Oberfläche des Mörtels nicht erhärtet und später abgewaschen werden kann. Der auf diese Weise von der obersten Zementschicht freigehaltene Mörtel bietet natürlich durch die Bloßlegung der Kieselsteine ein schönes Aussehen, seine Dichtigkeit wird aber teilweise vernichtet, außerdem bringt die Heranziehung derartig gefährlicher Lösungen auf dem Bauplatz Nachteile und Gefahren mit sich.

Salze.

Daß freie Säuren das Bindemittel im Beton aufzuspalten vermögen, ist selbstverständlich, zumal er etwas freie Base, nämlich Kalk enthält. Diese freie Base und die Tatsache, daß im Kalksilikat des Betons die Kieselsäure den Kalk, hauptsächlich bei hohem Kalkgehalt, nur verhältnismäßig lose hält, führt aber dazu, daß auch gewisse Salze den Beton zu schädigen vermögen.

Sulfate und Ammonsalze. Eigenschaften und Vorkommen: Sulfate kommen sehr verbreitet vor in Meerwasser. Hier bildet das Magnesiumsulfat denjenigen Bestandteil, der als Bittersalz das Meerwasser ungenießbar macht. Weiter sind Sulfate aus dem Meerwasser übergegangen in die Salzlagerstätten, die ja aus eingetrocknetem Meerwasser bestehen, und aus diesen wieder werden sie übergeführt in das Grundwasser, das auf seinem Wege mit vielen Sulfaten in Berührung gekommen

ist (Bittersalzquellen). Auch Kohlenschlacken und besonders Kohlen-schlackenhaldden haben große Mengen von Sulfat. Diese können aus diesen Haldden gelöst und dem Beton zugeführt werden. Auch Umpakung von Beton, beispielsweise Übersüttung von Rohren mit Schlacken hat schon zur Zerstörung geführt. Außerdem kommen Sulfate vor in Mooren und gehen auch aus diesen bisweilen in das Grundwasser über. Weitaus die meisten Grundwässer sind unschädlich. Immerhin ist bei Unsicherheit eine Sulfatbestimmung des Grundwassers erwünscht, um zur richtigen Zeit Schutzmaßnahmen durchführen zu können.

Ammonsalze kommen in chemischen Fabriken vor, weiter in landwirtschaftlichen Betrieben, wo sie als künstlicher Dünger verwendet oder in Sprengstoffbetrieben, wo sie zur Herstellung von Sprengstoff gebraucht werden.

Wirkung: Die Sulfate sind die gefährlichsten Salze, da sie zu Treiberscheinungen führen (Abbildung 40). Von den Sul-

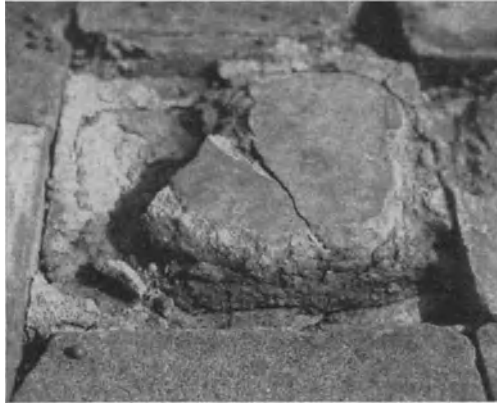
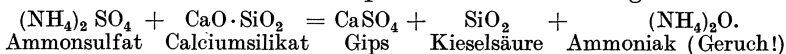


Abb. 40. Beispiel einer Sulfatzerstörung: Bei Sulfatwirkung wird nicht nur wie bei Kohlensäure zunächst die Oberfläche zerstört, sondern der Beton beginnt zu treiben. Raumvergrößerung. Später zerfällt dann der zertriebene Beton und Kiessand bleibt zurück.

faten sind die gefährlichsten diejenigen, in denen die Schwefelsäure durch eine schwache Base festgehalten wird, also das Ammoniumsulfat und weiter das Magnesiumsulfat, da ja auch Magnesia eine schwächere Base ist als der Kalk. Aus solchen Salzen tritt dann der Sulfatrest aus dem Ammonium- bzw. Magnesiumsalz an die stärkere Base Kalk, d. h. der Kalk reißt den Sulfatrest an sich. Ammoniak entweicht als stechend riechendes Gas, oder Magnesia scheidet sich in gallerartige Form ab und der Beton vergiftet sich selbst dadurch, daß sein freier Kalk sich in Calciumsulfat = Gips verwandelt nach folgender Formel:



Gleichzeitig zerfallen die tonerdehaltigen Salze des abgebundenen Zement und es entstehen Doppelverbindungen alaunähnlicher Natur. Hier ist bekannt besonders das Calciumaluminiumsulfat. Dieses kristallisiert mit sehr großen Mengen von Wasser (32 Mol.) und die Kristallisation zusammen mit der Raumvermehrung zersprengt den Beton. Das Calciumaluminiumsulfat findet sich in solchen Betonen, die in Zerstörung begriffen sind als feinste Nadeln, die igelartig zusammensitzen. Bringt man diese Nadeln unter das Mikroskop, so sehen sie aus wie lauter Stäbchen. Dieses Aussehen hat ihnen vor 50 Jahren, als sie in der Zeit der Robert

Kochschen Entdeckungen gefunden wurden, scherzhafterweise den Namen „Zementbazillus“ eingetragen. Es handelt sich also beim Zementbazillus um Calciumaluminiumsulfat (oder auch um Gips, der häufig mit Calciumaluminiumsulfat verwechselt wird), d. h. um eine anorganische gut kristallisierende Verbindung, nicht etwa um einen Bazillus. Die Zerstörungserscheinungen, die der Beton aufweist, wenn er in dieser Weise zerstört wurde, erinnern aber stark an eine Krankheit insofern, als der Beton ganz plötzlich, nachdem er oft jahrelang beständig war, anfängt zu zerfallen, aufquillt, Risse bekommt und zerbröckelt unter gleichzeitiger weißer Verfärbung, die einem Ausschlag ähnelt, so daß die Bezeichnung „Zementbazillus“ auch durch diesen einer Krankheit ähnelndem Vorgang gestützt wird.

Das wichtigste Sulfat der Praxis ist Magnesiumsulfat, welches im Meerwasser vorkommt und diesem vor allem seine zerstörenden Eigenschaften verleiht. Große Molenanlagen wurden vom Meerwasser schon zerstört. Die Zerstörung selbst ist oben geschildert. Die nicht sichtbare Vergiftung des Betons kann durch chemische Analysen der Oberfläche und des Kerns oft nachgewiesen werden, ebenso wie die chemische Analyse auch dann, wenn die Zerstörung bereits zu sehen ist, ein Maß dafür ist, wie tief die Zerstörung in den Beton eingedrungen ist. Sulfatvergifteter Beton muß meist auch dann, wenn die Sulfateinwirkung abgestellt werden kann, beseitigt werden, da er noch nachträglich zerfällt. Als Abhilfe sei auch hier wieder dichtes Arbeiten, kalkarmer Zement oder Puzzolanzusatz angeführt unter möglichstem Schutz des jungen Beton vor dem Zutritt des Meerwassers.

Magnesiumsulfat und ebenso Natriumsulfat sind auch in Bitterwässern enthalten, die ja aus den Salzen, die ursprünglich Meerbestandteile waren, ausgelaugt wurden. Weiter treten sie in Kalibergwerken und in Flußläufen auf, in die Abwässer aus Bergwerken geleitet werden, schließlich noch im Grundwasser, besonders in solchen Gegenden, in denen Kali vorkommt oder die Mooren benachbart sind.

Calciumsulfat (Gips) ist ein Bestandteil von Kohlenschlacken, sowohl von Steinkohle als auch besonders von Braunkohle und vermag sich auch in Schlackenhalde zu bilden. Das Gipswasser ist nicht ganz so gefährlich wie das Magnesiumsulfat, es ist aber immerhin als Betonfeind zu beachten. Zerstörung tritt ähnlich so ein, wie bei Natriumsulfat, nur langsamer, die Abhilfe ist die gleiche.

Von den Chloriden ist nur das Ammoniumchlorid, das lediglich in chemischen Fabriken vorkommt, besonders schädlich. Das Natriumchlorid oder Kochsalz, der Hauptbestandteil des Meerwassers, bleibt ohne Einfluß. Allerdings sind Chloridlösungen oft gleichzeitig sulfathaltig und wirken dann infolge dieses Sulfatgehaltes schädlich.

Von den anderen Salzen starker Säuren sei noch das Ammoniumnitrat, das in der künstlichen Düngstoffabrikation eine Rolle spielt, genannt und schließlich das Kaliumbichromat, das entgegen früheren Ansichten den Beton schnell zerstört.

Schutz: Als Schutz kommt in Frage: 1. dichter, zementreicher Beton, 2. Verwendung sulfatbeständiger Zemente (kalkarmer Zement), 3. Schutz des Betons durch Fernhaltung und schnelle Ableitung der Sulfate.

Magnesiumsalze. Magnesiumsalze, die in leicht löslicher Form im Meerwasser als $MgSO_4$ (Bittersalz) vorkommen, sind besonders schädlich und schon oben abgehandelt. Sie treten aber auch bisweilen in Böden schwerlöslich auf, vermögen dann auch nachteilig zu sein, wenn die Magnesia nicht an Sulfat gebunden ist. Sie sind in den Boden hineingelangt durch verwitterten Dolomit, der ja bekanntlich ein Doppelkar-

bonat von Kalk und Magnesia ist. In der Schweiz wurden umfangreiche Zerstörungen von Betonrohren in Mooren auf derartige Magnesiazerstörung zurückgeführt. Die Schweiz verlangt deshalb für einen Boden, der unschädlich sein soll, einen geringen Magnesiagehalt von nicht über 2 %. Meines Erachtens wird die Magnesia im Boden erst dann wirklich schädlich, wenn gleichzeitig Sulfate oder Schwefelsäure aus Mooren gegenwärtig sind.

Als schädliches Chlorid sei das Magnesiumchlorid genannt, das im Meerwasser und in Ablagerungen des Meerwassers auftritt und den Beton, wenn auch in längerer Zeit, zerstört. In der Praxis kommt es in konzentrierter Form als Steinholzlauge vor und vermag den Beton von Lagerungsbehältern für Steinholzlauge, die ja Magnesiumchloridlauge ist, zu zerstören, ebenso porösen Beton, der unter Steinholz verlegt ist. Es muß deshalb Beton, auf dem Steinholz verlegt werden soll, besonders dicht sein, weiter sind die Eiseneinlagen in solchem Beton mindestens 3 cm hoch mit dichtem Beton zu überdecken.

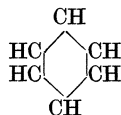
Öle und Fette.

Außerordentlich unklare Verhältnisse herrschen oft in der Praxis bezüglich der Wirkung von Fetten und Ölen, und zwar deshalb, weil meistens diese Fette und Öle ohne Unterschied ihrer Herkunft und ohne Berücksichtigung ihres chemischen Aufbaues betrachtet werden.

Eigenschaften und Vorkommen: Es gibt zwei ganz verschiedene Arten von Ölen bzw. Fetten, und zwar zunächst diejenigen Öle, die gewonnen werden aus Naphtha, also bei der Petroleum-Raffination sowie aus den Steinkohlen usw.

Öle. Diese Öle sind, wenn sie nicht freie Säure enthalten, meist unschädlich, denn es handelt sich hier meist um paraffinähnliche (Paraffin kommt von *parum affinis* = wenig Affinität zu anderen Substanzen) Moleküle, die nur schwer mit anderen Molekülen in Reaktion treten und infolgedessen den Beton auch nicht angreifen. Hierher gehören alle Schmieröle, Heizöle, Treiböle, Staufferfette, Zylinderöle, Petroleum u. dgl. Sie alle vermögen zwar den Beton zu durchdringen (Treiböl), zerstören ihn aber nicht. Nur dann, wenn sie als Rohöle eine Säure, z. B. Phenol (Karbolsäure) enthalten, werden sie dem Beton gefährlich (Heizöl), selbstverständlich auch dann, wenn ihnen zur Erhöhung der Schmierfähigkeit fette Öle zugesetzt werden (S. 84). Die Öle selbst setzen lediglich durch Absperrung des zur Nacherhärtung nötigen Wassers die Nacherhärtung herab und vermindern die Festigkeit durch Aufhebung der inneren Reibung. Die zwei Typen dieser Art Öle seien hier wiedergegeben:

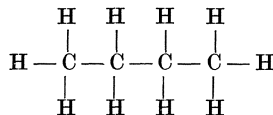
1. Das Benzol



(Ring-Kohlenwasserstoff, aromatische Reihe)¹

und

2. das Paraffin.

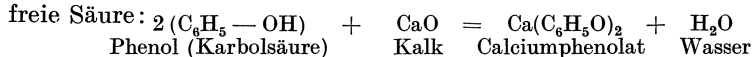


Butan

(Reihen-Kohlenwasserstoff, aliphatische Reihe)

¹ Der Name „aromatische Reihe“ wurde Verbindungen, die derartig aufgebaut

Die Formeln zeigen, daß in diesen Verbindungen keine Salze od. dgl. vorliegen, sondern daß das Molekül ein in sich gesättigtes ist, demnach ein sehr stabilen Aufbau hat und seine geringe Schädlichkeit deshalb auf seinen Aufbau zurückzuführen ist. Ist Phenol vorhanden, so verhält sich dieses als freie Säure:

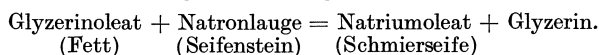


Es bilden sich also Calciumphenolate als Kalksalze der Karbolsäure, welche den Zuschlag nicht mehr zu verkitten vermögen, da sie schmierig und weich sind: der Beton zerfällt.

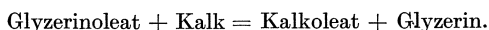
Fette. Ganz anders konstituiert sind die fetten Öle, d. h. alle diejenigen Öle und Fette, die dem pflanzlichen oder tierischen Organismus entstammen; hier dienen sie als Vorrat, der entweder dem lebenden Körper in Form von Fett für Notzeiten mitgegeben wird oder den das Samenkorn enthält, um dem keimenden Sämling als Energiespeicher während des Keimvorgangs vor Ausbildung der Wurzeln zu dienen. Hierher gehören als Pflanzenfette, z. B. Mohnöl, Rizinusöl, Kokosnußöl, Palmin u. dgl. Als Tierfette seien genannt Butter, Tran, Knochenöl, Gänsefett usw. Alle diese Fette und Öle sind ganz anders aufgebaut als die oben genannten unschädlichen Mineralöle. Sie sind nämlich Salze, und zwar Salze der Base Glycerin oder einer ähnlichen Base, also eines mehrwertigen Alkohols mit der Säure: Oleinsäure, Palmitinsäure oder sonst einer Fettsäure.

Wirkung: Da in diesen Salzen eine starke Säure, Fettsäure, mit einer schwachen Base, dem Glycerin, vereinigt ist, wird naturgemäß eine Aufspaltung dann erfolgen, wenn eine stärkere Base zur Einwirkung kommt. Im Beton ist diese stärkere Base in Form des freien Kalkes vorhanden. Dieser freie Kalk spaltet das Fett auf, setzt Glycerin in Freiheit und verbindet sich mit dem Säurerest der Ölsäure, unter Bildung von ölsaurem Kalk. Da bei diesem Vorgang der Kalk aus seinem ursprünglichen Verband gelöst wird und als „Kalkseife“ eine schmierige Beschaffenheit annimmt, zerfällt natürlich der so beeinflusste Beton, da die Silikate, die ihn aufbauen, zugrundegehen.

Den Vorgang des Aufspaltens eines Fettes nennt man Verseifung. Bei der Seifenherstellung werden die oben genannten Fette durch eine Base, Natronlauge oder Kalilauge, aufgespalten, das Glycerin wird als Nebenprodukt gewonnen. Die von uns gebrauchte Seife ist nichts anderes als Kaliumoleat, also das Kalisalz der Ölsäure. Sie wirkt dadurch reinigend, daß bei ihrer Benetzung mit Wasser Natronlauge frei wird, die durch Ätzung (man denke an die Schmerzen, die ins Auge geratene Seife verursacht) den Schmutz und das Fett beseitigt, während die Fettsäure selbst unter Trübung des Wassers den Schmutz einhüllt und auf diese Weise wegschafft. Kurz sei das Schema für die Entstehung einer derartigen Seife aus einem Fett wiedergegeben:



Das Natriumoleat ist die Natriumseife, das Glycerin spaltet sich ab, das ursprüngliche Fett war das Salz aus der Base Glycerin und der Ölsäure. Bei Einwirkung auf Beton verseift der sich aus dem Zement des Betons abspaltende Kalk in gleicher Weise das Fett nach folgender Formel:



sind, gegeben, als die ersten gefunden wurden, die „aromatisch“ rochen. Keineswegs alle haben diesen Vorteil.

Das Kalkoleat vermag dem Beton keinen Zusammenhalt mehr zu geben. Es ist von schmieriger Beschaffenheit, der Beton zerfällt unter Rißbildung (Abb. 41).

Als Schutz kommt auch hier wieder in Frage dichter Beton, Bindung des freien Kalkes durch Puzzolane und Anstrich durch bakelit- oder harz-ähnliche Erzeugnisse, welche sich nicht in Fetten auflösen. Die Bitumenanstriche, die für andere Zwecke verwendbar sind, können hier nicht gebraucht werden¹.

e) Chemie der Beton-zusätze.

Bei der Mörtel- und Betonbereitung werden bisweilen, um besondere Effekte zu erzielen, dem Zement oder dem Anmachwasser verschiedene Arten von Zusätzen gegeben. Sie sind grundsätzlich verschieden je nach dem Zweck, der erreicht werden soll; es gibt solche, die den Beton schneller zum Erhärten bringen, andere die den Beton bei der Verarbeitung geschmeidiger machen und schließlich noch zwei Gruppen, die dem erhärteten Beton besondere Eigenschaften verleihen, wie wasserabweisende oder wasserdichtend wirkende.



Abb. 41. Bild einer Fettzerstörung. Fette, beispielsweise Leinöl, werden durch den Kalk des Mörtels verseift. Durch Verwandlung des Kalkanteils des Zementes in Kalkseife wird der Zusammenhalt des Mörtels gelöst, gleichzeitig treten Treiberscheinungen auf.

1. Schnellbinden veranlassende Zusätze.

In manchen Fällen (Frost, Wassereinbruch) ist es erwünscht, den Mörtel oder Beton zu besonders schneller Erhärtung zu zwingen (Abb. 42). Da es nicht angängig ist, von der Fabrik besondere Zemente zu verlangen, hilft man sich dadurch, daß man dem Anmachwasser bestimmte Zusätze beifügt. Die Anwendung derartiger Lösungen wird steigende Bedeutung gewinnen, und der Bauingenieur muß sich mit ihnen beschäftigen, da bei der heute notwendigen Rationalisierung infolge Mangel an Arbeitskräften die Winterpause verschwinden muß, die bisher sich doch immerhin auf

¹ Ausführliche Angaben über die Einwirkung chemischer Lösungen finden sich u. a. noch in folgenden Werken: Allgemeines. Grün: Der Beton, Berlin 1937. — Kleinlogel: Einflüsse auf Beton, Berlin 1930. Spezielle Angaben über natürliche chemische Einflüsse, besonders aus Böden in der Arbeit: Gessner und Zollikofer: Die Kommission zur Prüfung des Verhaltens von Zementröhren in Meliorationsböden. Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. Zürich, Juli 1937.

4—5 Monate erstreckte. Die bisher in der Winterpause brachliegenden Arbeitskräfte können ausgenutzt werden, wenn man sich genügend mit der Frage, auch im Winter zu betonieren und Bauarbeiten durchzuführen, beschäftigen wird. Vögler¹ gibt an, daß es noch 1933 914000 erwerbslose Bauarbeiter gab, während heute überhaupt keine mehr vorhanden sind, und fordert deshalb gleichfalls die Beseitigung der Winterpause. Der Umfang der hier zu gewinnenden Summen gehe daraus hervor, daß im Jahre 1932 Bauten im Gesamtwert von 2,3 Milliarden errichtet wurden, 1938 dagegen solche von 11 Milliarden Mark Wert.

Frost: Eine beliebte Maßnahme ist früher bei Betonierungen im Frost die Zufügung von Soda zum Anmachwasser gewesen. Man ist aber von der Soda wieder abgekommen, da ihre Wirkung unregelmäßig und schwankend ist. An ihre Stelle ist meist jetzt das Calciumchlorid getreten, das nicht nur die Abbindezeit verkürzt, also die Möglichkeit gibt, den Beton auch bei Frost so schnell zum Erhärten zu bringen, daß ein nachträgliches Gefrieren nicht mehr schadet, sondern da es auch die Festigkeit erhöht. Tabelle 5 zeigt, daß bei -6° die normal angemachten Zemente fast gar nicht erhärteten, daß aber bei Zusatz des Frostschutzmittels die Erhärtung recht befriedigend ist. Die Zemente reagieren verschieden! Notwendig ist es, bei Anwendung des Calciumchlorids mit dem Zement, auf den es einwirken soll, bezüglich Konzentration der Lösung und Zusatzmenge jeweils einen Vorversuch zu machen, da jeder Zement auf das Calciumchlorid anders anspricht².

Tab.5. Einwirkung eines calciumchloridhaltigen Frostschutzmittels Mf. auf die Druckfestigkeit von Beton bei niederen Temperaturen.

		Lagerung bei $+20^{\circ}$						Eisschranklagerung bei -6°					
		3 Tage		7 Tage		28 Tage		3 Tage		7 Tage		28 Tage	
		Wasser	Mf.	Wasser	Mf.	Wasser	Mf.	Wasser	Mf.	Wasser	Mf.	Wasser	Mf.
Mischungsverhältnis 1:4,5 Gew.-T. Rheinsand 0—7 mm	Zement A:	325	442	421	496	542	577	10	229	20	254	45	355
	Zement B:	181	284	298	412	374	523	8	22	12	55	12	215
	Zement C:	201	231	277	321	384	496	4	60	9	140	15	198

Einwirkung von calciumchloridhaltigem Anmachwasser auf die Frostbeständigkeit des Betons. Durch den Zusatz wird die Anfangsfestigkeit des Mörtels erhöht, besonders bei Frosteinwirkung. Es kann deshalb mit calciumchloridhaltigem Zementmörtel, auch bei Frost gemauert werden. Die Zahlen zeigen das bessere Erhärten des calciumchloridhaltigen Mörtels besonders bei Frost.
Mf. = Frostschutzmittel Mf.

¹ Vögler: Rationalisierung im Bauwesen, Z. VDI 1938, S. 1324.

² Vgl. auch Böhm: Das Betonieren bei Frost. Berlin 1935. — Serkin: Über das Betonieren und Mauern bei Frost. Betonsteintg. 1937, S. 377. — Graf: Versuche über das Verhalten von Betonsäulen und Betonwürfeln bei oftmaligem Gefrieren und Auftauen. Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, Heft 87, Berlin 1938. — Bornemann: Betonarbeiten im Winter. Bautenschutz 1938, S.121. — Witkin: Build Winter Concreting Inclosures of Thin Sheets of Plywood, Concrete, November 1938, S. 4. — Thompson: The ten commandments of Cold Weather Concreting, Concrete, November 1938, S. 14.

Wassereinbruch: Ist die Konzentration der Calciumchloridlösung sehr hoch, so ist es möglich, den Mörtel oder Zement in wenigen Sekunden oder Minuten, je nach der Konzentration, zur Erhärtung zu zwingen, ein Verfahren, welches häufig angewendet wird, wenn es sich darum handelt, Wassereinbrüche zu dichten, oder in Betonstollen offen gehaltene Rohre, die beim Bau zur Wasserhaltung dienen, zu verstopfen. Auch Aluminiumchlorid wirkt in ganz ähnlicher Weise, ebenso die Nitrate der genannten Salze. Sehr einleuchtend zeigt K.T. Abb. 42 die

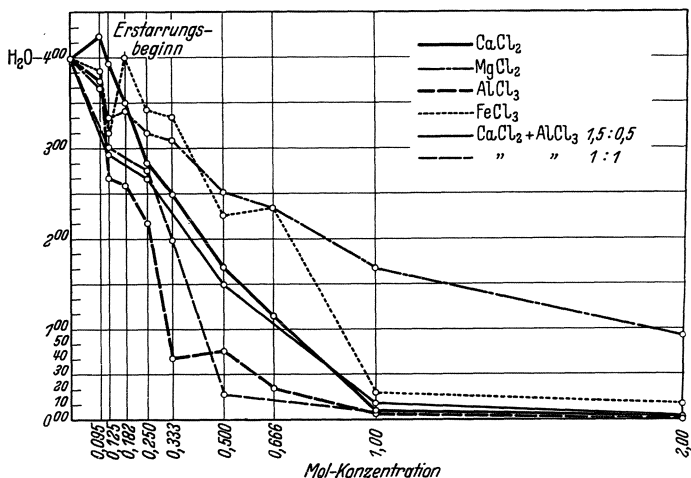


Abb. 42. Wirkung von Schnellbinden verursachenden Zusätzen auf den Erstarrungsbeginn (von 4 Stunden): Durch Zusatz geeigneter Salze wird der Zement zum Schnellbinden gezwungen. Durch Veränderung der Konzentration kann die Schnelligkeit des Bindens geregelt werden.

$CaCl_2$ = Calcium-Chlorid oder Chlor-Calcium

$AlCl_3$ = Aluminium-Chlorid

$MgCl_2$ = Magnesium-Chlorid oder Chlor-Magnesium

$FeCl_3$ = Eisenchlorid

günstige Wirkung von Chlorcalcium. Der Erstarrungsbeginn des Zementes wurde durch den Zusatz von 0,6 Mol = 13% von 4 Std. auf 1 Std., bei höherer Konzentration auf wenige Minuten verkürzt. Die Festigkeit nach nur 16 Stunden (Abb. 43) wurde für die beiden geprüften Zemente von etwa 80 kg/cm² durch 8proz. Chlorcalciumlösung als Anmachwasser auf 170–200 kg/cm² erhöht und weit über die Festigkeit des Tonerdezementes getrieben. Seit Jahren kommen Mischungen der genannten Salze unter verschiedenen Namen in den Handel. Wertvoll ist bei dieser Art des Verkaufes, daß dem Käufer die Erfahrungen der verkaufenden Firma zur Verfügung stehen, obgleich die Lösungen selbst verhältnismäßig billiger einzeln aus dem Chemikalienhandel bezogen werden könnten. Auch Wasserglas wird für die oben genannten Zwecke bisweilen herangezogen. Bei allen diesen Zusätzen ist aber zu bedenken, daß, besonders wenn Natron in den betreffenden Zusätzen vorhanden ist, bisweilen Ausblühungen auftreten, wenn der Beton erhärtet ist.

2. Dichtende Zusätze.

Diese Zusätze, die besonders zur Dichtung dienen, sind entweder Seifen verschiedener Art oder Teeröle oder aber auch Öle organischer Natur, die sich mit dem Kalk des Betons zu Seifen umsetzen sollen. Schmierseife wurde schon vor vielen Jahrzehnten dem Beton zugesetzt, und tatsächlich hat Schmierseife bis zu einem gewissen Grade eine dichtende Wirkung, da der Ölsäurerest die Poren des Betons verstopft und ihn so abdichtet. Schmierseife ist nämlich das Kalisalz verschiedener Ölsäuren, also Kaliumoleat (Seite 84). Beim Zusammentreten mit Kalk bildet sich das schwer lösliche Calciumoleat und Kaliumhydrat wird frei,

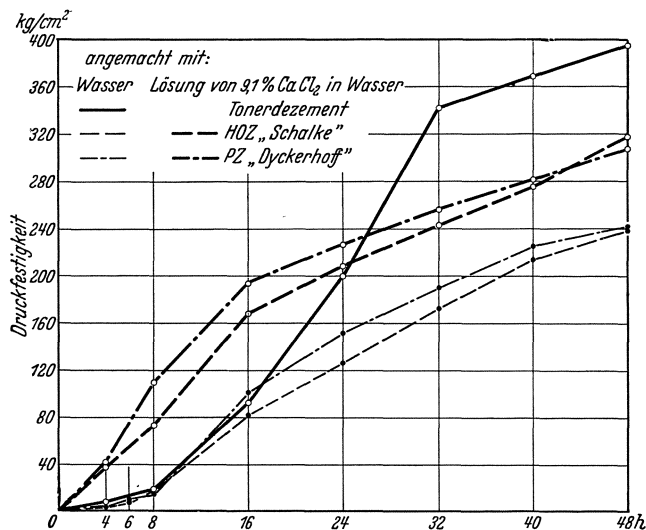


Abb. 43. Zusatz geeigneter Salze zum Anmachwasser erhöhen die Anfangsfestigkeit erheblich.

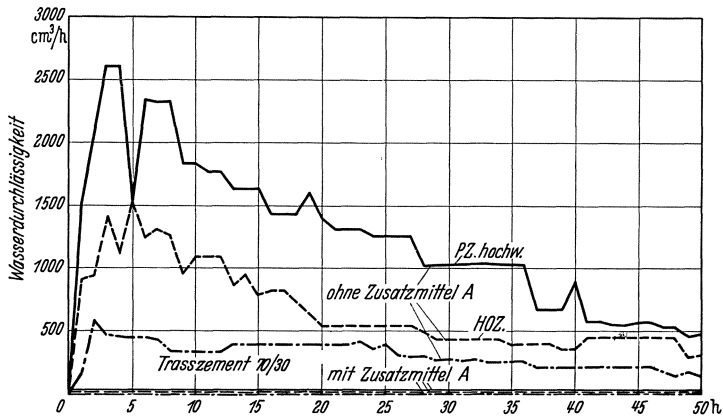
das sich an der Luft karbonisiert zu Kaliumkarbonat (Pottasche). Der wirksamste Bestandteil dieser in den Handel kommenden Zusätze sind diese ölsäuren Salze. Die sich abscheidenden Neubildungen wirken durch Porenfüllung dichtend. Immer muß aber berücksichtigt werden, daß der Zusatz nur imstande ist, dichten Beton noch weiter zu dichten, denn naturgemäß können nur ganz feine Poren verstopft werden.

Aus größeren Poren wird das Calciumoleat u. dgl. ohne weiteres herausgespült. Bei sehr hohem Druck konnte ich beobachten, daß die in der beschriebenen Weise erzielte Dichtung nachließ, offenbar auch infolge Herauslösung der organischen Porenfüllung. Letzten Endes haben also alle diese Dichtungsmittel nur eine zusätzliche Wirkung, die Hauptsache ist immer ein an sich dichter Beton. Einen undichten Beton vermögen die Zusätze auch nicht völlig dicht zu machen.

In ähnlicher Weise wie Seife können Teeröl oder Bitumina, die gegebenenfalls emulgiert sein können, durch das Anmachwasser in den Beton gebracht werden, wo sie sich als porenfüllende organische Substanzen im Beton bisweilen nützlich erweisen. In der letzten Zeit ist besonders die Bitumenemulsion empfohlen worden. Ihr Wesen besteht

darin, daß ein Bitumen in Wasser in ganz feiner Form emulgiert ist. Bitumen löst sich nicht in Wasser. Will man es im Wasser verteilen, so muß man es durch besondere Einrichtungen, beispielsweise durch Schlag- und Rührwerke mit dem Wasser „emulgieren“.

Das einfachste Beispiel einer Emulsion ist die Mayonnaise, welche aus Eigelb, das in Olivenöl u. dgl. emulgiert ist, besteht, und die dadurch erzeugt wird, daß man Öl und Eigelb in ganz kleinen Mengen zusammengibt und dabei intensiv rührt. Emulsionen sind also fein verteilte feste Körper in Wasser oder Öl, demgemäß keine



44. Wirkung dichtender Zusätze. Verhinderung des Wasserdurchtritts durch Betonseiben infolge des Zusatzes eines Dichtungsmittels A. zum Beton bei der Herstellung.

Lösungen. Die Emulsionen „brechen“ leicht, d. h. der feste Körper setzt sich ab und die Emulsionsflüssigkeit bleibt über diesem abgesetzten Körper stehen. Man setzt deshalb den Emulsionen sog. Stabilisatoren zu, um sie beständig zu machen, beispielsweise Ton.

Bei Verarbeitung von „Bitumenemulsion“ ist festzustellen, ob es sich tatsächlich um eine Emulsion handelt, oder ob diese sich bereits abgesetzt hat, mit anderen Worten, ob sie, wie der Fachausdruck heißt, „gebrochen“ ist. Dieses Brechen der Emulsion darf erst im Beton selbst erfolgen, dies bedeutet, daß die Bitumentropfen sich im Beton abscheiden, während das Wasser von dem Zement als Hydratwasser beim Abbinden verbraucht wird. Ausschlaggebend in allen Fällen der Verwendung der Zusätze der beschriebenen Art, ist aber immer Anwendung eines Zuschlagsstoffes mit richtigem Korngrößenverhältnis, genügend hoher Zementgehalt, Anwendung eines guten Zementes und dichte Verarbeitung. Häufig wird angegeben, daß die dichtenden Zusätze auch die Salzwasserbeständigkeit erhöhen. Eine solche Erhöhung ist nicht unwahrscheinlich, da ja dichter Beton beständiger ist als undichter, aber nicht erwiesen.

Die Wirkung eines Dichtungsmittel „A“, das dem Beton mit dem Anmachwasser zugesetzt wurde, zeigt Abb. 44. Während die Betone ohne Zusatz Wasser in beträchtlichen Mengen durchtreten lassen, sind alle Betone mit Zusatz von vorneherein dicht. Bemerkenswert ist die allmähliche „Selbstdichtung“ des Betons, die dessen Wasserdurchlässigkeit im Verlauf von 50 Stunden auf ein Fünftel herabsetzt.

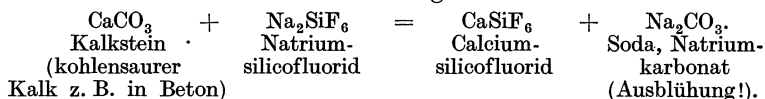
f) Chemie der Behandlungsmittel.

Die wichtigste Nachbehandlungsweise ist die Abdeckung des Betons sofort nach der Herstellung, um Schwindrißbildung zu vermeiden, denn Schwindrisse sind nicht nur häßlich, sondern sie bilden auch die Eingangspforte für schädliche Einwirkungen und Ausgangspunkte für Rißbildung, z. B. bei Betonstraßen. Frisch hergestellter Beton muß deshalb sofort nach der Verfestigung von Zeit zu Zeit benetzt werden. Durchzug ist stets zu vermeiden, Fenster in Neubauten sind also zu schließen, wenn ein frisch gemachter Zementestrich in ihnen liegt. Sehr zu beachten ist, daß zugiges Wetter oder Wind viel stärker austrocknend wirken als die Sonne. Schwindrisse, die durch zu frühe Entziehung des Wassers auftreten, werden deshalb häufig bei Beton beobachtet, der ohne Schutz der geschilderten Austrocknung ausgesetzt ist.

1. Imprägnierung mit Silicofluoriden: Fluatierung.

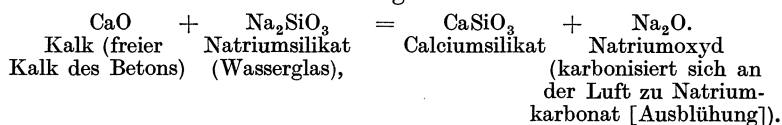
In recht großem Umfange werden für chemische Nachbehandlung des Betons die Fluats verwendet. Diese kommen in den Handel meist als Magnesiumsiliciumfluoride, weiter als Bleisiliciumfluoride usw. Alle diese Fluoride setzen sich beim Aufbringen des Fluorids, welches meist in Wasser gelöst in den Handel kommt und als verhältnismäßig konzentrierte Lösung verwendet wird, mit dem kohlensauren Kalk des Betons um in der Weise, daß die Kohlensäure unter Aufbrausen ausgetrieben wird, da das Fluat freie Säure enthält. Es bildet sich so aus dem kohlensauren Kalk, ebenso wie aus dem freien Kalk des Betons das sehr harte Calciumfluorid, der Erfolg ist eine Härtung der Betonoberfläche, die allerdings nur wenig tief in das Innere reicht. Da auch der freie Kalk bis zu einem gewissen Grade gebunden wird, wirken Fluats etwas erhöhend auf die Salzwasserbeständigkeit des Betons, wenn auch meist diese Wirkung überschätzt wird. Der Hauptvorteil der Fluats liegt in der Härtung der Betonoberfläche. Demgemäß werden sie in Fabrikräumen, um das Stauben zu verhindern, verwendet.

Die Wirkungsweise der Fluats ist nur gegeben bei kalkhaltigen Gesteinen, sei es Naturstein, sei es Beton, da sie die Anwesenheit von Kalk voraussetzt. Die Reaktion nimmt folgenden Verlauf.:



Da Betonoberflächen meist etwas Kohlensäure als kohlensaurer Kalk enthalten, brausen Betonflächen beim Anstreichen mit Fluat auf, da ein Entweichen der Kohlensäure eintritt.

Als Imprägniersilikat kommt gewöhnliches Natronwasserglas, bisweilen auch Kaliwasserglas in Frage. Die Reaktion tritt auch nur ein bei Anwesenheit von Kalk nach folgender Formel:



Wie die Formel zeigt, tritt aus dem Wasserglas Natriumoxyd aus, welches an der Luft in Natriumkarbonat, also in Soda verwandelt wird, das zu Ausblühungen führt. Eine Wässerung der so behandelten Flächen ist deshalb notwendig, um die Soda zu entfernen. Wenig zu Ausblühungen neigt das Kaliwasserglas bzw. Kaliumkarbonat (Pottasche). Es ist deshalb häufig zweckmäßig, um diese Ausblühungen von vornherein zu vermeiden, als Tränkmittel das allerdings teurere Kaliwasserglas zu verarbeiten.

2. Imprägnierung mit Ölen.

Ein wasserabweisendes Tränkmittel ist das sog. Czeremley, welches allerdings auch unter anderem Namen gehandelt wird. Es handelt sich bei dieser Gruppe von Mitteln, die den Beton im Gegensatz zu den Fluaten nicht chemisch verändern, um Paraffine oder Öle u. dgl., welche in Lösungsmittel gelöst sind und nach Verdunstung dieser Lösungsmittel zurückbleiben. Der Beton wird hierdurch eingefettet, das Wasser perlt an ihm herab. Die Wirkung ist deshalb günstig; bei Druck vermögen derartige Ölimprägnierungen den Wasserdurchtritt allerdings nicht zu verhindern. Sie eignen sich mehr zur Behandlung von Schlagwetterseiten gegen Regendurchtritt.

3. Schutzanstrich.

Zur völligen Abschließung des Betons von der Außenwelt dienen die Schutzanstriche. Sie werden einerseits verwendet, um eine allzu rasche Austrocknung des Betons zu verhindern, andererseits, um ihn vor Zerstörung durch aggressive Lösungen zu schützen. Bei der Aufbringung, um die Austrocknung zu verhindern, darf der Anstrich nicht zu früh aufgebracht werden, da er sonst das Schwinden des Betons durch Wasserentziehung sogar ganz im Gegensatz zur beabsichtigten Wirkung erhöht. Beton nimmt nämlich dauernd, auch nach dem Abbinden und Erhärten, noch Wasser auf, da die chemische Reaktion der Hydratisierung der Kalksilikate immer langsam weiter geht, daher auch der sehr lang andauernde langsame Festigkeitsanstieg. Wird der Zement zu früh durch einen Anstrich von der Außenwelt abgeschlossen, so vermag er kein Wasser mehr aufzunehmen und trocknet durch inneren Verbrauch des Wassers aus, wobei er schwindet.

Wichtiger als zur Verhinderung des Schwindens sind die Anstriche zum Abschluß des Betons gegen aggressive Lösungen.

Man unterscheidet zwei Arten von Anstrichen, nämlich solche auf Lösungsmittelbasis, die weitaus die Mehrzahl bilden und Emulsionen. Anstriche auf Lösungsmittelbasis sind Bitumina und Pechе verschiedener Erweichungspunkte, die in Solventnaphtha, Benzol u. dgl. gelöst sind. Zu verlangen ist von diesen Anstrichen, daß sie möglichst schnell austrocknen, wobei aber das Lösungsmittel keinen zu tiefen Zündpunkt haben darf, um die Bildung explosiver Luftlösungsmittelgemische zu verhindern. Stets notwendig ist bei Anwendung derartiger Anstriche, daß

1. der Beton trocken (bei Solventnaphthaanstrichen, nicht bei Emulsionen!) und vollkommen staubfrei ist,

2. der Anstrich sachgemäß und gut aufgebracht wird,

3. die leichte Brennbarkeit und die hiermit verbundene Feuergefahr berücksichtigt wird.

Für die Ausführung des Anstrichs sind geschulte Kräfte heranzuziehen, auch wenn, wie dies bei größeren Bauwerken die Regel ist, im Spritzverfahren gearbeitet wird. Man streicht ja beispielsweise eine Tür, wenn sie besonders gut aussehen soll, auch nicht selbst, sondern überläßt diese Arbeit dem gelernten Anstreicher. Auf Baustellen beobachtet man häufig, daß unerfahrene und ungelernte Arbeiter mit der wichtigen Aufgabe des Anstreichens betraut werden, eine Maßnahme, die man nicht billigen kann, da dann Fehler unvermeidlich sind.

Die Emulsionen (vgl. oben) haben insofern den Vorteil, daß sie, da ja Wasser zu ihrer Herstellung dient, auch auf feuchtem Beton aufgebracht werden können. Die so entstandene Bitumenhaut ist aber stets etwas wasserhaltig und quillt leicht wieder auf.

Ein leichtes Klebrigbleiben all dieser Anstriche ist im allgemeinen ohne Bedeutung, wenn die Bitumina und Pecher in sich richtig abgestuft sind, so daß der fertige Anstrich weder zu spröde, also zu schlagempfindlich, noch zu weich, also zu druckempfindlich ist. Eine dauernde Prüfung der Anstriche ist am Platze. Da Normen nicht bestehen, also ein Zurückgreifen auf diese nicht möglich ist, sei auf ein einfaches Prüfverfahren im nachfolgenden verwiesen, dessen Durchführung ich empfehle in Fällen, in denen man sich über die Qualität eines Anstriches unterrichten will. Grün: Über die Prüfung und ein Prüfverfahren von Betonschutzanstrichen. Toni 1927, Nr. 70. — Zerstörung von Beton und Betonschutz durch Anstriche. Toni 1929, Nr. 19, 39 und 40. — Schutz von Beton im Meerwasser. Toni 1935, Nr. 96ff.

Sorgfältig aufgebrachte Schutzanstriche haben nach umfangreichen Versuchen die Lebensdauer des Betons auch gegen aggressive Lösungen bedeutend verlängert. Sie gehen zwar im Laufe der Zeit naturgemäß zugrunde, immerhin schützen sie den Beton im Anfang seines Bestehens. Das Erhärten des Betons ist ja nicht abgeschlossen mit seiner Erstarrung, sondern, wie die dauernd steigenden Druckfestigkeiten beweisen, setzen sich die inneren Umlagerungen immer weiter fort, selbst dann, wenn wesentliche Druckfestigkeitssteigerungen nicht mehr beobachtet werden. Mit allmählicher Erreichung eines gewissen inneren Gleichgewichts steigt die Beständigkeit des Betons gegen aggressive Lösungen, besonders dann, wenn er an der Luft lagert, da in solchen Fällen auch noch Karbonisierung eintritt, also Bindung des freien Kalkes in den gegen aggressive Salzlösungen unempfindlichen kohlen-sauren Kalk. Infolgedessen wird ein Beton, der erst nach Jahren, also nach allmählicher Zerstörung des Schutzanstrichs den aggressiven Lösungen preisgegeben wird, höhere Widerstandsfähigkeit haben als nicht geschützter. Daraus sind folgende Lehren zu ziehen:

1. lange Lagerung des Betons an der Luft zur Herbeiführung einer weitgehenden Karbonisierung,

2. Anstrich des Betons erst nach längerer Lagerung, also nicht sofort nach der Herstellung, sondern kurz vor der Zulassung der aggressiven Wässer,

3. der Anstrich muß dreimal aufgebracht werden: einmaliger Anstrich ist nutzlos, zweimaliger Anstrich ist besser, erst dreimaliger Anstrich dichtet vollkommen (Abb. 45).

In besonders schweren Fällen, also bei sehr hoher Aggressivität in strömendem Wasser od. dgl. ist Umklebung mit Bitumenpappe, am besten

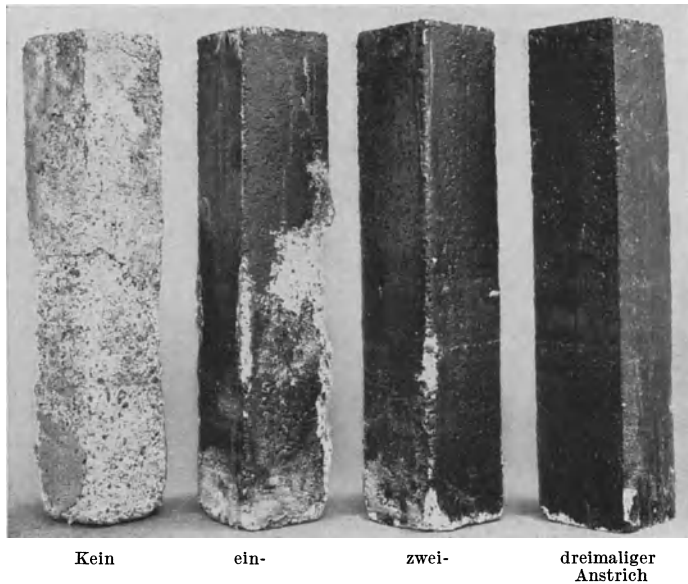


Abb. 45. Verschieden schützende Wirkung von ein bis dreimal aufgebrachtem Schutzanstrich. Durch die Aufbringung des Schutzanstrichs ist der Beton vor dem Zutritt der schädlichen Lösung bewahrt, seine Lebensdauer infolgedessen stark verlängert (7 Jahre Lagerung in Magnesiumsulfatlösung). Grün: Der Schutz von Beton durch Überzüge, Teer und Bitumen 1940, Heft 9.



Abb. 46. Zerstörung von Beton hinter Ziegelsteinverblendung in einer Schleuse durch Meerwasser. Die Verblendung hält naturgemäß auf längere Zeit nicht dicht. Der Beton war mit Rücksicht auf die Verblendung fälschlicherweise porös hergestellt und wurde durch das Sulfat zum Treiben gebracht. Die Raumvergrößerung führte zu Aufbauchung des Mauerwerks. Die Zerstörung des Betons wurde also durch die Verblendung nicht verhindert, sondern nur verborgen. Man arbeitet deshalb heutzutage ohne Verblendung.

doppelt mit Überlappung der Stoßstellen (10 cm), anzuwenden. Einfache Ummauerung mit Klinker genügt nicht, da hierbei keine Dichtigkeit erreicht wird und der Beton hinter dem Mauerwerk zugrunde geht (Abb. 46). Neuerdings nimmt man an Stelle der Pappe auch Metallbahnen, also sehr dünne Metallfolien, welche bisweilen aus in Bitumen eingebettetem Blei, Kupfer oder Leichtmetall, häufig mit oxydierten Oberflächen bestehen.



Abb. 47. Schutz von Beton oder Mauerwerk gegen Feuchtigkeitszutritt durch Überzug mit Bitumenpappe oder Metall, im vorliegenden Falle Metallfolien.

Bei Leichtmetall wird die Oxydschicht durch Behandlung des Metalls mit heißer Lösung von Chromat durchgeführt und auf die Weise eine widerstandsfähige Oxydhaut von Aluminium und Chrom gebildet, welche ein Kleben des Metalls erleichtert. Das Kleben wird durchgeführt mit heißer Bitumenmasse, die Rolle selbst wird in 30—40 m Länge, bei 60 cm Breite, geliefert. Auf diese Weise wurde beispielsweise die Ursel-

bachtal-Brücke, die Franzosenschlucht-Brücke, das Krafthaus Sorpetalsperre und andere Bauwerke gedichtet¹ (Abb. 47).

Die Frage, welcher Schutz herangezogen werden soll, vermag nur der Spezialist zu beantworten, da Art der aggressiven Lösung, Art der Einwirkung, Art des umgebenden Erdreichs usw. berücksichtigt werden müssen.

g) Chemie der Zuschlagsstoffe.

Bei der Besprechung der Zuschläge kann hier nur die chemische Seite berücksichtigt werden. Bezüglich Festigkeit, Korngröße, Kornform, Kornfläche sei auf die entsprechenden Ausführungen (S. 13 u. 63) und die Fachliteratur verwiesen². Hier interessieren nur

1. die chemische Zusammensetzung der Zuschläge, und
2. die Verunreinigungen.

1. Chemische Zusammensetzung.

Die chemische Zusammensetzung der Zuschläge spielt gegenüber Kornform, Porosität u. dgl. eine untergeordnete Rolle. Alle Gesteine, die in der Natur vorkommen, sind für Beton verwendbar, wenn sie nur genügend Festigkeit und Dichte besitzen. Sehr häufig wird merkwürdigerweise kohlenaurer Kalk für Bauten, die aggressiven Lösungen ausgesetzt

¹ Näheres siehe Vereinigte Deutsche Metallwerke A.-G., Frankfurt (Main)-Heddernheim über Heku-Abdichtung im Selbstverlag.

² Grün: So macht man guten Beton. Berlin 1941. — Graf: Der Auf des Mörtels und des Betons. Berlin 1930. — Hummel: Das Beton-ABC. Berlin 1939.

werden sollen, untersagt. Dieses Verbot ist falsch, denn es ist wohl zu unterscheiden, zwischen der verschiedenen Art der aggressiven Lösungen. Kommen neutrale Salze, wie beispielsweise das schädliche Magnesiumsulfat im Meerwasser u. dgl. in Frage (S. 80), so ist kohlenaurer Kalk, wenn er dicht und fest ist, ein ausgezeichnet brauchbarer Zuschlagsstoff, denn er kann von diesen Lösungen nicht angegriffen werden. Bei Einwirkung starker Säuren wird natürlich der kohlenaurer Kalk aufgelöst. In einem solchen Falle löst sich aber auch naturgemäß der Zement, denn einen säurefesten Zement gibt es nicht; glücklicherweise kommen ja freie Säuren in der Natur nur in ganz geringem Umfange vor. Bei Versuchen im Presseler Moor hat sich gezeigt, daß in Betonplatten, die auf Vorschlag des Verfassers hergestellt waren aus Zement mit kohlenaurer Kalk als Zuschlag, sich der Zementleim, also der Mörtelanteil besser verhielt als mit Quarzkies als Zuschlag, und zwar deshalb, weil der kohlenaurer Kalk des Zuschlags die in diesem Moor in großen Mengen vorhandene Säure neutralisierte und so den Zement schützte. Der Zement blieb in Stegen zwischen den wenig aufgelösten Kalksteinen stehen. Der Kalkstein hat somit den Beton geschützt durch Neutralisation der in dem Wasser vorhandenen freien Säure.

Gipsgehalt im Zuschlag ist stets dann schädlich, wenn ein gewisser Prozentsatz überschritten wird. Gips kommt selten in natürlichem Zuschlag vor, vermag aber, wenn er vorkommt, den Zement zum Treiben zu bringen und hat tatsächlich schon zur Betonzerstörung geführt. In Zweifelsfällen ist also eine Sulfatbestimmung für den Zuschlag am Platze. Kohlenschlacke ist stets gipshaltig. Bei Herstellung von Kohlenschlackebeton muß also die Höhe des Gipsgehaltes bestimmt werden. Zuschläge mit zu hohem Gipsgehalt sind auszuschalten. Eine Verminderung des Gipsgehaltes vermag man herbeizuführen durch Auslaugen der Zuschläge, also durch Liegenlassen in nicht zu dicken Schichten im Regen, eine Arbeitsweise, die bei Posidonien-schieferschlacke bisweilen angewendet wird.

Sulfidgehalt des Zuschlags kommt vor in der Hochofenschlacke. Sulfid ist unbedenklich, Treiberscheinungen wurden bis jetzt trotz hohem Sulfidgehalt noch nicht beobachtet. Die Hochofenschlacke ist deshalb als Betonzuschlag zugelassen, in seltenen Fällen gibt es Hochofenschlacken, die zum Zerfall neigen. Solche zum Zerfall neigende Hochofenschlacken müssen als Betonzuschlag ausgeschieden werden¹.

2. Verfestigung mürben Betons oder des Untergrundes.

Von besonderem Interesse für den modernen Baufachmann ist die Verfestigung, und zwar sowohl alter bestehender Bauwerke, als auch die Bodenverfestigung, die durchgeführt wird, um hohe Tragfähigkeit für den Boden zu erreichen. Dazu kommt noch die zeitweilige Verfestigung durch Frost.

Zeitweilige Verfestigung. Am längsten angewendet wird die Verfestigung für Schwemmsand, dadurch, daß man denselben gefrieren läßt. Dieses Verfahren hat große Bedeutung bei der Abteufung von

¹ Vgl. S. 64 (Anmerkung).

Schächten. Bei diesem Gefrierverfahren werden um den zukünftigen Schacht U-förmige Eisenrohre senkrecht mehrere 100 m tief eingetrieben, mit der Krümmung nach unten, und durch diese Rohre wird dann eine tiefgekühlte Lauge mehrere Monate hindurchgepumpt. Das lose Gebirge gefriert hierbei völlig zu einem festen Klotz, und der

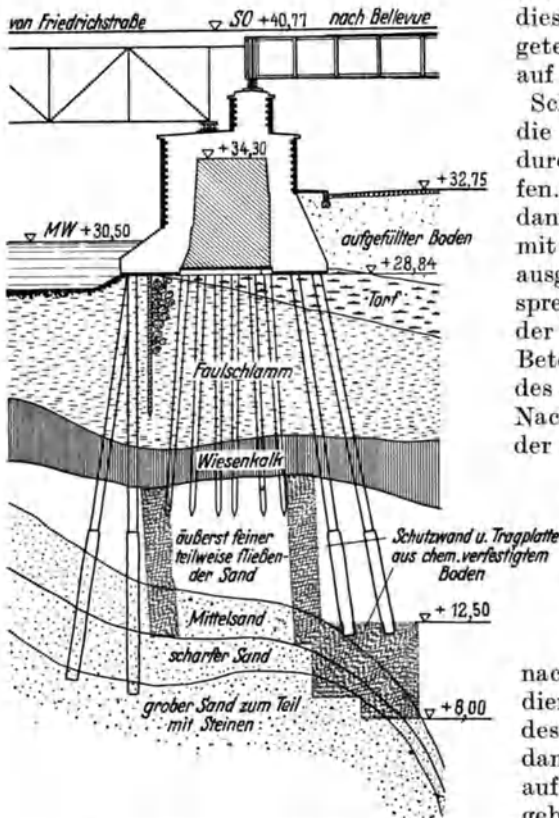


Abb. 48. Verfestigung und Dichtung von Boden nach dem Verfahren von Joosten durch Erzeugung einer Schicht gallertartiger Kieselsäure im Sand.

Calciumchlorid in den Boden in ziemlich konzentrierten Lösungen nacheinander eingepreßt werden. Aus dem Wasserglas scheidet sich unter Einwirkung des Calciumchlorids bei Zusammentritt der beiden Lösungen Kieselsäure gallertartig ab, die den Schwemmsand u. dgl. wasserunlöslich verkittet. Die Tragfähigkeit des Bodens wird hierdurch sehr stark erhöht.

¹ Grün: Untersuchungen über den Abbindeverlauf und die Erhärtung von Beton in Gefrierschächten. Zement 1928. Nr. 37ff.

² Mast: Die Entwicklung des chemischen Bodenverfestigungsverfahrens nach Dr. Joosten in zehnjähriger Praxis. Beton und Eisen 1938. S. 225.

Schacht kann dann in diesem festen Klotz abgeteuft werden. Man kann auf diese Weise durch Schwemmsandschichten, die sonst gar nicht zu durchstoßen sind, abteufen. Der Schacht wird dann mit Tübbings oder mit Beton oder Mauerwerk ausgekleidet unter entsprechender Anwärmung der Zuschlagsstoffe des Betons, um ein Festwerden des Zements zu erzwingen. Nach der Erhärtung wird der Schacht aufgetaut¹.

Dauernde Verfestigung. Eine chemische Verfestigung ist das schon lange in Kali-bergwerken mit Erfolg angewendete Bodenverfestigungsverfahren nach Joosten². Dieses dient zur Verfestigung des Bodens, hauptsächlich dann, wenn Fundamente auf diesen Boden aufgebracht werden sollen. Es wird in der Weise durchgeführt, daß Wasserglas (Natriumsilikat) und

Bei Schächten arbeitet man grundsätzlich bei Undichtigkeiten in ähnlicher Weise oder aber auch durch Einpressen von Zementmilch. Dieses Zementeinpreßverfahren hat große Bedeutung gewonnen bei der Abdichtung von Naturgesteinen, die klüftig sind, deren Dichtung ist besonders erforderlich bei Talsperren, um Wasserdurchpressung zu verhindern. Gearbeitet wird unter hohem Druck von vielen Atmosphären, eingepreßt wird dünnflüssiger Zementbrei. Im Gebirge erhärtet dann der Zement steinartig. Auch für beschädigte Mauerwerke und Betonteile oder zu deren Verstärkung oder Abdichtung hat dieses Verfahren schon zu guten Erfolgen geführt. Von dem Joostenschen Verfahren unterscheidet es sich dadurch, daß die Verfestigung von den Kalksilikathydraten des Zements ausgeht, die hohe Festigkeiten erreichen, während bei Wassergläseinpressung nur weniger feste Kieselsäurehydrate entstehen (vgl. Abb. 48)¹.

III. Kunststeine.

Kunststeine sind Bausteine oder Steinmassen, welche aus einem ursprünglich weichen, formbaren Stoff durch steinartige Erhärtung entstehen. Diese steinartige Erhärtung wird hervorgerufen durch chemische oder physikalische Veränderung, denen man die weichen formbaren Stoffe unterwirft. Sie können hervorgerufen werden entweder

1. durch Brennen, also durch Wasseraustreibung, oder
2. durch Wasserhinzufügung, also durch Wasseranlagerung.

1. Die Herstellung durch Wasseraustreibung und Sinterung ist schon seit vielen Jahrzehntausenden bekannt. Sie wird durchgeführt zur Härtung von Formlingen, die aus Lehm hergestellt sind, durch Brennen bei hohen Temperaturen und ergibt die altbekannten Ziegelsteine, oder bei noch höheren Temperaturen Klinker, Fliesen, porzellanartige Erzeugnisse u. dgl. Alle diese Steine werden im Sprachgebrauch nicht Kunststeine genannt, obgleich sie auf künstlichem Weg hergestellt sind. Sie sind dagegen unter dem Namen „Backsteine“, „Ziegelsteine“ (von lat. Tegula) jedem geläufig. Sie sind im Kap. IV S. 105 besprochen.

2. Steigende Bedeutung gewinnen in letzter Zeit diejenigen Steine, welche durch Anlagerung von Wasser an Mineralstoffe, welche dieses dann aufnehmen, entstehen. Auch hier spielt das Feuer, also die Hitze, eine ausschlaggebende Rolle, aber nicht zur Härtung der Steine, sondern um die Rohstoffe in reaktionsfähige Form überzuführen. Den Rohstoffen wird also gewaltsam Wasser, auch Kohlensäure entzogen und sie werden

¹ Das Joostensche Verfahren eignet sich auch für die Verstärkung und Tieferführung von Fundamenten und dergleichen, vgl. Krüger: Über die Haltbarkeit chemischer Bodenverfestigung, Zbl. Bauverw. 1937, Heft 39. — Dietz: Künstliche Sandverkiesselung, Z. prakt. Geol. 1933, Heft 4. — Mast: Pfeilerverstärkung mit nachträglicher Tiefgründung an der Reichsbahnbrücke über den Humboldthafen in Berlin, Bauing. 1934, Heft 33/34. — Mast: Die Entwicklung des Joostenschen Bodenverfestigungsverfahrens in zehnjähriger Praxis, Bautechn. 1938, Heft 21.

dann auf diese Weise zu Bindemitteln, die Wasserzufügung findet auf der Baustelle statt. Es gehören hierher: Gips, Kalk, Zement, Magnesit u. dgl.

Die Kunststeine kann man einteilen in zwei große Gruppen, in

- a) die nichtwasserbeständigen und
- b) wasserbeständigen.

a) Nichtwasserbeständige Kunststeine.

Bei den nichtwasserbeständigen Kunststeinen dienen als Bindemittel

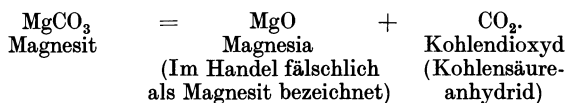
- 1. Gips,
- 2. Magnesit.

1. Gips als Bindemittel.

Mit Gips als Bindemittel werden in der Hauptsache die weitbekannten Gipsdielen hergestellt. Um die Beständigkeit dieser Gipsdielen gegen Bruch zu erhöhen, armiert man sie häufig mit Holzlatten, Schilf u. dgl. mit gutem Erfolg. Gipsdielen sind nagelbar, gut wärmehaltend, aber nicht wasserbeständig, denn da Gips sich in Wasser löst, „faulen“ Kunststeine aus Gips leicht, d. h. sie erweichen und zerbrechen. Man kann allerdings ihre Wasserbeständigkeit erhöhen, indem man dem Gips vor oder nach dem Brennen Alaun zusetzt oder die Gipsdielen entsprechend tränkt. Eine völlige Wasserbeständigkeit wird aber nicht erreicht. Deshalb ist es zweckmäßig, Gipsdielen nur in solchen Räumen zu verwenden, die nicht dauernder Nässe ausgesetzt sind. Verwendet wird für die Herstellung der Gipsdielen nur Stuckgips, da allein dieser zu einem wärmehaltenden Erzeugnis erstarrt (über die Erhärtung des Gipses als Bindemittel ist das Notwendige auf S. 41 gesagt). Estrichgips wird nur bisweilen für Platten verarbeitet, da er sehr langsam erhärtet. Er spielt deshalb als Rohstoff für Kunststeine eine nur untergeordnete Rolle, zumal er sich nicht zu einem wärmehaltenden Gestein verfestigt.

2. Magnesit als Bindemittel (Steinholz).

Von den magnesithaltigen Bindemitteln ist das wichtigste der gewöhnliche Magnesit. Es ist dies Magnesiumkarbonat, welches bis zu fast völliger Entweichung der Kohlensäure gebrannt wird nach folgender Formel:



Der so gebrannte Magnesit (MgO) nimmt unter Einwirkung von Magnesiumchloridlauge beim Erhärten wieder Wasser auf und wird zum Magnesiumhydroxyd. Gleichzeitig bilden sich Magnesiumoxychloride. Wasser allein als Anmachflüssigkeit führt zu nur so langsamer Erhärtung, daß man es im praktischen Betrieb nicht brauchen kann. Statt des Magnesiumchlorids kann man auch Magnesiumsulfat hinzufügen. Dieses zieht man häufig vor, da magnesiumchloridhaltige Erzeugnisse leicht Eisen zum Rosten bringen.

Magnesiumsulfat als Anmachflüssigkeit bringt aber geringere Festigkeiten als das Chlorid; mit ihm hergestellte Körper bedürfen meist nachträglicher Erhitzung.

Derartige Magnesitbindemittel heißen auch Sorelzemente, weil sie vor ungefähr 100 Jahren von dem französischen Professor Sorel erfunden wurden. Sorelzemente haben eine erhebliche Bedeutung zur Herstellung von Estrich, Dielen, Platten u. dgl. Der Träger der Erhärtung im Sorelzement ist Magnesiumoxyd, das man fälschlicherweise aber ganz allgemein Magnesit nennt.

Als Zuschlag dienen Holzspäne, Holzmehl, Abfälle der Papierfabrikation, Leder- und Textilindustrie u. dgl. Der Vorzug des Sorelzements ist, daß der erhärtende Magnesit alle möglichen organischen Substanzen, die Zement nicht zu binden vermag, steinartig verkitten kann, daß also auf diese Weise durch Einbettung entsprechender Zuschläge wärmehaltende Fußböden hergestellt werden können. Eine wichtige Anwendungsart des Sorelzements ist die Verkittung von Holzschliff, Holzwole u. dgl. zu den bekannten Heraklithplatten. Hierbei wird als Lauge nicht Magnesiumchlorid, wie bei Steinholz, sondern Magnesiumsulfat herangezogen. Das Material erhält in Bandformmaschinen Plattenform. Der endlose Plattenstrang wandert langsam unter erhöhter Temperatur (Heißdampfverfahren bis zu 600° C) durch die Maschine und verläßt diese als fertige Platte. Die Heraklithplatten haben große Verbreitung gefunden zur Verkleidung von Häusern, hauptsächlich in Innenräumen, zur Herstellung von Ausstellungshallen und für Zwischenböden. Da sie recht gut aussehen, können sie auch ohne Verputz verwendet werden.

(Mit Zement als Bindemittel kann man in gleicher Weise arbeiten, wenn man die Holzwole entsprechend vorbereitet. Diese Vorbereitung besteht meist in Tränkung des Holzes mit Wasserglas, wobei nicht zu viel Wasserglas genommen werden darf, um Ausblühungen zu verhindern.)

Weitere Kunststeinplatten werden in gepreßter Form mit Abfällen von Holz, bisweilen auch mit Sand als Zusatz in den Handel gebracht. Sie werden stets in Fabriken hergestellt und meistens noch poliert und gebohrt. Bei zweckmäßiger Herstellung ist ihr Wärmehaltungsvermögen gut, ihre Elastizität und ihre Druckfestigkeit bedeutend. Da sie sehr dicht sind, häufig auch noch mit Bohnerwachs u. dgl. behandelt werden, weisen sie eine sehr hohe Wasserbeständigkeit auf und können für viele Wohn- und Fabrikräume benutzt werden, zumal sie nicht stauben und schalldämpfend sind. Aus Badezimmer und dergleichen Räumen sind sie fern zu halten.

Für den Bauingenieur ist es wichtig zu wissen, daß bei Heranziehung von Steinholz zwei Maßnahmen getroffen werden müssen, nämlich

1. die Unterlage muß fest und dicht sein, damit das Steinholz gut haften kann, da es sonst Risse bekommt,

2. alle Eisenteile, die mit der Masse in Berührung kommen, sind zu schützen, ebenso der Putz. Es kann sonst geschehen, daß die Eisen rosten und daß im Putz Magnesiumchloridlauge hochsteigt und dann zu Ausblühungen führt. Die Einlagerung ungeschützter Eisen führt stets zu Rosterscheinungen. Ein Bitumenanstrich oder eine starke Überdeckung (3 cm) mit dichtem Beton ist deshalb zu fordern¹.

Fertige Kunststeinplatten sind natürlich bei weitem nicht so gefährlich wie die auf der Baustelle hergestellte Masse (Estrich). Sie werden entweder hergestellt durch Einstreichen der Steinholzmasse in Formen, wobei Holzabfälle u. dgl. genau wie beim gewöhnlichen Steinholz verwendet werden, oder durch Einpressen. Die Festigkeiten, die sie erreichen, sind sehr hoch.

b) Wasserbeständige Kunststeine.

Bei diesen dienen als Bindemittel entweder Kalk oder Zement.

¹ Vgl. Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 9, S. 614, Kapitel „Steinholz“.

1. Kalk als Bindemittel.

Kalk als Bindemittel wurde früher sehr viel benutzt zur Herstellung von Schwemmsteinen (s. unten unter β). Auch heute noch zieht man zu diesem Zwecke heran, setzt allerdings stets Zement hinzu, um die Erhärtung zu beschleunigen.

α) Kalksandsteine. Ohne Zementzusatz werden heute nur noch die sog. Kalksandsteine hergestellt. Ihre Erhärtung beruht auf der Umwandlung des Kalkes mit der Kieselsäure des Sandes. Man stellt sie her aus gelöschtem Kalk durch Mischen des Kalkes mit Sand, Pressen des schgutes und Erhitzung der Rohlinge in gespanntem Wasserdampf. Die Erhitzung nimmt man in Härtekesseln vor bei 8—12 atü, also bei Temperaturen, die weit über 100° liegen. Hierbei bilden sich Kalksilikate, also Salze des Kalkes mit der Kieselsäure des Sandes. Die Erhärtung nelt also der des Zementes. Infolgedessen sind die Steine wasserständig. Bei richtiger Herstellung, also bei nicht zu dichter Beschaffenheit und genügender Härtung, haben sie ähnliche Eigenschaften wie wöhnliche Ziegelsteine.

β) Bimssteine. Bimssteine haben als Rohmaterial entweder natürlichen oder künstlichen Bims. Naturbims kommt nur im Rheinland, in allerdings großen Mengen vor und ist entstanden aus glühendflüssiger Lava. Der Vorgang, der zur Aufblähung des Bimses führte, ist folgender.

Im Berg stand eine Gesteinsschmelze, die mit Gasen, vor allen Dingen Kohlensäure gesättigt war, welche also das Gas gelöst hatte, unter hohem Druck. Bei einer durch ein Erdbeben oder Eindringen von Wasser hervorgerufenen Explosion wurde dieser hohe Druck plötzlich aufgehoben und die glühendflüssige Masse in die Luft geschleudert. Nun vermag nach physikalischen Gesetzen eine Flüssigkeit um so weniger Gas aufzulösen, je geringer der Druck ist, unter dem sie steht. Auf Grund dieser Tatsache blüht das gelöste Gas bei der durch die Eruption hervorgerufenen Aufhebung des Druckes plötzlich, da die Flüssigkeit, die Lava, es nicht mehr lösen zu halten vermochte. Dabei blähte sich die Gesteinsmasse auf und starnte in der Luft bei der starken Abkühlung in dieser aufgeblähten Form als Gesteinsschaum. Der so entstandene Bims bedeckt das ganze Rheintal in 2—3 m hohen Schichten. Der Vorgang ist zu vergleichen mit dem Bilden von Schaum beim Öffnen einer Bierflasche. Man denke sich den Schaum plötzlich gefroren, das Eis würde dann eine ähnlich gefügte Masse darstellen wie der Gesteinsschaum des Bimses.

Hochofenbims oder Schaumslagge wird in ähnlicher Weise hergestellt. Als Rohmaterial dient glühendflüssige Hochofenschlacke, der an wenig Wasser zugefügt. Der plötzlich entstehende Wasserdampf bläht bei seiner Entstehung die Schlacke auf, und in diesem Zustand starnt sie¹.

Als Bindemittel diente früher bei der Verkittung des Bimses zu einem Kalkhydrat. Es fand dann bei langsamer Erhärtung zwischen

¹ Die Gesamtmenge Hüttenbims, die im letzten Jahre angefallen ist, beträgt nach Angabe der „Arbeitsgemeinschaft zur Erforschung von Leichtbeton“ 250 000 cbm. Vielfach ist diese Zahl noch im Steigen begriffen.

Kalk und Bimsstein bzw. Hochofenschlacke eine Wechselwirkung statt, die zur Erhärtung unter Bildung von Kalksilikaten führte. Da dieser Erhärtungsvorgang nur sehr langsam vonstatten geht und ein sehr langes Lagern der Steine bedingt, fügt man heutzutage Zement hinzu.

2. Zement als Bindemittel.

Zement dient als Bindemittel bei Herstellung all der Erzeugnisse, die man gemeinhin Kunststeine u. dgl. nennt.

α) Kunststeine im allgemeinen. Für die Kunststeine im allgemeinen gibt es zahlreiche Bezeichnungen. Betonstein, Zementsteine usw. Die Werke, in denen sie hergestellt werden, nennt man Betonwerke. Diese eigentlichen „Kunststeine“ finden als Rohre, Masten, Betonstufen, Platten u. dgl. eine ausgedehnte Verwendung. Letztere werden bisweilen mit einer Glasur (Kaltglasur) versehen, die ihnen das Aussehen von keramischen Platten gibt. Wichtig ist für die Widerstandsfähigkeit die Verdichtung, die durch Stampfen, Rütteln oder Schleudern vorgenommen wird. Je besser die Verdichtung, desto höher die Widerstandsfähigkeit gegen Druck und chemische Einflüsse. Als Zuschlag dienen je nach dem Zweck, den man verfolgt, entweder gemischtkörnige Sande, es entstehen dann dichte Erzeugnisse, oder aber grobkörnige Kiese für Drainrohre u. dgl. Verdichtet wird entweder durch Stampfen oder durch Pressen, bei Rohren u. dgl. und durch Schleudern. Durch Eiseneinlagen kann die Widerstandsfähigkeit erhöht werden, so daß geschleuderte Zementrohre aus eisenbewehrten Kunststeinen sehr hohen Druck auszuhalten vermögen.

β) Pfähle. Auch Pfähle werden in dieser Weise hergestellt. Die für den Bauingenieur besonders wichtigen Pfähle zerfallen in die sog. Rammpfähle, die in der Betonwarenfabrik hergestellt werden und zu verarbeiten sind wie Rammpfähle aus Holz oder Spundwände, und in die sog. Ortpfähle, bei welchen man ein Loch in den Boden bohrt, das dann mit Betonmasse ausgestampft wird¹.

Schutz von Betonpfählen gegen aggressive Einflüsse hat man schon dadurch versucht, daß man sie entweder mit Bitumen umkleidete, oder die Rammpfähle einfach anstrich. Das Verfahren hat eine Bedeutung in solchen Böden in denen der Anstrich erhalten bleibt. In vielen Fällen reibt sich dieser Anstrich beim Rammen selbst ab. Ein Versuch mit einem Betonpfahl ist deshalb anzuregen. Meist wird aber ein Anstrich gar nicht notwendig sein, wenn die Pfähle mit geeignetem Zement sehr dicht hergestellt sind und vor allen Dingen lange lagerten, ist kaum eine wesentliche Einwirkung aggressiver Lösungen zu erwarten, zumal sich das Erdreich um die Pfähle ja beim Rammen stark verdichtet. Bei Ortpfählen spielt gleichfalls diese Verdichtung häufig eine Rolle, beispielsweise bei Frankpfählen, deren Beton bei zweckmäßiger Arbeitsweise so dicht wird, daß er nur noch eine Wasseraufnahme von 1—2 % aufweist bei gleichzeitiger starker Verdichtung des Bodens. Gearbeitet wird bei diesen und ähnlichen Pfählen so, daß man den Beton durch

¹ Vgl. Grün: Neuzeitliche Betonpfahlgründung. Z. VDI 1934, S. 663.

Druck z. B. starkes Stampfen, in den Boden preßt, so daß der Boden verdrängt und durch Beton ersetzt wird.

Eine andere Sorte von Ortpfählen wird in der Weise hergestellt, daß man das Erdreich herausbohrt und das entstehende Loch mit Beton füllt. Der Vorteil dieser Arbeitsweise ist, daß Erschütterungen wie bei den Ramppfählen oder bei Frankipfählen nicht entstehen. Häufig gibt man diesen Pfählen noch einen verbreiterten Fuß, beispielsweise Lorenz Betonbohrpfählen, um die Tragfähigkeit zu erhöhen.

c) Fußböden.

An Ort und Stelle werden auch die sog. Terrazzoböden hergestellt die aus Kalkstein und ähnlichen weichen Steinen verschiedener ziemlich grober Körnung und wechselnder Färbung bestehen, die man mit Zement bindet. Sie werden genau wie ein gewöhnlicher Zementestrich gestampft, nach der Erhärtung aber abgeschliffen, so daß das Korninnere zutage tritt und die bekannten, gesprenkelt aussehenden Terrazzoböden bildet. Bei Herstellung von Terrazzoböden muß man darauf achten, daß nicht zu große Flächen hergestellt werden, da sonst sehr häßliche Risse infolge des Schwindens eintreten. Säurebeständig sind Terrazzoböden nicht, eignen sich also nicht für Betriebe, in denen mit Säuren, wenn es auch nur schwache Säuren sind, gearbeitet wird, da nicht bloß der Zement durch die Säure zerstört wird, sondern auch die Zuschlagsstoffe.

In die Oberfläche von Fußböden, Treppenstufen u. dgl. werden häufig Hartzuschläge eingebracht, um die Abnutzung des Betons herabzusetzen. Allgemein bekannt ist grob gekörntes, also gebrochenes Gußeisen oder Gußstahl. Dem fertigen Erzeugnis hat man früher den Namen „Stahlbeton“ gegeben, ein Ausdruck, von dem man in letzter Zeit abgekommen ist, da neuerdings der bisher Eisenbeton genannte bewehrte Beton „Stahlbeton“ heißen soll. Der Zuschlag von Stahlkörnern setzt tatsächlich weitgehend die Abnutzbarkeit des Betons herab; bisweilen werden aber die so hergestellten Betonoberflächen, z. B. Treppenstufen auf Bahnhöfen, im Gebrauch sehr glatt. Man setzt deshalb auch Kunstkorund hinzu, der die Eigenschaft hat, bei überaus großer Härte nicht glatt zu werden. Kunstkorunde sind Massen, die aus geschmolzenem Aluminiumoxyd bestehen und die in ihren Eigenschaften dem natürlichen Korund ähnlich sind. Das Aluminiumoxyd wird hergestellt aus Bauxit durch Schmelzen auf elektrischem Weg. Der Preis wird bestimmt durch den Preis des elektrischen Stromes; deshalb entstehen die entsprechenden Industrien überall da, wo dieser Strom billig zur Verfügung steht. Um eine Entstehung von Aluminium zu verhindern, arbeitet man mit Wechselstrom von über 100 V und großer Stromdichte von mehreren 1000 Amp. im elektrischen Lichtbogen.

d) Putze.

Edelputze und Steinputze, die heutzutage viel verwendet werden, gehören gewissermaßen auch zu den Kunststeinen. Sie bestehen aus Zement mit etwas Kalkzusatz, als Steinkörnung nimmt man solche

Steine, die möglichst schön aussehen. Wichtig ist bei ihnen, daß man sowohl Zuschlagsstoffe als auch Bindemittel und Farben nimmt, die nicht zu Ausblühungen neigen. Man versichere sich also stets, daß das Putzmaterial keinen zu hohen Sulfat- und Alkaligehalt hat, da sonst entweder Ausblühungen oder sogar Treiben im fertigen Putz auftritt.

e) Gegossene Steine.

Gegossene Steine werden entweder hergestellt aus Kupferschlacke, Basalt oder aus Hochofenschlacke. Am bekanntesten sind die in Mansfeld aus Kupferschlacke gegossenen Pflastersteine. Wichtig ist die Tempering, d. h. langsame Abkühlung, um gute Kristallisation und dichtes



Abb. 49. Porenbeton. Das Bild zeigt die gleiche Zementmenge einmal als Purzement angemacht wie Mörtel (links), das andere Mal aufgebläht durch Gase (rechts): Die größere Leichtigkeit des Porenbetons erhöht auch seine Wärmehaltung infolge Gasgehalts.

Gefüge bei gleichzeitigem Spannungsausgleich zu erzwingen. Schlecht getemperte Steine springen, werden glasig, oder in der Struktur zu feinkristallin und infolgedessen glatt im Gebrauch. Hochofenschlacke als Rohstoff ist in gleicher Weise verwendbar. Für sie gilt das gleiche wie für die Mansfelder Schlacke. Ebenso kann man Basalt heranziehen, der ein besonders dichtes Gefüge ergibt¹.

f) Zementleichtsteine.

Leichtes Gefüge des Steines kann man sowohl durch Heranziehung leichter Zuschlagsstoffe, wie Holz (vgl. S. 98), Bims (vgl. S. 100) als auch dadurch erreichen, daß man Zement aufbläht zu dem sog. Porenbeton. Der Porenbeton wird in zweierlei Weise hergestellt, entweder, indem man Luft zur Aufblähung verwendet, oder durch besondere Gase, die man im Zement selbst erzeugt (Abb. 49).

¹ Grün: Kunststeine, Ullmann, Enzyklopädie der techn. Chemie 1930, Bd. VII.

α) Schaumbildner. Luft als Aufblähungsmittel erfordert den Zusatz einer schaumbildenden Masse. Mit dieser als Anmachwasser macht man den Zement an und schlägt dann die Masse zu einem Schaum, der infolge

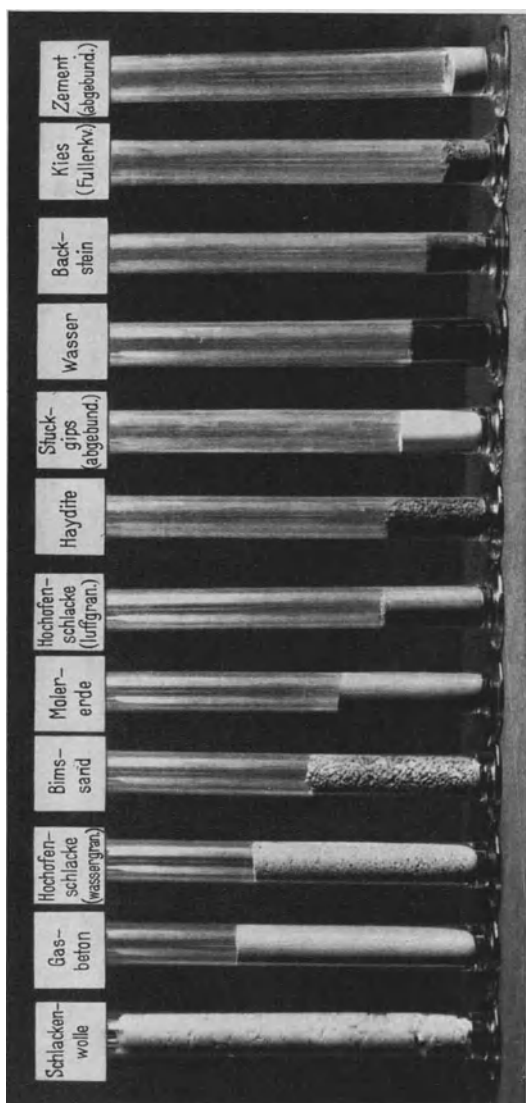
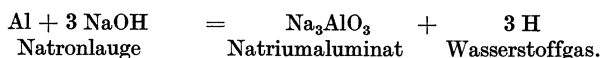


Abb. 50. Gewichte von Bims, Zement und Stückschlacke. In den Zylindern sind jeweils gleiche Gewichte verschiedener Baustoffe eingebracht. Es zeigt sich, daß das Raumgewicht und somit auch die Wärmehaltung besonders bestimmt ist durch die Form: Beispielsweise nimmt Stückschlacke einen nur geringen Raum ein, Schlackenwolle dagegen einen vielfachen, da sie stark aufgebläht ist. Hüttenbims liegt dazwischen auf derselben Stufe wie gewöhnlicher Bims. Der Rohstoff für alle drei Schlacken ist der gleiche, die Eigenschaften werden nicht durch die chemische Zusammensetzung, sondern durch den physikalischen Formzustand bedingt.

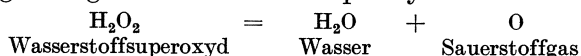
seines Zementgehalts erstarrt. Man muß bei dieser Arbeitsweise die Steife der Masse in Beziehung bringen zu ihrer Erstarrungsdauer, d. h. wenn beim Schlagen in der Mischmaschine u. dgl. der Zementschaum entstanden ist, muß er auch möglichst bald erstarren (Iporitbeton), da-

mit er nicht wieder zusammenfällt, wie beispielsweise Schaum in einem Bierglas, das lange stehen bleibt.

β) Gasentwicklung. Die Gaserzeugung mit Hilfe des Zements wird hervorgerufen entweder dadurch, daß man Wasserstoff, oder dadurch, daß man Sauerstoff entwickelt. Zum Zweck der Wasserstoffentwicklung fügt man dem Zement Zinkstaub, Aluminiumstaub, Magnesiumstaub u. dgl. zu und macht das Anmachwasser gleichzeitig alkalisch durch Zusatz von Natronlauge. Es bildet sich dann aus dem Aluminiumstaub und dem Alkali des Zements bzw. des künstlich alkalisch gemachten Anmachwassers, Wasserstoff nach der Formel



Statt der Wasserstoff erzeugenden und so die Schaumbildung hervorruhenden Stoffe kann man auch Sauerstoff abgebende Flüssigkeiten gebrauchen, indem man als Anmachwasser Wasserstoffsuperoxyd nimmt (H_2O_2), welches dann beim Anmachen zerfällt. Den Zerfall beschleunigt man durch Zufügung von Chlorkalk, welcher auch seinerseits dann zur Gasbildung beiträgt. Das Wasserstoffsuperoxyd zerfällt nach der Formel



Alle auf diese Weise erzeugten Zementschäume haben die Neigung, sehr stark zu schwinden. Man kann diese Schwindneigung etwas herabdrücken durch Zufügung von Feinsand, Bims u. dgl., aber nicht ganz vermeiden. Sandzufügung erhöht natürlich das Gewicht. Um Schwindrißneigung in den Gebäuden zu verhindern, werden deshalb gewöhnlich die Zementsteine in der Fabrik hergestellt und einige Zeit bei hohen Temperaturen gehalten, um die Schwindung schon in die Fabrik zu verlegen. Die vermauerten Steine schwinden dann nur noch wenig, hauptsächlich, wenn sie alt sind. Man verlange deshalb abgelagerte Steine.

IV. Ziegel- und Tonwaren.

Ziegel, Backsteine, Dachziegel, Tonplatten, Wandplatten und ähnliche Erzeugnisse wie Irdengut sind die ältesten bekannten, durch einen chemischen Vorgang erhärteten Baustoffe¹, deren Herstellung der Menschheit mindestens schon seit 15 000 Jahren geläufig ist. Verwendet wird für die Herstellung all dieser Stoffe Ton.

a) Herstellung.

Der Ton ist entstanden durch Verwitterung von feldspathaltigen Urgesteinen, wie Granit, Gneis u. dgl., die unter dem Einfluß kohlenensäurehaltigen Wassers einen Teil ihrer Bestandteile, hauptsächlich der Alkalien abgegeben haben unter gleichzeitiger Aufnahme von ungefähr sechs und mehr Prozent Wasser; sie wurden dabei kieselsäureärmer und infolgedessen tonerreicher. Tonsubstanz zeichnet sich dadurch aus, daß sie mit Wasser eine plastische Beschaffenheit annimmt, also bildsam wird.

¹ Vgl. auch Drögsler: Alte Dachziegel. Tonind.-Ztg. 1938, Nr. 31/32.

Die reinste Tonsubstanz, die in der Natur vorkommt, ist das Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$). Seiner Zusammensetzung nach wird diese Verbindung vom chemischen Standpunkt als ein Salz der Kieselsäure mit der Tonerde, also als ein Aluminiumsilikat aufgefaßt (Tonerde darf nicht mit Ton verwechselt werden; im chemischen Sinn ist Ton *e r d e* reines Aluminiumoxyd (Al_2O_3)). Aus dem reinen Kaolin entsteht beim Brennen bei Temperaturen von etwa 1000° (Weißglut) unter Wasseraustritt ein gefritteter Scherben, den wir als Porzellan kennen. Verunreinigungen, wie Eisenoxyd, führen zur Färbung. Sandgehalt, der bei mechanischer Umlagerung des Kaolins oder des Tones in Flüssen und Meeren zugetreten ist, setzt die Plastizität, gleichzeitig aber auch die Schwindneigung herab. Ein plastischer Ton vermag sehr viel Wasser aufzunehmen bis zur sog. „Wassersteife“. Er ist dann ein ausgezeichnetes Mittel zur Herstellung wasserdichter Bauwerke, beispielsweise zur Auskleidung von Kanalbetten oder zum Schutz von Beton gegen angreifende Flüssigkeiten (Umstampfung mit Lehm).

Bei Kanalbetten verfährt man in der Weise, daß man den Boden und die Wände nach gehöriger Verdichtung durch Rüttel- oder Stampfmaschinen mit drei Lagen von je etwa 20 cm Ton bedeckt, die jede für sich mit Walzen (Straßenwalzen) verdichtet werden. Völlige Austrocknung ist, um Rißbildung zu verhindern, zu vermeiden.

Als Bauuntergrund eignet sich Ton nicht, beim Straßenbau wird deshalb Ton wenn irgend möglich entfernt. Auch in Böschungen wirkt er leicht nachteilig wegen der auftretenden Rutschgefahr, besonders wenn er schräg streicht.

Die Plastizität wird nach den meistgeltenden Theorien zurückgeführt auf Entstehung von Kolloiden, also von leimartigen, quellenden Stoffen und auf die Molekularanziehung zwischen den Tonteilchen, die sehr fein sind, und dem Wasser. Die Aufquellung wird durch längere Lagerung vergrößert, man lagert deshalb Tone, welche recht bildsam und verformbar sein sollen, längere Zeit, man läßt sie altern oder mauken.

Beim Trocknen und Brennen unterscheidet man drei verschiedene Abschnitte.

Im ersten Stadium entweicht das Wasser aus den Gelschichten, dadurch schwindet der Ton, das entweichende Wasser nennt man das Schwindungswasser.

Im zweiten Stadium beginnt die Plastizität zu verschwinden und das adsorbierte Wasser entweicht.

Im dritten Stadium sintert dann der Ton zusammen zu dem uns bekannten Gefüge des Backsteins oder des Porzellans. Dabei verliert er nun auch das chemisch gebundene Wasser.

Die entstehende Brennfarbe wird bedingt in der Hauptsache durch den Eisengehalt. Eisenfreie Tone werden zu einer weißen Scherbe, dem uns bekannten Porzellan. Wenig Eisen führt zu geringer Färbung. Hierher gehören die Steinguttone. Hoher Eisengehalt erzeugt blaßgelbe bis lederbraune Färbung (bis zu 6 % Eisenoxyd). Steigt der Eisengehalt weiter unter gleichzeitigem Schwinden des Tonerdegehalts, so tritt rote Färbung ein, bei besonders hoher Brenntemperatur blauschwarze

(Klinker); gleichzeitig geringer Kalkgehalt gibt die bekannten gelben Ziegel.

Der Name „Klinker“ für hoch erhitzte, stark gesinterte Ziegelsteine ist auch von der Zementindustrie übernommen worden und zwar für die Bezeichnung des gesinterten, also zu Zement gewordenen Rohmehls. Die bei diesem Prozeß entstandenen Klinker sind sehr hart und fest, werden aber als Baustoff nicht verwendet. Sie sind hoch im Kalk, beispielsweise bei Portlandzement 64% CaO, beim Vermahlen entsteht der uns bekannte Portlandzement. Diese Vermahlung erfolgt auf großen eisernen Mühlen (vgl. S. 49), gewöhnlich mit 2—3% Gipszusatz. Die Klinker der Ziegelindustrie unterscheiden sich grundsätzlich von diesen Zementklinkern, schon deshalb, weil sie eine ganz andere chemische Zusammensetzung



Abb. 51. Anlage zur Herstellung von Rohsteinen für Ziegel: Durch den Kastenbeschicker werden die richtig zusammengestellten Stoffe (Ton und Sand) dem Kollergang zugeführt, der sie knetet und durchmischt. Darauf passieren sie dann Walzwerke und werden den Ziegelpressen zugeführt wo sie ihre Form erhalten. Leistung 250 cbm in 8 Stunden bei 200 PS Bedarf (Modell: Händler & Söhne, Mühlacker).

haben (ganz wenig Kalk, viel Kieselsäure und Tonerde) und weil sie ganz anderen Zwecken dienen. Das Mehl von Ziegelklinkern hat — im Gegensatz zu dem Mehl aus den Portlandzementklinkern — praktisch keinerlei hydraulische Eigenschaften, d. h. es erhärtet nicht beim Anmachen mit Wasser. Wohl aber ist das Mehl aus Ziegelsteinen, die weniger hoch gebrannt sind, eine Puzzolane, d. h. es vermag beim Mischen mit Kalk und Anmachen mit Wasser — allerdings sehr schwach — zu erhärten. Deshalb verwendeten auch die Römer Ziegelmehl als Zusatz zu ihren Mörteln; auch heute noch ist in den Tropen, wo kein Zement zur Verfügung steht, diese Bauweise üblich. Als „Wasserreservoir“ dienten derartigen Mörteln die zugefügten größeren Ziegelbrocken.

Zur Herstellung von Ziegeln werden die Tone, wenn sie nicht von Anbeginn Sand enthalten, mit Sand gemagert, um die Schwindneigung beim Trocknen und Brennen herabzusetzen (Abb. 51). Notwendig ist, daß die Tonsubstanz keine löslichen Salze, wie beispielsweise Sulfate enthält, und daß ihr beim Brennen solche löslichen Salze nicht zugeführt

werden. Die Zuführung kann erfolgen durch Brennen mit schwefelhaltiger Kohle. Die Folge des Gehaltes des Tones an solchen löslichen Salzen oder der nachträglichen Zuführung ist das gefürchtete Ausblühen im fertigen Bauwerk, das zu schweren Schädigungen, vor allen Dingen deshalb führen kann, weil es die Bauwerke unansehnlich macht (Abb. 52).

Das Entstehen der Ausblühungen ist wie folgt zu erklären: Durch Eintreten des Wassers bildet sich zunächst in den Poren des Ziegels eine Salzlösung. Durch Verdunstung wird auf der Oberfläche, wo ja allein die Verdunstung stattfinden kann, die Konzentration so weit erhöht, daß das Wasser das Salz nicht mehr in



Abb. 52. Ausblühungen an Ziegelmauerwerk. Die Ausblühungen sind entstanden durch Sulfat, welches mit dem Kalk des Mörtels Gips bildet. Diese Ausblühungen sind schwer abwaschbar.

Lösung zu halten vermag, weil die Konzentration die Lösungsfähigkeit des Wassers übersteigt, das Salz kristallisiert aus. Aus dem Steininnern dringt durch die Saugwirkung der Kapillaren (wie bei Löschpapier) neue Salzlösung nach und wird wieder durch die Wind- und Sonnenwirkung konzentriert und Verstärkung der Auskristallisation ist die Folge. Wiederholte Durchfeuchtung beschleunigt den Vorgang und führt dazu, daß schließlich alle im Mauerwerksinnern vorhandenen leichten löslichen Salze sich als winzige Kristalle, als „Ausblühung“ auf der Steinoberfläche

finden. Auch ganz geringe Mengen reichern sich durch diesen „Transport“ nach außen an und verunstalten das Bauwerk.

Gebrannt wird bei den Tonwaren, die für das Bauhandwerk in der Hauptsache in Betracht kommen, meist mit direktem Feuer, also z. B. in Ringöfen. Indirektes Feuer, also Einsetzen der Tonwaren in Muffeln u. dgl. wendet man an für besonders hochwertige Tonwaren, die sehr langsam erhitzt und abgekühlt und gegen direktes Feuer, Staub und Gase geschützt werden sollen. Zu geringe Brenntemperaturen führen zu verwitternden Ziegeln, die unter Umständen auch unter Putz durch Wasseraufsaugung und Frost nach wenigen Jahren zugrunde gehen (Abb. 53).

Dies Zugrundegehen ist einerseits zurückzuführen auf die bekannte Sprengwirkung des Frostes, andererseits aber hat auch eine Wasseraufnahme, die mit Raumvergrößerung und Zerfallen des Ziegelgefüges verbunden ist, die Schuld. Bei niedrigem Brennen von Tonen ist nämlich der Vorgang der Wasseraustragung, der ja zur Erhärtung führt, „reversibel“, d. h. das bei der Ziegelherstellung innerhalb weniger Stunden beim Brennvorgang ausgetriebene Wasser tritt später im Lauf von Jahren wieder in das Tongefüge ein, „der Ziegel wird wieder zu Ton“ und zerfällt. Aufgebrachte Putzschichten verhindern diesen Vorgang nicht, im Gegenteil, sie beschleunigen ihn, da sie die Ziegel immer feucht halten, vorausgesetzt, daß das Bauwerk nicht dauernd trocken ist (vgl. Abb. 53).

Wichtig für den Bauingenieur zu wissen ist noch, daß man auch unreine Tone zu reinfarbigem Ziegelsteinen u. dgl. verarbeiten kann, wenn

man sie „engobiert“. Das Engobier- oder Begußverfahren besteht darin, daß man die Steine vor dem Brennen, um ihnen eine schöne Farbe zu geben, mit feiner Tonmasse, die durch Oker, Mangansalze, Kobalt u. dgl. gefärbt ist, in dünner Schicht überzieht. Hat nun Grundmasse und Überzug nicht das gleiche Schwindmaß bei der Trocknung, so kann Abspringen im Bauwerk auftreten. Die Aufbringung geschieht durch Bespritzen oder Eintauchen, bei Wand oder Fußbodenplatten auf hydraulischen Pressen mit einer nur ungefähr 1 mm starken Begußschicht.

Glasartige Überzüge, die den Zweck haben, nicht nur dem Scherben ein schöneres glänzenderes Aussehen zu geben, sondern ihn auch dicht zu machen, also abzudichten gegen das Eindringen von Flüssigkeiten und Fett usw., nennt man Glasuren. Als Glasuren dienen alle möglichen, zu einer glasartigen Substanz schmelzenden und sich mit dem Ton verbindenden Salz-mischungen. Feldspatglasuren sind schwerflüssig und werden auf Steinzeug verwendet. Leichter flüssig

sind die Blei-, Zink- und ähnliche, sowie die Salzglasuren, zu welchen letzteren man einfach Kochsalz verwendet, welches beim Brennen in den Ofenraum eingestreut wird. Das Kochsalz zersetzt sich in der Hitze zur Salzsäure, welche entweicht und in Natriumoxyd, welches sich mit dem Aluminiumsilikat zu Natriumaluminat verbindet.

Um die Ziegel leichter zu machen, versieht man sie entweder mit Löchern oder aber man bringt in den Ton herausbrennende Substanzen ein, um das Gefüge zu lockern. Je nach der Art des Tones und dem Brenngrad entstehen bei den Ziegeln verschiedene Festigkeiten, bei höherer Temperatur erhält man die höchsten Festigkeiten, gleichzeitig aber schrumpft der Scherben sehr stark und erhält feine Risse, die dazu führen können, daß das Bauwerk, hauptsächlich auf der Schlagwetterseite nicht wasserdicht wird. Wird eine Schlagwetterseite aus derartig stark gerissenen Klinkern und unter Verwendung eines undichten Mörtels gemauert, so vermag der Baukörper, hauptsächlich wenn die Klinker auch noch mit einem Glasurhauch versehen sind, das Wasser nicht dauernd abzuhalten. Dieses dringt dann durch die Risse in die Wand ein und kann nun, gefangen wie in einer Mausefalle, bei Bestrahlung des Bauwerks durch die Sonne nicht mehr entweichen. Es wird im Gegenteil nach innen gedrängt und erzeugt die bei Klinkerbauten so gefürchteten feuchten Flecke an den Innenwänden (Abb. 54). Schlagseiten sind deshalb, falls Klinker



Abb. 53. Gemauerter, mit Putz umkleideter Gartenpfeiler, zerstört durch einen einzigen ungenügend stark gebrannten Ziegelstein.

herangezogen werden, stets mit rissefreien Klinkern in Zementmörtel herzustellen¹.

b) Ausblühungen.

Ein besonderes Wort sei noch den Ausblühungen, die für den Architekten besonders peinlich werden können, gewidmet.

Am Mauerwerk werden viele Arten von Ausblühungen unterschieden und zwar

1. Salpeter,
2. Natriumsulfat,
3. Calciumsulfat,
4. Calciumkarbonat.

1. Salpeter, Kalium- oder Natriumnitrat (K , $NaNO_3$).

Im Volksmund werden meist alle Ausblühungen als Salpeter oder Mauersalpeter bezeichnet, obwohl gerade die Salpeterausblühungen überaus selten sind. Sie kommen nur vor in Mauern, die mit Erdrich hinterfüllt sind, in welchem sich verwesende organische Substanzen befinden. Kennzeichnend ist Salpeter daran, daß er überaus feine lange Nadeln bildet, die zu einem Filz zusammenwachsen. Die Nadeln lösen sich leicht in Wasser und können durch einfaches Abwaschen mit Wasser entfernt werden. Sie schmecken „kühlend“.

2. Natriumsulfat, schwefelsaures Natron (Na_2SO_4 Glaubersalz).

Weitaus die meisten Ausblühungen bestehen aus Natriumsulfat. Das Natriumoxyd

Abb. 54. Klinkerbau: gegen Schlagregen nicht geschützte, infolgedessen wasserdurchlässige Giebelmauer. Der Wassereintritt ist an den dunklen Stellen, die nach Westen liegen (Schlagregen!) deutlich zu sehen. Das ist unseren Vätern übliche Hervorrage lassen des Daches über den Giebel hinaus hatte also seine Bezeichnung als Wandschutz. Das in obigem Bild zur Verzierung“ waagrecht an der Giebelwand entlanglaufende Band von hervorstehenden Klinkern hat weiter dazu geführt, daß das an dem Giebel herablaufende Wasser auf seinem Weg aufgehalten und zum Eintritt in das Innere des Hauses veranlaßt wurde (falsche Baugestaltung!)². Abhilfe: Siehe Seite 138.

stammt aus den Ziegelsteinen, der Sulfatanteil aus der Kohle, mit welchem die Steine gebrannt werden; es wurde also mit den Rauchgasen den Steinen zugeführt. Man setzt deshalb dem Ton zum Brennen von Ziegelsteinen häufig Bariumcarbonat zu, um das Sulfat in unlösliches Bariumsulfat (Schwerspat) überzuführen, das nicht zu Ausblühungen

¹ Vgl. auch Kohl-Bastian: Fachkunde für Maurer. Berlin 1938.

² Vgl. auch Bautenschutz durch handwerksgerechtes Bauen. Baumarkt 1938, S. 1367.

hungen führen kann, da es völlig wasserunlöslich ist. Natriumsulfat ist in Wasser leicht löslich und kann durch häufiges Abwaschen entfernt werden. Es schmeckt etwas bitter und salzig.

3. Calciumsulfat, schwefelsaures Calcium, Gips ($\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$).

Aus Umsetzungen des Natriumsulfats aus den Ziegeln mit dem Kalk des Mörtels entsteht das Calciumsulfat, der Gips, der auch aus hochgepigsten Zementen allein auskristallisieren kann. Im Gegensatz zu den unter 1. und 2. genannten Ausblühungen ist Gips nur schwer in Wasser löslich und deshalb durch Abwaschen nicht zu entfernen. Salzsäure löst ihn schneller auf, bei Behandlung mit Salzsäure muß aber gut nachgewaschen werden, um das nachträgliche Entstehen von Chloriden, die gleichfalls löslich sind und ausblühen können, zu verhindern.

Während die unter 1. und 2. genannten, aus leicht in Wasser löslichen Ausblühungen, wenn Regen die Mauer trifft, meist nach einiger Zeit verschwinden, ist das bei Gips nicht zu erhoffen, da er für diesen natürlichen Vorgang des Abwaschens durch die Niederschlagswässer zu schwer löslich ist.

4. Calciumkarbonat, kohlen-saurer Kalk (CaCO_3).

Das Calciumkarbonat bildet sich nur aus dem Mörtel, hauptsächlich bei Verwendung von viel Kalk und von sehr kalkreichen Zementen. Es löst sich im Wasser als wasserlösliches Calciumbikarbonat oder doppeltkohlen-saures Calcium, aus welchem sich dann wieder unlösliches Calciumkarbonat unter Entweichen von Kohlensäure zurückbildet, oder aber bei sehr hohem Kalkgehalt als Calciumhydroxyd, welches mit der Kohlensäure der Luft zu kohlen-saurem Kalk zusammentritt. Der kohlen-saure Kalk löst sich in Wasser praktisch überhaupt nicht und kann nur durch Absäuern mit Salzsäure etwa 1 : 10 entfernt werden. Er verwandelt sich hierbei unter Kohlensäureentwicklung (Aufbrausen) in Chlorcalcium, welches durch Abwaschen mit Wasser leicht aus dem Mauerwerk zu entfernen ist¹.

Allgemein ist wichtig, unter Verwendung sulfatfreier Steine und



Abb. 55. Kalkausblühungen. Aus dem sehr stark kalkhaltigen Mörtel hat sich Kalk als doppeltkohlen-saurer Kalk gelöst und als harte weiße Schicht wieder abgeschieden.

¹ Grün: Lösungserscheinungen an Beton. Bauing. 1930, Nr. 26.

nicht zu hochkalkigen Mörtels so zu arbeiten, so daß die Ausblühungen von vornherein vermieden werden.

Auch auf Putz können Ausblühungen der beschriebenen Art aus der Ziegelsteinunterlage entstehen, da naturgemäß die in Wasser gelösten Salze auch den Putz durchdringen. Falls das Mauerwerk also lösliche Salze enthält, sind solche Putzstörungen zu erwarten, da die in dem Putz auskristallisierenden Salze diesen zersprengen. Auch unsachgemäße Einlegung von wasserdichten Streifen im Verputz kann zu derartigen Stein- und Putzzerstörungen führen, wenn nämlich das Wasser auf diesen Streifen stehen bleibt und gefriert oder zu Salzanreicherung führt, die durch die alleinige Kristallisationskraft Putz und Steine im Laufe der Jahre zerstört¹.

V. Eisen und Stahl.

Das Eisen ist im chemisch reinen Zustand ein verhältnismäßig weiches silberglänzendes Metall, welches in reiner Form in der Praxis keine Verwendung findet, da seine Eigenschaften nicht den praktischen Bedürfnissen entsprechen, abgesehen davon, daß Reinherstellung zu teuer sein würde. Die verschiedenen Eisensorten, welche wir aus dem täglichen Gebrauch kennen, sind durchweg kein reines Eisen, sondern kohlenstoffhaltige Arten, die außer dem Kohlenstoff noch geringe Mengen andere Elemente enthalten. Eine hervorstechende Eigenart des Eisens ist nämlich die, daß durch verhältnismäßig geringe Beimengungen seine Eigenschaften in sehr weitem Umfange verändert werden. So kann man beispielsweise mit einem Stahlmesser, dessen Rohmaterial ja geringe Mengen Kohlenstoff enthält, reines Eisen zerschneiden. Die weitere Tatsache, daß man Eisengegenstände mit Stahlmeißeln bearbeiten kann, beispielsweise beim Drehen oder Hobeln, ist bekannt. Für den Baumeister kommen nicht nur die gewöhnlichen weichen Eisensorten in Frage (Moniereisen, Bewehrungs-eisen für Beton), sondern auch Gußeisen und schließlich heutzutage besonders hochwertige Eisensorten für Bauten, die besondere Eigenschaften haben sollen. Aus diesem Grunde seien im nachfolgenden kurz beschrieben:

- a) Die Rohstoffe für das Eisen.
- b) Die Herstellung.
- c) Verschiedene Eisensorten.

a) Rohstoffe.

Die reinsten Eisenerze sind der Magneteisenstein (Fe_3O_4)² und der Roteisenstein (Fe_2O_3). Beide kommen in Schweden vor, außerdem auch an manchen Stellen in Deutschland. Geringer prozentige Erze sind das Brauneisenerz ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), der Spateisenstein (FeCO_3 kohlensaures

¹ Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 10 (1928), S. 117ff. — Toni 1932, Nr. 93.

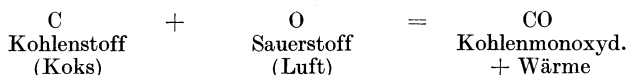
² Natürlich können Erze nicht durch eine chemische Formel wiedergegeben werden, da die Eisenoxyde immer noch Gangart enthalten. Dennoch soll die Formel zeigen, in welcher Oxydform das Eisen vorliegt.

Eisen, Eisencarbonat) und der Pyrit oder Eisenkies (FeS_2). Der letztere ist besonders weit verbreitet als Verunreinigung in sehr vielen Gesteinen, bei deren Entstehen organische Vorgänge mitspielten: Die Eisenverbindungen, die in den verwesten Organismen vorhanden waren, welche die Gesteine bildeten, sind zu Eisenkies geworden, einer gelbglänzenden, häufig schön kristallisierten Verbindung, die man bisweilen in Kohlen, oder besonders gut ausgebildet in Ölschiefer findet, der sich aus Tiefseeschlamm bildete. Das Eisen ist teilweise Träger des Schwefels in der Kohle oder im Posidonienschiefer, der Schwefel, der später zu dem hohen Sulfatgehalt der Kesselschlacke oder zu dem hohen Sulfidgehalt der Hochofenschlacke führt, stammt hierher.

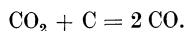
Alle Eisenerze enthalten in mehr oder weniger großem Umfang Quarz (SiO_2 und andere, häufig tonerdehaltige oder kieselsäurehaltige, Gesteine [Gangart]). Die Gangart muß beim Verhüttungsprozeß beseitigt werden.

b) Gewinnung des Eisens.

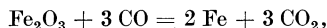
Gewonnen wird das Eisen im Hochofen, einem Schachtofen, in welchen die Eisenerze zusammen mit Kalkstein und Koks eingebracht werden. In den Hochofen wird von unten durch ein Gebläse der sog. „Wind“ eingedrückt, das ist Luft, die um die Temperatur zu erhöhen, vorerhitzt ist. Im Hochofen spielt sich dann folgender Vorgang ab: Zunächst verbrennt der Koks (C) zu Kohlenmonoxyd (CO) und erzeugt dadurch Hitze



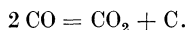
Gleichzeitig bildet sich unmittelbar vor den Formen, d. h. vor den wassergekühlten Rohren, durch die der Wind in den Hochofen gedrückt wird, Kohlensäure. Aus dieser Kohlensäure entsteht mit weiterem Kohlenstoff des Kokes gleichfalls Kohlenmonoxyd nach folgender Formel:



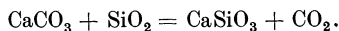
Durch das bei der Verbrennung des Kokes entstandene Gas Kohlenmonoxyd (CO) wird das Eisenoxyd des Erzes zu Eisen reduziert nach folgender Formel:



Die so entstandene Kohlensäure wird durch den niedergehenden Koks bei Temperaturen über etwa 800° wieder zu Kohlenmonoxyd (CO) reduziert, das seinerseits den Sauerstoff des Eisenoxydes wieder binden kann. — Das Eisenoxyd wird jedoch nicht nur durch das Kohlenmonoxyd (indirekte Reduktion) reduziert, sondern es kann bei höheren Temperaturen auch durch den festen Kohlenstoff (hellglühender Koks) reduziert werden (direkte Reduktion). Das reduzierte Eisen vermag in diesem reinen Zustand nicht zu schmelzen, da sein Schmelzpunkt viel zu hoch liegt. Aus einem Teil des bei der Verbrennung des Kokes entstandenen Kohlenoxyds nimmt das Eisen etwas Kohlenstoff auf nach folgender Formel:



Durch diese Kohlenstoffaufnahme sinkt der Schmelzpunkt des Eisens, das kohlenstoffhaltige Eisen schmilzt bei ungefähr 1200° (diese Temperatur richtet sich jeweils nach der Höhe des aufgenommenen Kohlenstoffgehaltes) und sammelt sich im unteren Teil des Hochofens als Roh-eisen an. Die Gangart, d.h. die Kieselsäure und die Tonerde, verbindet sich mit dem gleichzeitig zugesetzten Kalk zu Kalksilikat oder Kalkaluminat nach folgender Formel:



In gleicher Weise entstehen auch Aluminium- und Doppelsalze, sowie verschiedene Melilithe (vgl. Dreistoffsystem, S. 47), die durchweg einen

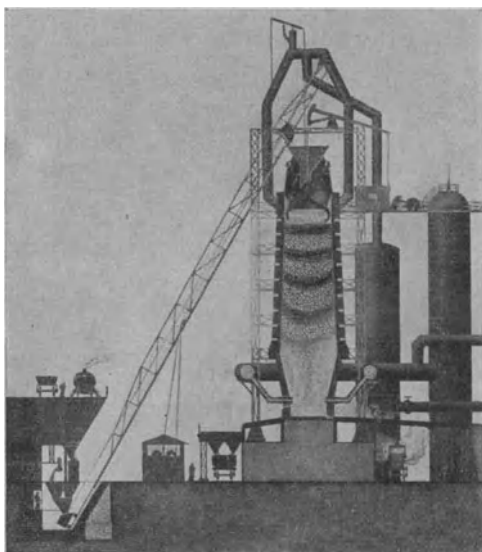


Abb. 56. Schema eines Hochofens. In den Hochofen werden von oben (von der Gicht) Eisenerze, Kalkstein und Koks eingebracht. Der Koks reduziert beim Verbrennen das Eisenoxyd zu metallischem Eisen, dessen Schmelzpunkt durch Kohlenstoffaufnahme stark erniedrigt wird, worauf es dann schmilzt. Die Gangart (Ton und Sand) verbindet sich mit dem eingebrachten Kalkstein zu Hochofenschlacke, die in dem Gestell des Hochofens sich in glühend-flüssigem Zustand von dem Eisen scheidet und auf diesem schwimmt. Beide Schmelzen, Schlacke und Eisen, verlassen den Ofen durch die Abstichformen.

tiefen Schmelzpunkt haben. Der Kalkzusatz hat also den Zweck, derartige Verbindungen mit tiefem Schmelzpunkt (Eutektikum) zu bilden, da die Gangart allein, die ja in der Hauptsache aus Kieselsäure und Tonerde besteht, bei den Hochofentemperaturen nicht schmelzen würde. Die so entstandene Schlacke nimmt gleichzeitig den Schwefel auf als Calciumsulfid, eine sehr wichtige Funktion, da der Schwefel das entstehende Eisen brüchig machen würde. Gleichzeitig schwimmt sie im Hochofen auf dem Eisen wie Öl auf Wasser und schützt so das entstehende Eisen vor der Wiederoxydation durch den Gebläsewind.

Das entstehende Roh-eisen ist je nach der Möller-Beschaffenheit, also nach der Beschaffenheit des auf-

gegebenen Erzes und Gesteins und nach der Hochofenführung entweder graues oder weißes Gußeisen.

Die Hochofenschlacke, welche den Ofen als glühendflüssige Schmelze verläßt, ist nur dann imstande, den Schwefel (als Calciumsulfid) mitzunehmen, wenn sie einen ziemlich hohen Kalkgehalt hat. Sie muß deshalb kalkreich gehalten werden. Neuerdings verzichtet man in manchen Betrieben auf die Entschwefelung des Eisens im Hochofen von der Schlackenseite her und entschwefelt das Eisen nachträglich durch Sodazusatz. Man kann dann die Schlacke kalkärmer halten und kommt mit geringerem Kalksteinzusatz zum Möller aus.

c) Verschiedene Eisensorten.

Das graue Gußeisen, uns allen bekannt von den gewöhnlichen Haushaltwaren, enthält ungefähr 3 ½ % Kohlenstoff (C), welcher in Form von Graphitkristallen ausgeschieden ist. Beim Auflösen in Salzsäure bleibt dieser Kohlenstoff als aus kleinen schwarzen Kristallen bestehendes Pulver (Graphit) zurück. Diese Ausscheidung kristallinen Kohlenstoffs bedingt die Farbe des grauen Gußeisens und seinen grobkörnigen Bruch. Infolge dieser Art des Bruches ist die Festigkeit des Gußeisens nicht besonders hoch; es kann durch einen gewöhnlichen Hammerschlag zerbrochen werden. Beim Guß ist es sehr leichtflüssig, es zieht sich beim Erkalten zusammen, doch geht dieser Schwindung während und unmittelbar nach der Erstarrung eine Ausdehnung des Gußeisens voraus. Es füllt deshalb die Form und ist für scharfkantige Gußstücke geeignet. Sein Siliziumgehalt beträgt ungefähr 2 %. Vor allem hohe Siliziumgehalte des Gußeisens bewirken eine starke Graphit-(Kohlenstoff-)ausscheidung und damit ein graues Erstarren. Bei sehr geringer Abkühlungsgeschwindigkeit können auch schon geringe Siliziumgehalte ein graues Erstarren bewirken.

Manganhaltiges Eisen, hergestellt aus manganhaltigen Erzen oder unter Zuschlag von Manganerzen, scheidet keinen Graphit ab, wenn der Manganengehalt gegenüber dem Siliziumgehalt hoch ist. Es erstarrt dann beim Abkühlen zu einem weißen Roheisen. In diesem weißen Roheisen ist der Kohlenstoff nicht ausgeschieden wie beim grauen Gußeisen, sondern es enthält ihn gelöst. Bei Auflösen in Säure bleibt deshalb kein kristalliner Kohlenstoff, sondern ein amorphes Pulver zurück. Weißes Roheisen ist feinkörnig, fester als graues Gußeisen und schwer zu bearbeiten. Es zieht sich beim Abkühlen zusammen und füllt die Form trotz seines niedrigen Schmelzpunktes von etwas über 1200° nicht scharf aus.

Beim Gießen von grauem Gußeisen in stark abgekühlte Formen vermag sich infolge der schnellen Abkühlung der Oberfläche, die mit den Formen in Berührung kommt, der Kohlenstoff außen nicht kristallisiert abzuscheiden; derartige Eisen ist dann mit einer harten Schicht von weißem Roheisen überzogen. So entstandene Gußstücke haben also eine glasharte Oberfläche.

Da die vorliegenden Roheisenarten nur für untergeordnete Zwecke verarbeitbar sind, ist es notwendig, sie überzuführen in andere Formen. Es geschieht dies entweder nach dem Konverter-Verfahren oder nach dem Siemens-Martin-Verfahren. Beim Konverter-Verfahren (Bessemer-Verfahren) bringt man das glühend-flüssige Roheisen in die Bessemerbirne. Diese, ein mehrere Meter hohes, feuerfest ausgemauertes kippbares Gefäß (Bessemer Birne) hat im Boden Löcher, durch welche Luft durch das innen befindliche Eisen gedrückt wird. Hierdurch verbrennt der hohe Kohlenstoffgehalt (C) von ungefähr 3 % zu Kohlenmonoxyd (CO), das als Gas entweicht und an der Luft zu Kohlendioxyd (CO₂) verbrennt, ebenso das Silizium (Si) zu Kieselsäure (SiO₂), die in die Schlacke übergeht. Der der Güte des Eisens abträgliche Phosphor (P)

phosphorreichen Roheisens wird in der Thomasbirne zu Phosphorsäure (anhydrid) (P_2O_5) verbrannt. Das basische Futter der Thomasbirne (basisch im Gegensatz zum sauren Futter der Bessemerbirne) und zugeschlager Kalk binden die Phosphorsäure zu Calciumphosphat, das unter dem Namen „Thomasschlacke“ als vorzügliches Düngemittel gemahlen in den Handel kommt. Das so behandelte Eisen hat nun noch $\frac{1}{10}\%$ Kohlenstoff und seine Eigenschaften sind weitgehend verändert. Es besitzt einen sehr hohen Schmelzpunkt, der bei ungefähr 1500° liegt, ist stark plastisch, also nicht gießbar, und läßt sich schmieden, da es weit unterhalb seines Schmelzpunktes weich wird.

Das Siemens-Martin-Verfahren beruht letzten Endes auch auf der Verbrennbarkeit des Kohlenstoffs, nur wird bei diesem Verfahren die Verbrennung langsam durchgeführt und nicht plötzlich wie bei der Bessemerbirne.

Wichtig ist noch die Möglichkeit der Beeinflussung der Eigenschaften der Stähle durch verschiedene andere Metalle. So macht Nickel den Stahl außerordentlich zäh, Wolfram, Molybdän und Vanadin machen ihn sehr hart und wärmebeständig, so daß Drehstähle (Schnelldrehstähle) aus derartigem molybdän- oder wolframhaltigen Eisen selbst bei hohen Temperaturen zu gebrauchen sind, da die Schneide nicht stumpf wird. Außerdem kommen noch Mangan, Chrom usw. hier in Frage. Auf dem Gehalt an derartigen Metallen beruht auch die Verhinderung des Rostens (nichtrostender Stahl)¹.

Für hoch beanspruchte Bauwerke werden neuerdings auch hochwertige Eisensorten verwendet, um möglichst geringe Abmessungen mit möglichst hoher Beanspruchungsfähigkeit zu vereinen. (Die Unterlagen für die Herstellung von Betonbauwerken mit Eisen-Einlagen oder mit hochwertigen Eisen sind in den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton vereinigt und dort nachzuschlagen.)

Sehr erhebliche Ersparnisse an Gewicht und an Fracht lassen sich erzielen durch Anwendung hochwertiger Baustähle. So würden die heutigen großen Stahleisenbahnbrücken bei den gewaltigen Lasten unserer Lokomotiven und unserer großen Güterwagen gar nicht mehr gebaut werden können, wenn nicht der hochwertige Baustahl St 52 vorhanden wäre. Dieser, in gemeinsamer Arbeit der deutschen Stahlwerke, des Deutschen Stahlwerksverbandes und der Deutschen Reichsbahn unter Zusatz von Silicium, Mangan, Chrom, Kupfer oder Molybdän entwickelt, ist zu so gewaltigen Festigkeitseigenschaften gebracht worden, daß man die zulässige Beanspruchung 50 % höher steigern konnte als bei dem früher häufig verwendeten Baustahl St 37². Schaper gibt an, daß die Brücke über den Kleinen Belt in Dänemark, die mit Baustahl St 52 erbaut ist, ein Stahlgewicht von 13 800 t hat, während sie bei St 37 über 22 000 t Gewicht hätte, so daß also 38 % Gewichtersparnis vor-

¹ Hoffmann: Lehrbuch der anorganischen Chemie, 3. Aufl. Braunschweig 1920. — Durrer: Erzeugung von Eisen und Stahl. Dresden und Leipzig 1936. — Johannsen: Geschichte des Eisen.

² Schaper: Der hochwertige Baustahl St 52 im Bauwesen. Bautechnik 1938, S. 649.

handen sind, die somit für den Eisentransport und für den Gerüstbau, besonders aber auch für die Schweiß- und Niettechnik von großer Bedeutung sind.

Neuerdings zieht man sogar Eisen, die vorgespannt sind, zur Bewehrung des Betons heran und erreicht dadurch, daß bei Überbelastung entstandene Risse sich wieder schließen. Diese Tatsache ist besonders wichtig beispielsweise für Rohrleitungen ¹.

Die allerletzte Entwicklung ist die Heranziehung von Stahlsaiten, die bekanntlich in der Beanspruchung das Zehnfache aushalten wie gewöhnliches Eisen, so daß man mit einem Zehntel der Bewehrung auskommt. Auch die Stahlsaiten werden vorgespannt. Betonbalken, die in dieser Weise bewehrt sind, biegen sich bei Überbelastung durch und erhalten Risse; bei Aufhebung der Belastung werden sie wieder gerade und die Risse schließen sich. Anlagen für die Ausführung derartiger Betonwerkstätten sind sehr teuer und kosten über 250 000 RM. Ausführende Firmen bis jetzt Dyckerhoff, Amöneburg.

d) Rosten des Eisens.

Das Rosten des Eisens ist eine Oxydation.

Oxydation. Unter einer Oxydation versteht man die Zufügung von Sauerstoff zu einem vorhandenen Element oder einer Verbindung. Es bildet sich bei der Oxydation des Eisens also Eisenoxyd und zwar über dem Umweg von Eisenhydroxyd (das ist also wasserhaltiges Oxyd) und Eisenkarbonat. Eisen kommt zwei- und dreiwertig vor. Zunächst bilden sich immer die Verbindungen der zweiwertigen Form, die aber sehr schnell in die der dreiwertigen Form übergehen. Auch Mischungen von Verbindungen zwei- und dreiwertigen Eisens kommen vor, beispielsweise „Hammerschlag“ beim Schmieden durch Verbrennung des Eisens (Fe_3O_4) an der Luft ².

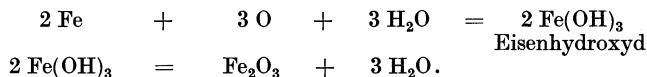
Das Rosten findet überall da statt, wo Eisen mit Wasser und Sauerstoff in Berührung kommt. Trockenes Eisen reagiert bei gewöhnlicher Temperatur nicht mit Sauerstoff, um so schneller dagegen feuchtes und ganz besonders intensiv ist die Reaktion, wenn geringe Mengen von Säure, seien es auch nur schwache Säuren, also beispielsweise Kohlensäure, oder Salze, zugegen sind. Deshalb rosten Eisen in stark kohlensäurehaltiger Luft, beispielsweise in Treibhäusern oder in Bergwerken besonders intensiv und schnell, ebenso in Mooren und aggressiven Wässern, wenn die Aggressivität durch Kohlensäure oder Schwefelsäure hervorgerufen ist. Bekannt sind die starken Anfressungen von Eisenrohren von Wasserleitungen, denen kohlensäurehaltiges Wasser zugeführt wird. In vielen Städten sind dadurch umfangreiche Zerstörungen hervorgerufen worden. Um diese zu verhindern, ist es notwendig, das Wasser, bevor es in die Leitung kommt, kohlensäurefrei zu machen durch Überfließenlassen über kohlensaurem Kalk

¹ Hier sind Namen wie Fraissinet und Hoyer zu nennen. Das Verfahren wird von Wayß und Freytag u. a. durchgeführt.

² Die beim Schmieden oder Gießen unter blendender Lichterscheinung wie Feuerwerk in der Luft zerplatzenden Teilchen sind „brennendes Eisen“.

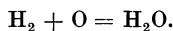
oder durch Lüftung. Bei der Lüftung entweicht die Kohlensäure als Gas. Bei Überfließen über kohlensauen Kalk löst die Kohlensäure den Kalk auf und wird dadurch abgesättigt, das Wasser wird hierbei allerdings härter. Auch der intensive Rostvorgang unter Steinholzfußböden ist auf diese Beschleunigung der Reaktion durch Magnesiumchloridlauge zurückzuführen. Die schnelle Rostbildung in meerwasserhaltiger Luft, also an der Küste, ist bekannt. Hier sind es vor allen Dingen die Kochsalznebel, die sich aus dem Meerwasser durch Sturm bilden, welche die Rostbeschleunigung im Gefolge haben.

Die einfachste Formel für das Rosten ist:

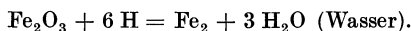


Als Zwischenstadium bildet sich auch Eisenhydroxydul (Fe(OH)_2), welches aber schnell in Fe_2O_3 übergeht und Eisenkarbonat (kohlensaures Eisen). Diese Zwischenreaktionen sind trotz ihrer Wichtigkeit aber für das Verständnis der Vorgänge nebensächlich.

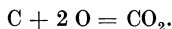
Reduktion. Die Reduktion ist der Gegensatz zur Oxydation: Sie bedeutet Sauerstoffentziehung oder Wasserstoffzufügung. Bei der Sauerstoffentziehung werden Metalloxyde zu Metallen, d. h. sie werden aus dem Oxydzustand in den Metallzustand „reduziert“. FeO wird beispielsweise zu Fe . Im gleichen Sinne wirkt die Zufügung von Wasserstoff, da sie gleichfalls eine Sauerstoffentziehung im Gefolge hat. Man kann sich vorstellen, daß der Wasserstoff Sauerstoff an sich reißt und Wasser bildet nach der Formel:



Die der Rostbildung entgegengesetzte Reaktion ist also die Reduktion des Rostes zu Eisen, d. h. die Bildung des reinen Metalls aus seinem Oxyd. Hierher gehört der Verhüttungsvorgang im Hochofen, der ein reiner Reduktionsvorgang ist, indem die Eisenoxyde, die mit Gangart verunreinigt als Erze in der Natur vorkommen, unter Entziehung ihres Sauerstoffs zu Metall reduziert werden nach der Formel:



Als Reduktionsmittel dient meist Kohlenstoff (Koks), da dieser die Eigenschaft hat, sich selbst zu oxydieren und dabei Sauerstoff an sich zu reißen nach der Formel:



Verbrennen von Kohlenstoff zu Kohlensäure.

Im Hochofen wird also der Kohlenstoff als Reduktionsmittel verwendet, da er dem Eisenoxyd des Erzes unter Zurücklassung von metallischem Eisen den Sauerstoff entreißt. Dabei verbrennt er selbst zu Kohlensäure, die entweicht (Näheres s. S. 113).

Wird beim Rosten des Eisens die Temperatur des einwirkenden sauerstoffhaltigen Wassers erhöht, so wird der Rostvorgang deshalb beschleunigt, weil dann die gelösten Gase aus dem Wasser durch die Temperaturerhöhung freigemacht werden, und zwar ist besonders kritisch die Temperatur über 50° . Aus diesem Grunde rostet Eisen besonders stark im Innern von Heißwasserbereitern. Hier ist der sog. Lochfraß zu erwarten, d. h. es treten, begünstigt durch elektrolytische Vorgänge, besonders intensive Rosterscheinungen an einzelnen Punkten auf, die oft nach verhältnismäßig kurzer Zeit, also nach wenigen Jahren, selbst dicke Eisenwandungen zerstören. Es ist deshalb zweckmäßig, bei Warmwasserbereitern die Temperatur des Wassers nicht dauernd allzu hoch zu halten.

Bei Warmwasserheizung sind die auftretenden Rosterscheinungen nur sehr gering, wenn diese ordnungsgemäß betrieben wird, wenn sie also immer mit dem gleichen Wasser arbeitet, und zwar deshalb, weil die schädlichen Anteile an Kohlensäure und Sauerstoff, die bei einer einmaligen Füllung mit dem Wasser in das Rohrsystem kommen, nur sehr gering sind; weitgehende Rosterscheinungen können diese kleinen Mengen nicht erzeugen. Nur wenn das Wasser häufig erneuert wird, beispielsweise durch widerrechtliche Entnahme von warmem Wasser aus der Heizung, wird durch das dauernde Zuführen stets neuen Wassers mit schädlichen Anteilen ein sehr schnelles Rosten herbeigeführt. Die Entnahme von Wasser aus der Heizung, beispielsweise für Reinigungszwecke, ist deshalb unter allen Umständen zu verhindern, da sonst mit einer Zerstörung der Heizkörper und Rohre zu rechnen ist. Wird die Heizung immer mit dem gleichen Wasser betrieben, also nur selten nachgefüllt, so sind die auftretenden Rosterscheinungen minimal und ohne Bedeutung für die Lebensdauer der Anlage.

Schutz gegen Rostbildung bietet neben dem schon erwähnten Versetzen des Eisens mit geringen Mengen besonderer Metalle, wie beispielsweise Kupfer, entweder Ummantelung, beispielsweise durch Beton, oder Anstrich. Als Anstrich nimmt man zur Gründung meist Mennige (d. h. Bleioxyd), die fein verteilt ist. Die Mennige wird mit Leinöl zu einer Suspension angerührt und dann aufgebracht. Das Leinöl oxydiert sich an der Luft und bildet auf dem Eisen so den Schutzfilm. Auch Bitumenanstriche oder Teerpechanstriche haben sich gut bewährt. Wichtig ist in allen Fällen

1. den Anstrich nur auf rostfreiem Eisen anzubringen, da sonst die Rostvorgänge unter dem Anstrich weitergehen können und
2. den Schutzfilm dicht zu gestalten.

Der häufig an Eisenkonstruktionen bei Lieferung von der Schmiede aufgebrauchte Mennigeanstrich ist oft schädlicher als nützlich, wenn er zu dünn ist. Mehrmaliger Anstrich ist stets erforderlich, wenn der Film dicht sein soll; selbstverständlich ist weiter Erneuerung des Anstrichs mehr oder weniger häufig, je nach den Einflüssen, denen der Anstrich ausgesetzt ist, denn jeder Anstrich geht im Laufe der Zeit infolge seiner organischen Grundlage zugrunde. Wichtig ist zur Erhaltung von Bauwerken, rechtzeitig die Schutzanstriche zu erneuern. Starke Verrostungen verteuern die Erneuerung ungemein, da der Rost schwer zu entfernen ist und häufig nur mit Sandstrahlgebläse beseitigt werden kann. Bei der Konstruktion sehe man darauf, daß sich keine Winkel und Ecken bilden, in denen Wasser stehen bleiben kann und die außerdem für die Anbringung des Anstrichs stets schwer zugänglich sind. Gerade solche Wasserecken, in denen sich kohlenensäurehaltiges und schwefelsäurehaltiges (Rauchgase!) Wasser ansammeln kann, sind die Ausgangspunkte für die Verrostungen, die in kurzer Zeit so stark werden können, daß sie selbst die Standfestigkeit des Bauwerks beeinträchtigen. Auch Schmutzecken wirken im gleichen Sinne schädlich, da der sich anhäufende Ruß besonders stark schwefelsäurehaltig ist.

VI. Leichtmetalle.

Das wichtigste und am meisten verwendete Leichtmetall ist Aluminium, welches aus Tonerde gewonnen wird und das man aus diesem Grunde bei seinem ersten Auftreten auf der Weltausstellung 1855 in Paris, wo es durch St. Claire-Deville gezeigt wurde, als „Silber aus Lehm“ bezeichnete.

Aluminium ist ein weiches weißes Metall, welches sich gut hämmern läßt, das aber durch Trink- und Gebrauchswasser leicht und stark angegriffen wird, besonders, wenn andere Metalle zugegen sind. Es ist verhältnismäßig säurebeständig, wird aber von Alkalien gelöst, z. B. durch Natronlauge unter Wasserstoffentwicklung. An der atmosphärischen Luft bedeckt es sich sofort mit einer hauchdünnen Oxydschicht, die es matt macht, aber gleichzeitig gegen den weiteren Angriff der Luft schützt. Aluminium ist durch sein Vorkommen im Ton als Aluminiumsilikat das verbreitetste Metall auf der Erde, dennoch wurde es, da es nur auf elektrischem Weg bei hoher Stromdichte und starkem Verbrauch an Elektrizität hergestellt werden kann, erst als eines der allerletzten Metalle dem menschlichen Gebrauch zugänglich gemacht. Es kostete das kg

1854	800 RM.
1892	5 RM. (Vervollkommnung der Methode und Einführung der Elektrolyse).
1909	1,40 RM.
Heute kaum	1,— RM.

Die Gewinnung des Aluminiums geschieht heutzutage ausschließlich auf elektrolytischem Wege und zwar in folgender Weise¹:

Die reine Tonerde, die man entweder aus Bauxit, neuerdings auch aus gewöhnlichem und in ungeheuren Mengen billig erhältlichen Ton (Lehm) gewinnen kann, wird in einem Bad von einem in der Glut flüssigen Salz gelöst. Das Bad befindet sich in einem Blechkasten, dessen Boden aus Kohle besteht, während in das Salzbad selbst mehrere Kohleelektroden in Reihen von 5—10 Stück oder mehr von oben eintauchen. Das Bad besteht in der Hauptsache aus Kryolith mit Zusatz von Flußspat oder anderen Flußmitteln und vermag 20 % reine Tonerde zu lösen. Durch dieses glühendflüssige Bad mit seinem Gehalt an gelöster Tonerde wird nun elektrischer Strom mit niedriger Spannung von ungefähr 7 V geschickt. Die Ofenfütterung bildet die Kathode und auf ihr scheidet sich das glühendflüssige Aluminium bei einer Badtemperatur von ungefähr 800—900° ab; bei dieser Zerlegung des Aluminiumoxyds (Al_2O_3) in Aluminium (Al) und Sauerstoff (O) scheidet sich der Sauerstoff an der von oben her in das Bad eintauchenden Kohleanode ab und verbrennt hier mit deren Kohlenstoff zu Kohlensäure, die entweicht. Die im Bad gelöste Tonerde wird also dauernd zu Aluminium reduziert und muß deshalb durch dauernde Zugabe von Tonerde ungefähr auf gleicher Höhe gehalten werden (Abb. 57). Die Elektroden verbrennen durch die Aufnahme des Sauerstoffs und sind deshalb von Zeit zu Zeit zu erneuern.

¹ Näheres siehe Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. 1 S. 252, Abb. 96.

Das glühendflüssige Aluminium wird durch Abstechen oder Heraus-schöpfen entnommen.

Verwendung: Neben der seit Jahren gebräuchlichen Verwendung zu Kochgeschirren, Feldflaschen u. dgl. wird neuerdings das Aluminium in größtem Umfang für das Nahrungsmittelgewerbe, für Isolation, Schutz gegen Feuchtigkeit, Flugzeugbau usw. herangezogen. Da es

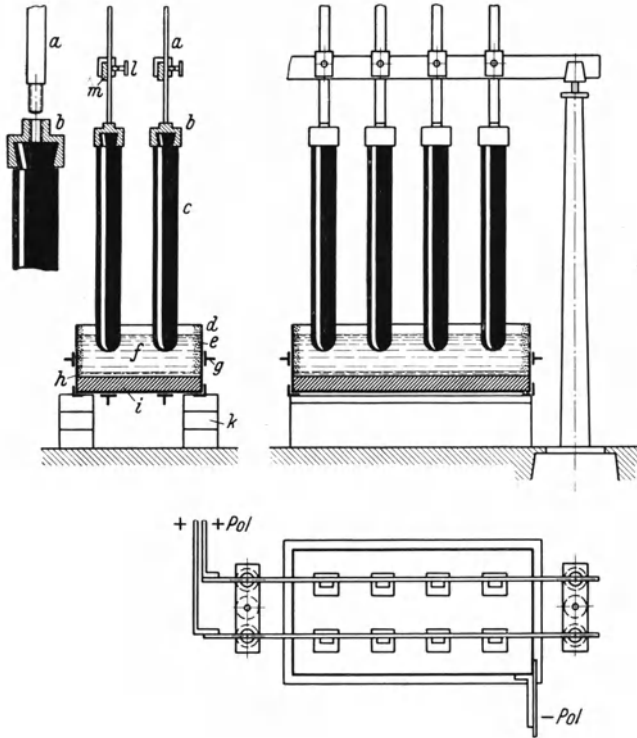


Abb. 57. Aluminiumherstellung aus Tonerde nach WINTERER.

a Kupferstangen; *b* Elektrodenhalter; *c* Kohleelektroden; *d* schmiedeeiserner Kasten; *e* erstarrte Schmelze; *f* Schmelze; *g* Versteifung; *h* abgeschiedenes Aluminium; *i* Kohleboden; *k* Ziegel; *l* Klemmen; *m* Stromzuführung.

In der Schmelze (*f*) aus Kryolith ist reine Tonerde (Al_2O_3) gelöst. Diese wird durch den Stromdurchfluß gespalten in Aluminium (Al) und Sauerstoff (O). Der Sauerstoff verbrennt mit dem Kohlenstoff der Elektroden (*c*) zu Kohlensäure (CO_2), die als Gas entweicht. Das Aluminium scheidet sich glühendflüssig unter der Kryolith-Schmelze ab (*h*). Die nötige Tonerde kann aus Ton in beliebigen Mengen gewonnen werden.

gelingen ist, durch Zusatz geringer Mengen anderer Metalle das Aluminium schweißbar zu machen und durch sonstige Zusätze die Qualität der Legierungen so zu verbessern, daß man diese sogar als Leitungsdraht (mit und ohne Stahlseele) für elektrischen Strom verwenden kann, ist der Anwendungsbereich des Aluminiums und des ähnlichen Magnesiums so erweitert, daß wir zweifellos einem Leichtmetallzeitalter entgegengehen. Denn wir sind ja imstande, Aluminium in beliebigen Mengen aus Ton.

erde zu gewinnen, wenn uns nur genügend elektrischer Strom zur Verfügung steht, während uns andere Metalle wie Kupfer praktisch un-

Legierungen des Aluminiums:

	Al	Si	Mg	Cu	Mn
Aldrey . . .	99,5	0,5	0,5	—	—
Aludur . . .	99,5	—	0,5	—	—
Duralumin .	95,5	—	0,5	3	1
Lautal . . .	94	2	—	4	—
Elektron . .	9	—	90	0,5	0,5

Al = Aluminium Si = Silicium Mg = Magnesium
Cu = Kupfer Mn = Mangan.

erreichbar sind. Über die wichtigsten Legierungen und ihre Zusammensetzung gibt die nebenstehende Zusammenstellung eine schnelle Übersicht.

Die zur Herstellung des Aluminiums nötige Tonerde wird aus tonerdereichen Gesteinen

(Bauxit) gewonnen, indem man diese glüht und auf diese Weise aufschließt und dann die Tonerde mit Säuren herauslöst. Neuerdings versucht man auch, gewöhnlichen Ton heranzuziehen, den man mit Kalk sintert. Es entstehen dadurch aus den Aluminiumsilikaten des Tones Kalkaluminats, d. h., das Aluminiumoxyd wird von einer Base, die es ja im Aluminiumsilikat darstellt der starken Base Kalk gegenüber, zu einem Säurerest und bildet „aluminiumsauren Kalk“. Dieser ist in Wasser löslich und wird ausgelaugt. Die Auslaugung muß mit großen Mengen Wasser (wegen der geringen Löslichkeit des Kalkaluminats) erfolgen und schnell durchgeführt werden wegen der leichten Zerfallbarkeit des Kalkaluminats. Die Rückstände dieses Prozesses kann man unter Kalkzusatz zu Zement brennen.

Eigenschaften: Das spezifische Gewicht des Aluminiums ist 2,7. Die Festigkeit seiner Legierungen beträgt 38—42 kg je qmm. Die

DIN- Bezeichnung	Zerreiß- festigkeit kg/mm ²	Bruch- dehnung %
MgAl ₃ . . .	25—28	8 —12
MgAl ₆ . . .	28—32	11 —16
MgMn ₂ . .	19—23	1,5— 5

Drähte können bis zu großer Dünne ausgezogen werden. Wie die obige Zusammenstellung zeigt, bestehen alle Erzeugnisse mit über 94% aus Aluminium (bzw. Magnesium). Die geringen Beimengungen anderer Metalle, wie Silicium, Magnesia, Kupfer und Mangan beeinflussen aber ähnlich wie

bei Eisen die Eigenschaften des Aluminiums in sehr weitem Raum. Nach Mitteilung der Vereinigten Deutschen Metallwerke, Frankfurt a. M. ist die korrosionsbeständigste Legierung MgMn₂. Folgende Festigkeiten kommen für einige Legierungen in Frage (siehe nebenstehende Tabelle). Eine interessante Legierung ist auch das Elektron, welches nur 9% Aluminium enthält, dafür aber zu 90% aus Magnesium besteht. Wie stark der Leichtmetallverbrauch im Zuge der modernen Entwicklung auf den Kopf der Bevölkerung gestiegen ist, zeigt die umstehende Tabelle (Abb. 58).

Der Verbrauch wird zweifellos in dem angegebenen Sinne noch weiter steigen.

Für den Bauingenieur ergibt sich aus der Heranziehung des Aluminiums für seine Bauten eine aussichtsvolle Möglichkeit, Steinbauwerke

durch Aluminiumfolien abzudichten und Bauwerksteile, Armaturen u. dgl. zur Gewichterleichterung aus Aluminium herzustellen. Es ist kein Zweifel, daß durch den Ausbau unserer Wasserkräfte der Preis des Aluminiums noch sinken wird, da sein Preis in der Hauptsache bestimmt wird durch den Strompreis. Nach Mitteilung von Seebauer¹ sind zur Erzeugung von 1 t Aluminium 22000 kWh Strom erforderlich. Auch Kalziumkarbid, Buna, Stickstoff und Edelstahllegierungen sind derartige „Elektrizitätsfresser“, da der Aufwand für einige dieser Rohstoffe bis zu 30 000 kWh geht.

Die Verarbeitbarkeit des Aluminiums in technischer Beziehung ist ähnlich wie die von Eisen und Stahl. Es läßt sich schmelzen und gießen, pressen, walzen, prägen, ziehen, drücken und hämmern. Seine praktische Beständigkeit gegen Korrosion ist gut, es darf nur nicht mit einem anderen Metall bei Gegenwart einer Flüssigkeit in Berührung kommen, da es sonst durch elektrolytische Vorgänge, wie das Zink in einer Taschenlampenbatterie gelöst wird. Deshalb muß beim Nageln von Aluminiumblechen auf Holz der Eisennagel von dem Aluminium durch ein Gummiplättchen od. dgl. getrennt werden².



Abb. 58. Verbrauch von Aluminium im Jahre 1937 in den verschiedenen Ländern.

B. Organische Baustoffe.

Die organischen Baustoffe sind entstanden durch Tätigkeit von Tieren oder Pflanzen und enthalten deren Erzeugnisse: Zellstoff, Harz, Leim usw. Meist ist Kohlenstoff in reduzierter Form, d. h. an Wasserstoff gebundener Form, ihr Hauptbestandteil. Allerdings ist Kalkstein auch durch die Tätigkeit von Lebewesen (Schnecken, Muscheln, Korallen) aufgebaut. Auch er enthält Kohlenstoff, aber in oxydierter Form als CO₂ (Kohlensäure) an Sauerstoff gebunden. Man nennt aber solche Verbindungen der Kohlensäure mit Kalk nicht organische Erzeugnisse, da sie nur noch ganz geringe Mengen von Kohlehydrat und Kohlenwasserstoff u. dgl. enthalten, die beim Sterben der Tiere zurückgeblieben sind.

Der wichtigste organische Baustoff ist das Holz. Holz können wir nicht „aufbauen“ wie Beton, oder rein darstellen wie Eisen oder Alu-

¹ Vgl. Umschau 1939, S. 140.

² Näheres vgl. Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. 1 S. 246.

minium, es muß „wachsen“. Demgemäß ist der für uns hier wichtigste Abschnitt der Schutz gegen die Tätigkeit anderer Lebewesen, die es unter Kohlensäureentweichung zu vernichten drohen, gewidmet. Zur Abschießung dienen nicht nur Dachpappen und Kitt, sondern auch Anstrichfarben. Zur Aneinanderfügung von Holz dient weiter der Leim. Dementsprechend sind auch weiter besprochen Dachpappe, Leim und Kitt, sowie die so überaus wichtigen Anstrichfarben.

I. Holz¹.

Im Leben des Baumes hat das Holz verschiedene Aufgaben zu erfüllen, es hat 1. den Baumstamm zu bilden, der die Blätterkrone trägt,



Abb. 59. Mikraufnahme eines Holzdünnschnitts.

2. vermittelt es den Saftverkehr zwischen dieser Blätterkrone und den Wurzeln, schließlich dient es noch 3. als Speisekammer für Reservestoffe, wie beispielsweise Stärke. Entsprechend dieser vielfachen Aufgabe besteht das Holz aus Zellen, welche hauptsächlich in der Längsrichtung miteinander in Verbindung stehen. Das Baumaterial der Zellen ist Zellstoff (Zellulose), der eine faserige Beschaffenheit hat; der Zellstoff ist durch einen verholzenden Stoff, das Lignin, starr gemacht. Eingelagert ist Stärke als Reservestoff, die uns hier nichts angeht, ebenso Harze und ähnliche Verbindungen. Da wir uns hier mit Baustoffen beschäftigen, interessiert uns vor allem die Standfestigkeit und die Beständigkeit des Holzes und ihre Beeinflussbarkeit.

gert ist Stärke als Reservestoff, die uns hier nichts angeht, ebenso Harze und ähnliche Verbindungen. Da wir uns hier mit Baustoffen beschäftigen, interessiert uns vor allem die Standfestigkeit und die Beständigkeit des Holzes und ihre Beeinflussbarkeit.

Eigenschaften des Holzes.

Nach seiner chemischen Zusammensetzung besteht das Holz zur Hälfte aus Kohlenstoff. Im übrigen sind noch Wasserstoff und Sauerstoff vorhanden. Manche Hölzer haben außerdem noch geringe Mengen Gerbstoff, wie beispielsweise das Eichenholz, oder Farbstoffe, wie die sog. Farbhölzer, die zum Färben dienen. Die Asche des Holzes, welche nur ungefähr 3 % der ganzen Substanzmenge beträgt, besteht zu einem

¹ Vgl. auch Prof. Kollmann: Technologie des Holzes. Berlin: Springer 1936.

Drittel aus Kaliumverbindungen, die bekanntlich, wenn sie in die heiße Flamme gehalten werden, diese violett färben. Daher die violette Verfärbung heißer Gasflammen beim Hineinhalten einer Zigarre.

Die Wasserdurchlässigkeit des Holzes ist entsprechend seiner Funktion als Leiter im Baumstamm in den verschiedenen Richtungen ganz verschieden. Während Wasser, das von der Stirnseite in das Holz eindringt, also in Richtung der Faser des gewachsenen Baumes, das Holz verhältnismäßig schnell zu passieren vermag, tritt Wasser quer zur Faser nur langsam durch das Holz hindurch, so daß man gequollenes Holz als wasserdicht bezeichnen und aus ihm Kübel u. dgl. herstellen kann, vorausgesetzt, daß die Wassereinwirkung quer zu den Leitungsbahnen erfolgt. Man betrachtet die Zellulose und das Lignin sowie die zuckerartigen Stoffe, die noch außerdem vorhanden sind, als Gele. Solche Gele haben ein erhebliches Absorptionsvermögen, also ein Aufsaugungs- und Festhaltungsvermögen für Salze, außerdem eine erhebliche Quellbarkeit, deshalb schwinden sie beim Austrocknen, quellen aber bei der Befeuchtung unter Raumvergrößerung wieder auf. Die hierbei auftretenden Kräfte sind so groß, daß die Alten durch ausgetrocknete Holzkeile, die sie nach dem Eintreiben mit Wasser begossen, Steine sprengten.

Austrocknung vermag die im grünen Holz enthaltene Feuchtigkeit von rd. 50% auf 10% zurückzudrängen. Solches Holz wiegt dann nur noch die Hälfte von Wasser, quillt aber in diesem Wasser sehr schnell wieder auf, weil die Gele Wasser aufnehmen und dabei eine mehr schwammige Beschaffenheit annehmen. In trockener Luft schwindet dann das Holz wieder, wobei die Schwindung soweit gehen kann, daß die Struktur zerstört wird und das Holz zerreißt. Abwechselndes Schwinden und Quellen nennt man „arbeiten“. Höhere Temperaturen, wie beispielsweise 120°, verdrängen zunächst den Feuchtigkeitsrest von 10% bei luftgetrocknetem Holz, bei 175° fängt das Holz an, sich zu zersetzen, um bei 250° zerstört zu werden. Bei dieser Zerstörung (trockene Destillation bis zu 400°) entweicht Kohlensäure, Kohlenoxyd, Holzessig, Grubengas u. dgl.

Chemischen Agenzien gegenüber verhält sich das Holz verschieden. Die Luft bleicht zwar das Holz zu grauer Farbe, vermag es aber, wenn es in dicken Schichten vorliegt, nicht zu zerstören. In dünnen Schichten erliegt es der Einwirkung allerdings sofort, wie das schnelle Mürbwerden von Papier, das ja in der Hauptsache aus Holzstoff besteht, an der Sonne zeigt.

Säuren zerstören das Holz bald, hauptsächlich wenn sie konzentriert sind, oder wenn die Temperatur über 40° ansteigt. Hierbei wird die Zellulose verändert und in Hydrozellulose verwandelt (Wasseraufnahme, Hydrierung). Auch verdünnte Säuren zerstören bei höheren Temperaturen und bei Druck die Zellulose und verwandeln sie in Zucker: Holzverzuckerung, die zweifellos zur Herstellung von Nahrungsmitteln und von Alkohol aus Holz in Zukunft große Bedeutung erhält (Schöller).

Salze werden häufig verwendet, um das Holz gegen Bakterienfraß, Wurmfraß oder Verfaulung zu schützen; sie verändern, vorausgesetzt,

daß es nicht saure Salze sind, das Holz nur unwesentlich. Oxydationsmittel dagegen verbrennen das Holz, ähnlich wie Feuer, auch wieder unter Bildung von Säuren, wie Essigsäure.

Zerstörung des Holzes.

Besonders wichtig ist die Holzzerstörung durch Pilze, im minderen Grade auch durch Lebewesen, wie Holzwürmer und Larven von Holzwespen. Bei der Fäulnis unterscheidet man zwischen Destruktions- und Korrosionsfäule.

Bei der Destruktionsfäule bleibt der Bau des Holzes völlig erhalten, das Holz wird aber mürbe und leicht zerstörbar, bei der Korrosionsfäule geht die Zellstruktur verloren und es treten Hohlräume auf. Als Beispiel der Destruktionsfäule seien die bekannten großen Zerstörungen, veranlaßt durch Trockenfäule, erwähnt, welche dann auftritt, wenn von den diese Fäule veranlassenden Pilzen befallenes Holz so eingebaut wird, daß es nicht trocknen kann, z. B. unter Linoleum. Man lasse deshalb stets einem Fußboden genügend Zeit zum Trocknen, wenn man gezwungen war, ihn aus „grünem“ Holz herstellen zu lassen und eile nie mit dem Aufbringen von Linoleum oder Anstrich. Kurze, beim Bau ersparte Zeiträume können die Ursache für sehr teure, zeitraubende Reparaturen sein. Von Trockenfäule befallenes Holz wird, ohne seine Form zu ändern, mürbe. Es sieht trocken aus, macht keineswegs einen nassen Eindruck und zerfällt bei geringer mechanischer Beanspruchung. Möbel auf Linoleum „brechen ein“ wie in eine mürbe Eisdecke. Die Zerstörung kann in 1 bis 2 Jahren eine völlige sein.

Als Beispiel für die Korrosionsfäule sei verwiesen auf die Zerstörung durch den berüchtigten Hausschwamm. Dieser kommt wesentlich seltener vor als die Trockenfäule, wirkt aber dann auch um so energischer, er vermag das Holzwerk eines vielstöckigen Hauses in wenigen Jahren völlig zu vernichten. Besonders bemerkenswert bei der Zerstörung durch den Holzschwamm vom chemischen Standpunkt ist die Tatsache, daß dieser die Zellsubstanz in der Weise abbaut, daß er aus ihr Wasser freisetzt, so daß beim Befallen von Holz durch den gewöhnlichen Hausschwamm wieder Wasser gebildet wird, welches ihm, da er Wasser zu seinem Leben braucht, eine geradezu unbegrenzte Lebensdauer sichert. Der Hausschwamm ist besonders leicht übertragbar, seine Sporen bleiben ein Jahr am Leben und können infolge ihrer Leichtigkeit schon durch Luftzug, durch Stiefel, Hände usw. verschleppt werden. Bei der Wiederherstellung eines mit Hausschwamm befallenen Hauses müssen deshalb die befallenen und benachbarten Balken möglichst an Ort und Stelle sofort verbrannt werden, die Neuauflagefläche für neue Balken ist mit Teer gut anzustreichen und auf diese Weise zu desinfizieren, es darf nur imprägniertes Holz verwendet werden. Nach meinen Erfahrungen ist es in solchen Fällen sogar zweckmäßig, eine Steineisendecke an Stelle einer Holzdecke einzuziehen, um gegen alle Rückschläge gesichert zu sein.

Tierische Schädlinge sind die bekannten Holzwürmer, die wegen des Klopfens, das sie bisweilen im Holz hervorrufen, welches natürlich

in stillen Nächten von wachenden Kranken leicht gehört wird, als Toten-uhren bezeichnet werden. Solche Holzwürmer kommen hauptsächlich in Frage in Möbeln, die sie völlig zu zerfressen vermögen. Die Zerstörung ist von außen nicht zu erkennen, da die Holzwürmer die Anbohrung der obersten Schicht vermeiden. Gute Erfahrungen zur Beseitigung dieser Holzwürmer habe ich gemacht mit der Einspritzung in das Holz von einer Mischung von Azeton oder Benzol und Benzin (Achtung! Feuergefährlich!). Auch Schwefelkohlenstoff vermag hier zu helfen, wenn die Geruchsbelästigung nicht befürchtet wird. Die Einspritzung muß aber in zahlreiche Bohrlöcher erfolgen und wiederholt werden, so daß auch die Puppen erfaßt werden. Die in dieser Weise behandelten Hölzer wer-



Abb. 60. Beispiel einer Zerstörung durch Holzbock: Der Holzbock zerfrißt das Holz. Er tritt in letzter Zeit in steigendem Maße auf. Da die Oberfläche zunächst intakt bleibt, werden leicht Zerstörungen bei Festigkeitsuntersuchungen erst später entdeckt¹. Abhilfe ist nur möglich durch Vergiftung des Holzes.

den nicht weiter zerstört, besonders wenn neue Infizierungen vermieden werden.

In neuerer Zeit breitet sich der Hausbock in zunehmendem Maße aus, gegen den ein energischer Kampf geführt werden muß². Man bekämpft den Hausbock entweder mit Heißluft oder mit Blausäure. Die Vergasung darf aber nur von Fachleuten vorgenommen werden, da Blausäure ebenso giftig ist wie Zyankali und bereits unter Umständen ein Atemzug genügt, um einen Menschen zu töten. Allergrößte Vorsicht ist daher geboten (Abb. 60). Besonders großer Schaden wird auch durch Bohrfraß von Muscheln, die wurmgleich bis zu 40 cm lang, und am Kopf mit Platten aus kohlensaurem Kalk versehen sind, angerichtet. In we-

¹ Über die Zerstörung durch den Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajalus* L.) vgl. Madel: Speckkäferlarven zerstören Holz- und Mauerwerk. Bautenschutz 1939, S. 12.

² Hespeler: Neuere Erfahrungen in der Hausbockbekämpfung. Bauing. 1938, S. 283.

nigen Jahren vermögen diese „Muscheln“, die gar nicht mehr aussehen wie Muscheln, sondern wie Würmer, große Landungsbrücken zu zerstören. Abhilfe bringt nur Beseitigung bereits befallener Hölzer, da die Vernichtung der Tiere unmöglich ist. Am besten hat sich als Vorbeugungsmaßnahme bei uns die Anwendung von Hölzern aus den Tropen bewährt. Diese Hölzer werden aber von tropischen Bohrmuscheln in den Heimatorten dieser Hölzer gleichfalls vernichtet. Anstriche sind zwecklos, dagegen ist Beschlagen mit Nägeln in kurzer Entfernung, und vor allen Dingen Imprägnierung mit Teerölen von Vorteil. Die in den Seehäfen von Bohrmuscheln verursachten Schäden gehen jährlich in die Millionen; allein in San Franzisko belief sich der Schaden in den Jahren 1917 bis 1921 auf 25 Mill. Dollar¹.

Bei Einwirkung von Feuer zerfällt das Holz wieder in seine ursprünglichen Bestandteile: Kohlensäure und Wasser. Holz wird bekanntlich gebildet unter der Einwirkung von Chlorophylls der Blätter, aus der Kohlensäure (CO_2) der Luft und dem Wasser aus der Erde. Die Pflanze setzt aus der Kohlensäure den Sauerstoff in Freiheit, der ausgeatmet wird, während der Kohlenstoff mit Wasser (H_2O) sich zu dem Kohlehydrat, der Zellulose, dem Hauptbestandteil des Holzes ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \times \text{mal}$) verbindet, das also nach seiner Formel ähnlich zusammengesetzt ist wie z. B. Zucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Aus diesem Grunde kann ja auch durch bestimmte Verfahren die Zellulose aufgespalten und in Zucker verwandelt, also verzuckert werden. Bei Einwirkung des Feuers bildet sich nun wieder unter Zutritt des Sauerstoffs aus der Luft Kohlensäure (CO_2) zurück, gleichzeitig Wasser aus dem Wasserstoffanteil, und es bleiben nur diejenigen anorganischen Substanzen in der Asche zurück, welche das Holz neben dem Zellstoff enthielt und aus der Erde durch die Wurzeln aufgenommen hat. Bei unvollkommener Verbrennung, also bei Luftmangel, verbrennt ein Teil des Kohlenstoffs nicht und bildet Holzkohle.

Schutz des Holzes.

Der Schutz von Holz gegen Fäulnis und Feuer ist selbstverständlich bei der Empfindlichkeit dieses Baustoffes gegen die genannten Einflüsse von großer Wichtigkeit².

Die Maßnahmen zum Schutze des Holzes gliedern sich in solche, die es entweder vor Fäulnis oder vor Feuer schützen sollen.

Die erste Vorbedingung für die Haltbarkeit des Holzes ist die möglichst weitgehende Herabdrückung der Menge solcher Substanzen, welche die Fäulnis befördern. Man schlägt das Holz deshalb in der Zeit, in der es möglichst saftarm ist, oder läßt es, wenn es im Sommer geschlagen wird, belaubt liegen, damit möglichst weitgehend die in Lösung befind-

¹ Roch: Holzfressende Muscheln als Großschädlinge. Umschau 1938, S. 1128. — Vgl. auch Bärenfänger: Biologische Faktoren bei Unterwasseranstrichen im Meer. Angew. Chem. 1939, S. 72.

² Vgl. auch: Der Schutz feuchten Holzes im Bau. Baumarkt 1938 S. 1268 und 1293. — Mörath: Holzschutz, Holzverbindungen und holzsparende Bauweisen. Bautechn. 1938 S. 645. — Holzschutz im Hochbau. Berlin: Bauwelt-Verlag 1939. — Wagner, Der Schutz des Bauholzes, Baumarkt 1940, S. 490.

lichen Eiweißstoffe und sonstigen Salze des Holzsaftes aus dem Holz entfernt werden.

Als weitere Maßnahmen kommen in Betracht die Fernhaltung der Luft durch entsprechende Schutzschichten oder die Vergiftung des Holzes, damit es den Lebewesen, die es zerstören, nicht mehr zur Nahrung dienen kann. Zur Abschließung von der Außenwelt mit all ihren Schädlichkeiten kommen entweder in Betracht verschiedenartige Schutzschichten, wie Metallbeschlag oder Anstrich. Unter Luftabschluß befindliches Holz hält sich geradezu unbegrenzte Zeit. Man hat aus Kiesgruben 100 000 Jahre alte Baumstämme ausgegraben, die noch vollkommen erhalten gewesen sind. Ebenso bekannt ist die Tatsache, daß Pfähle, auf denen altertümliche Bauwerke ruhen, solange unversehrt bleiben, als sie sich ganz unter Wasser befinden.

Die Senkung mittelalterlicher Bauwerke durch Verfaulen der Holzpfähle, auf welchen sie gegründet sind, in neuerer Zeit ist darauf zurückzuführen, daß infolge des großen Bedarfes der Großstädte an Wasser der Grundwasserspiegel absank und die Köpfe der Pfähle der Luft ausgesetzt wurden; nachdem sie unter Wasser jahrhundertlang sich unversehrt gehalten hatten, gingen sie erst jetzt durch den Luftzutritt schnell zugrunde, da nunmehr die Lebensbedingungen für die Zerstörungspilze geschaffen waren.

Schutz gegen Fäulnis.

Der Schutz gegen Fäulnis kann in zweierlei Weise vorgenommen werden, entweder durch den

gewöhnlichen Anstrich

oder durch

Imprägnierung.

Der Anstrich wird in den meisten Fällen durchgeführt mit Ölfarben, die auf Leinölbasis beruhen. Diese Anstriche bestehen also einerseits aus Leinöl oder ähnlichen Ölen, andererseits aus dem Pigment. Das Pigment hat die Aufgabe, den Anstrich zu färben und ihn dadurch lichtundurchlässig zu machen. Diese Lichtundurchlässigkeit ist notwendig, um bei der Bestrahlung des Anstriches durch Sonnenlicht die inneren Anstrichteile vor der Zerstörung durch das Licht zu schützen. Es handelt sich bei dieser Art von Schutz nur um einen einfachen Abschluß durch einen Überzug, der im Laufe der Zeit zugrunde geht und deshalb häufig wiederholt werden muß. Will man höchste Beständigkeit erreichen, so ist es zweckmäßig, beim Bau die zu verwendenden Hölzer an den Stößen bereits vor der Verbauung mit Leinöl (oder Karbolineum u. dgl.) zu streichen. Die Lebensdauer wird dadurch stark hinaufgesetzt. Ein derartiger Leinölanstrich wird zweckmäßig bereits auch angebracht, bevor man mit pigmentversetztem Leinöl, also mit der fertigen Ölfarbe streicht. Außer den gewöhnlichen Leinölanstrichen gibt es noch Nitro-Zelluloseanstriche und Emulsionen. Näheres über Anstriche s. S. 143.

Die Imprägnierung ist im allgemeinen wirksamer als der Anstrich, wenn sie auch dem Holz nicht das gleiche schöne Aussehen verleiht. Sie kann entweder durchgeführt werden mit Ölen, die das Wasser

fernhalten, oder mit wässrigen Flüssigkeiten, in welchen ein Gift gelöst ist, wie beispielsweise Sublimat, welches dann die Lebenstätigkeit der das Holz zerstörenden Pilze und Schwämme unterbindet. Als Imprägnieröle dienen destillierte Teeröle, Braunkohlen-Teeröl-Derivate, Karbolineum und Holzteer. Als wässrige Imprägnierflüssigkeit kommen Sublimat, also Quecksilberchlorid („Kyanisieren“), Kupfersalze u. dgl. in Betracht. Der wichtigste Teil beim Imprägnieren ist das Verfahren, mit dem die Imprägnierflüssigkeit dem Holz zugeleitet wird. Beim einfachen Anstrich wird nur die oberste Schicht des Holzes erfaßt.

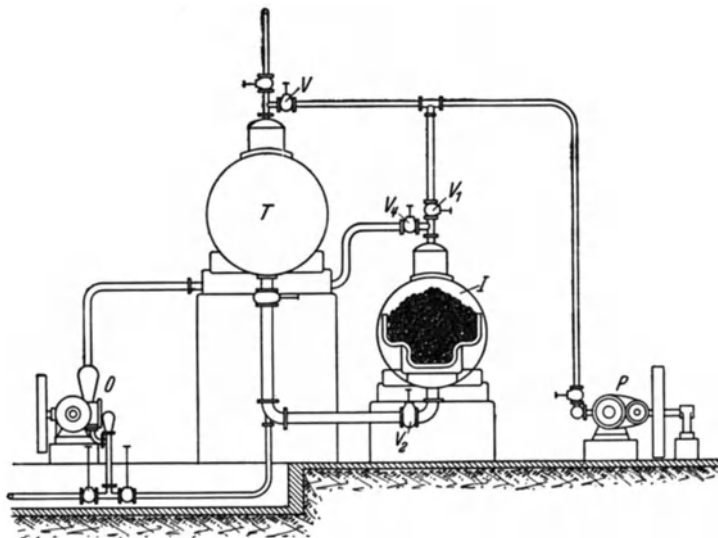


Abb. 61. Holzimprägnierung. Das Holz wird in einem geschlossenen Kessel zunächst unter Druck gesetzt, um die Poren mit Luft zu füllen. Darauf wird die Imprägnierflüssigkeit unter Beibehaltung des Druckes aus dem Kessel *T* zugelassen und der Druck dann erhöht. Durch die Erhöhung des Druckes wird die Imprägnierflüssigkeit unter Zusammenpressung der bereits im Holz befindlichen Luft in das Holz gedrückt. Bei der dann folgenden völligen Aufhebung des Druckes preßt die im Holz wie eine Feder zusammengedrückte Luft die Imprägnierflüssigkeit wieder aus dem Holz heraus; die geringen zurückbleibenden Mengen genügen zum Schutz des Holzes. Würde man die Imprägnierung ohne vorherige Unter-Drucksetzung des Holzes vornehmen, so würden viel zu große Mengen Imprägnierflüssigkeit in dem Holz zurückbleiben, das Verfahren zu teuer und das Holz zu naß werden.

Der Kern bleibt nicht imprägniert und wird infolgedessen nach wie vor leicht zerstört. Auch einfaches Einlegen ist nur von geringem Erfolg begleitet. Wesentlich wirksamer sind deshalb diejenigen Verfahren, bei welchen das Holz durch und durch mit der Imprägnierungsflüssigkeit getränkt wird.

Einige Verfahren der Imprägniertechnik seien, da sie von allgemeinem Interesse sind, kurz geschildert.

Durchtränkung der Holzstämmen wird dadurch erreicht, daß man diese an einer Rohrleitung wasserdicht durch Muffen anschließt, welche mit einem ungefähr 10 m hohen aufgestellten Gefäß, in dem sich die Imprägnierflüssigkeit befindet, verbunden ist. Nach 14 Tagen sind die

Stämme durchtränkt. Der Verbrauch an Lösung ist hierbei aber sehr groß. Der gleiche Übelstand ist vorhanden beim Vollimprägnierverfahren, bei welchem man die Holzteile in ein hohes Vakuum bringt, in welchem sie in der Imprägnierflüssigkeit untergetaucht liegen. Bei Herstellung des normalen Luftdruckes wird diese dann in die Stämme eingepreßt und so völlig verbraucht. Zweckmäßiger ist es deshalb, zuerst das trockene Holz einem Luftdruck von 4 atü auszusetzen, bis es sich völlig mit Luft von diesem Druck gefüllt hat, dann unter noch höherem Druck die Imprägnierflüssigkeit einzupressen (6 atü) und schließlich den Druck aufzuheben. Hierbei wirkt die vorher eingepreßte Luft wie eine Feder, die komprimiert war, und drückt die Imprägnierflüssigkeit, die auf diese Weise größtenteils zurückgewonnen wird, wieder aus dem Holz heraus. Die Imprägnierung der Holzzellen mit dem Gift genügt hierbei vollkommen, um seine lange Beständigkeit zu gewährleisten (Abb. 61). Durch diese Art der Imprägnierung steigt die Lebensdauer verschiedener Hölzer wie folgt:

Für Eisenbahnschwellen Kiefer von 5 Jahre auf 18 Jahre, für Eiche von 13 auf 25 Jahre, für Buche von 2 ½ auf 30 Jahre, für Telegrafentstangen von 8 Jahre auf 15 Jahre bei Kyanisierung, auf 21 Jahre bei Steinkohlenteerimprägnierung, für Grubenhölzer von 1 Jahr auf 6 Jahre.

Die Kosten für Grubenhölzer 1 m³ einschließlich Einbaukosten fallen also beispielsweise durch Fluornatriumimprägnierung von 48 RM auf 9,35 RM¹.

Selbstverständlich bieten diese Imprägnierverfahren auch Schutz gegen den weniger wichtigen Wurmfraß.

Schutz gegen Schadenfeuer².

Als Verbrennungsschutz sei zunächst angeführt die Ummantelung des Holzes durch Rabitzputz u. dgl., weiter seine Tränkung. Als Tränkungsmittel ist am bekanntesten Wasserglas, welches das Holz schwer entflammbar macht. Weiter werden noch herangezogen Ammonsalze, kohlensaure Salze, die bei Erhitzung Kohlensäure und andere unbrennbare Gase abgeben und so die Entflammung hinauszögern, und schließlich schmelzende Salze, wie Borsalze, die einen dünnen Überzug hervorbringen.

Bereits im Altertum bekannt waren weiter Alaunarten, die mit hohen Anzahlen von Molekülen an Kristallwasser kristallisieren, also Wasser festhalten und dieses bei der Verbrennung wieder abgeben; nach Art des Leidenfrostschen Phänomens (Tanzen eines Wassertropfens auf einer glühenden Herdplatte) wird so das Holz mit einer die Hitze schwer leitenden Dampfhülle umgeben und so vor der Entflammung einige Zeit geschützt.

Allen diesen Mitteln ist gemeinsam, daß sie bei höheren Temperaturen auf die Dauer versagen, also die Inbrandsetzung des Holzes nur hinauszögern, nicht aber bei hoher Hitzeeinwirkung (Thermitbomben)

¹ Vgl. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, 2. Aufl. S. 164.

² Vgl. auch Nowak: Der Feuerschutz des Holzes und seine Prüfung. Mitt. Wiener Städt. Prüf. Inst. Baustoffe 1938, Folge 1.

verhindern können. Gewisse Fortschritte sind hier zweifellos aber in Bälde zu erwarten, wenn man nämlich durch und durch das Holz in der oben beschriebenen Weise mit den genannten Salzen imprägniert und nicht nur von außen, wie bisher, anstreicht.

II. Asphalt, Bitumen, Teer, Pech.

Diese oft mit dem Sammelnamen „bituminöse Massen“ bezeichneten organischen Baustoffe haben alle folgendes gemein:

1. Sie werden bei Erwärmung weich. Wissenschaftlich ausgedrückt heißt dies: Sie haben keinen bestimmten Schmelzpunkt wie Eis, wenn es sich in Wasser verwandelt (0°), sondern der Übergang vom festen in den flüssigen Zustand erfolgt allmählich. Sie haben also einen Erweichungspunkt.

2. Auch in „festem“ Zustand haben sie noch eine gewisse „Plastizität“ oder Formbarkeit. Sie sind also gar nicht ganz fest, wie z. B. Stein oder Stahl oder erhärteter Zement, sondern sie haben stets noch eine gewisse „Fließbarkeit“. Daraus ergibt sich ein gewisses „Anpassungsvermögen“. In einem Belag entstandene Risse vermögen noch „zuzuwachsen“. Unter Druck, z. B. bei Straßendecken, werden sie nicht zertrümmert, sondern im Gegenteil durch den Wagenverkehr noch verdichtet.

3. Sie bestehen aus organischen schwarzen (selten braunen) Massen von harzartiger Beschaffenheit und stellen Gemische von vielen verschiedenen Kohlenwasserstoffen dar. Diese haben verhältnismäßig große Moleküle, die vermutlich sehr lang sind (in der Form von Regenwürmern) und deren Form die eigentlichen physikalischen Eigenschaften bedingt.

4. Das Hauptverwendungsgebiet ist neben Bitumen- oder Teerpapenherstellung (S. 137) und Dichtung (S. 38 u. 91) der Straßenbau.

Das Wesen der mit den oben genannten Bituminas usw. hergestellten Straßendecken besteht darin, daß Gesteinstrümmer (Basalt, Granit, Hochofenschlackensplitt) mit organischen harzigen Stoffen, den Bituminas, dem Pech oder dem Teer zu einer Art „Beton“ verkittet werden. Richtig hergestellte Straßen sind griffig, beständig und fest, falsch hergestellte glatt, rissig oder weich und unbeständig.

Alle hier genannten Bituminas, Teere und Pecher haben das eine verwandte, daß sie brennbar sind, dunkel, meist schwarz aussehen und chemisch ähnlich aufgebaut sind. Sie haben sich aus organischen Stoffen gebildet, ähnlich wie Kohle, sind deshalb stark kohlenstoffhaltig und enthalten den Kohlenstoff in Form von Kohlenwasserstoff. Man unterscheidet Asphalt, Straßendeckenteere, Kaltteere und Emulsionen.

a) Asphalt.

Asphalte sind schwarze Massen von harzartiger Beschaffenheit, die entweder direkt als Asphalt in der Natur vorkommen oder in einem Naphtha, also im Erdöl vorhanden sind und bei dessen Destillation als

Rückstand gewonnen werden. Es gibt ganz harte und spröde Asphalte, ebenso mehr zähflüssige. In der Natur vorkommende Asphalte sind häufig mit Mineralien gemischt. Der Mineralienanteil wird oft so hoch, daß er der Hauptbestandteil der Masse ausmacht. Die letzteren Asphaltgesteine werden nicht durch Destillation weiter verarbeitet, sondern sie kommen unmittelbar in gemahlenem Zustand, hauptsächlich für Straßendeckenherstellung, zur Verarbeitung: Stampfasphalt (mit Bitumen angereichert verwendet man sie besonders als Gußasphalt).

b) Straßendeckenteer.

Der Teer entsteht bei der Steinkohlendestillation als Rohteer. Man kann ihn weiter veredeln durch Abdestillation der leicht siedenden Bestandteile. Er wird dann zäher, je nach dem Grad der einwirkenden Temperaturen. Auch verdünnen kann man die Teere dadurch, daß man ihnen Steinkohlenteeröle beimischt, ebenso kann man sie dicker machen durch Pechzusatz u. dgl. Pech bleibt zurück bei Abdestillation der Teere (Pflastervergußmasse ist ein Mischprodukt der Verarbeitung von Teer oder Bitumen mit Gesteinsmehl, welches letzteres man zusetzt, um das Produkt dickflüssiger und beständiger zu machen).

c) Kaltteere.

Kaltteere sind Teere mit oder ohne Zusatz von Fluxmitteln (leicht siedenden Öle), welche nach der Verarbeitung verdunsten und dickflüssigen Teer zurücklassen. Auch verharzende Stoffe werden zugesetzt, die dann die Dickflüssigkeit durch chemische Umlagerung erzwingen.

d) Emulsionen.

Emulsionen sind feinst verteilte Aufschwemmungen von Bitumen und dgl. in Wasser, die für Anstriche, Straßenbau usw. verwendet werden (vgl. S. 143).

Da alle Bituminas, Pech und Teere besonders für Straßenbau verwendet werden, sei im nachfolgenden die Straßenherstellung kurz geschildert, da sie den besten Überblick über das Wesen und die Eigenschaften und die Verarbeitungsweise der Teere gibt.

Die Herstellung von Belägen, für Straßen, Flugplätze, Dächer usw. erfolgt in drei hauptsächlich Bauweisen:

1. Im Kalteinbau durch Mischung von Kaltteeren mit dem Zuschlag auf der Baustelle oder durch Aufwalzen von geteerten oder bituminiertem Splitt in mehrere Lagen.

2. Im Heißeinbau durch Verdichten oder Vergießen (Walzasphalt, Teerasphalbeton, Gußasphalt) von heißem Rohmaterial.

3. Durch Verwendung von Emulsionen aus Wasser und Bitumen und dgl.

Zu 1. Kalteinbau.

Für den Kalteinbau kann die Mischung des Gesteinsmaterials mit dem Bindemittel auf der Baustelle vorgenommen werden, wenn man Kaltteere verwendet (Abb. 62).

Die Kaltteere sind Teere mit verschiedenen Zusätzen, deren Festwerden nach dem Einbau entweder auf physikalischer oder auf chemischer Grundlage beruht.



Abb. 62. Mischen des Kaltteeres mit dem Zuschlag aus Gesteinsplitt beim Straßenbau.

a) Auf physikalischer Grundlage werden diejenigen Kaltteere fest, die hergestellt sind aus Teer (mit oder ohne Zusatz von Bitumen mit leicht siedenden Ölen [Fluxmittel]).

Nach dem Einbau verdunsten die letzteren, es handelt sich also um einen Trocknungsvorgang.

b) Auf chemischen Umsetzungen beruht das Starrwerden der anderen Gruppe von Kaltteeren, welche Zusätze enthalten, die sich polymerisieren und verharzen. Hier handelt es sich also um einen Vorgang

ähnlichem dem Trocknen von Ölfarbe.

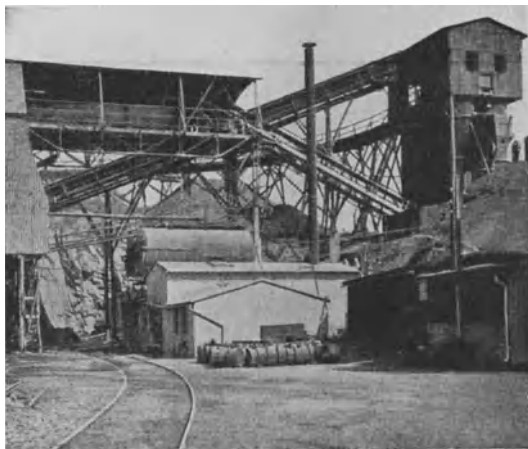


Abb. 63. Anlage zur fabrikmäßigen Herstellung von Teersplitt für Straßenbau u. dgl.

Der Mischung auf der Baustelle wird oft die Aufbereitung des Gesteinsplitts in der Fabrik vorgezogen (Abb. 63). Dieser wird dann überzogen mit einer Pech- oder Teerschicht geliefert und kann an Ort und Stelle in mehreren Lagen aufgebracht und jeweils durch Walzen verdichtet, verarbeitet werden. Die letztere Arbeitsweise ist einfacher und sicherer, da sich der

Straßenbauer weder um das richtige Mischungsverhältnis Teer—Splitt, noch um die genügend starke und dichte Umhüllung des Splitts zu kümmern braucht.

Zu 2. Heißeinbau.

Die Bindemittel für den Heißeinbau sind im Gegensatz zu den im

Kalteinbau verwendeten flüssigen Teeren usw. nur in heißem Zustand flüssig. Der Splitt muß also Hitzebeanspruchung aushalten, der Sand frei von Lehm und organischen Substanzen sein; für die Korngröße sind ähnlich wie bei Beton bestimmte Sieblinien vorgeschrieben. Die „Füller“ sind Gesteinsmehle von Zementfeinheit, bestimmt zum Ausfüllen der Hohlräume und Versteifen des Bindemittels. Heißeinbau erfordert natürlich einen größeren Maschinenpark als Kalteinbau und hohe Sachkenntnis.

Zu 3. Emulsionen.

Emulsionen sind Aufschwemmungen allerfeinster Tröpfchen einer Flüssigkeit in einer anderen, in der sie nicht löslich ist. Zucker in Wasser ist eine Lösung, in Milch ist eine Emulsion. Für Asphalt und Teer benutzt man als Emulsionsflüssigkeit Wasser und setzt Ton und dgl. zu, um das Zusammenklumpen des emulgierten Stoffes zu verhindern. Diese Zusätze (Stabilisatoren) umhüllen die Teer- usw. Tröpfchen mit einer Schutzhaut, welche die Adhäsionskräfte so stark schwächt, daß die Emulsion lagerbeständig wird. Emulsionen muß man vor Frost schützen und darf sie nicht pumpen (!), da sie sonst brechen, d. h. sich in Wasser und Bitumen trennen. Diese Trennung soll erst auf der Straße stattfinden, wo das Wasser dann versickert oder verdunstet und die vorher emulgierte Substanz zurückbleibt. Der Gehalt an emulgierter Substanz (Disperse oder innere Phase) beträgt etwa 50 %. Die Herstellung erfolgt stets in Fabriken. Für den Verbraucher ist wichtig, festzustellen, ob die angelieferte Emulsion auch noch eine solche ist, ob also nicht etwa das „Brechen“ schon erfolgte. Die Emulsion muß gleichmäßig sein, damit sie sich auch durch die engen Düsen der Spritzmaschine pressen läßt; sie soll innerhalb einer Stunde, nachdem sie mit dem Gestein in Berührung gekommen ist, brechen und das Bindemittel soll dies gleichmäßig und gut klebend überziehen. Spätestens fünf Stunden bei Bitumen, zehn Stunden bei Teer nach der Verarbeitung soll das Gemisch Splitt — Bindemittel abgebunden haben, d. h. fest und wasserbeständig geworden sein. Im übrigen sei bezüglich Herstellung und Verarbeitung auf die Fachliteratur hingewiesen, da im Rahmen dieses Buches nur die wichtigsten Vorgänge physikalischer und chemischer Natur behandelt werden können¹⁻³.

III. Kunstharze, Kunststoffe, Phenolformaldehydharze, Kunstharzpreßmassen usw. („Bakelite“)⁴.

Die Kunstharze haben in letzter Zeit eine ganz außerordentliche Bedeutung erhalten. Sie werden schon in großem Umfange verwendet als

¹ Wie prüft man Straßenbaustoff. Berlin 1932, Allgemeiner Industrie-Verlag, Berlin SW 68.

² Oberbach: Teer- und Asphaltstraßenbau, Berlin 1939. Allgemeiner Industrie-Verlag, Berlin SW 68.

³ Teerstraßenbau-ABC, herausgegeben von der Auskunfts- und Beratungsstelle für Teerstraßenbau, Essen.

⁴ Bakelite stellen eine besondere Art Kunstharzpreßmasse dar. Der Name ist

Holzersatz zur Herstellung von Transformatorenhäusen, Tischplatten, Radiokästen, Unterlagen für Schaltanlagen, Lichtschaltern, Türgriffen, Fenstergriffen, Dosen, Füllfederhaltern, zur Herstellung von Beschlägen usw. und werden zweifellos immer weiter an Bedeutung gewinnen, denn ihre Rohstoffe sind billig und stehen uns zur Verfügung (Kohle), ihre Herstellung ist ziemlich einfach und ihre Eigenschaften (Festigkeit, Formbarkeit, Dauerhaftigkeit) sind gut.

Kunstharze werden hergestellt durch Kondensation von Formaldehyd mit anderen organischen Produkten, wie vor allem Phenol, Harnstoff, Thioharnstoff usw. An Stelle des Formaldehyds können auch andere Aldehyde treten.

Formaldehyd ist ein Oxydationsprodukt des Methan (des Grubengases). Es ist also eine einfache Kohlenstoffverbindung mit nur 1 Kohlenstoffatom von der Formel: CH_2O (bei seiner Oxydation entsteht Ameisensäure). Das Formaldehyd dient auch, da es beim Erhitzen gasförmig wird, zur Desinfektion von Räumen und in sehr verdünnter Form zur Haltbarmachung von Konserven.

Derjenige Stoff, der mit Formaldehyd verbunden wird, ist die Karbolsäure oder das Phenol, ein Ring-Kohlenwasserstoff von der Formel $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ (der volkstümliche Name ist „Karboll“ oder „Karbolsäure“). Beide Verbindungen, Formaldehyd sowie Karbolsäure, die sich bei der Destillation von Steinkohle oder von Holz bilden, stehen uns als Rohstoffe für die Kunstharze in großem Umfange zur Verfügung; da außerdem den Kunstharzen je nach der Art der Herstellung ganz verschiedene beliebige Eigenschaften in bezug auf Klebkraft, Widerstandsfähigkeit gegen Reagenzien und physikalischen Formzustand gegeben werden können, ist hier auf einem ungeheuren Gebiet der Herstellung künstlicher Stoffe mit den eigentümlichsten und interessantesten Eigenschaften eine sehr große Zukunft gegeben. Schon jetzt haben sich die Kunstharze hauptsächlich in Form des „Bakelits“ auf vielen Gebieten zur Herstellung von Tassen, Tellern, Unterlagsplatten für elektrische Apparate, Grammophonkästen und Holzersatz einen weiten Markt erobert.

Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen flüssigen Kunstharzen, die beispielsweise als Klebstoffe, als Lacke für Isolation u. dgl. dienen, und zwischen den festen Kunstharzen. Von den letzteren das wichtigste ist das „Bakelite“, welches von Baekeland zum ersten Male ungefähr im Jahre 1909 in großem Umfange eingeführt wurde, nachdem es schon vorher durch andere Forscher, ohne daß diese seine Wichtigkeit erkannten, in primitivster Weise gewonnen worden war.

„Bakelite“ wird hergestellt aus Phenol und Formaldehyd unter Heranziehung einer Kontaksubstanz, welches die Reaktion zwischen den beiden chemischen Körpern beschleunigt, ohne sich selbst zu verändern. Bei dieser Reaktion entstehen je nach den Wärmegraden drei Formen, die Entstehung dieser drei Formen macht das Bakelit so überaus weitgehend verwendungsfähig und leicht verarbeitbar. Es entsteht zunächst als Kondensationsprodukt das Produkt A. Kondensation ist

der Bakelite G. m. b. H., Erkner, Berlin, warenzeichenrechtlich geschützt für die von ihr hergestellten Kunstharze.

ein Wasseraustritt. Die beiden Anfangsprodukte verlieren also Wasser und das entstandene Produkt A ist ein flüssiges oder festes Erzeugnis, dessen wichtigste Eigenschaft ist, daß es in Alkohol und anderen organischen Lösungsmitteln und Natronlauge wieder gelöst werden kann. Wird es auf niedrige Temperaturen erhitzt, so schmilzt es und erstarrt wieder zu einem festen Körper, der in bezug auf Löslichkeit die gleichen Eigenschaften hat wie das Ausgangsprodukt A. Erhitzt man A auf etwas höhere Temperaturen, so entsteht Produkt B. Es ist im Gegensatz zum Produkt A nicht mehr in organischen Lösungsmitteln löslich, quillt aber in ihnen auf. Wichtig ist, daß es beim Erhitzen nicht mehr schmilzt wie das Produkt A, sondern nur erweicht, während es beim Abkühlen wieder fest wird. Erhöht man die Temperatur noch weiter, so entsteht aus B das Endprodukt C. Dieses ist völlig unschmelzbar und unlöslich und überaus widerstandsfähig gegen chemische Einwirkungen. Die chemische Ursache für diese grundlegende Veränderung der Eigenschaften ist, daß durch die Erhitzung eine Polymerisation eintritt, d. h. die Moleküle schließen sich zu Molekülgruppen, zu Großmolekülen zusammen, die abgesättigt sind und infolgedessen auf chemische Beeinflussung nicht mehr ansprechen: Auf die Wasserabspaltung bei der Bildung des Bakelits aus Phenol und Formaldehyd ist also jetzt ein Zusammentritt vieler kleiner Moleküle der gleichen Art zu einem neuen Großmolekül gefolgt. Auf dem Übergehen des Produktes A in B und dann C beruht die leichte Verarbeitbarkeit des Bakelits. Man erzeugt nämlich zunächst Bakelit A, mischt es mit Füllstoffen, wie Holzmehl, Graphit, Schwerspat u. dgl. und preßt das Gemisch unter Erhitzung auf etwa 160°. Nunmehr ist Bakelit A in Bakelit B übergegangen und das Stück kann entformt werden (man arbeitet unter Druck, um Blasigwerden durch Gasentwicklung zu verhindern). Da nun das Bakelit als B nicht mehr schmelzbar ist, kann man es ohne Form in einen entsprechenden Trockenofen bringen, auf hohe Temperaturen erhitzen und dadurch in die völlig chemisch und physikalisch unbeeinflussbare Form C überführen¹.

Es gibt auch noch andere Kunstharze, die nicht in der gleichen Form härtbar sind. Sie alle beruhen auf Phenol- oder auf Formaldehydgrundlage, können aber in ihrem chemischen Aufbau im Umfang dieses Büchleins nicht beschrieben werden, da dessen Aufgabe nur ist, Verständnis für die Herstellung zu wecken.

IV. Dachpappe.

Die Dachpappe ist gewöhnliche, aus Holz hergestellte Zellstoffpappe, die getränkt ist mit Bitumen oder mit Teer. Es gibt demgemäß Teerdachpappe und Bitumendachpappe. Die Lebensdauer beider ist groß. Teerdachpappe hat häufig den Nachteil, daß der Teer bei großer Hitze abläuft. Die Pappe selbst wird hergestellt in der üblichen Weise aus Holzzellulose, Lumpen und anderen Stoffabfällen, wobei der Zusatz von Torf, Sägemehl, Holz und Stroh in anderer Form, sowie die sehr schwer machenden mineralischen Füllstoffe verboten sind. Die Pappe selbst muß etwas porös sein, damit sie das Tränkungsmittel gut aufnimmt. Die Eigenschaften der Pappe in bezug auf Reißfestigkeit usw. sind in verschiedenen Normenblättern niedergelegt sowohl für die Rohpappe als auch für die imprägnierte Pappe:

Rohpappe	DIN 2132,
Teerdachpappe . . .	DIN 2121.

Hier wird ein Gehalt an Tränkungsmasse verlangt, die das 1,8fache Gewicht der Rohpappe beträgt.

¹ Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. 2, 1928, S. 60.

In DIN 2122, Tränkungsmasse für Teerpappe, ist beschrieben, daß die Tränkungsmasse gewonnen wird als Destillat von Steinkohlenroh-
teer oder als Schmelzerzeugnis aus Steinkohlenteer und Steinkohlen-
teeröl u. dgl. Der Erweichungspunkt, der nicht unter 20° und nicht
über 40° betragen darf, ist vorgeschrieben.

Prüfungsvorschrift für Tränkmasse DIN 2124,
Prüfungsvorschrift für Teerdachpresse DIN 2123.

Weitere DIN-Blätter über Pappe 2125 bis 2131.

Für biegsame Dachpappe wird Wollfilzpappe, also sehr poröse Pappe
verwandt. Meist wird die Dachpappe von der Oberseite, um das Kleben
und Glatwerden zu vermeiden, mit mineralischen Stoffen eingepudert
oder mit Sand bedeckt. Bitumendachpappe hat dieselbe Menge Tränk-
masse wie andere Pappe, nämlich das Zweifache des Gewichts der Pappe¹.

a) Dichtung von Bauwerken.

Über die Dichtung von Bauwerken, besonders gegen Wasserzutritt,
ist unter den einzelnen Arten von Bauausführungen, wie Holz, Backstein
und Beton das Notwendige gesagt. Allgemein ist zu betonen, daß die
Dichtung in den Baustoff, der das Bauwerk trägt, verlegt werden muß,
daß also nachträgliche Dichtung durch Schutzanstrich verschiedener Art,
wie Bleifolienumkleidung, Dachpappe- oder Bitumenpappeumkleidung
erst in zweiter Linie in Frage kommt. Es ist also zu verlangen, daß das
Bauwerk selbst in seinem Aufbau z. B. aus Beton oder Mauerwerk so
dicht wie möglich hergestellt wird, denn alle Anstriche u. dgl. stellen nur
zusätzliche Dichtungsmaßnahmen dar und haben, weil sie aus organi-
schen Stoffen bestehen, eine meist beschränkere Lebensdauer als die
Baustoffe selbst, besonders, wenn es sich um anorganische Baustoffe
handelt.

Imprägnierung zur Erhöhung der Wasserdichtigkeit ist entweder
durchführbar mit Ölen verschiedener Art oder mit wässrigen Flüssig-
keiten.

Ölimprägnierung kommt in Frage für Holz (vgl. S. 129) und für
Naturstein und Ziegelstein. Für Natursteine hat man zur Herabsetzung
der Verwitterungsgefahr die besten Erfahrungen gemacht mit gekochtem
Leinöl, welches schon mit gutem Erfolg im Mittelalter Verwendung fand
und welches bisher als Imprägniermittel unübertroffen blieb. Selbst-
verständlich ist es auch für Beton anwendbar.

Eine gegenüber der Ölimprägnierung etwas andersartige Anwen-
dungsweise von Ölen u. dgl. stellt das Czeremeley dar, welches vor lan-
gen Jahren erfunden, auch heutzutage noch unter verschiedenen Phan-
tasienamen in den Handel kommt. Es handelt sich bei dem Czeremeley
und der Schar von Mitteln, die nach seinem Vorbild zusammengesetzt
werden, um Lösungen von Öl und Paraffin in Lösungsmitteln, wie Ben-
zol, Trichloräthylen u. dgl. Das Öl bleibt nach Verdunstung des Lösungs-
mittels im Naturstein, Backstein, Holz oder Beton zurück und macht

¹ Vgl. auch Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 3, 2. Aufl. S. 520.

ihn wasserabweisend, Abb. 54, 8, 110. Die auf manchen Ausstellungen gezeigten wasserabweisenden Ziegelsteine, an denen das Wasser herunterperlt, ohne einzudringen, sind in dieser Weise imprägniert. Zur Sicherung von Schlagwetterseiten, die undicht sind, ist diese Arbeitsweise brauchbar. Bei höherem Druck wird aber das Wasser durch die Poren des geölten Steines hindurchgepreßt und der Wasserdurchtritt beginnt. Bei Druck müssen also Schutzanstriche herangezogen werden.

Anorganische Tränkungsmittel sind die Fluatate, die verwendet werden zur Herabsetzung der Fäulnisfähigkeit von Holz und zur Erhöhung der Widerstandsfestigkeit von Beton gegen Abnutzung. Die gleichen Fluatate kommen unter sehr vielen verschiedenen Namen in den Handel, meistens wird das gewöhnliche Magnesiumfluat verwendet, aber auch Bleifluat, besonders als Mittel gegen Sulfateinwirkung auf Beton, wird herangezogen (vgl. S. 90).

b) Umkleidung.

Die wirksamste Abdichtung von Bauwerken ist die Umkleidung mit Bitumenpappe, Bleifolienpappe u. dgl. Umkleidungen werden hauptsächlich angewandt bei Bauwerken, die Grundwasserdruck ausgesetzt sind, bei Tunneln in nassen Gebirgen und bei Brücken. Bei dem Verfahren, welches nur von Spezialfirmen ausgeführt werden kann, werden die einzelnen Pappen etwa 10 cm überlappt verklebt und häufig in mehreren Lagen aufgebracht, hauptsächlich dann, wenn der Wasserdruck hoch ist und größere Beständigkeit für das Bauwerk gefordert wird, und wenn dieses Erschütterungen ausgesetzt ist. So werden die Untergrundbahntunnels in Berlin stets mit dreifachen Lagen von Bitumenpappe von außen her abgedichtet. Dichtung von innen her ist meist zwecklos, da die Dichtung dann durch den Wasserdruck hochgehoben und dadurch unwirksam gemacht wird. Die Umkleidung muß so gelegt werden, daß der Wasserdruck sie gegen das Bauwerk preßt und so seinerseits zur Dichtung beiträgt.

Die Umkleidung mit Ziegelsteinmauerwerk, die man häufig Verblendung nennt, ist tatsächlich auch bis zu einem gewissen Grade Blendwerk. Denn das Ziegelmauerwerk vermag auf die Dauer den dahinterliegenden Baustoff nicht zu schützen, wenn dieser porös ist (vgl. Abb. 46). So wurde beispielsweise Beton hinter steinstarker Verblendung im Laufe der Zeit durch Meerwasser völlig zerstört. Die Zerstörung sah man erst, als das Ziegelmauerwerk sich aufzubauchen begann infolge der Treiberscheinungen des Betons. Man stellt deshalb moderne Schleusen ohne diese Verblendung her, damit man jederzeit den Zustand des Bauwerks beobachten kann, da die „Verblendung“ doch nicht dicht hält. Wirksam ist die Umkleidung mit Klinkern oder Ziegelsteinen nur dann, wenn eine völlig dichte Aneinanderfügung der Ziegel möglich ist. Diese wird am besten durchgeführt durch Vergießen der Fugen mit heißem Bitumen oder Pech, wobei darauf zu achten ist, daß die Ziegel trocken und staubfrei sind, damit das Bitumen haftet, und daß die Vergußmasse nach dem Erhärten nicht zu spröde wird. Bei starker Säureeinwirkung ist es zweckmäßig, die Steine und ebenfalls auch Natursteine (Sandstein, Grauwacke) mit Pech zu tränken.

V. Klebemittel.

Die Tatsache, daß klebende Substanzen Fremdkörper vereinigen können, daß sie also kleben, wird im allgemeinen aufgefaßt als Adhäsion und Kohäsion. Adhäsion ist das Festhaften am Fremdkörper, Kohäsion ist der innere Zusammenhalt des Klebemittels. Beide sollen im allgemeinen möglichst groß sein. Die Kohäsion hängt gemäß obiger Erklärung vom Klebematerial selbst ab. Die Adhäsion ist eine Wechselwirkung zwischen Klebemittel und Oberfläche des zu verklebenden Körpers. Der Leim selbst kann als Lösung aufgefaßt werden, die beim Klebevorgang in ein Gel übergeht (die Bezeichnung Gel stammt von Gelatine und bezeichnet einen Körper, der gelatineartige Beschaffenheit hat).

Das entstandene Gel kann, wenn Wasser Zutritt, sich wieder in eine Lösung verwandeln, wie beim gewöhnlichen Leim; in einem solchen Fall ist dann die Anklebung nicht wasserbeständig, da der ursprüngliche Zustand unter Aufhebung der Klebewirkung sich wieder herstellt. Man nennt einen derartigen Vorgang reversibel (umkehrbar). Kann sich das entstandene, die Klebung veranlassende Gel aber nicht in die Lösung (das Sol) zurückverwandeln, so ist das Bindemittel wasserfest. Als reversibles Klebemittel sei der gewöhnliche Leim oder Kleister genannt, als wasserfestes Klebemittel der Kasëinleim, da bei letzterem kasëinsaurer Kalk, also ein Salz entsteht, welches sich in Wasser nicht mehr löst. Es handelt sich also im ersteren Fall der reversibeln Leime um eine physikalische Verklebung, im letzteren Fall um einen chemischen Vorgang.

Wasserunbeständige Leimung.

Der Leim war schon im Altertum bekannt und ist heute noch unter den Namen Kölner Leim, Schottischer Leim, Malerleim, Faßleim usw. im Handel. Er besteht aus Kolloiden, welche aus tierischen Abfällen Knochen, Haut, Fisch, Schwimmblasen der Fische usw. gewonnen werden. Diese Abfälle werden zunächst in gemauerten Gruben eingekalkt, wobei genügend große Kalkmengen genommen werden müssen, um Fäulnis zu vermeiden (Geruchsbelästigung der Nachbarschaft). Dann wird der Leim durch Waschen gut vom Kalk befreit, der Rest des Kalkes wird mit Säure ausgewaschen, der Leim auf 75° erhitzt und schließlich bei 100° gekocht. Die abgepreßte Brühe enthält den Leim, aus welchem das letzte Wasser im Vakuumapparat durch Trocknen entfernt wird. Das Wesen des Leims ist, daß er ein Kolloid darstellt: Er quillt in Wasser auf, löst sich beim Erhitzen, beim Wiedererkalten trennt sich das Wasser nicht vom Leim, es entsteht eine wabbelige, getrübbte Masse, eine Gallerte. Besonders reine Leime nennt man Gelatine, Leime, die aus Fischabfällen hergestellt werden: Fischleim. Bei reiner Gelatine ist das Gelatinierungsvermögen so groß, daß ein Gramm Gelatine 100 g Wasser noch zu einer schwachen Gallerte erstarren lassen (bei Zimmertemperatur). (Puddingherstellung in der Küche!) Wenige Tafeln Gelatine genügen für sehr viel Wasser).

Chemisch gesehen besteht Leim aus Glykokoll, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Prolin usw.

Kleister, der hauptsächlich verwandt wird, um Tapeten anzukleben, wird hergestellt durch Erwärmen einer wässrigen Aufschwemmung von Stärkekörnern. Hierbei bildet sich aus diesen Stärkekörnern unter Wasseraufnahme eine weiche Gallerte, der Kleister, unter Vergrößerung der Stärkekörner auf das über hundertfache Volumen. Stärkekleister ist meist nicht beständig, da das Gelleicht unter Abscheidung von Wasser sich kontrahiert und die Klebekraft verschwindet. Praktisch hergestellt wird der Kleister also am besten kurz vor dem Gebrauch durch Aufkochen der Stärke; allzu langes Kochen ist zu vermeiden. Bei längerem Stehen vergärt der Kleister unter Hefewirkung, er wird sauer. Als Ausgangsmaterial dienen Kartoffelstärke. Weizenstärke, Reisstärke u. dgl. Bei Zufügung von Natronlauge tritt die Verkleisterung leichter ein. Die unter dem Namen „Pelikanol“ u. dgl. in den Handel kommenden Erzeugnisse, die durch Zufügung von Phenol u. dgl. gegen Bakterien geschützt sind, gehören hierher (der häufig wahrzunehmende Geruch nach bitteren Mandeln rührt von der Zuführung von Nitrobenzol her, der erfolgt, um den unangenehmen Karbolsäuregeruch zu verdecken).

Aus den gleichen Rohstoffen werden auch die Pflanzenleime hergestellt, die im Gegensatz zum Tierleim kalt gebraucht werden können. Sie werden gleichfalls gewonnen aus Kartoffelstärke u. dgl. unter Zusatz von großen Alkalimengen, also Natronlauge. Durch das Aufschließen mit Salzen, wie Chlorcalcium u. dgl. (Chinaleim, Pergamyleim, Xanthogenatleim, Holzleim) aus Sulfit-Zellulose-Ablauge werden gleichfalls, allerdings heute etwas minderwertige Klebstoffe in ähnlicher Weise hergestellt.

Neben der Verwendung des Leims zum Leimen wird er auch als Zugabe zur Wasserfarbe benutzt, um diese zu binden, ebenso verleiht er der Papierfaser die notwendige Festigkeit¹.

Wasserbeständige Leimung.

Der Kaseinleim oder Käsekalkleim, der schon seit dem Mittelalter in Verwendung ist, wird hergestellt aus Kalk und Kasëin. Kasëin selbst wird bekanntlich aus Milch gewonnen. Das Kasëinpulver wird bei dem Herstellungsverfahren einfach mit Kalkhydrat, also gelöschtem Kalk, gemischt und mit Wasser angemacht. Man kann auch alkalisch wirkende Lösungen, wie Natronlauge, verwenden, Borax, Soda und Wasserglas sind gleichfalls brauchbar.

Schließlich seien noch erwähnt die zelluloidhaltigen Klebemittel, die aus Lösungen von Zelluloid (Filmabfälle) bestehen, welches in Azeton, Essigester u. dgl. gelöst ist. Die Klebewirkung beruht auf Verdunstung des Lösungsmittels, ist also im Gegensatz zu der Wirkung der Kasëinleime kein chemischer Vorgang. Aus diesen Zelluloidpasten wird durch Mischen mit Holzmehl künstliches Holz hergestellt, welches man verwendet zum Ausfüllen von Rissen an Balken oder Möbelstücken. Hergestellt werden sie durch Vermischung dieses genannten Klebemittels mit Holzmehl. Unter der Bezeichnung „Kauritleim WHK“ wird neuerdings von der I. G. Farbenindustrie ein Leim in den Handel gebracht, der besonders schnell fest wird, besonders wenn ein „Kalthärter“ verwendet wird. Näheres siehe in dem von der Firma herausgegebenen Merkblatt.

¹ Näheres über Herstellung, Handelssorten usw. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 5 S. 577. II. Aufl.

Geringere Bedeutung haben Klebemittel aus Kautschuklösung in Schwefelkohlenstoff oder Chloroform, oder von Harzen u. dgl.¹.

VI. Kitte.

Kitte sind pastenförmige Massen, bisweilen auch dicke Flüssigkeiten, die dazu dienen, entweder Löcher als Füllkitte auszufüllen oder aber Gebrauchsgegenstände zusammenzufügen, also zu verkitten. Es gibt auch Kitte, die beim Gebrauch geschmolzen werden müssen. Entsprechend teilt man die Kitte zweckmäßig in drei Gruppen ein, in

Schmelzkitte, die bei gewöhnlicher Temperatur fest sind und erst geschmolzen werden müssen, die

Abdunstkitte, welche nichts anderes darstellen als sehr dicke Lösungen und dadurch erstarren, daß das Lösungsmittel verdampft, und schließlich die wichtigen

Reaktionskitte, bei welchen die Erhärtung durch eine Reaktion der Einzelbestandteile, in ähnlicher Weise wie beim Zement, erfolgt.

Entsprechend der verschiedenen Art der Erhärtung müssen die Lösungskitte vor Verdunstung geschützt werden, während die Reaktionskitte erst angemacht werden dürfen, kurz ehe man sie verbraucht, da sie sonst erstarren.

Von einem Kitt verlangt man gute Abbindezeit und schnelle Erstarrung sowie eine gewisse Beständigkeit gegen die einzelnen chemischen oder atmosphärischen Einwirkungen. Die Kittwirkung ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, je nach der Art des Kittes. Bei den Schmelzkitten wird die Kittwirkung hervorgerufen durch das Erstarren des geschmolzenen Kittgutes, wodurch das Haftvermögen vergrößert wird, wie beispielsweise Siegellack sich auf Papier festheftet. Bei den Reaktionskitten entstehen ganz neue Verbindungen, die oft andere Eigenschaften haben als die ursprüngliche Substanz, wie beispielsweise Bleiglätte kitt: Hier bilden sich Salze des Bleies, Doppelsilikate usw. Bei den Lösungskitten erfolgt die Kittwirkung nur durch das Abdunsten des Lösungsmittels. Über die Ausführung des Kittens gibt Ullmann² folgende Anweisungen:

1. Die Kittstellen müssen völlig rein, insbesondere Metalle von allen Oxydschichten, Öl, Fett, Staub usw. befreit sein.

2. Bei Kitten, die wässrige Bestandteile nicht enthalten, müssen auch die Kittstellen absolut trocken sein.

3. Bei Verwendung von Schmelz- oder Leimkitten werden die zu kittenden Gegenstände an den Kittstellen vorher erwärmt.

4. Bei Verwendung von Wasserglas-, Glyzerin- oder Leinölkitten werden die Kittstellen zweckmäßig vor dem Kitten mit Wasserglaslösung bzw. Glyzerin oder Leinöl bestrichen.

5. Glatte oder polierte Kittstellen werden vor dem Auftragen des Kittes mittels mechanischer Hilfsmittel aufgeraut.

¹ Vgl. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, 2. Aufl. S. 568.

² Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, S. 553.

6. Die Kittmassen müssen in nicht zu dicken Schichten aufgetragen werden und gleichmäßig verteilt sein. Zum Auftragen der Kitte bedient man sich, je nach ihrer Konsistenz, der Pinsel, Spatel, Löffel, Kellen usw.

7. Die zusammengekitteten Gegenstände werden durch Schnüre, Drähte, Schraubenzwingen usw. bis zum Festwerden der Kittmasse zusammengehalten.

Es gibt Kitte der verschiedensten Art für Porzellan, Glas, Horn und Leder; für die Verbindungen von Baustoffen, die hitzebeständig oder wasserbeständig sein müssen, gibt es säurebeständige Kitte, mit denen man beispielsweise Plattenbeläge bei Bauwerken, die Säureeinwirkungen ausgesetzt sind, ausfügt und schließlich auch noch ölbeständige Kitte für ähnliche Zwecke¹.

Zwei wichtige, schon im Altertum mit bestem Erfolg gebrauchte Kittmethoden seien noch erwähnt, die hauptsächlich das Befestigen von Eisendübeln in Mauerwerk oder Naturstein betreffen, das Eingießen mit Schwefel oder Blei.

Der Schwefel geht durch die Erhitzung aus dem uns bekannten gelben kristallinen Formzustand in einen anderen Formzustand über und vermag Eisenstangen und dgl., die mit ihm in Dübellöchern vergossen werden, sehr fest zu halten.

Die Vergießung mit Blei ist ein rein mechanischer Vorgang, bei welchem um die einzugießende Eisenstange ein dem Gesteinsloch sich anpassender Bleikörper gebildet wird, der das Eisen vor Rost schützt. Dieser Rostschutz ist äußerst wichtig und seine Bedeutung war den Erbauern des Kölner Domes wohlbekannt. Sie hatten besondere Bleigießer und tatsächlich hat von den vielen tausend Eisendübeln, mit denen das gotische Netzwerk des Kölner Domes zusammengehalten ist, keiner in den vielen Jahrhunderten Rosterscheinungen gezeigt; bei modernen Kirchen, bei welchen die Eisendübel in dünnen Zementlagen eingebettet wurden (1—2 mm), traten schon nach 20 Jahren Absprengungen auf (vgl. S. 25).

VII. Anstrichfarben und Schutzanstriche.

Anstrichfarben dienen dazu, einen witterungsempfindlichen Untergrund gegen die Einwirkung der Luft, teilweise auch der Feuchtigkeit zu schützen und ihm gleichzeitig ein schöneres Aussehen zu geben. Alle Anstrichfarben werden flüssig aufgebracht entweder durch Aufstreichen oder besser noch durch Aufspritzen. Als Untergrund kommen entweder Holz, Putz oder schließlich Metall, und zwar vorzugsweise Eisen in Betracht. Die entstehende Farbschicht kann entweder von wabenförmiger Struktur, z. B. Temperfarben, oder zusammenhängend sein, z. B. Ölfarben, oder es kann sich um eine mehr auf Lichtwirkung berechnete Farbschicht handeln, z. B. bei Kalkfarben. Die letztere ist natürlich ebenso wie die erstere für Wasser durchlässig. Aber auch Ölfarben sind je nach der Zusammensetzung mehr oder weniger hydrophyl, d. h. sie vermögen im Wasser etwas aufzuquellen und schützen deshalb den Untergrund nicht vollkommen vor Feuchtigkeit. Aus diesem Grunde bringt man z. B. Ölfarbenanstriche auf Eisen erst dann auf, wenn vorher mit Mennige grundiert ist.

Dem Aufbau nach besteht jede Farbe einerseits aus einer Flüssigkeit, welche die Farbe streichbar macht, und andererseits aus einem Pigment

¹ Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, S. 556.

und schließlich aus einem Binder zum Festhalten des Pigments. Als Flüssigkeit dient entweder Wasser bei den Wasser- und Kalkfarben, oder Öle verschiedenster Art bei den Ölfarben (Leinöl, Mohnöl, Holzöl usw.), und schließlich bei vielen Rostschutzfarben oder bei den Nitrozellulosefarben ein organisches Lösungsmittel.

Die Pigmente sind gemahlene Oxyde oder Erden, z. B. Eisenoxyd (rot oder schwarz) oder Oker (gelb oder orange) oder Grünerde (gemahlener Grünstein). Sie müssen sehr fein gemahlen sein, damit die Farbe gut streichbar ist, auch dürfen sie mit dem Bindemittel nicht in schädliche chemische Wechselwirkung treten. Bisweilen ist eine solche chemische Wechselwirkung aber erwünscht, z. B. beim Bleiweiß, welches mit dem als Bindemittel dienenden Öl wetterwiderstandsfähige Verbindungen bildet im Gegensatz zu Zinkweiß, bei welchem diese günstige Wirkung nicht zu beobachten ist.

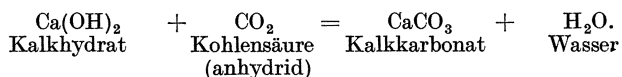
a) Pigmente oder Farbkörper.

Als färbende Substanzen werden verwendet Eisenoxydhydrate, Manganoxyde usw. Von ihnen ist zu verlangen, daß sie in ihrer Färbung so beschaffen sind, daß sie von sich aus dem zukünftigen Anstrich schon die gewünschte Farbe geben. Häufig werden diese Grundfarben mit Anilinfarben eingefärbt und aufgefricht. Die Folge davon ist dann, daß der Anstrich später verschiebt oder verblaßt, also nicht lichtecht ist. Pigmente, welche mit Kalkwasser als Bindemittel verwendet oder die auf Putz aufgestrichen werden sollen, müssen kalkecht sein, solche, die für Wasserfarben dienen, müssen wasserbeständig sein. Ölechtheit ist zu fordern von solchen Pigmenten, die zur Ölfarbenherstellung dienen. Bei der Mischung verschiedener Pigmente können chemische Reaktionen eintreten, welche die Farbwirkung zerstören, man sagt dann, daß die betr. Farben sich nicht vertragen. So verträgt sich z. B. Grünspan nicht mit Auripigment, ebenso kadmiumgelb nicht mit kupfergrün. Licht spielt hier keine Rolle, sondern es handelt sich um direkte chemische Reaktionen. Vorsicht beim Mischen verschiedener Pigmente, auch mit Öl als Bindemittel, ist daher unerlässlich und die Mitwirkung eines Fachmannes notwendig.

b) Bindemittel.

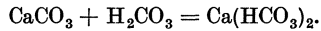
Von dem Bindemittel ist vor allem zu fordern, daß es nach dem Auftragen nicht so schnell schwindet, daß Risse entstehen.

Die Kalkfarben haben als Bindemittel gewöhnliches Kalkwasser. Bekanntlich verbindet sich Kalkwasser, das gewöhnliches Kalkhydrat enthält, mit der Kohlensäure der Luft nach folgender Formel:



Der hierbei entstehende, in feinen Kristallen sich ausscheidende kohlen-saure Kalk bildet den Binder, das Wasser führt die Streichbarkeit herbei. Die Bindung ist hauptsächlich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit nicht

beständig, da durch weiteren Zutritt von Kohlensäure aus der Luft doppeltkohlensaurer Kalk nach folgender Formel entsteht:



Dieser doppeltkohlensaurer Kalk ist wasserlöslich. Das Bindevermögen hört auf und die Farbschicht „steht auf“, d. h. sie wird lose und abwaschbar.

Auch Zutritt von Feuchtigkeit von unten her (Regenwirkung) wird einen derartigen Anstrich zerstören, er blättert ab. In der Kalktüncherei wird in der Weise gearbeitet, daß man die Farbe direkt mit der Kalkmilch mischt. Häufig wird die Wand vor Aufbringen derartiger Farben mit einer dünnen Seifenlösung bestrichen (Vorseifen), um die Haftfestigkeit zu erhöhen.

Da, wie oben ausgeführt, das Bindungsvermögen des Kalkkarbonats nicht befriedigend ist, werden an vielen Stellen derartige Farben durch Wasserglasfarben (Keimsche Mineralfarben) vertreten. Hierbei wird die Farbe nicht mit Kalkwasser, sondern mit verdünntem Wasserglas angemacht. Das Wasserglas reagiert dann mit dem darunter befindlichen Kalkputz nach folgender Formel:



Es entsteht also unlöslicher kieselsaurer Kalk, der solchen Farben eine höhere Widerstandsfähigkeit verleiht.

Bei den Leimfarben ist das Bindemittel Leim, der in der üblichen Weise trocknet; sie sind infolgedessen nicht wasserbeständig. Eine gewisse Wasserbeständigkeit kann durch nachträgliche Behandlung mit Formaldehyd erreicht werden.

In den Kasëinfarben liegt Milch als Bindemittel vor. Neuerdings werden Kasëinfarben fertig aus Kasëin mit pulverförmigem, gelöschtem Kalk gemischt in den Handel gebracht, während man im Altertum mit „Milch malte“. Es entsteht nach dem Vermalen unlöslicher milchsaurer Kalk. Am besten ist es hier, die Farbe fertig zu beziehen, da ein Überschuß an Bindemittel zum Abblättern führen würde.

Die Temperafarbe hat als Grundlage eine Emulsion. Während ursprünglich Eigelb, Öl und Wasser in Anwesenheit von Lezithin als Emulsion verwendet wurde, nimmt man heute an Stelle dieser natürlichen Emulsion nachgebildete künstliche Emulsionen.

Weitaus die größte Rolle spielen die Öl- und Ölharzfarben. Als Bindemittel dient meist Leinöl oder unter Luftabschluß eingedicktes Leinöl, das man Standöl nennt. Eine höhere Qualität wird erreicht bei Heranziehung des chinesischen Holzöls. Lackartige Wirkung erreicht man durch Zusatz von Harzen, schnellere Trocknung durch Sikkativ. Als Verdünnungsmittel nimmt man Terpentin, Benzin usw. Die Trocknung der Ölfarben beruht auf zwei nebeneinanderlaufenden Vorgängen: Zunächst auf Oxydation des Öls, also auf Sauerstoffaufnahme aus der Luft

¹ Karbonisiert sich mit der Kohlensäure der Luft zu Natriumkarbonat (Soda).

und weiter auf Verdunsten von geringen Wassermengen. Hierbei ist die Sauerstoffaufnahme aus der Luft weitaus der wichtigste Vorgang, der zeigt, daß es sich bei der „Trocknung“, wie der Vorgang im landläufigen Sinne genannt wird, gar nicht um eine Trocknung handelt, sondern um eine Sauerstoffaufnahme, also um eine Oxydation. Diese Sauerstoffaufnahme ist nicht umkehrbar, also nicht reversibel. Die Ölfarbe kann also, wenn sie erst getrocknet, d. h. oxydiert ist, nicht mehr in Benzol u. dgl. gelöst werden. Der Vorgang ist demnach keine Trocknung im landläufigen Sinne, also kein Flüssigkeitsverlust, sondern eine reine chemische Umwandlung des Leinöls in hoch oxydierte und höher molekulare Form, indem sich die Moleküle vergrößern durch Zusammentritt zu chemischen Verbindungen. Auf dieser Tatsache beruht auch die Notwendigkeit, Ölfarbe, die in Kleider gekommen ist, so schnell wie möglich durch Lösungsmittel, wie Benzin od. dgl. zu entfernen, bevor nämlich das Leinöl oxydiert und polymerisiert ist, es löst sich nur anfangs, solange es nämlich noch „Leinöl“ ist, in den genannten Lösungsmitteln und die Farbe ist abwaschbar. Das entstehende Endprodukt ist nicht mehr abwaschbar, da es keine Löslichkeit mehr hat. Will man es entfernen, so muß man es zerstören dadurch, daß man die Öle verseift. Diese Zerstörung ist möglich durch Basen (vgl. S. 67), also beispielsweise durch Ammoniakwasser oder durch Natronlauge, oder allein schon durch starke Seife (Schmierseife), da diese ja freie Natronlauge enthält.

Zusammenfassend ist zu den bisher genannten Farben Folgendes zu sagen:

Bei Aufnahme der Kohlensäure und Entweichen des Wassers aus den Kalkfarben, bei Trocknung der Leimfarben, bei der chemischen Umsetzung der Kasëin- und Wasserglasfarben, die häufig auch mit Entweichen von Wasser verbunden sind, sowie beim Oxydieren der Ölfarben, bei welchen gleichfalls gasförmige Oxydationsprodukte entstehen, treten stets Schrumpfungen auf, die Farboberfläche wird also beim Altern kleiner mit dem Erfolg, daß Risse entstehen. Man bringt deshalb, besonders bei Ölfarben, die Holz u. dgl. gegen Witterung schützen sollen, mehrere Anstriche auf, und die im ersten Film sofort nach dem Trocknen entstehenden Risse werden auf diese Weise überdeckt, so daß ein befriedigender Schutz entsteht.

Die Nitrozellulosefarben trocknen ohne chemische Umsetzung einfach durch Verdunsten des Lösungsmittels; ihr „Trocknen“ ist also ein echtes Trocknen, ein rein physikalischer Vorgang, nämlich ein Verdunsten des Lösungsmittels. Die Nitrozellulosefarben haben, weil sie schneller trocknen, in weitem Umfang die Ölfarben verdrängt¹.

Viele Rostschutz- und Betonschutzanstriche beruhen auf der gleichen Grundlage wie die Nitrozellulosefarben, da auch sie lediglich Lösungen darstellen (Bitumina, Teere, Pechen, gelöst in Solventnaphtha, Benzol usw.). Notwendig ist bei diesen Anstrichen, daß der Film kein allzu großes Schrumpfvermögen hat, daß er lichtbeständig und im Alter

¹ Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 7 S. 439ff.: Hier sind auch ausführliche Angaben über Verfälschungsmöglichkeit usw. zu finden.

nicht abwischbar (wie verschiedene Bitumensorten) wird. Schließlich muß den Farben noch eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen Stoß, Schlag und chemische Agenzien innewohnen. Diese Eigenschaften kann man erreichen durch Zufügung geringer Mengen besonders geeigneter Standöle, Holzöle, Leinöle u. dgl. oder bei Bitumenanstrich durch Mischen von Bitumina, Pechen u. dgl. von verschiedenem Schmelzpunkt durch Zufügung von Weichmachungsmitteln. Näheres über Beton- und Eisenschutzanstrich aus Bitumen oder Pechen u. dgl. auf Basis von Solventnaphthalösung oder auf der Grundlage von Emulsion siehe unter Schutzanstriche S. 143. Auch bei diesen Anstrichen sind, da trotz nur geringer Schwindung leicht kleine Risse und Bläschen entstehen, stets drei Anstriche aufzubringen, wenn ein möglichst guter und haltbarer Schutz erzielt werden soll, damit im ersten Anstrich auftretende Risse und Bläschen vom zweiten überdeckt werden. Emulsionen werden für Eisen wenig verwendet, mehr dagegen für Betonschutz, und haben hier den Vorteil, daß sie auf feuchter Unterlage aufgebracht werden können; allerdings quellen sie auch leicht wieder auf. In bezug auf Aufbau haben sie Ähnlichkeit mit den Temperafarben, da sie aus fein verteilten Bitumenflöckchen in Wasser bestehen. Die Emulsion wird stabil, d. h. beständig gemacht durch Zusatz von Stabilisatoren wie Ton. Dennoch kommt es häufig vor, daß solche Anstriche sich beim Stehen in unverarbeitetem Zustand absetzen. Vor der Verstreichung ist deshalb darauf zu achten, daß die Emulsion sich in tadellosem Zustand befindet. Nach dem Aufstreichen treten die kleinen Flöckchen der Emulsion zu immer größeren zusammen und bilden einen verhältnismäßig wasserundurchlässigen Film¹.

Schluß.

Die Beschäftigung mit Chemie ist für den Baumeister und Architekten nicht nur interessant, sondern auch fruchtbar, weil diese Beschäftigung seine Kenntnisse erweitert und sein Verständnis für die Baustoffe erhöht. Dieses Verständnis ist aber nötig, wenn die richtigen Baustoffe an den rechten Platz kommen und zweckmäßig verarbeitet werden sollen.

Es kann keine Rede davon sein, daß der Architekt oder Ingenieur plötzlich zum Chemiker gemacht oder auch nur mit überflüssigen chemischen Kenntnissen belastet werden soll. Ebenso wenig ist mir daran gelegen, Anlaß zu geben zu einer oberflächlichen Halbbildung, die nie etwas taugt. Schwere chemische Fragen werden zur Lösung immer dem Chemiker vorbehalten werden müssen. Aber Verständnis für die Baustoffe zu wecken ist möglich ohne überflüssige Belastung des vielgeplagten Baubeflissenen. Aus diesem Verständnis werden persönliche, wirtschaftliche und kulturelle Vorteile erwachsen.

¹ Grün: Über Betonschutz, Bauing. 1928, S. 307. — Zerstörung von Beton und Betonschutz durch Anstriche. Tonind.-Ztg. 1929, Nr. 19ff. — Über die Prüfung und ein Prüfverfahren von Betonschutzanstrichen. Tonind.-Ztg. 1927, Nr. 70.

Persönliche Vorteile durch Erhöhung der Sicherheit bei der Anwendung der Baustoffe und Weckung des Interesses. Das Gebiet der Baustoffkunde hört auf, langweilig zu sein, wenn man etwas davon versteht.

Wirtschaftlicher Nutzen ergibt sich aus der richtigen Ansetzung der Baustoffe an dem ihnen zukommenden Platz und aus zweckmäßiger Verarbeitung, die allein durchgeführt und überwacht werden kann bei genügenden Kenntnissen.

Kulturelle Vorteile erwachsen besonders dem Architekten, wenn er aus der Baustoffkunde heraus lernt, welche gewaltigen Möglichkeiten ihm für die Ausführung seiner Gedanken mit den modernen Baustoffen gegeben sind. Die Architekten des Mittelalters und des Altertums waren mit ihren schwerfälligen Baustoffen übel dran gegen unsere modernen Techniker, die über Stahl, Beton und Stahlbeton, Dampfmaschinen, Motoren, Steinbrecher, Lastenaufzüge, Zement, Streckmetall, Aluminium und Glasscheiben in riesigen Abmessungen, Kraft in gewaltigem Überschuß und tausenderlei andere Vorteile verfügen. Dennoch schufen die Alten prächtige Riesenbauten. Wieviel größere Möglichkeiten sind dem Baumeister von heute gegeben! Soll er sie nützen, so muß er seine Baustoffe kennen. Zu dieser Kenntnis soll die „Chemie“ beitragen. Sie soll die Überzeugung verbreiten helfen, daß die heutige Technik nicht kulturfeindlich ist, sondern ganz im Gegenteil, daß sie eine Helferin des kulturschaffenden Baukünstlers ist, wenn er diese Technik sich nutzbar macht. Denn sie bietet ihm mit ihren Kraftmaschinen und modernen Baustoffen Möglichkeiten der Gestaltung, über die bisher in den vielen Jahrtausenden menschlicher Bautätigkeit noch kein Mensch verfügte. Dieses Erkenntnis muß sich der Verbraucher an Baustoffen aus der Baustoffkunde verschaffen.

So greift auch das scheinbar so nüchterne Gebiet der Chemie in die ihm scheinbar so fremde Kultur ein. Dem Baumeister ist es vorbehalten, durch Nutzung der Möglichkeiten, die ihm Techniker und Chemiker bieten, den Stand der Baukunst zu erhöhen.

Über die Bezeichnung und Namengebung chemischer Verbindungen.

In der Chemie werden viele Salze mit zwei, drei und bisweilen sogar mehr Namen bezeichnet. Diese Bezeichnungen stammen noch aus früheren Jahrhunderten, sogar aus der Alchimistenzeit, also aus einer Periode, in welcher man die Zusammensetzung chemischer Verbindungen gar nicht kannte. Mit einer merkwürdigen Zähigkeit haben sich leider diese Namen erhalten, so daß man sie häufig abwechselnd trifft und wissen muß, was unter diesen Namen zu verstehen ist. Außerdem werden die einzelnen Salze bisweilen von der Säureseite, bisweilen von der Basenseite bezeichnet. So heißt beispielsweise die Kochsalzformel NaCl bisweilen Natriumchlorid, dann wieder Chlornatrium und schließlich

salzsaures Natron oder chlorwasserstoffsäures Natrium. Allein zweckmäßig wäre die Bezeichnung „Natriumchlorid“. Ebenso wird auch bisweilen Natriumsulfat (Na_2SO_4) nach dem Auffinder, dem Chemiker Glauber, noch „Glaubersalz“ genannt. Es heißt aber daneben auch noch „schwefelsäures Natrium“. Magnesiumsulfat wird bisweilen auch „schwefelsäure Magnesia“ genannt oder auch „Bittersalz“ nach seinem bitteren Geschmack.

Viele Salze kristallisieren mit einigen Molekülen Wasser, und zwar vermögen sie bisweilen mehr, bisweilen weniger Wasser sich anzugliedern, je nach den Umständen der Entstehung (Temperatur, Druck, Konzentration, Zeit). Man schreibt die Formel für das kristallwasserhaltige Salz z. B. bei Natriumsulfat entweder $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{ aq}$ oder $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{ H}_2\text{O}$, das besagt, daß das Natriumsulfat mit 10 Molekülen Wasser kristallisiert. Das kristallisierte Salz besteht dann nicht etwa aus 100 % Natriumsulfat (Na_2SO_4), sondern erheblich weniger, wie folgende Rechnung zeigt: das Molekulargewicht für das ganze Salz setzt sich wie folgt zusammen:

	Molekular- gewicht	%
Natriumsulfat	142,16	44,1
10 H_2O	180,16	55,9
Summe	322,32	100,0

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ hat also nur einen Gehalt von 44,1 % Na_2SO_4 , der Rest ist Kristallwasser.

Um dem Leser das Studium von chemischen oder volkstümlichen Abhandlungen, in welchen die alten Namen oft noch gebraucht sind, zu erleichtern, ist im nachfolgenden eine Liste gegeben, in welcher die verschiedenen gangbaren Bezeichnungen der gebräuchlichsten chemischen Verbindungen, geordnet nach den Anfangsbuchstaben, wiedergegeben sind.

Verzeichnis der häufigsten chemischen Verbindungen unter den verschiedenen, für sie gebräuchlichen Namen und ihre chemischen Formeln.

Aethanol = Aethylalkohol $[C_2H_5(OH)]$.
 Aethylalkohol $[C_2H_5(OH)]$ = Alkohol = Aethanol.
 Ätznatron = Natronlauge = Natriumhydroxyd $[Na(OH)]$.
 Alaun $[KAl(SO_4)_2 + 12 H_2O]$ = Kalium-Aluminiumsulfat.
 Alkalien: Natrium und Kalium, da diese als Oxyde starke alkalische „Laugen“ bilden.
 Alkalische Erden: Calciumoxyd (CaO), Bariumoxyd (BaO), Strontiumoxyd (SrO).
 Alkohol = Aethylalkohol $[C_2H_5(OH)]$ = Aethanol.
 Aluminiumoxyd (Al_2O_3) = Tonerde, gehört zu den „Erden“.
 Anhydrit = Calciumsulfat $(CaSO_4)$ wasserfrei = schwefelsaures Calcium.
 Bariumoxyd (BaO) = gehört zu den „alkalischen Erden“.
 Bariumsulfat $(BaSO_4)$ = schwefelsaures Barium = Schwerspat = Baryt.
 Bittersalz = Magnesiumsulfat $(MgSO_4 + 7 H_2O)$ = schwefelsaure Magnesia.
 Calcium-Aluminiumsulfat $(3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 + 30 H_2O)$ = Zementbazillus = Calciumsulfoaluminat.
 Calciumcarbonat — kohlensaurer Kalkstein (Muschelkalk, Kreide).
 Calciumchlorid $(CaCl_2)$ = Chlorkalk = chlorwasserstoffsäures Calcium.
 Calciumhypochlorid $[Ca(OCl)_2]$ = Chlorkalk.
 Calciumoxyd (CaO) = Kalk = Branntkalk auch Kalkerde, gehört zu den alkalischen Erden.
 Calciumsilikat $(CaO SiO_2)$ auch $CaSiO_3$ geschrieben = kieselsaures Calcium.
 Calciumsulfat $(CaSO_4 + \frac{1}{2} H_2O)$ = Stuckgips.
 Calciumsulfat $(CaSO_4)$ wasserfrei = Anhydrit = schwefelsaures Calcium.
 Calciumsulfat $(CaSO_4 + 2 H_2O)$ = schwefelsaures Calcium = Gipsstein.
 Calciumsulfat $(CaSO_4)$ gebrannt, wasserfrei = Estrichgips.
 Calciumsulfoaluminat = Calcium-Aluminiumsulfat $(3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 + 30 H_2O)$ = Zementbazillus.
 Chilesalpeter = Kaliumnitrat (KNO_3) = salpetersaures Kalium.
 Chlorcalcium = Calciumchlorid $(CaCl_2)$ = chlorwasserstoffsäures Calcium.
 Chloride: Salze der Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure.
 Chlorkalk = Calciumhypochlorid $[Ca(OCl)_2]$.
 Chlormagnesium = Magnesiumchlorid $(MgCl_2 + 6 H_2O)$ in der Steinholzfabrikation: Lauge.
 Chlornatrium = Natriumchlorid $[NaCl]$ = chlorwasserstoffsäures Natrium = Kochsalz.
 Chlorwasserstoffsäure = Salzsäure (HCl) .
 Chlorwasserstoffsäures Calcium = Calciumchlorid $(CaCl_2)$ = Chlorcalcium.
 Chlorwasserstoffsäures Natrium = Natriumchlorid $[NaCl]$ = Chlornatrium = Kochsalz.
 Chromsaures Kali = Kaliumdichromat $(K_2Cr_2O_7)$ = saures Kaliumsalz der Chromsäure.
 Eisenoxyd (Fe_2O_3) gehört zu den „Erden“.
 Erden: Aluminiumoxyd (Al_2O_3) , Eisenoxyd (Fe_2O_3) .
 Estrichgips = Calciumsulfat $(CaSO_4)$ gebrannt, wasserfrei.
 Fluat: Salze der Kieselfluorwasserstoffsäure, z. B. Magnesiumsiliciumfluorid.
 Gipsstein = Calciumsulfat $(CaSO_4 + 2 H_2O)$ = schwefelsaures Calcium = Rohgips.
 Glaubersalz = Natriumsulfat $(Na_2SO_4 + 10 H_2O)$ = schwefelsaures Natrium.
 Grubengas = Methan (CH_4) = Sumpfgas (Ursache der „schlagenden Wetter“).
 Kalilauge = Kaliumhydroxyd $(K OH)$.
 Kalium gehört zu den „Alkalien“.
 Kalium-Aluminiumsulfat = Alaun $[KAl(SO_4)_2 + 12 H_2O]$.
 Kaliumdichromat $(K_2Cr_2O_7)$ = chromsaures Kali = saures Salz der Chromsäure.
 Kaliumhydroxyd $(K OH)$ = Kalilauge.
 Kaliumnitrat (KNO_3) = salpetersaures Kalium = Chilesalpeter.
 Kaliumpermanganat $(KMnO_4)$ = Übermangansaures Kali.

- Kaliumsilikat = Kaliwasserglas (K_2SiO_3) = Kalisalz der Kieselsäure = kiesel-saures Kalium.
- Kaliwasserglas (K_2SiO_3) = Kaliumsilikat = kiesel-saures Kalium = Kalisalz der Kieselsäure.
- Kieselfluorwasserstoffsäure (H_2SiF_6): Ihre Salze heißen kurz: Fluat e oder Silico-fluoride.
- Kiesel-saures Calcium = Calciumsilikat ($CaO \cdot SiO_2$, auch $CaSiO_3$ geschrieben).
- Kiesel-saures Kalium = Kaliwasserglas (K_2SiO_3) = Kaliumsilikat = Kalisalz der Kieselsäure.
- Kochsalz = Natriumchlorid ($NaCl$) = chlorwasserstoffsäures Natrium = Chlor-natrium.
- Kohlendioxyd = Kohlensäureanhydrid (CO_2).
- Kohlensäure (CO_2): CO_2 ist eigentlich die Formel für Kohlensäureanhydrid; die Verbindung CO_2 wird aber häufig einfach „Kohlensäure“ genannt, obwohl die richtige Formel für Kohlensäure die wasserhaltige Säure H_2CO_3 ist und man zu CO_2 richtig Kohlendioxyd oder Kohlensäureanhydrid sagen müßte.
- Kohlensäureanhydrid (CO_2) = Kohlendioxyd = Kohlensäure.
- Kohlensäure Magnesia = Magnesit ($MgCO_3$) = Magnesiumkarbonat.
- Kupfersalz der Schwefelsäure = Kupfersulfat ($CuSO_4 + 5 H_2O$) = schwefelsaures Kupfer = Kupfervitriol.
- Kupfersulfat ($CuSO_4 + 5 H_2O$) = schwefelsaures Kupfer = Kupfervitriol = Kup-fersalz der Schwefelsäure.
- Kupfervitriol = Kupfersulfat ($CuSO_4 + 5 H_2O$) = schwefelsaures Kupfer = Kup-fersalz der Schwefelsäure.
- Magnesia (MgO) = Magnesia usta = Magnesiumoxyd = Magnesit (letztere Be-zeichnung ist falsch, sie gebührt eigentlich nur dem Magnesiumkarbonat, der Name „Magnesit“ ist aber in der Steinholzindustrie für MgO [also gebrannten Magnesit] allgemein üblich).
- Magnesit ($MgCO_3$) = Magnesiumkarbonat = kohlensäure Magnesia (siehe auch Magnesia).
- Magnesiumkarbonat = Magnesit ($MgCO_3$) = kohlensäure Magnesia.
- Magnesiumchlorid ($MgCl_2 + 6 H_2O$) = Chlormagnesium oder Chlormagnesia.
- Magnesiumchloridlauge = Steinholzlauge ($MgCl_2$).
- Magnesiumoxyd = Magnesia (MgO) = Magnesit, siehe Magnesia.
- Magnesiumsalz der Kieselfluorwasserstoffsäure = Magnesiumsiliciumfluorid ($MgSiF_6$): Kurz als Fluat bezeichnet, kommt zur Härtung von Beton in den Handel.
- Magnesiumsiliciumfluorid ($MgSiF_6$) = Magnesiumsalz der Kieselfluorwasserstoff-säure.
- Magnesiumsulfat ($MgSO_4 + 7 H_2O$) = schwefelsaure Magnesia = Bittersalz.
- Metanol = Methylalkohol [$CH_3(OH)$].
- Methan (CH_4) = Grubengas = Sumpfgas.
- Methylalkohol [$CH_3(OH)$] = Metanol (wird bisweilen mißbräuchlich an Stelle von Aethylalkohol zu Berausungszwecken getrunken, ist aber giftig und führt nach Genuß zu Erblindung).
- Natrium gehört zu den Alkalien.
- Natriumkarbonat = Soda ($Na_2CO_3 + 10 H_2O$) = kohlensaures Natron.
- Natriumchlorid ($NaCl$) = Chlornatrium = chlorwasserstoffsäures Natrium = Kochsalz.
- Natriumhydroxyd [$Na(OH)$] = Natronlauge = Ätznatron.
- Natriumsilikat = Wasserglas (Na_2SiO_4).
- Natriumsulfat ($Na_2SO_4 + 10 H_2O$) = kristallisiertes schwefelsaures Natrium = Glaubersalz.
- Natronlauge = Natriumhydroxyd = Ätznatron ($NaOH$).
- Nitrate = Salze der Salpetersäure.
- Rohrzucker = Zucker ($C_6H_{12}O_6$) = Rübenzucker.
- Rübenzucker = Zucker ($C_6H_{12}O_6$) = Rohrzucker.
- Salpetersäure (HNO_3): Die Salze heißen Nitrate.
- Salpetersaures Kalium = Kaliumnitrat (KNO_3) = Chilesalpeter.
- Salzsäure (HCl) = Chlorwasserstoffsäure: Die Salze heißen Chloride.

152 Verzeichnis der wichtigsten Fachzeitschriften und ihrer Abkürzungen.

Schwefelsäure (H_2SO_4) = Vitriolöl oder Vitriol: Die Salze heißen Sulfate.
Schwefelsaure Magnesia = Magnesiumsulfat ($\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$) = Bittersalz.
Schwefelsaures Barium = Bariumsulfat (BaSO_4) = Schwerspat = Baryt.
Schwefelsaures Calcium = Calciumsulfat (Gips), siehe auch Gips und Anhydrid.
Schwefelsaures Kupfer = Kupfersulfat ($\text{CuSO}_4 + 5 \text{H}_2\text{O}$) = Kupfervitriol.
Schwefelsaures Natrium = Natriumsulfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O}$) = Glaubersalz.
Schwerspat = Bariumsulfat (BaSO_4) = schwefelsaures Barium = Baryt.
Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10 \text{H}_2\text{O}$) = Natriumcarbonat = kohlensaures Natrium oder kohlensaures Natron.
Steinholzlauge (MgCl_2) = Magnesiumchloridlauge, oft auch kurz „Lauge“ genannt.
Die Bezeichnung „Lauge“ ist hier eigentlich falsch, da chemisch nur den Alkalilaugen, wie Natriumhydroxyd, die Bezeichnung zukommt.
Strontiumoxyd (SrO), gehört mit Calciumoxyd und Bariumoxyd zu den alkalischen Erden.
Stuckgips = Calciumsulfat ($\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$).
Sulfate: Salze der Schwefelsäure.
Sumpfgas = Methan (CH_4) = Grubengas.
Übermangansaures Kali = Kaliumpermanganat (KMnO_4).
Vitriol, Vitriolöl = Schwefelsäure (H_2SO_4).
Wasserglas (Na_2SiO_4) = Natriumsilikat.
Zucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) = Rohrzucker = Rübenzucker (der gewöhnlich in den Handel kommende Zucker ist Rübenzucker).

Verzeichnis der wichtigsten Fachzeitschriften und ihrer Abkürzungen.

1. Der Bauingenieur (Bauing.), Zeitschrift für das gesamte Bauwesen. Springer-Verlag Berlin W 9, Linkstr. 22/24.
2. Baumarkt, Leipzig C 1, Uferstr. 21.
3. Die Bautechnik (Bautechn.) Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin W 9, Köthener Str. 38.
4. Der Bautenschutz. Zeitschrift für Versuche und Erfahrungen auf dem Gebiete der Schutzmaßnahmen und der Baukontrolle. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin W 9, Köthener Str. 38.
5. Betonstein-Zeitung (Betonsteintztg.), jetzt: Betonwaren und Betonwerkstein. Verlagsgesellschaft Hans Marheine und Rudolf Schirmer. Berlin SW 11, Halleische Str. 21.
6. Beton und Eisen. Internationales Organ für Betonbau. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin W 9, Köthener Str. 38.
7. Chemiker-Zeitung (Chem.-Ztg.). Köthen i. Anh.
8. Der deutsche Baumeister. Verlag der Deutschen Technik München, Erhardtstraße 36.
9. Der Baumeister. Verlag Georg D. W. Callwey, München, Finkenstr. 2.
10. Tonindustrie-Zeitung (Toni). Berlin NW 21, Dreysestr. 4.
11. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI-Zs.). VDI-Verlag GmbH., Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40.
12. Zement, Wochenschrift für Hoch- und Tiefbau. Bauverlag Rudolf Schirmer, Berlin W 15, Kurfürstendamm 67.
13. Zentralblatt der Bauverwaltung (Zbl. Bauv.). Herausgegeben vom Preuß. Finanzministerium. Verlag W. Ernst & Sohn. Berlin W 9, Köthener Str. 38.

Namenverzeichnis.

Im Namenverzeichnis sind nur die wichtigsten Schriftstellen angeführt, da das vorliegende Buch möglichst von jeder unnötigen Erwähnung befreit bleiben sollte. Als Nachschlagewerke muß auf die einschlägige Literatur, wie

Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie,
Grün: Der Beton, Berlin 1937,
Kollmann: Technologie des Holzes, Berlin 1936,
Graf und Goebel: Schutz der Bauwerke, 1930

und die anderen in Fußnoten erwähnten Werke hingewiesen werden.

Die Veröffentlichungen oder Mitarbeit folgender Herren konnte ich dankend verwerten:

Aspdin	Johannsen	Roch
Bärenfänger	Joosten	Rolfsen
Böhm	Kleinogel	Schaper
Bornemann	Kohl-Bastian	Schöller
Drögsler	Kollmann	Seebaur
Durrer	Kosack	Thompson
Geßner	Kühl	Ullmann
Graf	Lorenz	Vögler
Grün	Madel	Winteler
Güldenpfennig	Mast	Witkin
Hespeler	Mörath	Wolfsholz
Hoffmann	Nowak	Zollikofer
Intze	Oberbach	

Während der Vorarbeiten und der Bearbeitung des Buches waren am Institut folgende Herren tätig, die entsprechend ihrem Arbeitsbereich und der in Klammern angegebenen Zeitdauer ihrer Tätigkeit mit am Zustandekommen des Buches beteiligt waren:

Assistenten: Dr. Kurt Obenauer (6 J.).

Laboranten: Hans Herres (18 J.), Willi Müller (17 J.), Arno Friedrich (6 J.), Eberhard Schulz (6 J.), Heinrich Jakobs (4 J.), August Blissenbach (4 J.).

Büroangestellte: Alfred Kunze (16 J.), Adolf Weil (15 J.), Hans Schwaen (7 J.), Walter Braun (4 J.).

Sachverzeichnis.

Um dem Bauingenieur und Architekten ein schnelles Auffinden der einzelnen Gebiete der Baustoffkunde zu ermöglichen, wurde besonderer Wert auf die Ausgestaltung des Sachverzeichnisses gelegt, in welchem jeweils die einzelnen Dinge angegeben sind.

- Abbinden von Zement 52.
- Abbindewärme 56.
- Abwässerkanäle 75.
- Adhäsion 140.
- Ätzwirkung von Basen 29.
- Aggressive Kohlensäure 19, 21.
- Aggressiveinwirkung auf Beton 60, 67.
- Aggressives Wasser 67.
- Aggressivwirkung von Wasser 67.
- Alabastergips 41.
- Alaun 41.
- Aldrey (Leichtmetall) 120.
- Algen, Schutz gegen Besiedlung durch 24.
- Algenbildung an Gesteinen 21.
- Algenzerstörung 24.
- Alit 52.
- Alkalische Reaktion 29, 30.
- Aludur 120.
- Aluminate 30.
- Aluminium 120.
- Aluminium, Verbrauch von 118.
- Aluminiumbad 121.
- Aluminiumchlorid und Beton 85.
- Aluminiumoxyd 30.
- Aluminiumsiliciumfluorid 26.
- Aluminiumsilikate 48.
- Ammoniumchloridzerstörung von Beton 80.
- Ammoniumsiliciumfluorid 90.
- Ammonsalzwirkung auf Beton 80.
- Amphoter 29.
- Analyse der Zemente 46.
- Andesit 22.
- Anhydrit (Gipsstein) 41.
- Anorganische Baustoffe 13.
- Anstrichfarben 143.
- Arbeitsfugen im Beton 60.
- Architekt, Notwendigkeit der Baustoffkenntnis für den 2.
- Architekt und Baustoffkunde 8.
- Arten von Bindemittel 31.
- Atomgewicht 12.
- Asphalt 127, 128.
- Aufbau des Betons 58.
- Auripigment 146.
- Ausblühungen 24, 28.
- Austauschsäurewirkung auf Beton 67.
- Backstein 105.
- Backsteinverwendung 5.
- Bakelit 135.
- Basalt 15, 22.
- Basen 29.
- Bauform, Moderne 7.
- Bauform und Verwitterung 26.
- Baugestaltung als Verwitterungsschutz 65.
- Baugestaltung von Stahlbauten 113.
- Bauingenieur, Notwendigkeit der Baustoffkenntnis für den 2.
- Baukalk 31.
- Baustoffe, Anorganische 13.
- Chemisch veränderte 5.
- Geschichte der 3.
- Historisches über 3.
- Organische 123.
- und Bauweisen 6.
- Baustoffverwendung in verschiedener Form 4.
- Bautenschutz, Wasserglasbehandlung als 28.
- Bauweisen und Baustoffe 6.
- Bauwerke, Säurefeste 18.
- Bauwerksfestigkeit und Würfelfestigkeit
- Bauwerk, Umkleidung von 139. [59.
- Bauwerken, Dichtung von 139.
- Bauxit 120.
- Beizereien 73.
- Belit 53.
- Bergtraß 36.
- Bessemer Verfahren 115.
- Beständigkeit von Beton 68.
- Beton 58.
- Aggressiveinwirkung auf 68.
- Aluminiumchlorid und 87.
- Ammoniumchloridzerstörung 80.
- Ammonsalzwirkung 80.
- Arbeitsfugen 60.
- Aufbau 58.
- Austauschsäurewirkung auf 73.
- Beständigkeit von 59.
- Bittersalzerstörung von 80.
- Bitumenzusatz zum 91.
- Chemie des 68.
- Chemische Einwirkungen auf 68.
- Dichtigkeit des 60.
- Dichtung von 90.
- Dolomitwirkung auf 74.
- Drainagerohre aus 76.
- Eisenkarbonatzerstörung von 76.
- Emulsionen und 91.
- Entmischung von 60.
- Erhärtungsvorgänge im 72.
- Essigsäurewirkung auf 70, 77.
- Fette und 83.
- Fettwirkung auf 83.

- Beton, Frosteinwirkungen auf 62.
 — Frostzerstörung von 62.
 — Gaseinwirkung auf 70.
 — Gelbildung im 60.
 — Gipsbildung im 73.
 — Glaubersalzwirkung auf 80.
 — Grünfuttersilos aus 73.
 — Grundwasserwirkung auf 73.
 — Hitzeeinwirkung auf 62.
 — Huminsäurewirkung auf 73.
 — Kohlensäurewirkung auf 73.
 — Kohlen Schlacke und 73.
 — Klinkerverblendung von 93.
 — Kornaufbau des Zuschlags 65.
 — Leichtbeton **66**.
 — Magnesiasalzwirkung auf 67, 82.
 — Magnesiumsulfatzerstörung von 80.
 — Meerwasserwirkung auf 80.
 — Milchsäurewirkung auf 73.
 — Mischungsverhältnis von 60.
 — Moorwasserwirkung auf 73, 74.
 — Nachbehandlung von 90.
 — Ölwirkung auf 83.
 — Ortpfähle aus 96, 101.
 — Oxalsäurewirkung auf 70.
 — Palmitinsäure und 83.
 — Paraffin und 83.
 — Pflanzenfette und 83.
 — Phosphorsäurewirkung auf 70.
 — Physik des 58.
 — Rauchgasewirkung auf 74.
 — Säurewirkung auf 73.
 — Saure Salzwirkung auf 74.
 — Schutz von 90.
 — Schutz von — gegen aggressive Lösungen 90.
 — Schutzanstriche für 91.
 — Schwefelsäurewirkung auf 70.
 — Schwefelwasserstoffwirkung auf 75.
 — Schweflige Säure und 74.
 — Schwer- 58.
 — Schwinden von 62.
 — Schwindrisse im 62.
 — Sulfatzerstörung von 80.
 — Verfestigung mürben 96.
 — Vitriolöl und 73.
 — Vorgespannte Eisen im 117.
 — Wärmeausdehnung von 62.
 — Zuckersäurewirkung auf 80.
 Betonieren, Frost beim **86**.
 Betonzusätze 85.
 Betonzusatz, Calciumchlorid als 85.
 Betonzerstörung durch Chemikalien 70.
 Bicalciumsilikat 44, 52, 53.
 Bimsentstehung 100.
 Bimskies 100.
 Bimsstein 100.
 Bindemittel 29.
 — Arten von 30.
 — Gips als 30.
 Bindemittel, Hydraulische 30.
 — im Sandstein 21.
 — Kalk als 31.
 — Unhydraulische 30.
 Bittersalzerstörung von Beton 80.
 Bitumen 132.
 Bitumendachpappe 137.
 Bitumenzusatz zum Beton 88.
 Bituminöse Massen 132.
 Bleisiliciumfluorid 85.
 Bleiverguß von Eisen in Naturstein 25.
 Blutveränderung durch Kohlenoxydvergiftung 34.
 Boden, Verfestigung von 96.
 Bohrmuschelzerstörung von Holz 126.
 Branntkalk 11, 32.
 Braunkohle 74.
 Braunkohle als Schwefelquelle 25.
 Brennen von Zement 49.
 Brohltal 35.
 Brownmillerit 53.
 Calciumaluminate 53.
 Calciumchlorid als Betonzusatz 90.
 Calciumsilikat 31, 53.
 Calciumsulfat (Gips) 41.
 Celit 53.
 Chemie des Betons 67.
 Chemie, Funktionen des Chemikers, Vorwort S. 1.
 Chemie, Was ist, Vorwort S. 1.
 Chemisch veränderte Baustoffe 5.
 Chemische Einwirkungen auf Beton 67, — **68**.
 — Formeln 10.
 — Sedimentgesteine 18.
 — Verbindungen 29.
 — Zerstörungen von Beton 70.
 — Zusammensetzung des Zementes 53.
 Chlorcalciumwirkung im Zement 51.
 Chlorwasserstoffsäure 30.
 Cilor-Zement 52.
 Czeremley 88.
 Dachpappe 137.
 Dachziegel 107.
 Destillation, trockene von Holz 125.
 Diabas 15, 22.
 Dicalciumsilikat 53.
 Dichtigkeit des Betons 60, 63.
 Dichtung von Bauwerken 138.
 Dichtung von Beton 90.
 Diorit 22.
 Doppeltkohlenaurer Kalk 20.
 Dolomit 18, 22.
 Dolomitwirkung auf Beton 82.
 Drainagerohre aus Beton 70.
 Drehöfen 49.
 Dreistoffsystem Kalk — Kieselsäure — Tonerde 47.

- Druckwasserwirkung 67.
 Dünger, Künstlicher 80.
 Duraluminium 120.
 Eigenschaften der Natursteine 22.
 Einteilung 29.
 Einteilung des Buches 8.
 Eisen 112.
 — Lochfraß im 117.
 — Reduktion von 6.
 — Rosten von 6, 117.
 — Rosten von — in Natursteinen 25.
 — Schutzanstrich für 143.
 — Veränderung seiner Eigenschaften durch chemische Zusätze 3.
 Eisengewinnung 112.
 Eisenkarbonatzerstörung von Beton 76.
 Eisenportlandzement 44.
 Eisensulfat 30.
 Elektron 120.
 Elektron, Chemischer Aufbau 120.
 Emulsion und Beton 93.
 Emulsionen 89, 133, 143.
 Endotherme Reaktion 32.
 Energie in den verschiedenen Zeitaltern Vorwort S. 1.
 Engobieren von Ziegeln 105.
 Entmischung von Beton 61.
 Erdkruste, Sialzone der 3.
 — Simazone der 3.
 — Zusammensetzung der, Vorwort S. 2.
 Ergußgesteine 15, 18.
 Erhärtung von Zement 54.
 Erhärtungsvorgänge im Beton 54.
 Erstarren von Zement 54.
 Erzverhüttung 5.
 Essigsäurewirkung auf Beton 80.
 Estrichgips 40.
 Exotherme Vorgänge 30.
 Färbereien 73.
 Farbkörper 144.
 Feldspat 15, 22.
 Feldspat, Chemischer Aufbau 3.
 Felit 53.
 Fensterglas, Chemischer Aufbau 3.
 Festigkeit von Puzzolanmörteln 36.
 Fette Öle 83.
 Fette und Beton 83.
 Fettwirkung auf Beton 83.
 Feuerschutz von Holz 131.
 Feuersbrunst 25.
 Fluate 90.
 Fluate als Bautenschutz 90.
 Fluatierung 29.
 Fluatierung auf Beton 90.
 Formaldehyd 131.
 Formeln, Chemische 11.
 Formzustand des Zuschlags: Einwirkung auf die Isolationsfähigkeit im Beton 66.
 Frost beim Betonbau 52.
 Frostwirkung auf Beton 62.
 Frostwirkung auf Natursteine 25.
 Frostzerstörung von Beton 62.
 Fußböden 102.
 Futtermittelsilos 73.
 Gabbro 22.
 Gangart 6.
 Gaseinwirkung auf Beton 68.
 Gefrierverfahren 95.
 Gel 140.
 Gel im erhärtenden Zement 54.
 Gelatine 54, 140.
 Gebildung im Beton 54.
 Gele im Holz 124.
 Geschichte der Baustoffe 3.
 Gesteine, Algenbildung an 21.
 Gips 21.
 — (Calciumsulfat) 41.
 — als Bindemittel 41.
 — im Zement 44.
 Gipsausblühungen 110.
 Gipsbildung im Beton 74.
 Gipsbildung in Natursteinen 24.
 Gipsdielen 97.
 Gipsgehalt im Zuschlag 95.
 Gipskochen 41.
 Gipsmörtel 41.
 Gipsschlackenzement 55.
 Gipsstein 41.
 Gipsstein (Anhydrit) 41.
 Gipszusatz zum Portlandzement 46.
 Glas, Chemischer Aufbau 3.
 Glasmehl 35.
 Glasuren 106.
 Glaubersalzwirkung auf Beton 80.
 Glühverlust von Traß 36.
 Glykokoll 140.
 Glycerin 84.
 Granit 14, 21, 22, 84.
 Granit, Chemischer Aufbau 3.
 Graphit 115.
 Grauwacke 22.
 Grubengas, Entstehung aus Fäkalienverfäulung 1.
 Grundwasserwirkung auf Beton 76.
 Grünfuttersilos aus Beton 73.
 Grünstein 22, 40.
 Gußasphalt 132.
 Gußbeton 57, 58, 62.
 Gußeisen 112.
 Hadriansvilla 26.
 Hartzuschläge 102.
 Hausbau in Samoa 4.
 Hausschwamm 126.
 Heißeinbau von Teer 132.
 Heißwasserbereiter 114.
 Heraklithplatten 95.
 Historisches über Baustoffe 3.

- Hitzeeinwirkung auf Beton 60.
 Hochofen 109.
 Hochofenschlacke 15, 36, 46, 110.
 — (Dünnschliff) 48.
 — als Zuschlag 62.
 Hochofenstückschlacke 62.
 Hochofenzement 44.
 Hochofenzement und Traß 59.
 Holz 124.
 — Bohrmuschelzerstörung von 123.
 — Chemischer Aufbau 3, 125.
 — Feuerschutz von 128.
 — Gele im 125.
 — Imprägnierung von 124.
 — Künstliches 137.
 — Lebensdauer von 124.
 — Ölfarbenanstriche für 129.
 — Pigmentanstriche für 129.
 — Pilze im 126.
 — Schutz des 128.
 — Trockenfäule im 126.
 — Verbrennen von 131.
 Holzasche 124.
 Holzbock 127.
 Holzdünnschliff 124.
 Holzzessig 120.
 Holzimprägnierung 126.
 Holzkohle 124.
 Holzteer 124.
 Holzverzuckerung 120.
 Holzwürmer 121.
 Holzzerstörung durch Bohrmuscheln 122.
 Hünengräber 5.
 Hüttenbims 64, 96.
 Hüttenbims, Schaumslag 96.
 Hüttenzement 42, 43, 51.
 Hüttenzement, Erhärten von 51.
 Huminsäurewirkung auf Beton 70.
 Hydraule-Faktoren 38.
 Hydraulische Bindemittel 30.
 Hydraulischer Kalk 38.
 Hydraulite 35.
 Hydrophil 138.
 Hydroxylgruppe 29.
 Hydrozellulose 121.
 Imprägnierung von Holz 124.
 Irdengut 101.
 Isarkies 22.
 Kalibergwerk 79.
 Kaliwasserglas 27.
 Kalk 30.
 — als Bindemittel 31.
 — Hydraulischer 37.
 — im Dreistoffsystem 44.
 Kalk, Karbonisierung des 34.
 — Krebse im 33.
 — Künstlicher hydraulischer 39.
 Kalkaluminat 44, 46.
 Kalkarmer Zement 43.
 Kalkausblühungen 107.
 Kalkaussinterung 59.
 Kalkbläschen 33.
 Kalkkerhärtung 33.
 Kalkfarben 140.
 Kalklöschchen 33.
 Kalkmergel 43.
 Kalkmörtel 35.
 Kalkmuschel 18.
 Kalkofen 32.
 Kalksandstein 96.
 Kalksilikate 46.
 Kalksteine 13, 18, 22.
 Kalksteinkies 22.
 Kalkteig 33.
 Kalteinbau von Teer 129.
 Kaltteere 128.
 Kaolin 101.
 Karbolineum 124.
 Karbolsäure 80.
 Karbonisierung des Kalkes 34.
 Karstbildung 19.
 Kasëin-Farben 141.
 Kasëin-Leim 137.
 Keimsche Mineralfarben 140.
 Kies 16, 22.
 Kies, Kornaufbau von 62.
 Kieselsäure im Dreistoffsystem 45.
 Kitte 137.
 Kitten (Anweisung) 138.
 Klebemittel 135.
 Klebstoffe 132.
 Kleister 136.
 Klinker 52, 104.
 Klinker (Ziegelstein) 104.
 Klinkerverblendung von Beton 90.
 Kochprobe 51.
 Kochsalz 30.
 Kölner Dom 21, 73.
 Kohäsoin 136.
 Kohlenmonoxyd 34.
 Kohlenoxyd, Blutveränderung durch 34.
 Kohlensäure 21.
 — Aggressive 73.
 — als Lebensquelle 21.
 — als Verwitterungsfaktor 21.
 — Düngung 31.
 Kohlensäuregehalt im Regenwasser 21.
 Kohlensäurevorkommen 31.
 Kohlensäurewirkung auf Beton 70, 74.
 Kohlenwäsche 66.
 Kohlensaurer Kalk 18.
 Kohlenschlacke und Beton 78.
 Kohlenstoff, Besondere Eigenschaften bei Bildung chemischer Verbindungen 1.
 Kohlenstoff, Einfluß auf die Beschaffenheit des Eisens 1.
 Kolloide 103, 136.
 Konverter Verfahren 111.

- Korallen 18, 73.
 Kornaufbau von Kies 62.
 Korund 98.
 Kraftverbrauch in den verschiedenen Zeitaltern, Vorwort S. 1.
 Krebse im Kalk 33.
 Kreide 31.
 Kreta, Königsburg in 40.
 Kristallbildung in Tiefengesteinen 14, 21, 31.
 Kryolith 115.
 Ktesiphon, Palast von 5.
 Künstlicher hydraulischer Kalk 39.
 Künstliches Holz 137.
 Kunstharze 131.
 Kunststeine 9, 93, 97.
 Kunststoffe 139.
 Lacke 132.
 Lackmuspapier 29, 30.
 Lantal (Leichtmetall) 117.
 Lebensdauer von Holz 125.
 Leichtbeton 66.
 Leichtmetall 115.
 Leichtsteine 96, 99.
 Leichtziegel 105.
 Leim 136.
 Leukolith 40.
 Lignin 119.
 Lochfraß im Eisen 114.
 Lockere Sedimentgesteine 22.
 Lockerung des Gefüges von Zement 21.
 Löschkalk 11, 32, 39.
 Lösungswirkung von Wasser 67.
 Lokomotivgase 72.
 Magnesal (Leichtmetall-Legierung) 3.
 Magnesit 94.
 Magnesit, Chemischer Aufbau 3.
 Magnesiumoxychlorid 94.
 Magnesiumsalzwirkung auf Beton 69, 70.
 Magnesiumsiliciumfluorid 28, 87.
 Magnesiumsulfaterstörung von Beton [79].
 Mahlen von Zement 49.
 Mansfelder Schlacke 15.
 Mansfelder Steine 99.
 Marmorverarbeitung 26.
 Marmorzement 40.
 Meerwasserbauten 60.
 Meerwasserwirkung auf Beton 70, 77, 78.
 Mennige 114.
 Milchsäure 30.
 Milchsäurewirkung auf Beton 70, 77.
 Mineralfarben, Keimsche 140.
 Mischen des Kaltteeres, 129.
 Mischung verschiedener Zementarten 54.
 Mischungsverhältnis von Beton 59.
 Moderne Bauformen 7.
 Möller 110.
 Mörtel, Widerstandsfähigkeit gegen Verwitterung 25.
 Moorsäure 24.
 Moorwasserwirkung auf Beton 70.
 Mühlen 49.
 Muschelkalk 28.
 Muschelschalen 18.
 Nachbehandlung von Beton 86.
 Nagelfluh 19.
 Natriumchlorid 30.
 Natriumoleat 82.
 Natriumsilikat 27.
 Natronlauge 30.
 Naturstein 8, 13, 22.
 — Bleiverguß von Eisen in 25.
 — Frostwirkung auf 25.
 — Gipsbildung in 24.
 — Rosten von Eisen in 25.
 — Schutz von — gegen Verwitterung 25.
 — Abdichtung von 93.
 — Eigenschaften der 22.
 Natursteinzerstörung durch Rauchgase
 Nichtrostender Stahl 112. [24.
 Nitrozellulosefarben 139, 142.
 Normenzemente 31, 42.
 Ölfarben 141.
 Ölfarbenanstriche für Holz 124.
 Ölwirkung auf Beton 70, 81.
 OH-Gruppe 30.
 Organische Baustoffe 119.
 Ortpfähle aus Beton 97.
 Oxalsäurewirkung auf Beton 69.
 Oxydation 147.
 Palmitinsäure und Beton 82.
 Pantheon in Rom 6.
 Papier, Chemischer Aufbau 3.
 Pappe, Chemischer Aufbau 3.
 Paraffin und Beton 81.
 Pech 127.
 Pfähle 97.
 Pflanzenfette und Beton 82.
 Pflanzenleim 136.
 Pflanzenwachstum 31.
 Pflastersteine 15.
 Pflastervergußmasse 128.
 Ph-Wert von Regenwasser 21.
 Phenol 131.
 Phosphorsäurewirkung und Beton 69.
 Phosphorschlacke 15.
 Physik des Betons 58.
 Pigment 139.
 Pigmentanstrich für Holz 124.
 Pilze im Holz 122.
 Polymerisation 132.
 Porenbeton 99.
 Porphyr 15, 22.
 Portlandstein 42.
 Portlandzement 42.
 Portlandzement, Gipszusatz zum 50.
 Portlandzementklinker 48, 104.

- Portlandzementklinker aus Gips 43.
 Porzellan 104.
 Pottasche 28.
 Putz 98.
 Puzzolane 35.
 Puzzolanmörtel, Festigkeit von 37.

Quarz, Tridymitwirkung im 25.
Quarzit 22.

Rammpfähle 97.
 Rauchgase (Natursteinzerstörung) 24.
 Rauchgaswirkung auf Beton 70, 71.
 Reduktion von Eisen 6.
 Reduktionsvorgang 113.
 Regenwasser, Kohlensäuregehalt von 21.
 — Ph-Wert von 21.
 — Sulfatgehalt von 21.
 Roheisen 109, 110.
 Rohmehl 43.
 Rohrkorrosion 113.
 Rom, Pantheon in 6.
 Romankalke 39.
 Rosten von Eisen 6, 11, 17.
 Rosten von Eisen in Natursteinen 25.
 Rüttelbeton 57.

Säulenbasalt 15.
Säulenstellung der griechischen Tempel 7.
Säurefeste Bauwerke 18. [pel 7.
Säuren 30.
 Säurewirkung auf Beton 67, 68.
 Salpeterausblühungen 106.
 Salzbildung 30, 64.
Salze 30.
 Samoa, Hausbau in 4.
 Sand 16.
 Sandstein 17, 21, 22.
 — Bindemittel im 13.
 — Chemischer Aufbau 3.
 Sandzement 55.
 Saure Reaktion 30.
 Saure Salze 30.
 Saure Salzwirkung auf Beton 69.
 Sealithor-Zement 49.
 Sedimentgesteine 16, 28.
 — Lockere 22.
 — Verfestigte 22.
 Seife, Chemischer Aufbau 3.
 Seifenbildung 82.
 Sialzone der Erdkruste 3.
 Siemens-Martin-Verfahren 111.
 Sikkativ 141.
 Siliciumfluorid 27.
 Silikate, Chemischer Aufbau 3.
 Simazone der Erdkruste 3.
 Soda 27.
 Sol 136.
 Sonnenbrenner 15.
 Sonnenbestrahlung 21.
 Sorel-Zement 95.

 Spannbeton 8, 112.,
 Sulfatausblühungen 106.
 Sulfatgehalt von Regenwasser 21.
 Sulfatwirkung auf Beton 69, 77.
 Sulfatzerstörung von Beton 67, 78.
 Sulfidgehalt des Zuschlags 93.
 Schachtöfen 47.
 Schadenfeuer 25.
 Schalenbeton 7.
 Schaumslagge, Hüttenbims 96.
 Schlackensand 37.
 Schlackenwolle 64.
 Schmelzkitte 138.
 Schmierseife 86.
 Schnellbinden von Zement 52, 85.
 Schnelldrehstähle 111.
 Schutz des Holzes 123.
 Schutz von Beton gegen aggressive
 Lösungen 89.
 Schutz von Naturstein gegen Ver-
 witterung 25.
 Schutzanstrich 138.
 — für Eisen 114.
 — auf Beton 67, 87.
 Schutzanstrichwirkung 67.
 Schwefelsäurewirkung auf Beton 70.
 Schwefelsaurer Kalk 40.
 Schwefelwasserstoff 72.
 Schwefelwasserstoffwirkung auf Beton
 Schweflige Säure 71. [70.
 — Steinzerstörung durch 24.
 — und Beton 68, 70, 71.
 Schwemmsand 93.
 Schwerbeton 57.
 Schwinden von Beton 60.
 Schwindrisse im Beton 87.
 St. „37“ 115.
 St. „52“ 115.
 Stadtatmosphäre 21.
 Stärkekleister 136.
 Stahl 108, 111.
 Stahl, Nicht rostender 112.
 Stahlbauten, Baugestaltung von 115.
 Stahlsaitenbeton 8, 112.
 Stalaktiten 19.
 Standöl 141.
 Staufferfett 80.
 Steingut 104.
 Steinholz 80, 94, 113.
 Steinholz, Chemischer Aufbau 3.
 Steinhohlzusatz zum Zement 55.
 Stellaplaten 71.
 Stöchiometrische Verhältnisse 11.
 Straßendecken 127.
 Straßendeckenteere 128.
 Stuckgips 40.
 Stückslagge 37, 62.

Talsperren 21.
 Teer 127.

- Teerdachpappe 133.
 Terrazzo 98.
 Thermitbomben 127.
 Thomasschlacke 111.
 Thurament 37.
 Tiefengesteine 14.
 Ton 62.
 Ton, Chemischer Aufbau 3.
 Tonerde 101.
 Tonerdezement 42, 54.
 Tonerdezement im Dreistoffsystem 45.
 Tonplatten 101.
 Tonschiefer 17, 22.
 Trachyt 22.
 Transportbeton 67, 101.
 Traß 35.
 — Glühverlust von 38.
 — und Hochofenzement 59.
 Traßkalkmörtel 35.
 Traßzement 42, 44, 55.
 Tricalciumaluminat 52.
 Tricalciumsilikat 44, 52.
 Tridymitwirkung in Quarz 25.
 Trockenfäule im Holz 122.
 Tropfnasen 26.
 Tropfsteinbildung 75.
 Tropfsteinhöhlen 21.
 Trümmergesteine, Verkittete 16, 17, 28.
 Tuff 22.
 Tuffsteine 28, 35.
 Tuffsteinverwitterung 25.
 Tunnelzerstörung 72.

 Umkleidung von Bauwerken 134.
 Umschläger bei Zement 51.
 Unhydraulische Bindemittel 30.
 Urgesteine 14, 21, 28.

 Verarbeitung von Zement 51.
 Verbrennen von Holz 124.
 Verfestigte Sedimentgesteine 22.
 Verfestigung mürben Betons 93.
 Verfestigung von Böden 93.
 Verkittete Trümmergesteine 17, 28.
 Verlängerter Zementmörtel 38.
 Verseifung 82.
 Verwitterung 17, 18, 21.
 — Bauform und 26.
 — Wassereinfluß bei der 21.
 Verwitterungsschutz, Baugestaltung als 65.
 Vitriolöl und Beton 70.
 Vorgespannte Eisen im Beton 112.
 Vorsatzbeton 67.
 Vulkane 73.

 Wärmeausdehnung von Beton 60.
 Warmwasserheizung 114.
 Wasser, Aggressivwirkung von 66.
 — Aggressives 57.
 Wasser, als Zerstörungsfaktor 21.
 — Lösungswirkung von 67.
 Wassereinbruch 84.
 Wassereinfluß bei der Verwitterung 21.
 Wasserglas 27, 135.
 Wasserglas, Chemischer Aufbau 3.
 Wasserglasbehandlung als Bautenschutz
 Wasserglasfarben 140. [28.
 Wasserleitungszerstörung 113.
 Wasserstoffatome in Säuren 29.
 Wasserzementfaktor 57.
 Wasserzusammensetzung 30.
 Weltbild, Modernes 2.
 Wolframstahl 111.
 Würfel Festigkeit und Bauwerksfestigkeit
 des Beton 59.

 Zellulose 120.
 Zelluloseleim 137.
 Zement 42.
 — Abbinden von 52.
 — Analyse der 45.
 — Brennen von 46.
 — Chlorcalciumwirkung im 51.
 — Erhärtung von 51, 52.
 — Erstarren von 51, 52.
 — Gel im erhärtenden 52.
 — Gips im 41.
 — Kalkarmer 43.
 — Lockerung des Gefüges von 21.
 — Mahlen von 49.
 — Schnellbinden von 82.
 — Steinmehlzusatz zum 55.
 — Umschläger bei 51.
 Zementarten, Mischung verschiedener 54.
 Zementbazillus 79.
 Zemente 31.
 Zementeinpressen 93.
 Zement erhärtung 42.
 Zementholzplatten 95.
 Zementkalke 37.
 Zementkalkmörtel 37.
 Zementklinker 51.
 Zementleim 57.
 Zementmörtel, Verlängerter 37.
 Zementmühlen 49.
 Zementsteine 93, 95.
 Zementleichtsteine 63.
 Ziegel, Engobieren von 105.
 Zieglmehl 37.
 Ziegelstein 93.
 — Chemischer Aufbau 3.
 — (Klinker) 104.
 Zuckerwirkung auf Beton 70.
 Zuschlag, Formzustand des 62.
 — Gipsgehalt im 91.
 — Hochofenschlacke als 62.
 — Kornaufbau des 62.
 Zuschlagsstoffe 22.
 Zyanisieren 125.

Der Beton. Herstellung, Gefüge und Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Einwirkungen. Von Direktor Professor Dr. **Richard Grün**, Düsseldorf. Zweite, völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 261 Abbildungen im Text und auf zwei Tafeln sowie 90 Tabellen. XV, 498 Seiten. 1937. RM 39.—; Ganzleinen RM 42.—

Materialauswahl für Betonbauten, unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit. Versuche und Erfahrungen. Von Reg.-Baurat **H. Vetter** und Dr. **E. Rissel**, Heidelberg. Mit 40 Textabbildungen und 16 Zusammenstellungen. IV, 94 Seiten. 1933. RM 4.50

Wasserdurchlässigkeit von Beton in Abhängigkeit von seinem Aufbau und vom Druckgefälle. Von Dr.-Ing. **Gustav Merkle**. (Mitteilungen des Instituts für Beton und Eisenbeton an der Technischen Hochschule in Karlsruhe i. B.) Mit 33 Textabbildungen. IV, 66 Seiten. 1927. RM 4.59

Über das elastische Verhalten von Beton mit besonderer Berücksichtigung der Querdehnung. Von Professor **Hirohiko Yoshida**, Fukui, Japan. (Mitteilungen des Instituts für Beton und Eisenbeton an der Technischen Hochschule in Karlsruhe i. B.) Mit 59 Textabbildungen. VI, 114 Seiten. 1930. RM 9.90

Das Wesen des Gußbetons. Eine Studie mit Hilfe von Laboratoriumsversuchen. Von Dr.-Ing. **G. Bethke**. Mit 33 Textabbildungen. 58 Seiten. 1924. RM 2.97

Chemie der Zemente. (Chemie der hydraulischen Bindemittel.) Von Priv.-Doz. Dr. **Karl E. Dorsch**, Karlsruhe. Mit 48 Textabbildungen. V, 277 Seiten. 1932. RM 23.50

Erhärtung und Korrosion der Zemente. Neue physikalisch-chemische Untersuchungen über das Abbinde-, Erhärtungs- und Korrosionsproblem. Von Priv.-Doz. Dr. **Karl E. Dorsch**, Karlsruhe. Mit 76 Textabbildungen. IV, 120 Seiten. 1932. RM 13.50

Der Hochbau. Eine Enzyklopädie der Baustoffe und der Baukonstruktionen. Von Professor Dr. techn. **Silvio Mohr**, Wien. Mit 298 Textabbildungen. VIII, 313 Seiten. 1936. (Springer-Verlag / Wien.) Ganzleinen RM 16.—

Technische Gesteinkunde für Bauingenieure, Kulturtechniker, Land- und Forstwirte sowie für Steinbruchbesitzer und Steinbruchtechniker. Von Ing. Professor Dr. phil. **Josef Stiny**, Wien. Zweite, vermehrte und vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 422 Abbildungen im Text und einer mehrfarbigen Tafel, sowie einem Beiheft: „Kurze Anleitung zum Bestimmen der technisch wichtigsten Mineralien und Felsarten“ (mit 11 Abbildungen im Text, 23 Seiten). VII, 550 Seiten. 1929. (Springer-Verlag / Wien.) Ganzleinen RM 45.—

Die Auswahl und Beurteilung der Straßenbaugesteine. Von Ing. Professor Dr. phil. **Josef Stiny**, Wien. Mit 42 Textabbildungen. IV, 141 Seiten. 1935. (Springer-Verlag / Wien.) RM 7.20

Das Holz als Baustoff. Aufbau, Wachstum, Behandlung und Verwendung für Bauteile. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage des gleichnamigen Werkes von **Gustav Lang** unter Mitarbeit von Professor **Otto Graf**, Oberforstrat Dr. **Harsch**, Dr. **Fritz Himmelsbach-Noël** herausgegeben von Professor Dr.-Ing. e. h. **Richard Baumann**, Stuttgart. Mit 177 Textabbildungen. VIII, 169 Seiten. 1927. RM 14.85

Mahlke-Troschel, Handbuch der Holzkonservierung. Unter Mitwirkung zahlreicher Fachleute herausgegeben von Oberbaurat Priv.-Doz. **Friedrich Mahlke**, Berlin. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 191 Abbildungen im Text. VII, 434 Seiten. 1928. Ganzleinen RM 26.10

Holzschutzmittel. Prüfung und Forschung. Herausgegeben vom Präsidenten des Staatlichen Materialprüfungsamts Berlin-Dahlem. (Wissenschaftliche Abhandlungen der Deutschen Materialprüfungsanstalten, Erste Folge, Heft 5.) Mit 76 Abbildungen im Text. IV, 66 Seiten. 1940. RM 13.60

Der Einfluß des Frostkerns auf die Imprägnierung der Buchenschwelle. Von Professor Dr.-Ing. **Alfred Nowak**, Mödling. (Mitteilungen des Österr. Fachausschusses für Holzfragen, H. 1.) Mit 15 Textabbildungen und einer Tabelle. 22 Seiten. 1936. (Springer-Verlag / Wien.) RM 1.45

Physik und Technik der Härte und Weiche. Von Dr. phil. **Wilhelm Späth** VDI, Beratender Physiker, Wuppertal-Barmen. Mit 214 Textabbildungen. VIII, 250 Seiten. 1940. RM 18.—; Ganzleinen RM 19.50

Zu beziehen durch jede Buchhandlung