

# 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

Mit 58 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1939

Chemie  
für Bauingenieure und Architekten

# 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

Mit 58 Textabbildungen



Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH 1939

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

Copyright Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1939

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer Berlin 1939

ISBN 978-3-662-27768-3

ISBN 978-3-662-29263-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-29263-1

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

## Vorwort.

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 diese Energie haben 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. . . . .	2000	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 barrels (1 barrel = rd. 89 kg)	—	1,5	30 000
Schuhe in Paar . . . . .	—	1/5	17

Kraftverbrauch in den verschiedenen Zeitaltern: Die Tabelle zeigt den ungeheuren Anstieg der zur Verfügung stehenden Kräfte in den verschiedenen Zeitaltern. Unser Zeitalter unterscheidet sich grundsätzlich von allen vorhergegangenen durch seinen ungeheuren Kräfteüberschuß und ermöglicht dadurch die Herstellung von Baustoffen (Eisen, Zement, Leichtmetall), wie sie vorher niemals möglich waren: 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 — schwelgen wir in gewaltigem Kraftüberschuß, weil es uns durch die Dampfmaschine gelang, Sonnenenergien, die seit Jahrmillionen in der Erde als Kohle schlummerten, nutzbar zu machen (Abb. 1). Dieser Kraftüberschuß schuf uns auch die Chemie, die ohne Kraft nicht denkbar ist, und die Chemie gab uns Baustoffe mit einer Festigkeit (Stahl) und einer Formwilligkeit (Eisenbeton), wie sie nie anderen 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, vielleicht 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, und 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 Kupfergaben 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 schafft er sich allein aus der Kenntnis von

Chemie, die ihm seine Baustoffe schuf und aus der sich deren Eigenschaften 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, den 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.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Einleitung</b> . . . . .	1
Ursprung und Zusammensetzung der Erdkruste . . . . .	2
Geschichte der Baustoffe . . . . .	3
Einteilung des Buches . . . . .	8
Einiges über chemische Formeln . . . . .	10
<b>A. Anorganische Baustoffe</b> . . . . .	12
I. Natursteine . . . . .	12
a) Die verschiedenen Arten von Steinen . . . . .	12
1. Tiefengesteine . . . . .	13
2. Sedimentgesteine . . . . .	15
b) Die Verwitterung . . . . .	19
c) Der Schutz . . . . .	24
II. Bindemittel . . . . .	28
Grundsätzliches über Einteilung und Aufbau der hier wichtigen chemischen Verbindungen . . . . .	28
Die Bindemittel . . . . .	29
a) Kalk . . . . .	30
1. Unverarbeiteter Kalk . . . . .	30
2. Verarbeiteter Kalk . . . . .	32
3. Puzzolane . . . . .	34
$\alpha$ ) Traß-Kalk-Mörtel . . . . .	34
$\beta$ ) Hochofenschlacke-Kalkmörtel . . . . .	34
4. Hydraulischer Kalk . . . . .	36
b) Gips . . . . .	38
c) Unverarbeiteter Zement . . . . .	40
Normzemente . . . . .	40
Nichtgenormte Zemente . . . . .	42
1. Chemische Zusammensetzung . . . . .	42
2. Das Brennen . . . . .	44
3. Die Kühlung . . . . .	47
4. Das Mahlen . . . . .	48
d) Verarbeiteter Zement . . . . .	48
1. Das Erstarren . . . . .	48
2. Die Grundlagen der Erhärtung . . . . .	49
3. Abbindewärme . . . . .	51
4. Mischung verschiedener Zementarten . . . . .	52
5. Traßzement . . . . .	53
6. Steinmehlzemente . . . . .	53
7. Beton . . . . .	53
$\alpha$ ) Physik des Betons . . . . .	54
Schwerbeton S. 54. — Dichtigkeit des Betons von der Zementseite (Höhe des Wasserzusatzes) S. 55. — Quellen und Schwinden S. 57. — Wärmeausdehnung S. 57. — Hitze S. 57. — Frost S. 57. — Dichtigkeit des Betons von der Zuschlagsseite S. 58. — Leichtbeton S. 60.	
$\beta$ ) Chemie des Betons . . . . .	61
Chemische Einflüsse: Art der Einwirkung S. 63. — Einwirkende Säuren und Salze S. 65. — Säuren S. 68. — Schwefelsäure S. 68. — Schweflige Säure S. 68. — Schwefelwasserstoff S. 69. — Kohlensäure S. 70. — Essigsäure und Milchsäure S. 74. — Zucker S. 74. — Salze S. 74. — Sulfate und Ammonsalze S. 74. — Magnesiumsalze S. 76. — Fette S. 77.	
e) Chemie der Betonzusätze . . . . .	79
1. Schnellbinden veranlassende Zusätze . . . . .	79
2. Dichtende Zusätze . . . . .	81

## Inhaltsverzeichnis.

	IX Seite
f) Chemie der Behandlungsmittel . . . . .	82
1. Imprägnierung mit Silicofluoriden: Fluatierung . . . . .	83
2. Imprägnierung mit Ölen . . . . .	83
3. Schutzanstrich . . . . .	83
g) Chemie der Zuschlagsstoffe . . . . .	87
1. Chemische Zusammensetzung . . . . .	87
2. Verfestigung mürben Betons oder des Untergrundes . . . . .	88
<b>III. Kunststeine</b> . . . . .	89
a) Nichtwasserbeständige Kunststeine . . . . .	90
1. Gips als Bindemittel . . . . .	90
2. Magnesit als Bindemittel (Steinholz) . . . . .	90
b) Wasserbeständige Kunststeine . . . . .	92
1. Kalk als Bindemittel . . . . .	92
$\alpha$ ) Kalksandsteine . . . . .	92
$\beta$ ) Bimssteine . . . . .	92
2. Zement als Bindemittel . . . . .	93
$\alpha$ ) Kunststeine im allgemeinen. . . . .	93
$\beta$ ) Pfähle . . . . .	93
c) Fußböden . . . . .	94
d) Putze . . . . .	94
e) Gegossene Steine . . . . .	95
f) Zementleichtsteine . . . . .	95
$\alpha$ ) Schaumbildner . . . . .	95
$\beta$ ) Gasentwicklung . . . . .	96
<b>IV. Ziegel- und Tonwaren</b> . . . . .	97
a) Herstellung . . . . .	97
b) Ausblühungen . . . . .	101
1. Salpeter . . . . .	101
2. Natriumsulfat . . . . .	101
3. Calciumsulfat . . . . .	102
4. Calciumkarbonat . . . . .	102
<b>V. Eisen und Stahl</b> . . . . .	103
a) Rohstoffe . . . . .	103
b) Gewinnung des Eisens . . . . .	104
c) Verschiedene Eisensorten . . . . .	105
d) Rosten des Eisens . . . . .	107
<b>VI. Leichtmetalle</b> . . . . .	110
<b>B. Organische Baustoffe</b> . . . . .	114
<b>I. Holz</b> . . . . .	114
Eigenschaften des Holzes. . . . .	114
Zerstörung des Holzes . . . . .	116
Schutz des Holzes . . . . .	118
Schutz gegen Fäulnis . . . . .	118
Schutz gegen Schadenfeuer . . . . .	120
<b>II. Kunstharze (Kunststoffe, Bakelith)</b> . . . . .	121
<b>III. Dachpappe</b> . . . . .	123
a) Dichtung von Bauwerken . . . . .	124
b) Umkleidung . . . . .	125
<b>IV. Klebemittel</b> . . . . .	125
Wasserunbeständige Leimung. . . . .	126
Wasserbeständige Leimung . . . . .	127
<b>V. Kitte</b> . . . . .	127
<b>VI. Anstrichfarben und Schutzanstriche</b> . . . . .	129
a) Pigmente oder Farbkörper . . . . .	129
b) Bindemittel . . . . .	130
<b>Schluß</b> . . . . .	133
<b>Über die Bezeichnung und Namengebung chemischer Verbindungen</b> . . . . .	133
<b>Namenverzeichnis.</b> . . . . .	137
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	138

## 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, 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 Graffit, 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 Wasserstoff-Atomen, bildet er das Grubengas oder Methan ( $\text{CH}_4$ ), das in Kohlenbergwerken die bei Entzündung 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 die Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ), die 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. Der Kohlenstoff vermag sich in Ketten zu den aliphatischen Verbindungen, beispielsweise Alkohol, oder in Ringen zu den aromatischen Verbindungen, beispielsweise Benzol unter Bindung 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 lernen verstehen, daß der Blitz nicht ein von einem wütenden Gott geschleudertes 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, 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 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 ( $\text{SiO}_2$ -Kieselsäure,  $\text{MgO}$ -Magnesiumoxyd), weil in ihr hauptsächlich Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) und Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) vorhanden sind, und weiter eine etwas tieferliegende Zone, die wir Sima-Zone nennen. In dieser Zone sind die Elemente, die auch unsere mineralischen Stoffe aufbauen, in ungeheuren Mengen vorhanden, hauptsächlich Kieselsäure und Magnesium. Unsere in der Bauindustrie verwandten Stoffe setzen sich, im großen gesehen, wie folgt zusammen:

Feldspat, Granit u. dgl.: Natrium-, Kalium-, Aluminiumsilikate,

Sandstein: Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), Quarzsand verkittet durch sehr geringe Mengen von Bindemittel, beispielsweise wieder Kieselsäure (Quarzit),

Ton, also Ziegelstein: Tonerde und Kieselsäure [Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Ton dürfen nicht verwechselt werden]: Aluminiumsilikat,<sup>1</sup>

Portlandzement: Calciumsilikat + Calciumaluminat,

Hochofenschlacke: Calciumaluminiumsilikat,

Kalkstein, Calciumcarbonat,

Steinholz, Magnesit: Magnesiumoxyd und Magnesiumchlorid.

Seife: Schmierseife: Kaliumoleat, Feste Seife: Natriumoleat,

Papier und Pappe: Zellulose, Verbindung von Kohlenstoff mit Wasser (Kohlehydrat),

Fensterglas: Natrium-Calciumsilikat,

Wasserglas, Natrium- oder Kaliumsilikat,

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

Eisen: Metallisches Eisen mit geringen Beimengungen von Karbid oder Kohlenstoff, für besonderes Eisen, beispielsweise von Schnelldrehstahl von Wolfram, nichtrostendes Eisen von Kupfer u. dgl.

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

### Geschichte der Baustoffe.

Unsere modernen Baustoffe verdanken ausnahmslos ihre Entstehung chemisch geleiteten Vorgängen, die von Menschenkunst hervorgerufen sind. Eine Ausnahme bildet das Holz, aber auch dieses vermag ohne entsprechende Behandlung infolge seiner natürlichen Neigung zur Verfaulung unseren modernen Ansprüchen nicht mehr zu genügen, wenn es

<sup>1</sup> Salze der Kieselsäure nennt man „Silikate“.

nicht in entsprechender Weise chemisch getränkt wird, ehe wir es den Atmosphärrilien aussetzen.

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

Im ersten Stadium nahm der Urmensch die Baustoffe unverändert



Abb. 2. Hausbau in Samoa. 1. Stadium der Baustoffverwendung: Verwendung von unverändertem Baustoff (Flechtbau): In ihrer Form unveränderte Bambusstäbe sind verflochten und mit Gras und Lehm umkleidet.



Abb. 3. 2. Stadium der Baustoffverwendung: Verwendung von mechanisch verändertem Baustoff (Blockhaus): Der Fortschritt gegen Stadium I ist deutlich erkennbar, das Holz ist behauen.

so wie sie ihm von der Natur dargeboten wurden. Er flocht sich beispielsweise Häuser aus Zweigen (Abb. 2) oder er schichtete Steinplatten aufeinander, um den Eingang einer Höhe 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 hohlte sich Bäume aus, schlug sich Steine in der gewünschten Form zurecht und machte sich Backsteine aus Lehm, die er an der Luft erhärten ließ (Abb. 3).

Das dritte Stadium ist weit aus 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. 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 in metallisches Eisen, und er gewann dann dieses Eisen zunächst in Rennfeuern in geringem Umfange, später in unseren bekannten Hochöfen in Massen. Auch hier spielen die chemischen Vorgänge eine ausschlaggebende Rolle:



Abb. 4. Palast von Ktesiphon. 3. Stadium der Baustoffverwendung: Verwendung 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 entstandenen Mörtel.

Das Erz, welches Kieselsäure und andere „Gangarten“ enthält, wird mit Kalkstein gemischt und reduzierend gebrannt, d. h. unter einem Überschuß von Kohle erhitzt. Die Kohle (C) reißt hierbei Sauerstoff (O) aus dem Oxyd des Eisens an sich, verwandelt sich in Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ), die entweicht, das Eisen ( $\text{FeO}$ ) aber schmilzt zu metallischem Eisen (Fe). Die Gangart, die störend wirken würde, tritt als „Säure“ (Kieselsäure) zusammen mit der zugefügten „Base“ Kalk, und die entstehende Schmelze verläßt den Ofen, um dann, auch ihrerseits als Hochofenschlacke ein beliebtes Baumaterial zu bilden.

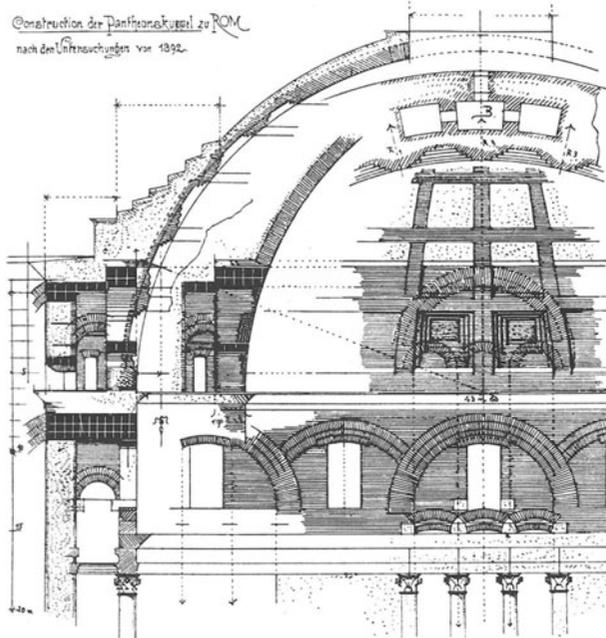


Abb. 5. Pantheon in Rom, erbaut im zweiten Jahrhundert n. Chr.:  
4. Stadium der Baustoffverwendung. Verfestigung ungeformter Baustoffe (Kies) mit Zement an der Stelle der Verwendung zu geformtem Stein (Beton).

Wie groß die Neigung des Eisens ist, sich rückläufig wieder mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden, zu oxydieren, zu rosten, ist jedem bekannt und hat jedem wegen der Beständigkeit 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 herstellen. Als Bindemittel verwandten sie hydraulischen Kalk; dieser erreichte allerdings beim Abbinden und Erhärten nicht diejenigen Festigkeiten wie unsere modernen Zemente, aber er gibt dennoch Bauwerke, 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 Eisenbeton 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 Zugspannung 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 Eisenbeton bedarf keiner engen Säulenstellung, sondern schwingt sich als weit gespannter Balken oder als kühner Bogen raumbezwingend über früher ungeahnte große Entfernungen. Seine vorläufige Vollendung findet der Eisenbeton im Beton mit vorgespannten Stahleinlagen. Er wird in der Weise hergestellt, daß man Eisen, bevor man betoniert, in Spannungen versetzt, so daß sie im erhärtenden Beton unter Spannung bleiben, gleichsam also wie gespannte Gummibänder den Beton zusammenziehen. Derartiger Beton vermag viel höhere Beanspruchungen auszuhalten als solcher Beton, der mit nicht vorgespannten Eisen 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 Holder). 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, Jena, gestattet, sei in diesem Zusammenhang als besonders formwilliges, leichtes und feuerfestes Baumaterial hingewiesen<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Die außerordentliche Wendigkeit des Betons bei der Herstellung von Bauwerken führt neuerdings zu ganz ungewohnten Formen. Die Formen unserer Häuser sind immer noch übernommen von 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.

### 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 Vorgänge 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.

Aber auch der Architekt wird 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 u. dgl. oder aber es werden, was teilweise noch trauriger ist, die Möglichkeiten, die in unseren modernen Baustoffen stecken, gar nicht ausgenutzt. 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 Eisenbeton und durch die vielen Abdichtungsmittel u. dgl. Mittel geboten, die dem griechischen oder römischen Architekten oder gar dem mittelalterlichen Baukünstler versagt waren: Es ist zu fordern, daß der moderne Architekt 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 in erster Linie die Beschäftigung mit der Chemie der Baustoffe beitragen.

Um zunächst 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. 138). Weiter sind die verschiedenen chemischen Verbindungen in einem besonderen Verzeichnis zusammengefaßt, in welchem sie unter den verschiedenen Namen, die jeweils die gleiche Verbindung bezeichnen, angeführt sind (S. 135).

Bei der Einzelbesprechung sind zunächst in Teil A die anorganischen Baustoffe vorweggenommen unter Voransetzung der Natur-

steine (I), die ja die ersten Baustoffe unserer Vorfahren gewesen sind. Anschließend sind die Bindemittel unter II 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 besprochenen und ähnlichen Bindemitteln 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 verbauen. Im Kapitel III sind auch noch kurz erwähnt die gegossenen Steine. Als Rohmaterial dient entweder Schlacke oder geschmolzener Basalt. Von Schlacken sind besonders bekannt: Mansfelder Schlacke, die bei der Verhüttung von Kupfer entfällt, dann die Hochofenschlacke, die bei der Eisengewinnung entsteht. Basalt wird einfach von besonderen Öfen bis zur Schmelzflüssigkeit erhitzt. Die Schmelzflüssigkeit selbst, gleichgültig aus was sie besteht, wird in Formen gegossen und dabei sehr langsam abgekühlt, wobei gerade die langsame Abkühlung von ausschlaggebender Bedeutung ist, wenn widerstandsfähige Steine entstehen sollen, da nur sie den Ausgleich von Spannungen und die Entstehung gut verfilzter Kristalle ermöglicht. Obwohl die aus Ton gebrannten Ziegelsteine auch Kunststeine sind, weil man sie künstlich formt und brennt, sind sie nicht im Kapitel „Kunststeine“ behandelt, da unter diesem Namen sich mehr die hauptsächlich aus Zement aufbereiteten Steine eingebürgert haben, sondern diesem Steinmaterial, welches den allerersten „Kunststein“ darstellte, 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. Dem Leichtmetall sind deshalb auch einige Seiten gewidmet (VI).

Anschließend ist im Teil B der zweite Teil der Arbeit, den organischen Baustoffen gewidmet, und zwar zunächst dem Holz und vor allen Dingen seinem Schutz, weiter dem Kunstharz und der Dachpappe und schließlich dem Leim und dem Kitt. Dachpappe, Leim und Kitt, sowie die Abdichtung, die man mit diesen genannten Stoffen durchführen kann, sind zwar 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 Bau fachmann 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 den Anblick des Bauwerkes sind.

Unter Weglassung alles unnötigen Ballastes sei nunmehr in die Besprechung der einzelnen Baustoffe, besonders vom chemischen Standpunkt eingegangen. Diejenigen Formeln, die gegeben sind, sind zum Verständnis notwendig. Die chemischen Formeln sind sehr viel einfacher als sie aussehen und bei geringer Aufmerksamkeit wird es möglich sein, die einfachen Formeln, die angeführt sind, zu verstehen. 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 verständlich sind.

### Einiges über chemische Formeln.

In den chemischen Formeln ist stets jedes Metall durch eine Abkürzung gekennzeichnet, die meistens von dem lateinischen Namen genommen ist. So bedeutet Na: Natrium, S (Sulphur): Schwefel, 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 entsprechende Gruppe eine chemische Verbindung. Der kleinste Teil einer chemischen Verbindung ist das Molekül. Es bedeutet demgemäß beispielsweise  $\text{CaCl}_2$ , daß 1 Atom Calcium zusammengetreten ist mit 2 Atomen Chlor zu Calciumchlorid.

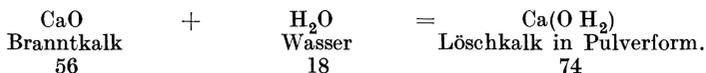
Die chemischen Elemente verbinden sich immer in gleicher Weise, je nach ihrer Wertigkeit, und in stets konstanten Gewichten, je nach ihrem Atomgewicht. Da das Calcium das Atomgewicht 40 hat und das Chlor das Atomgewicht 35, bedeutet also die Formel  $\text{CaCl}_2$  (Calciumchlorid), das 40 Gewichtsteile Calcium mit zweimal 35, also 70, Gewichtsteilen Chlor zu Calciumchlorid mit dem Molekulgewicht 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

Gewicht von Calcium mit 40, daß das Calciumatom vierzigmal so schwer ist wie das Wasserstoffatom<sup>1</sup>. 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<sub>2</sub>O) 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 Frage kommenden Gewichtsverhältnisse durch diese, von jedem durchführbare leichte Berechnung, gegeben.

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

Aluminium (Al) . . . . .	27	Magnesium (Mg) . . . . .	24
Kohlenstoff (C) . . . . .	12	Mangan (Mn) . . . . .	55
Calcium (Ca) . . . . .	40	Stickstoff (N) . . . . .	14
Chlor (Cl) . . . . .	35	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.

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

## 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, oder aus den Verwitterungsprodukten dieses Magmas durch mechanischen oder durch chemischen Aufbau, beispielsweise unter Druck verfestigten Tiefseeschlamm (Schiefer), durch Salzeinwirkung 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) 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, der Steinzeit, den Namen gegeben, während welcher Steine, und zwar Feuersteine oder Flintsteine, die aus reiner Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) bestehen, als Rohmaterial für Werkzeuge, welche zurechtgehauen, später auch geschliffen wurden, verarbeitet wurden. 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 vom Stein selbst ab, sondern auch von dem Klima, unter welchem sie verarbeitet werden, und von der Art und Weise, wie man sie versetzt<sup>1</sup>.

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

Gegen Witterungseinflüsse durch vorspringende Dächer einigermaßen geschützte Steine werden selbstverständlich länger halten als ungeschützte und 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.

### 1. Tiefengesteine.

Die Entstehung der Erdkruste stellen wir uns ja so vor, daß auf der Oberfläche der noch glühendflüssigen Erde Gesteinsschmelzen schwammen wie beispielsweise im Hochofen die Schlacke auf dem noch glühend-



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

flüssigen Eisen. Diese Gesteinsschmelzen erkalteten langsam, offenbar im Laufe von vielen Jahrhunderttausenden, teilweise auch 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: 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 es sehr fest gegen Schlag, Stoß und Druck. Es gehören hierher der Granit, der Syenit, Gabbro usw. (Näheres siehe in der Tabelle, S. 20). 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 schneller erstarrten; auch sie sind außerordentlich wider-



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

standsfähig 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 Kristallgröße nichts zu tun, macht sie aber 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 Phosphorerzeugung. 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.

Diese Tiefen- und Ergußgesteine, welche ursprünglich die einzigen Gesteinsarten bildeten, die an der Erdoberfläche vorkamen, wurden durch den Verwitterungsvorgang allmählich abgebaut. So wurde aus dem Feldspat das Kali gelöst, der Glimmer weggeschwemmt und es entstanden

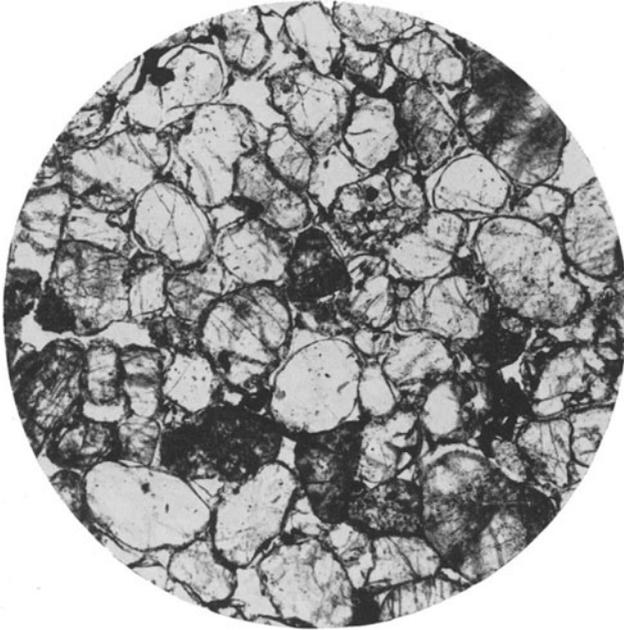


Abb. 8. Dünnschliff von Sandstein: Der Sandstein ist aufgebaut auf verkitteten Quarzkörnern, die ursprünglich entstanden bei der Verkittung von Tiefengestein. Die einzelnen Quarzkörner sowohl wie die Kittmasse sind deutlich zu sehen.

unter dem Einfluß von Frost und Hitze, Windeinwirkung und Einfluß der Kohlensäure der Luft und des Wassers Trümmergesteine, die wir heute noch als Sand und Kies u. dgl. kennen. Diese Trümmergesteine setzen sich ab und wurden teilweise wieder zu sog. Sedimentgesteinen verfestigt. Auch auf chemischem Wege sind Sedimentgesteine entstanden, die heute teilweise ausgezeichnete Baustoffe darstellen (Kalkstein siehe S. 30).

Das gemeinste 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 aufgebaut, die aus dem Gebirge entstehen konnten, welchem der Fluß entstammt. Je weiter der Fluß vom Ursprung ab ist, desto widerstandsfähiger sind die Kiese gegen Verwitterung; denn auf dem Wege vom

Ursprungsort bis zum Lagerort sind naturgemäß die Kiese den starken mechanischen Beeinflussungen des strömenden Wassers und der lösenden Wirkung sowie Zersprengung durch den Frost, vielfältig durch Jahrtausende, ausgesetzt gewesen. Diese energischen Einflüsse vernichteten alle weichen, löslichen oder zerfriembaren Steine, so daß bloß die widerstandsfähigsten übrig blieben.

Das bekannteste verkittete Trümmergestein ist der Sandstein, dessen Güte in erster Linie von seinem Gefüge



Abb. 9. 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.

lich den Sandstein aufbauen, auch noch andere Gesteinstrümmen 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, ihn 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 ge-

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 widerstandsfähig 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 Bauingenieur, da sie sehr leicht verwittern und oft in wenigen Dutzend Jahren völlig zugrunde gehen. (Über Verwitterung siehe S. 19.) (Abb. 9 u. 10).

Die Grauwacke enthält neben Quarzkörnern, wie sie hauptsäch-

nannt, welche aus Geröllen von kohlensaurem Kalk besteht, die wieder mit Kalk zusammengekittet sind (Abb. 11).

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

Neben dieser eben beschriebenen mechanischen Zertrümmerung der Urgesteine mit nachfolgender mechanischer Zusammenlagerung und Verkittung spielt noch eine große Rolle das chemische Sediment, dessen Hauptvertreter der schon genannte Kalkstein ist, der aus kohlensaurem Kalk (Calciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ ) besteht und in ungeheuren Mengen gebirgsbildend vorkommt. Das ganze bayerische Vorgebirge vor den Alpen besteht aus Kalkstein. Der Kalkstein ist entstanden in der Hauptsache aus Muschelschalen, Schneckenhäusern und Korallen, die durch den Wellenschlag fein zerrieben wurden und später sich dann als Schlamm verfestigen. Die Kalksteine sind in ihrem Aufbau sehr verschie-



Abb. 10. Verwitterung durch Salzbildung: Das auskristallisierte Salz zersprengt den Stein. Die Auskristallisierung 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 ausgewaschen wird.

den: Wurde dem Meer, in dem dieser Prozeß vor sich ging, gleichzeitig durch Flüsse Tonschlamm zugeführt, so sind die Kalksteine mehr oder weniger tonhaltig, man nennt sie dann, 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

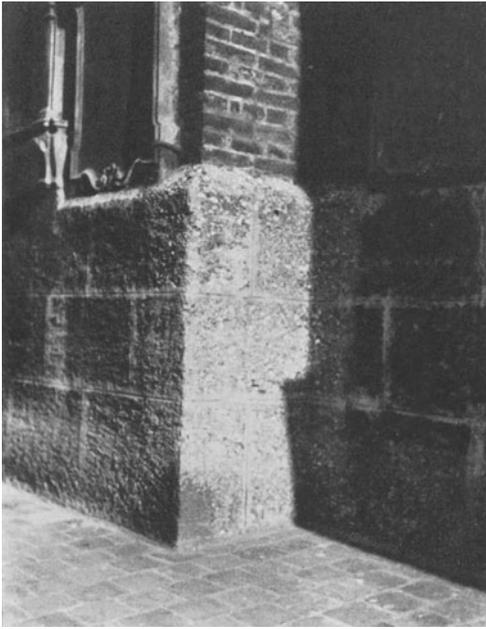


Abb. 11. Nagelfluhfundament von der Frauenkirche in München. Die Nagelfluh ist entstanden aus Bachgeröllen, die später durch kohlensauren Kalk zu einem sehr widerstandsfähigen Stein verkittet wurden: Naturbeton.

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 löcherige 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 entspre-



Abb. 12. Stallaktitenbildung 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.

chend günstigen Verhältnissen der kohlensaure Kalk unter Entweichen der Kohlensäure wieder ab in den berühmten Tropfsteinhöhlen. Die Kalkbildung in Tunneln, die häufig auch in zapfenförmiger Form als Stallaktiten auftritt, ist ein ähnlicher Vorgang, nur stammt der Kalk meist aus dem Mörtel (Abb. 12). Gipsstein hat in roher Form als Baumaterial eine geringe Bedeutung, dient aber in gebranntem Zustand als Gips zur Mörtelbildung (vgl. S. 38). Einen schnellen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften der Gesteine gibt die Tab. 1 (s. S. 20 u. 21).

### b) Die Verwitterung.

Die Verwitterung der Gesteine spielt eine viel größere Rolle als gemeinhin angenommen wird. 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 Temperaturschwankungen und Wind, weiter Wasser und in ihm gelöste Gase und schließlich Pflanzenwuchs.

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 dauernder Erwärmung und Abkühlung findet also 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



Abb. 13. Algenbildung an Gesteinen. Als erstes Stadium der Steinzerstörung tritt die Alge auf, welche instande ist, freie Säure abzuscheiden und dadurch das Gestein aufzulösen: Rauhwerden von Marmor. Als zweites Stadium tritt die höhere Pflanze in Erscheinung, beispielsweise Steinbrech, der mit seinen Wurzeln nicht nur lösend, sondern auch sprengend wirkt. Die Algenbildung wird begünstigt durch Feuchtigkeit.

Tabelle I. Die wichtigsten Eigenschaften der für Schwerbeton

Gesteinsart	Farbe	Bruch	Oberfläche	Aussehen	Mineralien	Eigen-
						Raumgewicht
Granit	dunkelrot, hellrot, weiß, grau, grün und fleischfarben	kubisch	rauh	gekörnt, mit Einschlüssen von Glimmer	Feldspat, Quarz und Glimmer	1. Eruptiv- 2800
Syenit	grau und fleischfarben	kubisch	rauh	klein 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
Porphyry	rosa bis grau, häufig mit hellen Einsprengungen	kubisch	rauh	größere Kristalleinschlüsse in feinkörniger Grundmasse	Quarz und Feldspatkristalle in Grundmasse von Feldspat	2800
Basalt	grauschwarz bis bläulich	muschelartig, splitterig	wenig rau	dicht, körnig säulige Absonderung	Feldspat, Augit oder Hornblende olirin, 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, leicht verwittert	2700
						2. Verfestigte Sedi-
Kalkstein	schwarz, grau bis weiß, auch grünlich und gelb	kubisch	mehr oder weniger rau	derb, dicht und fest, oft mit Muscheleinschlüssen, bisweilen kristallin (Marmor)	Kalkspat	2600
Dolomit	schwarzgrau bis hellblau	kubisch	rauh	dicht und derb	Doppelkarbonat $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	2200
Quarzit	hell bis weiß	kubisch	glatt	schwach glänzend	Quarz	2500
Gipsstein	weißlich, rosa und marmoriert	kristallisch	rauh	durchscheinend	$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	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
Grauwacke	grau, sandsteinähnlich, auch rot	kubisch	rauh	fein bis grobkörnig	enthält neben Sand auch andere Gesteinstrücker	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	$\text{CaCO}_3$ usw.	1800
Tuff	grau bis gelbbraun	muschelartig	rauh	porös mit eingeschlossenen Gesteinsbrocken	je nach dem Eruptivgestein aus dem er entstanden ist	2000
Bimskies	gelb bis braun	rund, körnig	rauh	körnig und leicht, bimssteinähnlich	wie Tuff	1100

als Zuschlagsstoffe in Betracht kommenden Gesteine.

schaften				Gütekennzeichen	Fehler	Brauchbarkeit	Bemerkungen
Druckfestigkeit	Wasser-aufnahme	Wetterbeständigkeit	Feuerbeständigkeit				
gesteine.							
über 1600	<0,5%	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	Flaseriges Gefüge, viel Hornblende	viel Glimmer, Schwefelkies, angewitterter Feldspat	gut brauchbar	
1900 bis 2100	<0,5%	gut	gut	gleichmäßig kleinkörnig	angewitterter Feldspat, Schwefelkies, schieferiges Gefüge und Serpentinegehalt	gut brauchbar	Die oft als schwarz-schieferiger Granit oder Odenwälder Syenit bezeichneten Steine sind eigentlich Grünsteine
1800 bis 3000	1,5%	gut	gut	viel Quarz und Hornblende oder Augit, feinkörnig, harte Grundmasse	Grundmasse ritzbar mit dem Messer, Tongeruch beim Anhauchen, Schwefelkies	gut brauchbar	Vorsicht vor Sonnenbrennen
2000 bis 5000	<1%	gut, Sonnenbrenner zerfallen	sehr gut	dicht, dunkel, feinsplittrig	hellgrau glasige Anteile, sternförmige Flecken, Sonnenbrenner	gut brauchbar	
700	4,7%	häufig schlecht	ziemlich gut	gleichmäßige Struktur ohne Sandinkristalle	große Sanidinkristalle, Glimmer, Porosität	gut brauchbar	

mentgesteine.							
1000 bis 1800 bei porigem Kalkstein 200–600	0,5 bis 4%	bei dichtem Stein sehr gut	bis 800° gut	derb, dichte Beschaffenheit	porige Beschaffenheit, hohe Wasseraufnahme	gut brauchbar	Braust in Säure stark auf
1000 bis 2000	2,5%	gut	wie Kalkstein	wie Kalkstein	wie Kalkstein	gut brauchbar	Braust in Säure schwach auf
3000	<1%	sehr gut	zerspringt	dichtes Gefüge	schieferig	gut brauchbar	
gering	7,5%					unbrauchbar	Als Zuschlagsstoff unbrauchbar, da er Treiben verursacht
stark schwankend bis 1200	6,2%	schlecht	ziemlich gut	gleichmäßige Sandkörner, kieseliges Bindemittel	viel Glimmer, toniges oder mergeliges Bindemittel, in Säure aufbrausend, erdiger Geruch	schlecht brauchbar	Als Zuschlagsstoff sind nur die allerdichtesten Sandsteine geeignet, die meisten sind unbrauchbar
1000 bis 3000	1,2%	mittel bis 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	grobe Schieferung, nicht verblassend, hell glimmend	im Wasser aufweichend, Kupfer und Schwefelkies, Bitumen-eruch beim Erhitzen	oft minderwertig	Infolge seines schieferigen Bruches ist dieses Gestein als Betonzuschlag minder geeignet

mentgesteine.							
	<0,5%	wechselnd	wechselnd	festes Gerölle, gemischtes Korn	Verunreinigung (Wassertrübung) Sandsteingehalt	verschieden	
		gut	gut	wie Rheinkies	wie Rheinkies	gut	Nagelfluh sind in der Natur bereits verkittete Trümmergesteine aus kohlen-saurem Kalk und sehr hart und fest
200	34%	schlecht	gut	dichtes Gefüge	toniges Bindemittel	fürleichten Beton	Tuff ist entstanden durch Erhärten von vulkanischen Schlamm
der fertigen Steine 20–30		gut	gut	festes Korn	verwittertes Korn, Beimengung von Britzschichten	fürleichten Beton	

100 und 1000 m tiefe Schluchten, die das Wasser in die Erdrinde selbst durch härteste mächtige Urgesteinsschichten gefressen hat. Aber auch bei Eisenrohre und Steinleitungen, wie beispielsweise Betonrohrleitungen, können, wenn das Wasser stark sandführend ist, starke mechanische Beschädigungen durch einfachen Abrieb auftreten. Auch Beschädigungen an Flußwehren, Druckrohrleitungen von Talsperren u. dgl. gehören hierher. Viel schlimmer als diese Art der Beschädigung ist die chemische, also zunächst die lösende Wirkung des Wassers an sich, dann die erweichende auf mergelige Bindemittel, wie beispielsweise im Sandstein, und vor allen Dingen der Gehalt des Wassers an Kohlensäure. Wir konnten durch Analysierung von Wasser, das aus verschiedenen hohen Schichten einer Stadtatmosphäre entnommen war, nachweisen, daß in ungefähr Dachhöhe weitaus die größten Kohlensäuremengen in dem Regenwasser gelöst sind. Es wurden gefunden<sup>1</sup>:

Entnahmestelle	Höhe m	SO <sub>2</sub> mg/l	aggr. CO <sub>2</sub> 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	57,6	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

Derartiges Wasser wirkt dann besonders nachteilig; tatsächlich wurde ja auch bei vielen Domen in Dachhöhe die größte Zerstörung erkannt<sup>2</sup>. Die Kohlensäure, welche eine verhältnismäßig recht starke Säure ist, 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 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 Zeiträumen schädlicher Wirkung ausgesetzt waren und heute schon recht stark geschädigt sind und deshalb 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

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

<sup>2</sup> Mitt. des Dombaumeisters Güldenpennig, Köln.

besteht, die Zerstörung ausbleibt. Im Gegensatz hierzu tritt bei Zerstörung durch Auskristallisation von Salzen (Gips) die Verwitterung an regengeschützten Stellen ein, wo die Salze nicht ausgewaschen werden (vgl. Abb. 10).

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 bekommen. Bei völliger Trockenheit vermögen sie nämlich nicht zu gedeihen. Wenn dieser Wasserabschluß auch in unserem Klima nicht erreicht werden kann, so ist doch durch besondere Baugestaltung 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, der allerdings häufiger ist als man annimmt, vor.

Wichtig ist noch eine andere Säure, die schwefelige 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 schwefelige 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 durch die Rauchgase und mit Schwefel-



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

säure aus dem Schwefel, der hauptsächlich in der Braunkohle vorkommt (Abb. 10). Daß schließlich noch ungeeignete Mörtel, wie beispielsweise stark sulfathaltige Zementmörtel, zerstörend wirken können, sei hier ausdrücklich bemerkt. Es sei aber hier auf diesen Umstand, der in wenigen Jahrzehnten ganze Bauwerke ruinieren kann, hingewiesen.

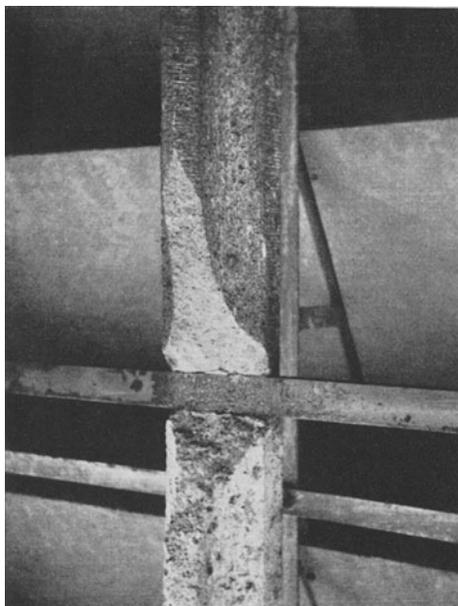


Abb. 15. Zerstörungserscheinungen durch Rosten eingebetteter Eisen als Sprossen: In den Naturstein eines Kirchturmfensters eingebettete Eisen rosten und zersprengen den Stein.

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 Umwandlung des Quarzes in den raumgrößerem Tridymit durch die Vergrößerung und bei Einwirkung eines plötzlichen Wasserstrahls 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 Vergießen mit Blei gegriffen werden.

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 vermögen solche weitgehend vernichtet zu werden. So sind beispielsweise Tuffsteine, die zum Bau der großen Mauer in der Handriansvilla verwendet wurden, bis zu einer Tiefe von 10 cm im Laufe von 1800 Jahren ausgewittert (vgl. Abb. 16), während das gleichzeitige Stehenbleiben des Mörtels zeigt, daß ein gut hergestellter Mörtel unter Umständen sehr viel widerstandsfähiger sein kann als ein Naturstein. Kohlensäure 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 weitgehenden 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

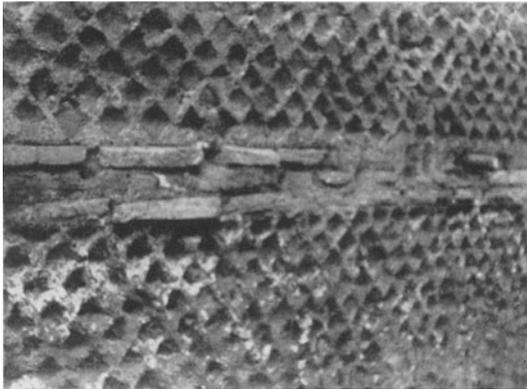


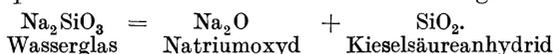
Abb. 16. Teil der großen Mauer in der Hadrians Villa in Tivoli bei Rom: Der als Vorsatz für Beton verwendete Tuffstein ist bis zu 10 cm Tiefe ausgewittert und völlig verschwunden. Nur die Mörtelstege sind zurückgeblieben und zeigen deutlich die bei den Römern so beliebte Vermauerungsart des Opus reticulatum.

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 Rechnung 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.

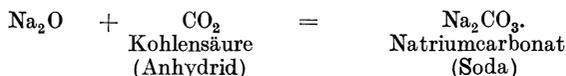
Die chemische Behandlung als Schutz gegen die Witterungseinflüsse tritt gegenüber der Baugestaltung stark zurück, immerhin ist auf diesem Gebiete manches zu erreichen. Als chemischer Schutz werden vielfach empfohlen Fluat und Wasserglas, bisweilen auch in kombinierter Form, also beispielsweise Wasserglasbehandlung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

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



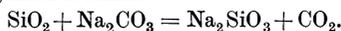
Die Kieselsäure scheidet sich als Gallerte ab.

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 ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). 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!).

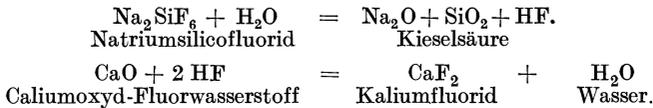
Wasserglas wird hergestellt durch Zusammenschmelzen von Quarzsand (Kieselsäure,  $\text{SiO}_2$ ) mit Soda. Die Kohlensäure entweicht hierbei und es bleibt Natriumsilikat zurück nach folgender Formel:



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 Lösungen, deren Konzentration man nach Graden mißt. Die meisten in den Handel kommenden Wasserglaslösungen haben ein Gewicht von ungefähr 30°/Bé (sprich: Baumé). Bekannt ist seine Verwendung im Haushalt zur Eieraufbewahrung.

Die Fluat e kommen unter sehr zahlreichen Decknamen in den Handel, beispielsweise unter den Namen Lithurin, Keßlersche Fluat e u. dgl. Im chemischen Sinne sind sie Salze der Kieselfluorwasserstoffsäure, mit dem ungekürzten chemischen Namen heißen sie Siliciumfluoride. Das meist in den Handel kommende Fluat ist das Magnesiumsiliciumfluorid, welches als Abfalllösung in der chemischen Industrie anfällt. Es werden aber auch Bleisiliciumfluoride, hauptsächlich zum Schutz gegen Schwefel-

säure, Ammoniumsiliuimfluorid und Aluminiumsiliuimfluorid verwendet. Diese Fluoride zerfallen gleichfalls in ähnlicher Form wie Wasserglas nach folgender Formel:



Dabei bildet sich aus der Fluorwasserstoffsäure und dem Kalk des Gesteins Calciumfluorid, welches in Wasser unlöslich ist. Der Kalk des Gesteins wird also in ein unlösliches Salz übergeführt und die Widerstandsfähigkeit des Gesteins dadurch erhöht. Naturgemäß eignen sich deshalb die Fluate hauptsächlich zur Behandlung von kalkhaltigen Gesteinen, als welches vor allen Dingen der Beton genannt sei (vgl. S. 48 ff.).

Die Fluate regieren stark sauer und kommen meist als Flüssigkeit in den Handel, beispielsweise das meist gebrauchte Magnesiumsiliuimfluorid. Infolge ihrer sauren Reaktion zerfressen sie Eisenbehälter sehr schnell und müssen deshalb in Glasbehältern 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 Aufführung des ganzen Bauwerkes, da sie wenig wärmehaltend sind, weil sie keine Poren, die allein einen Baustoff wärmesparend 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 flüssigen 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 Versteinern entstanden sind, wie beispielsweise 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, beispielsweise Sandstein, Nagelfluh, Muschelkalk.

Da die chemischen Einflüsse 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 Zu-

tritt schädlicher Einwirkungen, als welche besonders Flüssigkeiten in Frage kommen, 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 Be- regnen, schnelle Abführung des Wassers und gute Ermöglichung der Austrocknung sind deshalb bei jedem Bauwerk 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 diesem 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 anorganischen Natur oder im Laboratorium vorkommenden Verbindungen ein in drei große Gruppen, nämlich in

Basen,

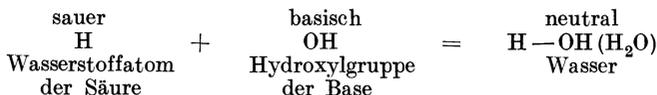
Säuren

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 des Seifensteins oder der Soda, die ja bekanntlich Ölfarbenanstriche u. dgl. vernichtet; auch die ätzende Wirkung des gelöschten Kalkes ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ist ja gefürchtet.

Säuren sind solche chemischen Verbindungen, welche blaues Lackmuspapier rot färben, d. h. sauer reagieren, und welche das Bestreben haben, sich mit Basen zu Salzen (unter Wasseraustritt) zu vereinigen. Alle Säuren enthalten ein oder mehrere Wasserstoff(H) - Atome, die bei dieser Vereinigung mit der (OH)-Gruppe der Base zusammen Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) bilden. Folgendes Schema erklärt die Verhältnisse:

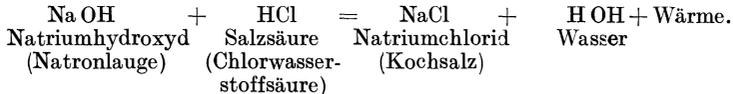


Wasser kann demnach als Base und Säure „in einer Person“ betrachtet werden; man nennt es amphoter.

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 Oxyde, wie Aluminiumoxyd, welches als Base beispielsweise im Aluminiumsulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  und als Säure (Tonerdesäure) im Natriumaluminat ( $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$ ) zu wirken vermögen.

Salze sind, wie aus obigem hervorgeht, Vereinigungsprodukte von Salzen 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 beispielsweise auf die Haut zu wirken vermag, unter Wasseraustritt (HOH oder kurz  $\text{H}_2\text{O}$ ) 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 Verbindungen 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. Eisensulfat (schwache Base: Eisenoxyd; 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 Lauge abgesättigt wurden. So ist Natriumbikarbonat ( $(\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$ ) 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 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 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 haben. 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 verdichtende Zementstein selbst besteht einerseits aus der starken Base Kalk, andererseits aus den schwachen Säuren Kieselsäure und Tonerde. Zement ist also im chemischen Sinne ein Calciumsilikat bzw. 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 verarbeiteten und dem unverarbeiteten Kalk naturgemäß ganz wesentliche Unterschiede bestehen, ist es notwendig, den unverarbeiteten getrennt von dem verarbeiteten Kalk zu besprechen.

#### 1. Unverarbeiteter Kalk.

Das Rohmaterial für den Kalk ist der Kalkstein, welcher in ungeheuren Mengen, zum großen Teil gebirgsbildend, z. B. in den Voralpen (Watzmann), im oberbayrischem Gebirge usw. vorkommt, und der in etwas anderer Form auf Rügen Kreide bildet. Der kohlen saure Kalk hat sich gebildet aus der Kohlensäure der Luft, welche dieser durch Lebewesen aller Art, wie Muscheln, deren Schalen aus kohlen saurem Kalk bestehen, Schnecken, Kreidetierchen usw. 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 ( $\text{CO}_2$ ) der Luft entnehmen, ist es klar, daß in einer kohlen säure ärmeren Luft die Pflanzen schlechter wachsen werden als in einer kohlen säurereicheren. Man ist deshalb auch in letzter Zeit zur Kohlensäure düngung 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 kohlen sauren 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 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. Neutralisieren von Salzsäure durch Natronlauge, siehe S. 29. Der Branntkalk nimmt aus der Luft Wasser auf, ein Teil der beim Brennen gebundenen Wärme wird nun wieder frei (exo-

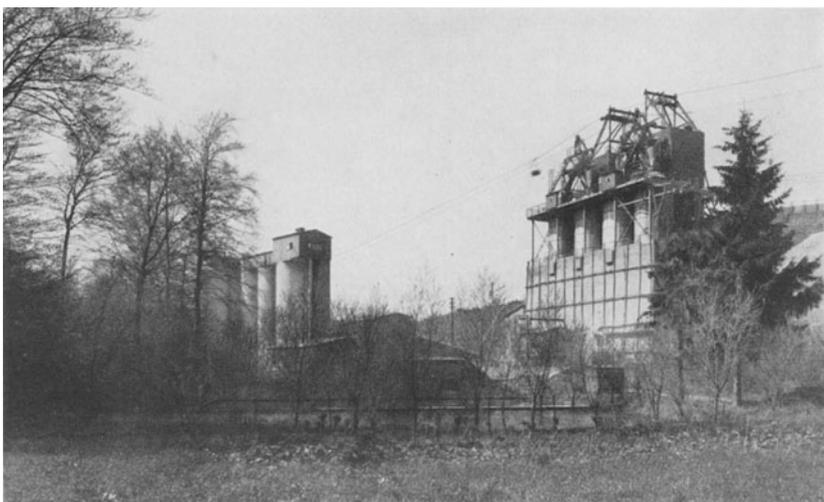
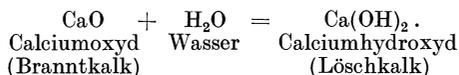


Abb. 17. Kalkofen: Hier wird Kalkstein (CaCO<sub>3</sub>) gebrannt und hierdurch die Kohlensäure ausgetrieben: Entstehung von Branntkalk (CaO).

therme Reaktion) und der Kalk zerfällt unter lebhafter Wärmeentwicklung zu dem sehr leichten Pulver Calciumhydroxyd; Formel:



Man nennt diese Wasseraufnahme Ablöschen des Kalkes und das Endprodukt Löschkalk. 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 Kalklöschens ist die des Einsumpfens (Abb. 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 dem Einsumpfen durch ein Sieb gegeben wird, um ungelöschte Anteile zu entfernen. Diese ungelöschten Anteile, die sog. „Krebse“ sind entweder totgebrannte, also beim Brennen zu hoch erhitzte Teile, die nur langsam ablöschen, oder solche, die in ihrer chemischen Zusammensetzung dem Zement nahe stehen, d. h. die Kieselsäure und Kalk enthalten und deshalb Wasser nur nach langen Zeiträumen annehmen. Die „Krebse“ führen im fertigen

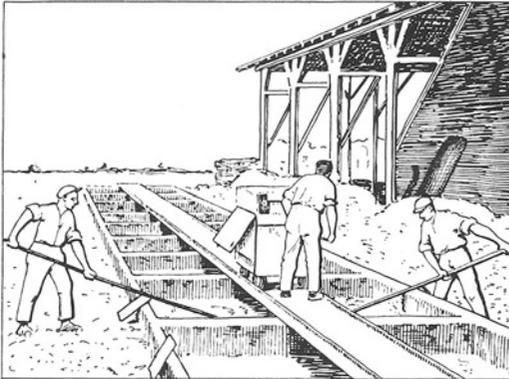


Abb. 18. Kalklöschens: Durch das Löschen des Kalkes (Übergießen des Branntkalks mit Wasser) wird unter Wärmeentwicklung Kalkhydrat gebildet (Wasseranlagerung).

Bauwerk zu den bekannten unangenehmen Ab-  
sprengungen, die man  
Kalkbläschen nennt.

Diese entstehen in der Weise, daß der ablöschende Kalk manchmal Monate, oft erst Jahre nach Erhärtung des Putzes infolge seines größeren Raumbedarfes, der durch die Wasseraufnahme entsteht, die überliegende Schicht mechanisch heraus-  
treibt, meist in Form eines kleinen Kraters,

an dessen Grund dann das treibende Kalkstückchen liegt.

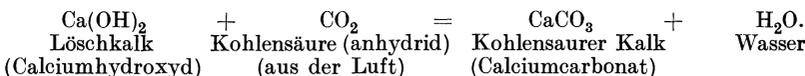
Auf der Baustelle ist es notwendig, einen Kalk stets auf seine Ablöschbarkeit zu prüfen, d. h. festzustellen, wieviel Prozent von ihm ablöschen. Man arbeitet einfach in der Weise, daß man feststellt, wieviel ungelöschte Kalkanteile nach einer gewissen Zeit, z. B. ein bis zwei Tagen, zurückbleiben, wenn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

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 ( $\text{CaO}$ ) enthalten und so hergestellt werden, daß er verhältnismäßig porös ist, um der Luft den Zutritt zu gestatten, da diese für seine Erhärtung notwendig ist. Das Verarbeitungsverfahren ist also ein ganz anderes als beim Zement, bei dem man auf dichte Mörtel hinarbeiten trachtet.

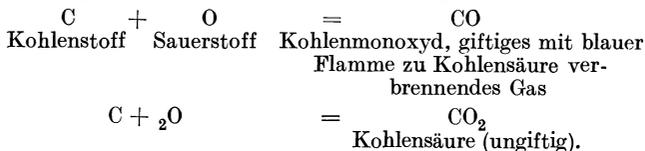
## 2. Verarbeiteter Kalk.

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 Zements 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 bekannte 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 mit blauer Flamme leicht verbrennende Kohlenmonoxyd, das jedem Fachmann an seiner blauen Flamme erkenntlich ist, welches aber, wenn es infolge Luftmangels nicht verbrennt, als geruchloses Gas leicht zu Vergiftungserscheinungen zu führen vermag. Die Formel der unvollständigen und vollständigen Verbrennung von Kohlenstoff, also Koks, ist folgende:



Das bei unvollständiger Verbrennung entstehende Kohlenmonoxyd verbindet sich ebenso 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 einfacher Blutentnahme. Sie kündigt sich an durch starke Kopfschmerzen in der Stirnregion 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

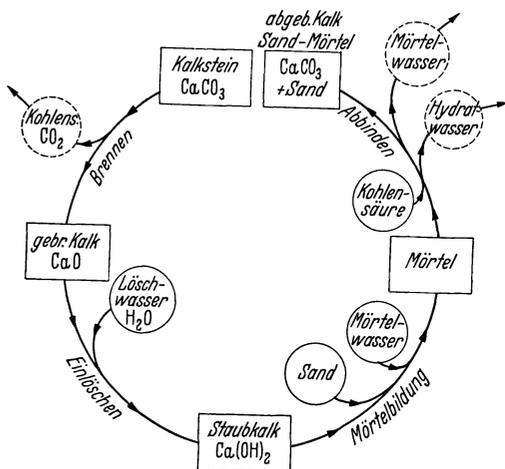


Abb. 19. Kreislauf des Kalkes: Kalkstein (CaCO<sub>3</sub>) wird gebrannt, die Kohlensäure entweicht, der gebrannte Kalk wird gelöst und hydratisiert sich zu Staubkalk (Kalkhydrat). Nach der Mörtelbildung tritt die Kohlensäure wieder hinzu. Das Hydratwasser und das Mörtelwasser entweichen und das Kalkhydrat wird in kohlensauren Kalk zurückverwandelt.

zerstört wird. Beim Austrocknen von Bauwerken mit offenem Feuer (Kokskörbe) ist diesem Umstand auf das sorgfältigste Rechnung zu tragen.

Will man mit Kalk Bauwerke unter Wasser 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. Als solche Hydraulite oder Puzzolane, nach ihrem ursprünglichen Vorkommen auf der Insel Pozzuoli genannten Stoffe, kommen in Betracht zunächst die natürlichen,

Puzzolanerde, ferner  
Traß, also gemahlener Tuffstein,

weiter die künstlichen:

Ziegemehl,  
Glasmehl,  
Hochofenschlacke u. ä.

bei Hitzebehandlung entstandene Materialien.

### 3. Puzzolane.

**a) 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 Tuffstein durch Vermahlen gewonnen wird. Der Tuffstein selbst entstand bei Vulkanausbrüchen aus Schlamm, der aus der Lava durch Wassereintritt in die Vulkane sich bildete. 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, da man annimmt, daß die im Lauf der Zeit erfolgte Hydratisierung besonders wirksam ist. 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 einfache Vermischung von gelöschtem Kalk mit Traß hergestellt wird, erhärtet überaus langsam. Bei diesem Erhärtungsvorgang entsteht aus der Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) des Trasses und der Base Kalk ( $\text{CaO}$ ) eine in Wasser überaus 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 nur sehr 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 — Kalkmörtel.** 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 kieselsäurereichen Schlacken, sind reaktionsträge und erhärten deshalb überaus langsam, teilweise so träge wie Traß. Über die Festigkeiten, die erzielt werden können, gibt nachfolgende Kurventafel einen klaren Überblick.

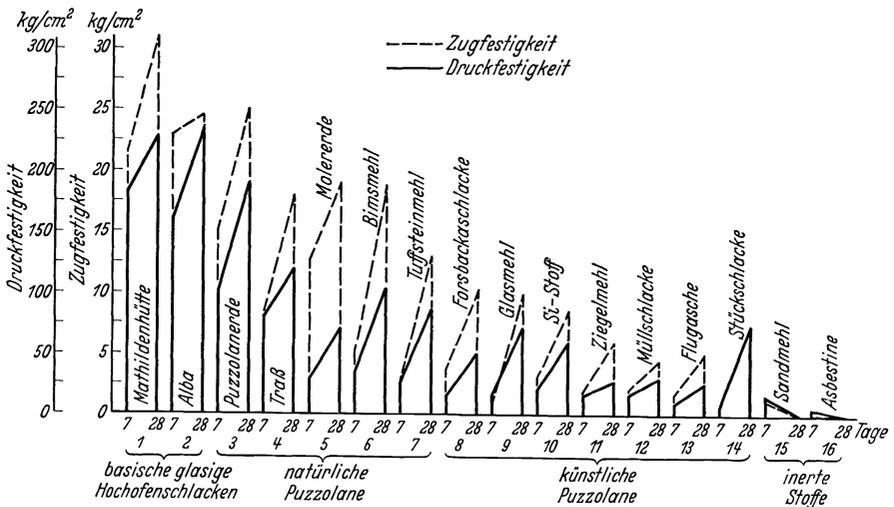


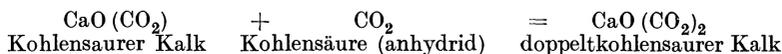
Abb. 20.

Es ist selbstverständlich möglich, den Kalk und die Puzzolane bereits in der Fabrik zu vermahlen, das Verfahren hat aber im allgemeinen 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 zu 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 kohlenensäurehaltiges 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 doppeltkohlensaurer Kalk. Von dieser Bildung wird dann auch derjenige Kalk getroffen, der bereits als kohlensaurer Kalk vorliegt. Die Formel für diesen Vorgang ist folgende:



Der doppeltkohlensaure 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 kohlensaure Kalk unter Entweichen der Kohlensäure zu einfachem kohlensauren Kalk. Vgl. S. 33.

Der kohlensaure 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, indem Wassereinflüsse nicht schaden; 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 einerseits nur verhältnismäßig gering ist, andererseits der Zusatz „Zement“ den Baufachmann vortäuschen würde, daß es sich hier 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 einer trägen Erhärtung führt, das Mauerwerk mit verlängertem Zementmörtel 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, 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 verschiedene 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. 43) und zwischen dem Zementfeld. Es gibt auch hydraulische Kalke, die kalkärmer sind als die Portlandzemente, die also ganz besonders viel

Hydraule-Faktoren enthalten, so daß der Kalkgehalt auf ungefähr 50 % herabgedrückt ist. Diese Kalke nennt man „Romankalke“, früher „Romazemente“: 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 der Portlandzement. Außerdem wird natürlich das Rohmehl, also der Kalkstein, nicht wie beim Portlandzement gemahlen, sondern es wird in Stückform 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 stark wechselt, schwanken auch die hydraulischen Kalke meist stark in ihrer chemischen Zusammensetzung, da sie ja nicht durch die Aufbereitung gleichmäßig gemacht werden.

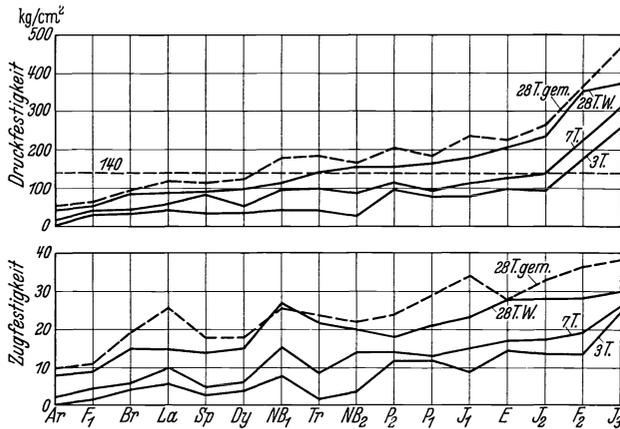


Abb. 21. Normenfestigkeiten verschiedener, unter dem Namen „Zementkalk“ verkaufter Bindemittel.

(Entnahme der Produkte aus dem Handel innerhalb 6 Monaten.)

Das Brenngut verhält sich verschieden, je nach der chemischen Zusammensetzung. Solche Kalke, die nur wenig Kieselsäure und Kalk enthalten, löschen ab, d. h. sie zerfallen unter Wärmeentwicklung bei Zufügung von Wasser, genau wie der gewöhnliche Branntkalk. Sie stehen also diesem nahe. Bei hohem Kieselsäure- und Kalkgehalt findet nur teilweise ein Zerfall statt, der meist dann auch langsam vor sich geht. Solche Kalke werden häufig in Löschsilos zum Zerfall gebracht, indem man das angefeuchtete Material in große Behälter bringt. Dabei entstehen große Wärmemengen, die einen weitergehenden Zerfall des Brenngutes erzwingen als wenn nur bei gewöhnlicher Temperatur gelöscht würde.

Außer dem oben skizzierten reinen hydraulischen Kalken gibt es noch zahlreiche Mischprodukte von Kalk mit Traß, Hochofenschlacke und Ziegemehl, oder Mischungen von hydraulischem Kalk mit den oben genannten Erzeugnissen, mit Rohmehl also mit ungebranntem, ge-

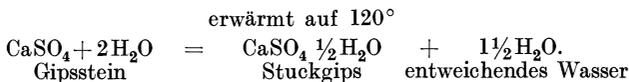
mahlenem Kalkstein, mit Basaltmehl u. dgl. Die auf diese Weise erzeugten Produkte sind so vielfältig, daß sie im Rahmen dieses Buches nicht besprochen werden können, zumal ungefähr jedes Werk sich nach seinen eigenen entsprechenden Verhältnissen, die sich nach dem zur Verfügung stehendem Rohmaterial und den Festigkeiten, die erzielt werden sollen, richtet. Es wäre sehr wünschenswert, daß auf diesem Gebiet mehr Klarheit geschaffen wird zum Nutzen der Verbraucher, die bei der komplizierten Sachlage nicht in der Lage sind, sich ein klares Bild zu verschaffen. Wünschenswert ist für den Kalkabnehmer, daß er sich von dem betr. Werk, das ihn beliefert, die ungefähre Festigkeit sagen läßt, die das betr. Erzeugnis erreicht, damit er in der Lage ist, es auch sachgemäß anzuwenden. Wie überaus verschieden die Festigkeit solcher Erzeugnisse ist, geht aus vorstehender Abb. 21 hervor<sup>1</sup>, die beweist, daß die Festigkeiten in einem halben Jahr auf Grund verschiedener Untersuchungen zwischen Zementfestigkeit bis herunter zur gewöhnlichen Kalkfestigkeit, also von 50—500 Druckfestigkeit (kg/cm<sup>2</sup>) schwanken.

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

### b) Gips.

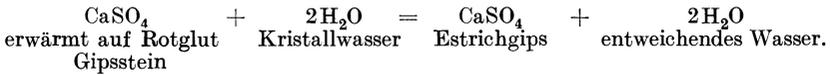
Gips ist ein wasserhaltiges Calciumsulfat = schwefelsaurer Kalk und kommt in der Natur gebirgsbildend, z. B. im Harz, vor, häufig mit Steinsalz zusammen oder in dessen Nähe. Calciumsulfat tritt auch ohne Wassergehalt als Anhydrit auf, kann aber in diesem Zustand nicht auf Gips verarbeitet werden. Der gewöhnliche wasserhaltige Gipsstein kann zu zwei ganz verschiedenen Gipsarten gebrannt werden, nämlich entweder zu Stuckgips oder zu Estrichgips.

Erhitzt man den gemahlten 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 lautet:



Erhitzt man den Gipsstein höher als bis 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 450° 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:

<sup>1</sup> Grün: Unfug mit der Bezeichnung Zementkalk, Toni 1937, Nr. 85.



Während Stuckgips bereits nach einer halben Stunde zu einem mit dem Fingernagel ritzbaren Erzeugnis abbundet, wird Estrichgips erst im Verlauf mehrerer Tage und Wochen vollkommen fest und hart, ist aber dann wesentlich widerstandsfähiger 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. Die Mahlfineinheit 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 aber 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, das Verhältnis beträgt ungefähr 1:11 bis 1:16. Der Stuckgips ist verhältnismäßig leicht, er hat nur ein Litergewicht von 12—1300 g, im erhärteten Zustand ist sein Raumgewicht entsprechend niedrig mit 2,6. 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 abgebundenen Zustand ein Litergewicht von 2,9 g hat. Sehr reiner Gips heißt Alabaster und das aus ihm erbrannte Erzeugnis demgemäß Alabastergips.

Man kann die 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 Ausfügen 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 zur 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 Gepflogenheit an, Gips und Portlandzement zusammenzu-

mischen, um ein schnelleres Abbinden und Erhärten herbeizuführen. Diese Arbeitsweise ist durchaus unzweckmäßig 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. Demgemäß ist Gips 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. verlängerter 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. In manchen Zementen, wie Traßzement oder Hüttenzement, sind noch Puzzolane vorhanden, die zur Aufgabe haben, den aus dem Portlandzement beim Zusatz des Anmachwassers abgespalteten Kalk aufzunehmen und teilweise, 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 das feingemahlene Calciumaluminiumsilikat Wasser aufnimmt, sich also hydratisiert, wobei sich neue Salze bilden, die während der Bildung gesteinsartig erhärten. Geringe Abspaltung von Kalkhydrat oder Kieselsäure sind Reaktionen, die nebenher verlaufen, aber für die Erhärtung nicht ausschlaggebend 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 erzeugt. Für die Beurteilung der Normenzemente maßgebend sind die Deutschen Normen, die zusammengefaßt sind für Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement. Für Traß- und Tonerdezement bestehen keine Normen.

**Namengebung.** 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 weiter unten).

Die Hüttenzemente verdanken ihren Namen dem Umstand, daß sie aus Mischungen von Portlandzement mit Hochofenschlacke, die der Hüttenindustrie 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 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 enthalten, beispielsweise Kalkstein und Ton. In allen diesen genannten kalkhaltigen Rohstoffen ist der Kalk stets gebunden an Kohlensäure als kohlen-sauren Kalk. Beim Brenn-vorgang 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 der Zusammensetzung vor, die notwendig ist zur Erzeugung des fertigen Portlandzementes. Man kann sie dann ohne weiteres ohne Zerkleinerung brennen, das Erzeugnis heißt dann 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 tonerdehaltig, 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 sie dann mahlen und mischen, so daß das Rohmehl vor dem Brennen fein zerkleinert und innig gemischt werden. Bei guter Aufbereitung sind die Portlandzemente in ihrer chemischen Zusammensetzung überaus gleichmäßig. Der Brenn-vorgang wird soweit getrieben, daß das Brennerzeugnis stark gesintert ist. Dieses stark gesinterte Erzeugnis vor der Vermahlung nennt man Klinker. Er besteht, wenn er im Drehofen gebrannt wurde, aus kugelligen Gebilden, welche überaus hart sind und bei guter Zusammensetzung lange Jahre an der Luft lagern können, ohne zu zerfallen. Der eigentliche Grundbestandteil des Klinkers ist das Tri-



setzung 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 3 bis 75% schwankt. Eine einigermaßen sichere Orientierung und ein tiefergehendes Verständnis ist deshalb nur mit der graphischen Darstellung der Analysen im Raum möglich, mit der sich auch der Nichtchemiker

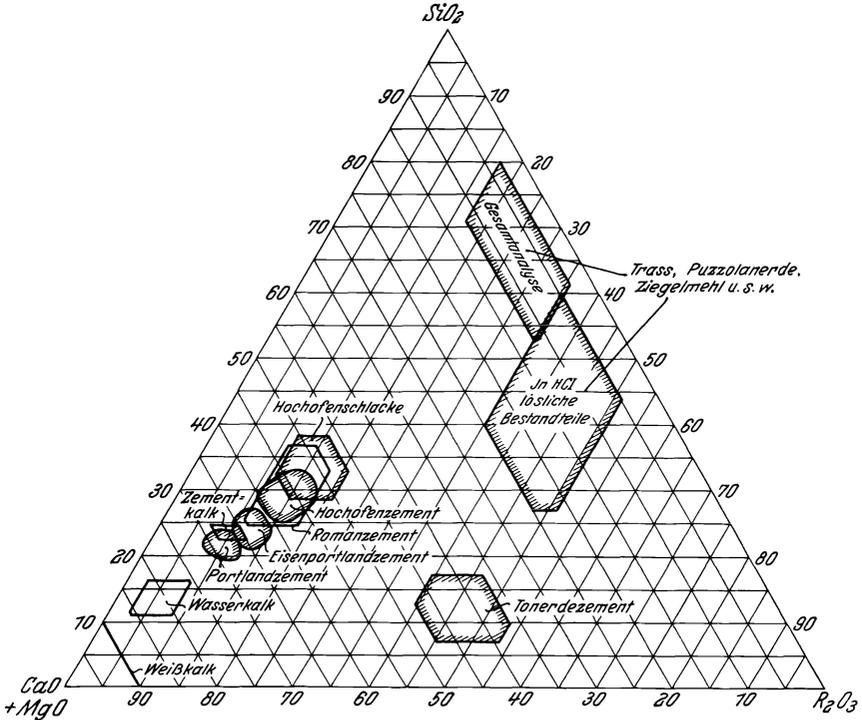


Abb. 22. Das Dreistoffsystem: Kalk—Kieselsäure—Tonerde. In das gleichseitige Dreieck können alle Stoffe eingetragen werden, die aus Kalk, Kieselsäure und Tonerde bestehen, also auch alle Bindemittel und Baustoffe.

$SiO_2$  = Kieselsäure,  $CaO$  = gebrannter Kalk,  $MgO$  = gebrannte Magnesia,  $CaO + MgO$  = Basen,  $R_2O_3 = Al_2O_3$  Tonerde + Eisenoxyd ( $Fe_2O_3$ ), Erden  $SiO_2$  = Säure.

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% der einzelnen Bestandteile zusammengesetzt sind, also Kalk, Kieselsäure und Tonerde. Man hat die Gewohnheit, Kalk an die linke Ecke, Kieselsäure an die obere Spitze und Tonerde an die rechte Ecke zu setzen. Auf diese Weise entstehen zunächst drei Zweistoff-

systeme, nämlich das Zweistoffsystem Kalk — Kieselsäure, Kalk — Tonerde und Tonerde — Kieselsäure. Es liegen nun auf diesen drei Seiten 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 nun miteinander verwandte Verbindungen, die auch ähnliche Eigenschaften haben, voneinander entfernt liegen diejenigen, die wenig miteinander gemein haben. Gegen die Kieselsäurecke zu liegen die kieselsäurereichen, gegen die Kalkecke die kalkreichen Verbindungen oder Gemische. Aus dem Dreistoffsystem läßt sich ablesen

1. wie eine Verbindung, von der der Punkt für die Lage bekannt ist, zusammengesetzt ist,

2. welche Eigenschaften sie voraussichtlich aufweist.

Sind nun die Analysen einer ganzen Gruppe von Stoffen, beispielsweise von zahlreichen Portlandzementen, bekannt, so kann man für jede dieser Analysen einen Punkt in das Dreistoffsystem eintragen. Man reduziert bei der Umrechnung die vorhandenen Oxyde auf 3 Stoffe, 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. Da nun alle einzelnen Portlandzemente oder Hochofenschlacken u. dgl. in ihrer Zusammensetzung etwas voneinander abweichen, kommt man bei der Einzeichnung ihrer Punkte zu Gruppen, die in der Abbildung als Flächen zusammengefaßt sind. Man sieht aus der Fläche des Portlandzementes, daß er tatsächlich in der Hauptsache aus Tricalciumsilikat, aber auch aus Bicalciumsilikat und schließlich aus tonerdereichen Stoffen besteht.

Eine reine Herstellung aus 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 Mischungen, die als Verflüssigungsmaterial dienen.

Erzeugnisse, die außerhalb der derartig entstandenen Fläche liegen, gehören nicht zu Stoffen, die durch die Fläche bezeichnet sind. Aus den Flächen läßt sich ablesen, in welchen Graden beispielsweise der Tonerdegehalt des Portlandzements schwanken kann, daß er also zwischen 5—12% liegt, daß der Kalkgehalt zwischen 60—65%, der Kieselsäuregehalt zwischen 20 und 25% 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 aus.

## 2. Das Brennen.

Das Brennen des Rohmehls, welches ein Gemenge der verschiedenen Oxyde 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 Schachtföfen sind einfach gemauerte Schächte, aus welchen der entstandene Klinker durch mechanische Austragung ausgebrochen wird.

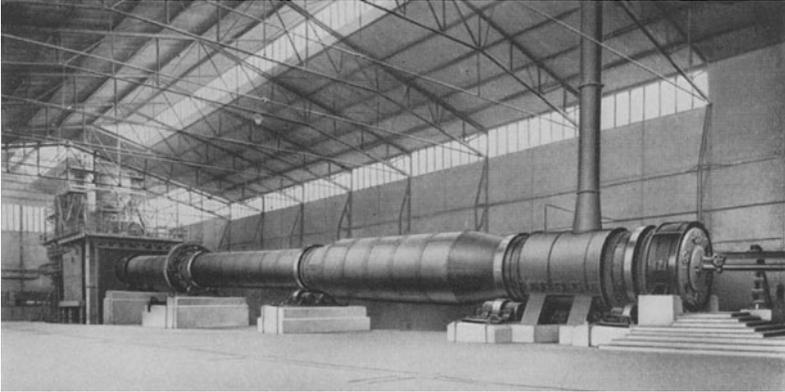


Abb. 23. Drehofen zur Herstellung von Zement: Das Rohmehl (Mergel oder Mischung von Hochofenschlacke und Kalkstein) wird am hochgelegenen Ende des Ofens aufgegeben und durchläuft das sich langsam drehende Rohr. Am unteren Ende wird eine Flamme aus Kohlenstaub eingeblasen. Hierdurch wird zunächst die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

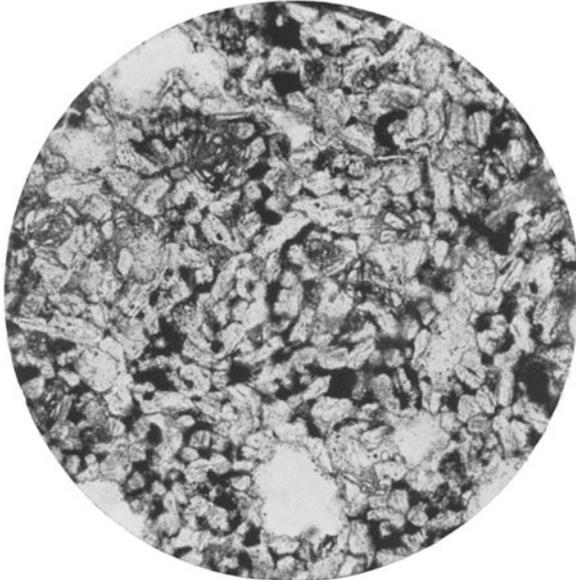


Abb. 24. Dünnschliff von Portlandzement: In der Hauptsache besteht der Portlandzement aus Tricalciumsilikat. Die abgerundeten Kristalle sind deutlich zu sehen.

Drehöfen sind chamotteausgepanzerte, schräg gelagerte Rohre, die sich langsam drehen, in welchen das Rohmehl einer von Kohlenstaub genährten sehr heißen Flamme entgegenschläuft. Zuerst wird die Kohlensäure aus-



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 70% Schlacke, Hochofenzement bis zu 85% Schlacke. Auf dem Bild ist eine durch partielle schnelle Abkühlung teilweise glasig gewordene (unterer Teil), teilweise kristallisierte (oberer Teil) Hochofenschlacke dargestellt.

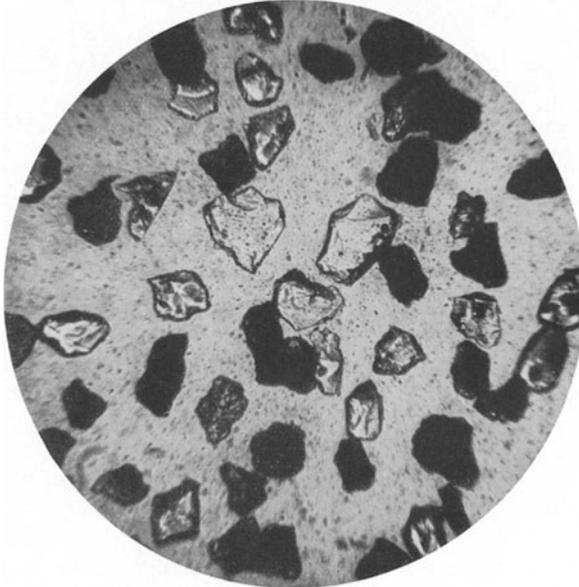


Abb. 26. Mikroskopisches Präparat von Hochofenzement: In dem mikroskopischen Präparat ist glasige Schlacke enthalten (durchsichtig), die deutlich neben den Klinkeranteilen zu sehen ist. Hüttenzemente sind also Mischungen von Portlandzementklinker und glasiger Hochofenschlacke.

getrieben, die mit den Rauchgasen entweicht. Dann sintert das Rohmehl zu harten rundlichen Knollen, den Klinkern, in welchem 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 erwünscht. Man erreicht diese dadurch, daß man die glühenden Portlandzementklinker mit Wasser besprengt bzw. die glühend-flüssige Hoch-

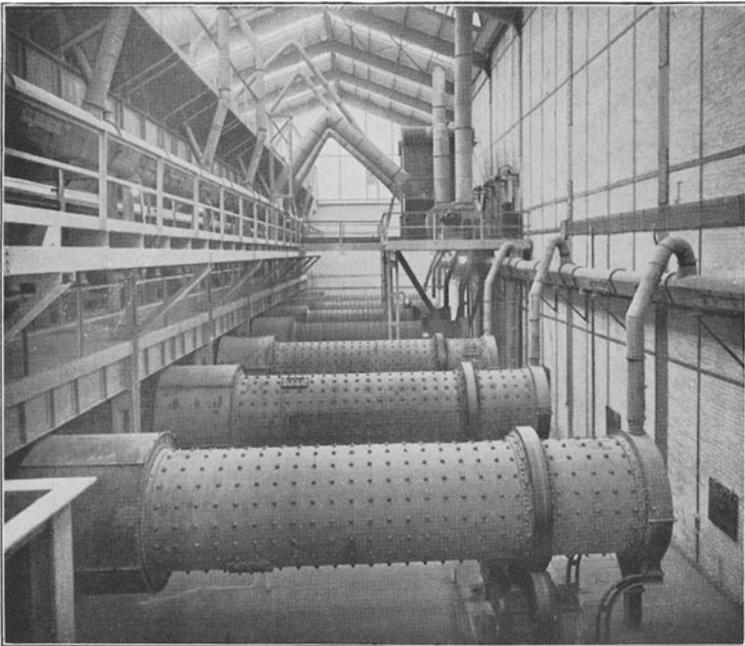


Abb. 27. Stahlmühlen: Der Klinker wird in der Mühle entweder für sich zu Portlandzement oder mit Schlacke zu Hüttenzement vermahlen.

ofenschlacke in Wasser laufen läßt. Infolge einer derartig schnellen Abkühlung sind 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 erstarrten Klinkeranteile oder 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.

Wird die so erzeugte Hochofenschlacke nun fein gemahlen und mit etwas Kalk oder Portlandzement vermischt, so entstehen bei Wasserzusatz zu dem Mischprodukt Salze, es bilden sich also Kalksilikate, die zu einer Erhärtung des mit

Wasser angemachten Pulvers führt. Als Anreger kann neben dem Kalk oder dem Klinker auch Gips dienen. Auf diese Weise entstehen dann die Gips-Schlackenzemente, die hauptsächlich in Frankreich 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 in Stahl gepanzerten Rohren von 2—3 m Durchmesser und 20 m Länge bestehen, die in mehrere Kammern eingeteilt sind (Abb. 27). In den ersten Kammern befinden sich sehr große, in den folgenden Kammern immer kleinere Kugeln. Die Feinheit des Erzeugnisses ist so groß, daß auf dem Sieb mit 10000 Maschen je Quadratzentimeter nur etwa 10—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 Millimeter. 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, 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 anzeigen soll. 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.

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 Selbsterhärtung des Portlandzementanteils eine Wechselwirkung zwischen dem freien Kalk und der Hochofenschlacke statt, durch welche nun auch die Hochofenschlacke 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 eine 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 Wirkungen als die Portlandzemente.

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 die Erschütterung herbeigeführt werden kann.

## 2. Die Grundlagen der Erhärtung.

Der Klinker, der beim Brennen entsteht, ist eine kristallisierte Mischung, 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, $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$                         | $\alpha$ Dicalciumsilikat<br>$\beta$ Dicalciumsilikat<br>{ zwei verschiedene Modifikationen<br>$\alpha$ und $\beta$ der Verbindungen gleicher Zusammensetzung |
| 3. Felit, $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$                         |   |
| 4. Celit $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | Brownmillerit   |
| 5. — $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$                     | Tricalciumaluminat, gleichzeitig Bestandteil des Tonerdezement (Abb. 28).   |
| 6. — $\text{CaO}$  | freier Kalk.  |

1, 2, 3 und 4 sind demnach Kalksalze der Kieselsäure, 5 ist demnach ein Salz der Tonerdesäure, 6 ist die freie Base Kalk.

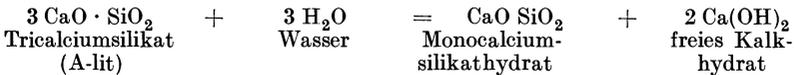
Das ganze Gemisch ist überaus kalkreich, denn die normale Verbindung zwischen Kalk und Kieselsäure ist das  $\text{CaO SiO}_2$ , das Mono calciumsilikat.

Bei der hohen Temperatur der Klinkerentstehung ( $1500^\circ$ ) 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 Portlandzements 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  $\frac{2}{3} \text{CaO SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . 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“<sup>1</sup> ab, welches die Zement- und Sandkörner zu einer puddingartigen, nicht mehr formbaren, aber noch schneidbaren Masse verbindet<sup>2</sup>.

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 gebildete „Gelen“ entzieht, die infolge dieses Entzugs durch „inneres Austrocknen“ erhärten. Kurz zusammengefaßt heißt das:

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

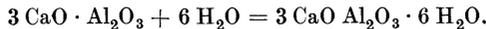
das Erhärten durch Austrocknung der Gele herbeigeführt.

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 erforderlich.

Bei Luftbauten wird der freie Kalk an der Oberfläche sehr bald durch die Kohlensäure der Luft in Calciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) 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

<sup>1</sup> 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 weiter unter  $\frac{1}{10\,000}$  mm.

<sup>2</sup> Gleichzeitig nimmt das vorhandene, oben unter 5. genannten Tricalciumaluminat 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.

darstellt, sich abzusättigen, indem er sich mit der Kohlensäure, bzw. der Schwefelsäure verbindet, oder indem er sich in dem kalkarmen Wasser als leicht lösliche Verbindung auflöst. Die Folge ist in diesem Falle 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 sich Gips bildet, der zusammen mit der Tonerde des Zementes sich in das äußerst schädliche Calcium-Aluminiumsulfat (Zementbazillus, s. unten) umwandelt.

Beim Tonerdezement (Abb. 28) bilden sich bei der Erhärtung wasserhaltige Kalkaluminat neben Kalksilikaten. Diese Kalkaluminat spielen



Abb. 28. Tonerdezement: Das Bindemittel unterscheidet sich wesentlich vom Portlandzement (S. 45). Tonerdezement besteht aus Calciumaluminiumsilikat, dessen Formel völlig anders ist als diejenige des Tricalciumsilikates aus dem Portlandzement.

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 entstehen erhebliche Wärmemengen. 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 Ribbildung führen können. Noch wichtiger als diese Nebenerscheinung ist Tatsache, daß der Tonerdezement empfindlich ist gegen Wärme. In Wärme vermag er überhaupt nicht abzubinden, bei

längerer Einwirkung auf den bereits abgebundenen Zement geht er zugrunde. 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.

#### 4. Mischung verschiedener Zementarten.

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 ihn, 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.

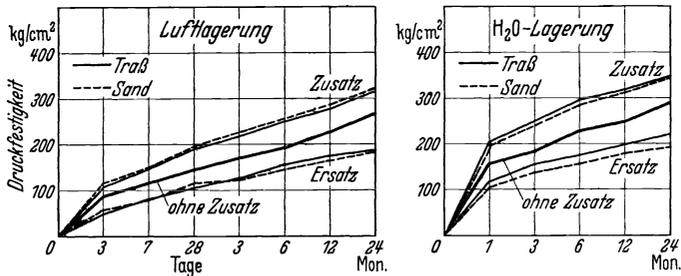


Abb. 29. Beim Vergleich der Festigkeiten von Sandmehl und Traß als Zusatz zum Zement (15—20%) als Ersatz für Zement zeigt sich folgendes: Zusatz erhöht die Festigkeit durch Erhöhung der Dichtigkeit für beide Mehle, Ersatz drückt sie herab. Bei Wasserlagerung wirkt Traß deutlich besser als das Sandmehl, bei Luftlagerung ist die Wirkung praktisch gleich.

Wichtig zu wissen ist, daß der Tonerdezement durch beigemischten Portlandzement in seiner Erhärtung geschädigt wird, wie ebenso der Portlandzement durch Zumischung von Tonerdezement. Es muß deshalb unter allen Umständen bei Verarbeitung der verschiedenen Zementsorten auf der gleichen Baustelle 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 Normzemente 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 reaktionsträgere Puzzolane als die Hochofenschlacke, erhärtet selbst nur in verhältnismäßig geringem Maße und hat außerdem ein weiches Korn. Infolgedessen setzt er 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 (Abb. 29).

### 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 nichts 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 Festigkeitsmechanismus dagegen nicht eingreift.

### 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 be-

sonders umfangreich in bezug auf die verschiedenen Möglichkeiten. Dennoch sei ausführlich 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 chemische Einwirkung besonders eingehend zu besprechen, da sie sehr vielseitig 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 müssen, 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 widerstandsfähigste Baumaterial, dessen Widerstandsfähigkeit am besten dokumentiert 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 damals ein Zement verwendet worden ist, der sich mit der Güte unserer heutigen Zemente nicht annähernd messen kann.

#### α) Physik des Betons.

Der Aufbau des Betons ist in der Hauptsache maßgebend für sein physikalisches Verhalten, also für sein Gewicht, für seine Dichtigkeit, für sein Verhalten gegen Durchnässung und Austrocknung, gegen Wärme und Hitze sowie gegen Frost. Deshalb sei dieser Aufbau im Hinblick auf die besprochenen 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 Erschütterungen (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.

**Schwerbeton.** Für Schwerbeton ist hohe Dichtigkeit erforderlich, Verwendung möglichst schwerer Zuschlagsstoffe, also beispielsweise Granit oder Kies, nicht aber Sandstein und schließlich ausgezeichnete Verdichtung bei geringstem Wasserzusatz. Die Dichtigkeit wird also bestimmt einerseits von dem Zuschlag, andererseits von dem Zementgehalt und von der Art, wie der Zementleim, der die Zuschlagskörner zusammenbindet, beschaffen ist (vgl. auch 2. Dichtigkeit des Betons).

Bei der Beurteilung der Güte eines Betons sind beste Erfahrungen in unserem Institut gemacht worden beim Durchschneiden mit der Steinsäge, da durch dieses Verfahren die Struktur des Betons zum Vorschein kommt. Auch die Druckfestigkeitsprüfung an solchen Würfeln ist zuverlässig, gibt allerdings durch die Beanspruchung des Betons

beim Stemmen und Schneiden niedrigere Zahlen als sie im Bauwerk vorhanden sind<sup>1</sup>. So haben herausgebohrte Betonkerne, die normgemäß hergestellt waren, Unterschiede gegeben von 10—30%, in der Richtung, daß an den Bohrkernen von 15 cm Durchmesser nur das 0,7—0,9fache der durch Handarbeit hergestellten 20 cm Würfel ergaben. Bei Prüfung kleinerer Würfel werden höhere Festigkeiten gefunden als bei größeren und zwar betragen bei kleinen Würfeln mit 7 cm Kantenlänge die Festigkeitsunterschiede ungefähr 35—45%. Würfel mit ungefähr 50 cm Kantenlänge gegen ungefähr die Bauwerksfestigkeit, wobei allerdings noch die beim Herausstemmen entstehenden Schädigungen zu berücksichtigen sind<sup>2</sup>.

#### 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, beeinflußt wird, geht aus folgender Tabelle hervor.

Tabelle 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

Es ist deshalb für Bauwerke, die irgend einem aggressiven Wasser ausgesetzt werden, zu verlangen, daß sie nicht mit zu hohem Wasserzusatz hergestellt werden bei ausgezeichneter Verdichtung. 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 der Wasserzusatz gering gehalten werden, wenn durch 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 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. Dieses Entweichen des Wassers führt

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

<sup>2</sup> Vgl. Betonkalender 1939, S. 200.

naturgemäß zu der Entstehung von Poren, 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 Luft-hämmern. Ein Beton, der in dieser Weise aus geeigneten, zweckmäßig gekörnten Zuschlagsstoffen unter genügendem, aber nicht zu hohem Wasserzusatz hergestellt ist, 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 Quellungserscheinungen auf wie in Holz. Schließlich sei noch erwähnt die Höhe des Zementzusatzes und seine Einwirkung sowie die Art des Zements.

Auf die überaus schädliche Wirkung der Arbeitsfugen in bezug auf Wasserdichtigkeit und Salzwasserbeständigkeit sei hier noch verwiesen. Beim Erhärten des unter der Arbeitsfuge liegenden Betons hört die zur Erhärtung führende Kristall- bzw. Gelbildung auf. Sie setzt sich also in dem später aufgebrachten neuen Beton nicht fort. Ebenso vermag natürlich das neue sich bildende 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 aufgebrachte 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 als Böschungen, beispielsweise alte Eisenbahnbauten. Man sieht hier Kalkaussinterungen, die in folgender Weise entstanden sind:

In den Beton eingedrungenes Wasser ist durch diesen hindurchgesickert bis zur Arbeitsfuge. Es vermag durch die Arbeitsfuge selbst nicht hindurchzusickern, da die Oberfläche des alten Betons seinerzeit bei der Herstellung dicht geworden war. Infolgedessen tritt es aus der Mauer in der Arbeitsfuge aus 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.

Die Höhe des Zementzusatzes ist natürlich von größter Bedeutung. Bei einem normalen Bauwerk genügen die Mengen, wie sie angegeben sind in den Betonvorschriften, d. h. 250 kg Zement je 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 eine Ver-

wendung von 450 kg Portlandzement, bzw. 425 kg Hochofenzement auf den Kubikmeter Beton unbedingt notwendig. Bauwerke mit geringem 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. Feine Putze reißen deshalb leicht, besonders wenn sie schnell austrocknen. Um das Schwinden zu verhindern, ist also langsame Austrocknung erforderlich. Die heute noch oft vertretene Ansicht, daß zu hoher Zementgehalt in Schwerbeton leicht schwinden und damit Risse veranlassen würde, die auf theoretischen Voraussetzungen beruht, 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, ohne aber im Kern geschädigt zu werden. Bei höheren Graden, Rotglut bis Weißglut, also bei Schadenfeuer, hat sich stets gezeigt, daß genügend tief eingebettetes Eisen (2—3 cm) befriedigend geschützt wurden. Zwar wird bei solchen Feuern die Oberfläche des Betons einige Zentimeter tief zerstört, aber nur in geringen Tiefen, der Kern bleibt intakt. Quarz hat sich bei solchen Bauwerken, die vermutlich starker Hitze einwirkung ausgesetzt werden, nicht bewährt infolge des leichten Abplatzens durch die eintretende Umwandlung des Quarzes in Tridymit.

**Frost.** Frost vermag abgebundenem, dichtem Beton nichts anzuhaben, schädigt ihn aber in Stadium I und II (vgl. S. 65), also während der Erhärtung, bevor er steinartig geworden ist, besonders durch Auffrieren, 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 Zuschlagsstoffe die Frostgefahr herabzumindern. Im letzteren Falle sind die in den Beton gebrachte Wärmemengen so groß, daß hauptsächlich bei geringen Frostgraden der Beton längst erhärtet ist bis er von Frost getroffen wird<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Vgl. auch Bornemann: Betonarbeiten im Winter, Der Bautenschutz 1938, Heft 11.

**Dichtigkeit des Betons von der Zuschlagsseite.** Neben der Dichtigkeit ist auch die Form des Betons 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 kann schon jedes Flußwasser bezeichnet werden, denn es vermag den



Abb. 30. In Zerstörung begriffene norwegische Talsperre: Das sehr weiche kohlen-säurereiche Wasser zermürbt den Beton. Die starken Kalkausscheidungen weisen auf diese noch nicht in Erscheinung getretene Zermürbung hin.

Beton, wenn es ihn durchdringt, im Laufe von wenigen Jahrzehnten zu lösen, besonders dann, wenn es kalkarm ist. So wurden in Norwegen und Schweden zahlreiche Talsperren im Laufe von zehn Jahren durch die salzarmen Flußwässer zerstört, weil der Beton nicht dicht genug war und infolgedessen sein Kalk herausgelöst wurde (Abb. 30). 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. Erinnerung 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. 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 Eisenbeton 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	Durchgang durch das Sieb	Bezeichnung	
		Natürliches Vorkommen	Zerkleinerte Stoffe
mit Millimeter Lochdurchmesser			
—	1	Betonfeinsand	Betonfeinsand } Betonbrechsand Betongrobsand }
1	7	Betongrobsand	
7	30	Betonfeinkies	Betonspilt Betonsteinschlag
30	70	Betongrobkies	

Betonkiessand ist das Gemenge von Betonsand und Betonkies.

Als Betonzuschläge gelten nach diesen Bestimmungen u.a. auch Hochofenschlacke geeigneter Zusammensetzung<sup>1</sup>, wie zerkleinerte Hochofenstückschlacke, zerkleinerte Hochofenschlackschlacke und Schlackensand, ferner zerkleinerte Lava-schlacke, Bimssand und Bimskies.

b) Die Kornzusammensetzung der Zuschläge beeinflusst im hohen Grade die Güte des Betons<sup>2</sup>.

Die Körnung der Zuschläge ist durch Siebversuche zu prüfen. Die Zusammensetzung des Sandes soll zwischen den Sieblinien A und C der Abb. 31 liegen, diejenige des Gemisches aus Sand und Feinkies oder Spilt zwischen den Linien D und F der Abb. 32. Die Sieblinie des Brechsandes sollte in der Regel nicht tiefer liegen als in der Mitte zwischen den Linien A und B der Abb. 31.

In der Regel genügt es, den Anteil des Feinsandes und des Grobsandes festzustellen. Der Sand soll mindestens 20% und höchstens 70% Feinsand enthalten

(Abb. 31). Im Gemisch aus Sand und Kies, Spilt oder Steinschlag sollen mindestens 40% und höchstens 80% Sand sein (Abb. 32).

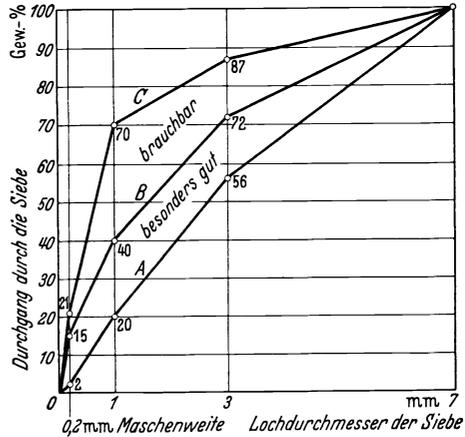


Abb. 31.

<sup>1</sup> Vgl. Graf: Der Aufbau des Mörtels und des Betons, 3. Aufl. Berlin: Julius Springer 1930.

<sup>2</sup> 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 AI und AIII 1 und 4 entsprechen.

Als besonders gute Zuschläge gelten solche, deren Sieblinien zwischen den Linien *A* und *B* (Abb. 31) bzw. *D* und *E* (Abb. 32) liegen.

Bei wichtigen Bauwerken, stets aber bei Verwendung von flüssigem Beton (vgl. § 8 Ziff. 5 und § 9 Ziff. 5) ist vor Baubeginn eine zweckmäßige Körnung der Zuschläge durch Versuche festzulegen. Ihr Innehalten (mit angemessenem Spielraum) ist während der Bauausführung wiederholt durch Siebversuche nachzuprüfen.

Hinzufügen 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

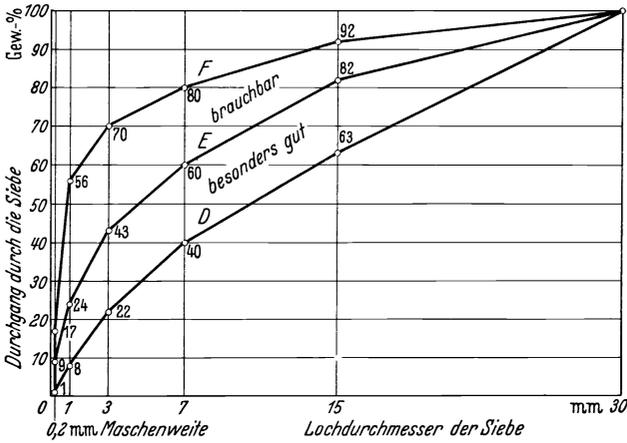


Abb. 32.

Kurven sind bei aller Zuverlässigkeit für ganz besonders stark beanspruchte Bauten insofern nachzuprüfen, als das betr. Zuschlagsmaterial der Zusammensetzung, wie es gerade vorliegt, einer Prüfung 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 bekanntlich aus länglichen Stücken besteht, verwendet werden soll. Grundsätzlich ist es zu empfehlen, für solche hoch beanspruchte Bauwerke nur doppelt gebrochenen Basaltsplitt heranzuziehen, da in ihm die kubischen Körner vorwiegen. 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.

**Leichtbeton.** Bei Leichtbeton ist im Gegensatz zu Schwerbeton möglichst große Luftmenge in den Beton einzuschließen und zwar sind die Stellen 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 steht. Bewegte Luft vermag Wärme leicht zu transportieren; ich erinnere nur an die Tatsache, daß große Kälte für den Körper leicht zu ertragen ist, wenn kein Wind weht, Sturm dagegen sehr 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 (vgl. S. 92) Zementleichtsteine).

Leichtbeton, gleichgültig wie er hergestellt ist, ist erst in der Entwicklung begriffen und wird in näherer Zukunft besonders für den Wohnungsbau eine große Bedeutung erlangen, da er sehr schnell und in beliebiger Form meist auf dem Bauplatz hergestellt werden kann.

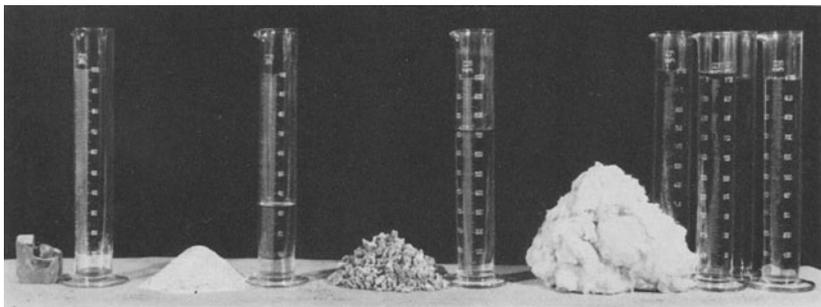
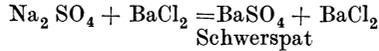


Abb. 33. Vergleich gleicher Gewichte von verschiedenen behandelten Gesteinsschmelzen: Stückschlacke (langsam erkaltet), Schlackensand (wassergranuliert), Hüttenbims (aufgebläht durch Dampfbildung zugeleiteten Wassers) und Schlackenwolle (zerstäubt durch Einblasen von Luft). Die Porenräume dieser einzelnen Gesteine sind dargestellt in Wassermengen. Das Bild zeigt den geringen Einfluß des Rohstoffs auf die Isolierfähigkeit, den um so größeren der Rohstoff o r m.

### β) Chemie des Betons.

Seiner chemischen Beschaffenheit nach ist Beton ein durch ein Salz gebundenes, verkittetes Trümmergestein. Unter Salz im chemischen Sinne muß man sich nicht ein wasserlösliches Erzeugnis vorstellen, wie wir es in 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, Magnesiumoxyd u. dgl. als Base und Kieselsäure, 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 (Chamotte) und die meisten der uns bekannten hochwiderstandsfähigen Baustoffe sind in diesem Sinne Salze. 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 Jahr-

zehntausende 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

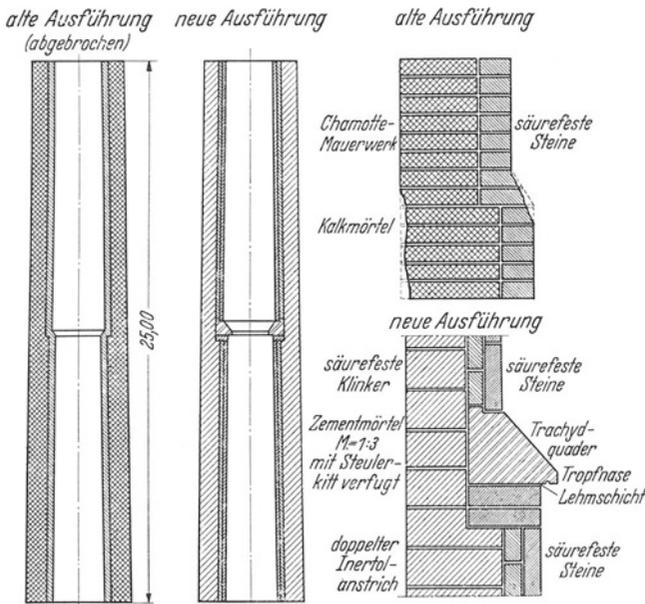


Abb. 34. Falsche und richtige Baugestaltung: Ein Schornstein, der bestimmt war zur Abführung von Nitrosegasen mußte abgebrochen werden, weil er falsch gestaltet war (links). Bei richtiger Baugestaltung: Anbringung von Trachyt mit Tropfnasen, Abdichtung durch Lehmschichten, Zementmörtel statt Kalkmörtel und Anstrich mit Bitumenlösung widerstand der Schornstein den starken Angriffen. (Vgl. auch Graf und Goebel: Schutz der Bauwerke, Berlin 1930).

Fällen vermögen sie aber größeren Umfang anzunehmen und führen dann einerseits entweder zu einer besseren Erhärtung des Betons (Calciumchloridzusatz zum Anmachwasser) oder aber zu einer Verfestigung des schon erhärteten Betons (Fluatierung von Fußböden zu deren Härtung) oder sie führen zum Zerfall des Betons. Die Einwirkung ist um so intensiver, je konzentrierter die Lösung und je wärmer sie ist und je größer die Oberfläche ist, mit der die Salzlösung zu reagieren vermag, mit anderen Worten, je poröser der Beton ist. Selbstverständlich ist ausschlaggebend in allen Fällen die Natur des reagierenden Salzes.

Es muß deshalb zunächst bei der Errichtung des Bauwerks schon

Rücksicht auf die Möglichkeit späterer schädlicher Einwirkung genommen werden. Beispielsweise sind Molen, auf welche schädliche Salze unter Umständen einwirken können, so zu gestalten, daß diese schädlichen Salze sich nicht in Wasserlachen auflösen 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 bilden kann, gesichert werden, wie die Abb. 34 zeigt, und schließlich ist auch die Oberfläche von Bauwerken, die in rauchenden 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.

**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. austrocknen 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, 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, besonders die als ausgezeichnete Bausteine bekannten derben Calciumkarbonate, also Kalksteine, hauptsächlich dann, wenn es sich um kohlenstoffhaltige Wässer handelt. Alles Regenwasser ist aber kohlenstoffhaltig. Die Auflösungs geschwindigkeit ist abhängig von der Menge des einwirkenden Wassers, von seinem Kohlenstoffgehalt, besonders aber von dem Formzustand des aufzulösenden Gesteins. Einem dichten Gestein ver-

mag der Auflösungs Vorgang fast nichts anzuhaben; nur ein poröses Gestein läßt sich schnell auflösen, da es eine große Oberfläche 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 aufgelöster 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 und so dem Beton den Kalk entzogen und ihn zermürbt.

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 das den Beton durchfließende Wasser 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. So wurde bei einem Kanal, der unter einer Schlackenhalde durchführt, die sulfathaltiges Wasser von sich gab und den Beton dadurch zerstörte, die Rettung ermöglicht, indem man diesen vorher nur halb- oder viertelvollen Kanal so umbaute, daß er ständig von dem unschädlichen Innenwasser gefüllt war. Dieses unschädliche Innenwasser drückte dann nach außen und verwehrte dem schädlichen Außenwasser den Eintritt und 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 Hauptzerstörungszonen 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 dann 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 Ölfarbe 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 welchem die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen einwirkende Stoffe ganz verschieden ist.

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

das zweite Stadium des erstarrten, aber noch nicht erhärtenden 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 ist, erfolgen also leicht; schließlich folgt

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—8 Stunden dauert. Auch Ausspülungen durch Lösungen können ihn in diesem Stadium treffen. Der Beton muß also unter allen Umständen im Stadium 1 und 2 behütet werden vor allzu starken Temperaturschwankungen und mechanischen Beanspruchungen durch Flüssigkeiten, also Ausspülung. Die mechanische Beanspruchung durch Erschütterung schadet gleichfalls dem Stadium 2 außerordentlich stark, dem Stadium 1 dagegen nicht. Es kann deshalb Beton auf lange Strecken transportiert werden und es ist bemerkenswert, daß diese Erschütterung den Erstarrungsbeginn etwas hinausschiebt, ohne den Beton besonders zu schädigen. Auf diese Erfahrung aufbauend hat man zunächst in Deutschland, später in großem Umfange in Amerika, Betonwerke errichtet, welche an Ort und Stelle des Kiesvorkommens den Beton fix und fertig mit Wasserzusatz hergerichteten, von wo er dann in den Verbrauchsort 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.

Die Ursache für die Empfindlichkeit des zweiten Stadiums ist, 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 noch 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 (Kühl). Sind sie erst erhärtet, so werden sie weniger aufnahmefähig für Wasser und brauchen stärkere Kraftanwendung zur Zerstörung. Außerdem tritt teilweise Karbonisierung ein, also Bildung von kohlensaurem Kalk, der den Beton dichtet und den freien Kalk bindet. In diesem dritten Stadium steigt also mit steigender Erhärtung die Wider-

standsfähigkeit 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 Bau fachmann das größte Interesse, die Einwirkungsmöglichkeit verschiedener Gase und Flüssigkeiten während des dritten Stadium kennen zu lernen, da der Beton in diesem Stadium mit den feindlichen Einflüssen der Umwelt in Berührung kommt. Gegen Erschütterung ist ein derartig erhärteter Beton verhältnismäßig sehr widerstandsfähig. Die Widerstandsfähigkeit gegen Druck und Zug ist bekannt. Aber besonders wichtig und in den Rahmen dieses Buches fallend sei die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse ausführlich besprochen.

Beton ist (vgl. auch S. 49) eine Zuschlagsmischung, welche versteinert ist durch eine erhärtende Salzgruppe, die Calciumsilikate und die Calciumaluminat. Das Gefüge, das diese Salzgruppe bildet, ist porös, mit je mehr Wasser sie angemacht wurde. 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 erhöht kalkhaltig, 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 Phosphorsäure und vor allen Dingen die Oxalsäure, denn Calciumphosphat ist schwer löslich, Calciumoxalat ist fast unlöslich in Wasser.

Als weitere große Gruppe, die besonders schädlich ist, seien die Magnesiumsalze genannt, da die Magnesiumsalze Treiben hervorzurufen vermögen. Magnesiumhaltige Böden, wie sie bei Verwitterung von Dolomit entstehen, sind also nachteilig, wenn der Magnesiumgehalt über 2% steigt.

Die Sulfate setzen sich mit dem Kalk des Betons um in Gips unter Durchlaufung eines Zwischenstadiums, in dem sich Calcium-Aluminium-Sulfat bildet. Sulfate sind also immer schädlich, auch dann, wenn der Säurerest Sulfat ( $\text{SO}_4$ , bisweilen auch als  $\text{SO}_3$  geschrieben) an eine starke Base, z. B. Natrium als Natriumsulfat (Glaubersalz) oder als 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 Grund-

wässer übergegangen sind. Folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die einzelnen schädlichen Salze, wie sie in der Natur vorkommen.

Tab. 4.  
Häufig vorkommende Verbindungen, die Beton schädigen können.

Säuren			Salze		
Schwefelsäure . . .	$H_2SO_4$	Moorwasser	Sulfate (schwefelsaure Salze) . . .	$—SO_4''$	Grundwasser
Schweflige Säure .	$H_2SO_3$	Rauchgase	—	—	Meerwasser
Schwefelwasserstoff	$H_2S$	Siele	Ammonsalz . . .	$NH_4 \cdot —$	Kunstdünger
Kohlensäure . . .	$CO_2$	Grundwasser	Magnesiumsalz .	$Mg \cdot —$	Boden (Dolomit)
Essigsäure . . . . .	$CH_3COOH$	Futtertröge	—	—	—
Milchsäure . . . . .	$CH_2CHOHCOOH$	Grünfuttersilos	Fette, Öle . . . . .	$C_{11}H_{23}COO^?$	Pflanzen- und Tierfett
Zucker . . . . .	$C_6H_{12}O_6$	Konservenfabrik.	Huminsäure 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.

Eigenschaften und Vorkommen: Schwefelsäure, die in Färbereien für die Beiz- und Farbbänder in großem Umfange verwendet wird, ebenso in Beizereien, 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 als Abwasser aus Beizereien, Färbereien usw. Ihre Schädlichkeit ist so groß, daß sie auch gemauerte Kanäle dadurch zerstört, daß 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, sie nur in einem unbewachten Augenblick, beispielsweise nachts, den Leitungen zuzuführen. 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 Drainageröhre u. dgl. aus Beton geführt hat.

*Säuren.*

**Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).** 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).

Schutz: Sollen Betonbauwerke in Mooren oder moorhaltigen Böden, wozu auch Sandböden, die von Moorschichten durchzogen sind, gehören, errichtet werden, so ist eine sorgfältige Untersuchung am Platze. Nach den Schweizer Untersuchungen<sup>1</sup>, die sich auf besonders viel Moore erstreckten, die sich bekanntlich an den verlandeten Seen der

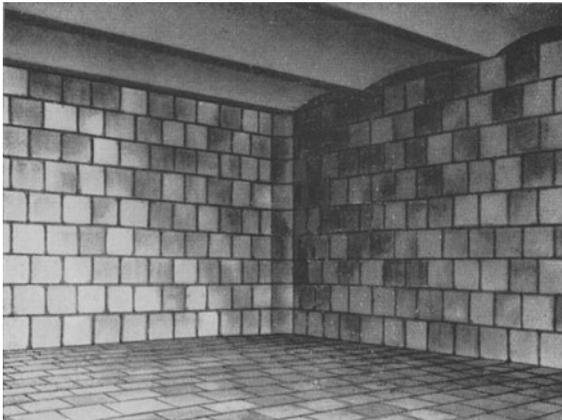
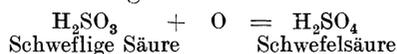


Abb. 35. Schutz von Beton und Mauerwerk durch in säurefesten Kitt verlegte Platten (Stellplatten).

Schweiz befinden, soll ein Boden weniger als 2% Magnesia, 12% Austauschsäure und 0,2% Sulfat enthalten. Sind höhere Gehalte zugegen, so ist der Beton stark gefährdet und muß geschützt werden (Abb. 35).

**Schweflige Säure (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>).** 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 zur Verwitterung unserer Natursteindenkmäler und Betonbauwerke hervorgezogen. 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. 36). Schweflige Säure kommt als solche verhältnismäßig wenig vor, da sie sich sofort zu Schwefelsäure oxydiert. Schweflige Säure ist ein stechend riechendes farbloses Gas. Ihre Oxydation an der Luft erfolgt nach der Formel:



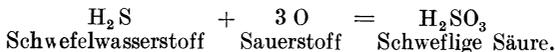
<sup>1</sup> Bericht 35 des Schweizer Verbandes f. d. Materialprüfung in der Technik. Zürich 1937, Dr. Gessner und Ing. Zollikofer.

**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).

Da ein Zement nur verhältnismäßig geringe Mengen Gips verträgt (der Gipsgehalt von Portlandzement 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 —, sondern vor allen Dingen in Rauchgasen) oder Verkleidung des Betons durch Chamottesteine, 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.

**Schwefelwasserstoff.** Eigenschaften und Vorkommen: Schwefelwasserstoff, der beim Verfaulen organischer Substanzen, z. B. in Dunggruben auftritt, ist ein übelriechendes, farbloses Gas, welches als solches dem Beton nicht schädlich ist (faule Eier). 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. 68) 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 abgeschlossen sind von der Außenluft, findet keine Beton-

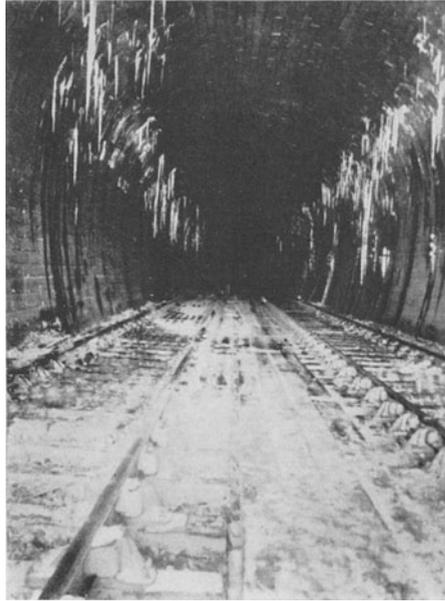


Abb. 36. Beispiel einer Schwefelsäurezerstörung: Die schweflige Säure der Rauchgase hat den Mörtel durch Gipsbildung gelöst. Das Bild wurde aufgenommen bei Frost. Das Wasser aus dem Tunnel ist durch die zerstörten Fugen hindurchgetreten, ist zu Eiszapfen gefroren und zeigt so die undichten Stellen, die sich dadurch bildeten, wenn die Lokomotivgase gegen die Decke geblasen wurden.

zerstörung 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 feststellen zu lassen, ob tatsächlich eine Anreicherung an Sulfat, also an schwefelsaurem Salz im Beton im Vergleich zu unzerstörtem Beton stattgefunden hat, und wenn dies festgestellt ist, die Luft vollkommen abzuschließen, oder aber andererseits durch ganz besonders starke Durchlüftung, falls die Abschließung nicht möglich ist, dafür zu 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 Puzzolane, wie Ziegemehl, 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, aus welchem sie Kohlehydrate, z. B. 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 Kalkstein freigemacht und den sog. Säuerlingen, d. h. den Wässern, die in vulkanischen Gegenden vorkommen, zugeführt wird. Die größte Menge 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, Kreidetierchen und noch kleineren Lebewesen, die die Kohlensäure der Luft bzw. dem Wasser entnommen, sie mit Kalk zusammen

zu kohlen-saurem Kalk behufs 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 in-

Stadium	Angriff durch	Betonmauer Reaktionszone			Austritt bzw. Abscheidung	Reaktionsart
		1	2	3		
I	→	CaO	CaO	CaO	—	
II	CO <sub>2</sub> →	CaO · CO <sub>2</sub>	CaO	CaO	—	A
III	CO <sub>2</sub> →	CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	CaO	CaO	—	C
IV		—	CaO · CO <sub>2</sub> CaO · CO <sub>2</sub>	CaO	—	D
V	2CO <sub>2</sub> →	—	CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	CaO	—	C
VI		—	—	CaO · CO <sub>2</sub> CaO · CO <sub>2</sub>	CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	D
VII	2CO <sub>2</sub> →	—	—	CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CaO · (CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	CaO · CO <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	E und C
VIII		—	—	—	CaO · CO <sub>2</sub> CaO · CO <sub>2</sub> + 2CO <sub>2</sub>	E

- Formel (in Kreis) — die Verbindung ist wasserlöslich
  - Formel (in Kasten) — die Verbindung ist wasserunlöslich
  - CaO — freier Kalk des Betons
  - CaO · (CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> — doppelkohlen-saurer Kalk
  - CaO · CO<sub>2</sub> — kohlen-saurer Kalk
  - CO<sub>2</sub> → — kohlen-säurehaltiges Wasser
  - CO<sub>2</sub> ↗ — gasförmige Kohlensäure
- das Molekül Wasser (H<sub>2</sub>O) ist der Übersichtlichkeit wegen in den Formeln weggelassen

Abb. 37.

folge ihrer großen chemischen Affinität zum Kalk Beton stark zu schädigen, allerdings nur dann, wenn sie in Wasser gelöst als Kohlensäure H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vorkommt. Das vorstehende Schema zeigt die Art der Einwirkung übersichtlich (Abb. 37).

Im ersten Stadium der Einwirkung des kohlen-säurehaltigen Was-

sers (I), dem man seinen Kohlensäuregehalt keineswegs ansieht, führt dieser den freien Kalk des Betons in kohlensauren Kalk über (II). Mit 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 dritten Stadium der Einwirkung aber verwandelt nun die weiter zutretende Kohlensäure den einfach kohlensauren Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) in doppelkohlensauren Kalk ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), der im Gegensatz zu dem unlöslichen  $\text{CaCO}_3$  in Wasser löslich ist und infolgedessen aus dem Beton ausgelaugt wird. Die so entstandene Lösung von doppelkohlensaurem 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 gebildete einfach kohlensaure Kalk nun wieder in doppelkohlensauren Kalk übergeführt und in löslicher Form abtransportiert (V). Hat das Wasser, welches mit doppelkohlensaurem Kalk gesättigt ist, Gelegenheit, den Beton zu verlassen (VI), so spaltet sich aus dem doppelkohlensauren 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 den Kalk hindurchgetreten ist, Kalk als doppelkohlensaurer Kalk gelöst wurde, der sich dann im Innern der Höhlen durch Temperatur- und Druckveränderung — zurückverwandelt in kohlensauren Kalk — schichtenweise absetzt. Da die Kohlensäure kein Treiben hervorruft, sondern nur lösend wirkt (vgl. Abb. 38), 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 umspülen, oder 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

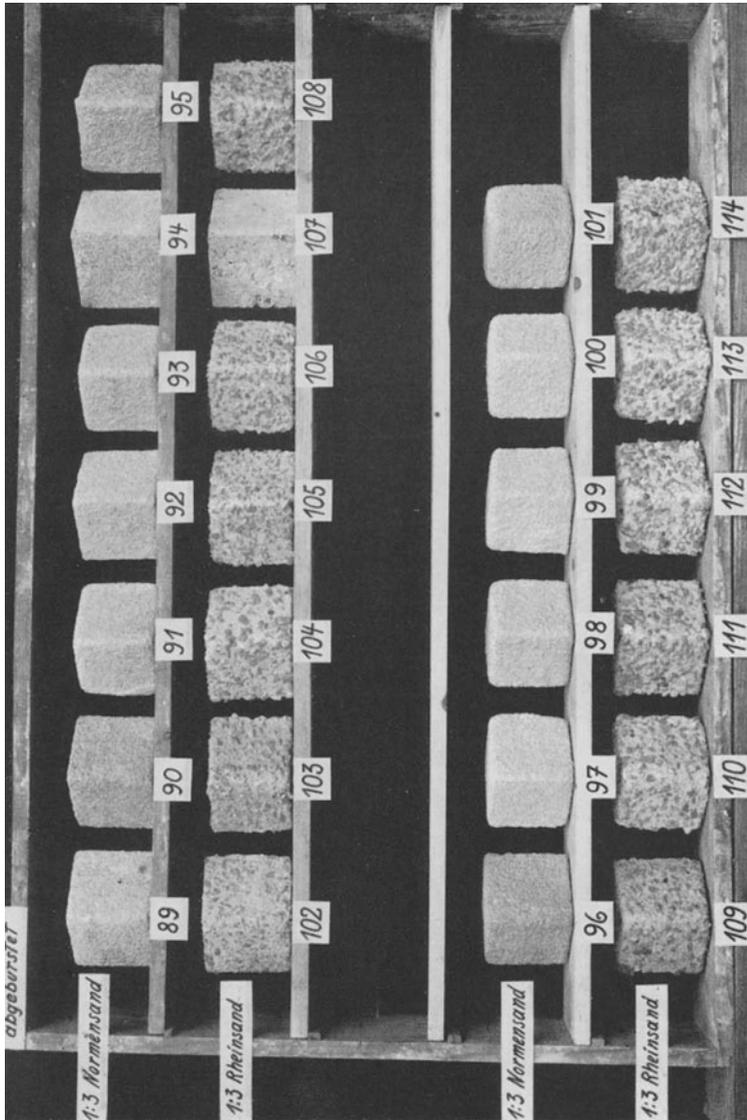


Abb. 38. Kohlensäurezerstörung im Laboratorium: Die Körper sind stark angeätzt, ihr Gefüge ist nicht geschädigt (kein Treiben).

gleicher Weise wirkt ein Zuschlag von kohlensaurem Kalk zum Beton selbst, es wird dann der Zuschlag allmählich aufgelöst, der Zement dagegen 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 vor entweder in entsprechenden Fabriken 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.*

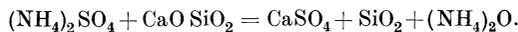
Daß freie Säuren den Beton als Salze aufzuspalten vermögen, ist selbstverständlich, zumal er etwas freie Base, nämlich Kalk enthält. Diese freie Base und die Tatsache, daß im Kalksilikat des Betons die Kieselsäure den Kalk, hauptsächlich bei hohem Kalkgehalt, nur verhältnismäßig lose hält, führt dazu, 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 von diesen wieder werden sie übergeführt in das Grundwasser, das auf seinem Wege mit vielen Sulfaten in Berührung

gekommen ist (Bittersalzquellen). Auch Kohlenschlacken und besonders Kohlenschlackenhalden haben große Mengen von Sulfat. Diese können aus diesen Halden gelöst und dem Beton zugeführt werden. Auch Verpackung von Beton, beispielsweise Überschüttung 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 (Abb. 39). Von den Sulfaten sind die gefährlichsten diejenigen, in dem 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. sie wird von dieser weggerissen. Ammoniak entweicht als stechend riechendes Gas oder Magnesia, scheidet sich in gallertartige Form ab und der Beton vergiftet sich selbst dadurch, daß sein freier Kalk sich in Calciumsulfat = Gips verwandelt nach folgender Formel:



Gleichzeitig zerfallen die tonerhaltigen 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

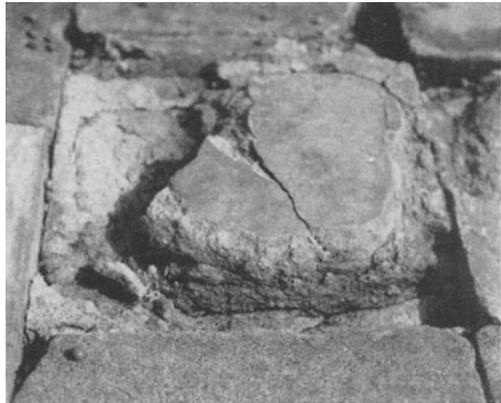


Abb. 39. Beispiel einer Sulfatzerstörung: Bei Sulfatwirkung wird nicht nur wie bei Kohlensäure zunächst die Oberfläche zerstört, sondern der Beton beginnt zu treiben. Raumvergrößerung. Später zerfällt dann der zertriebene Beton und Sand bleibt zurück.

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 Zerstörungerscheinungen, 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, zu zerfallen anfängt, aufquillt, Risse bekommt und schuppenartig zerfällt unter gleichzeitiger weißer Verfärbung, die einem Ausschlag ähnelt, so daß die Bezeichnung „Zementbazillus“ auch durch diesen Umstand gestützt wird.

Das wichtigste Sulfat der Praxis ist der 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 leicht nachgewiesen werden, ebenso wie die chemische Analyse auch dann, wenn die Zerstörung bereits zu sehen ist, ein Maß dafür ist, wie tief die Zerstörung bereits 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 von Braunkohle und vermag sich auch in Schlackenhalden zu bilden. Das Gipswasser ist nicht ganz so gefährlich wie das Magnesiumsulfat, es ist aber immerhin als gefährlicher Betonfeind zu beachten. Zerstörung tritt genau so ein, wie bei Natriumsulfat, die Abhilfe ist die gleiche.

Von den Chloriden ist nur das Ammoniumchlorid besonders schädlich, das lediglich in chemischen Fabriken vorkommt. Das Natriumchlorid oder Kochsalz, der Hauptbestandteil des Meerwassers, bleibt ohne Einfluß. Allerdings ist es oft sulfathaltig und wirkt dann wie ein Sulfat.

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 in Meerwasser als  $MgSO_4$  (Bittersalz) vorkommen, sind besonders schädlich

und schon oben abgehandelt. Sie treten aber auch bisweilen in Böden schwerlöslich auf, vermögen aber auch dann nachteilig zu sein, wenn die Magnesia auch nicht an Sulfat gebunden ist. Sie sind in den Boden hineingelangt durch verwitterten Dolomit, der ja bekanntlich ein Doppelkarbonat 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 Magnesiumgehalt von nicht über 2%.

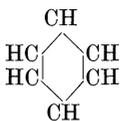
Als schädliches Chlorid sei das Magnesiumchlorid genannt, das im Meerwasser und in Ablagerungen des Meerwassers vorkommt und den Beton, wenn auch in längerer Zeit, zerstört. In der Praxis kommt es in konzentrierter Form als Steinholzlauge vor, und vermag den Beton von Lagerungsbehältern für Steinholzlauge,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

### 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 aus der Petroleum-Raffination und aus den Steinkohlen usw. 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, Staufferfette, Zylinderöle, Petroleum, Benzin u. dgl. Sie alle vermögen zwar den Beton zu durchdringen, zerstören ihn aber nicht. Nur dann, wenn sie als Rohöle, z. B. Phenol, also eine Säure, enthalten (Karbolsäure), werden die letzteren dem Beton gefährlich. 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:

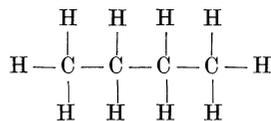
1. Das Benzol



(Ring-Kohlenwasserstoff,  
aromatischer Ring)

und

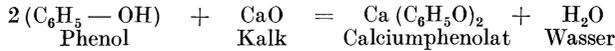
2. das Paraffin.



Buthan

(Reihen-Kohlenwasserstoff, aliphatische Reihe)

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



Es bilden sich also Calciumphenolate als Kalksalze der Karbolsäure.

Ganz anders konstituiert sind die fetten Öle, d. h. alle diejenigen Öle und Fette, die dem pflanzlichen oder tierischen Organismus ent-

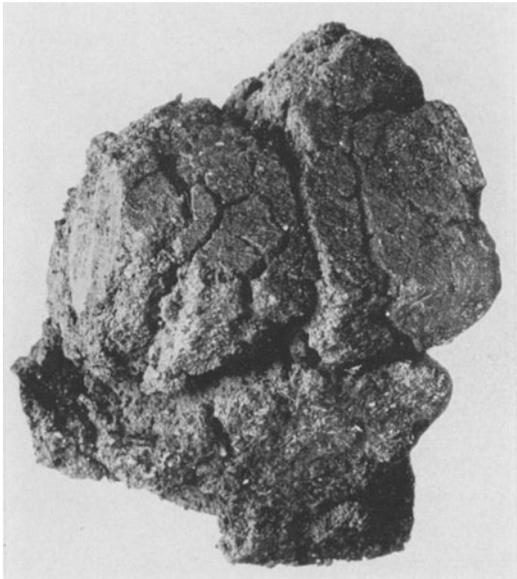


Abb. 40. Bild einer Fettzerstörung. Fette, beispielsweise Leinöl, werden durch den Kalk des Mörtels verseift. Durch Verwandlung des Kalkanteils des Zementes in Kalkseife wird der Zusammenhalt des Mörtels gelöst, gleichzeitig treten Treibererscheinungen auf.

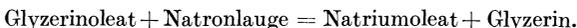
stammen, wo sie als Vorrat dienen, der entweder dem lebenden Körper in Form von Fett für Notzeiten mitgegeben wird oder den das Pflanzenkorn enthält, um dem keimenden Sämling als Vorrat zu dienen. Hierher gehören als Pflanzenfette, z. B. Mohnöl, Rizinusöl, Kokosnußöl, Palmin u. dgl. und als Tierfette Butter, Tran, Knochenöl, Gänsefett usw. Alle diese Fette und Öle sind ganz anders konstituiert 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.

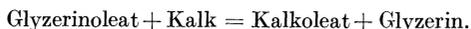
Wirkung: Da in diesen Salzen eine starke Säure, Fettsäure, mit einer schwachen Base, dem Glycerin, vereinigt ist, wird naturgemäß eine Aufspaltung dann erfolgen, wenn eine stärkere Base zur Einwirkung kommt. Im Beton ist diese stärkere Base in Form des freien Kalkes vorhanden. Dieser freie Kalk spaltet 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 in eine schmierige Beschaffenheit, die man „Seife“ nennt, übergeht, zerfällt natürlich der so beeinflusste Beton, da die Silikate, die ihn aufbauen, zugrundegehen.

Tatsächlich nennt man ja einen solchen Vorgang des Aufspaltens eines Fettes Verseifung. Bei der Seifenbildung werden nämlich die oben genannten Fette durch

eine Base, Natronlauge oder Kalilaugen, aufgespalten, das Glycerin wird als Nebenprodukt gewonnen und die von uns gebrauchte Seife ist nichts anderes als Natriumoleat *cd. dgl.* 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 eine Formel für die Entstehung eines derartigen Fettes aus einem Salz 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 abspaltende Kalk des Betons, in gleicher Weise das Fett nach folgender Formel:



Das Kalkoleat vermag dem Beton keinen Zusammenhalt mehr zu geben. Es ist von schmieriger Beschaffenheit, der Beton zerfällt also unter Rißbildung (Abb. 40).

Als Schutz kommt auch hier wieder in Frage dichter Beton, Bindung des freien Kalkes durch Puzzolane und Anstrich durch bakelith- oder harzähnliches Erzeugnis, welches sich nicht in Fetten auflöst. Die Bitumenanstriche, die für andere Zwecke verwendbar sind, z. B. Intertol u. *dgl.* können hier nicht gebraucht werden<sup>1</sup>.

### e) Chemie der Betonzusätze.

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, und solche, die dem erhärteten Beton besondere Eigenschaften verleihen, also wasserabweisende oder wasserdichtend wirkende.

#### 1. Schnellbinden veranlassende Zusätze.

In manchen Fällen (Frost, Wassereinbruch) ist es erwünscht, den Mörtel oder Beton zu besonders schneller Erhärtung zu zwingen. Da es nicht angängig ist, von der betreffenden 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 Winterpausen verschwinden müssen, die bisher sich doch immerhin auf 4—5 Monate erstreckte, in welcher Arbeitskräfte brach lagen; diese können ausgenutzt werden wenn man sich genügend mit der Frage, auch im Winter zu betonieren und Bau-

<sup>1</sup> 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.

arbeiten durchzuführen, beschäftigen wird. Vögler<sup>1</sup> gibt an, daß es noch 1933 914 000 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.

**Frost:** Eine beliebte Maßnahme ist früher bei Betonierungen im Frost die Zufügung von Soda zum Anmachwasser gewesen. Man ist aber von dieser Soda wieder vollkommen 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 das auch die Festigkeit erhöht. 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 anspricht<sup>2</sup>.

Tab. 5. Einwirkung von Calciumchloridlösungen auf die Druckfestigkeit von Beton bei niederen Temperaturen.

	Lagerung bei +20°						Eisschranklagerung bei -6°					
	3 Tage		7 Tage		28 Tage		3 Tage		7 Tage		28 Tage	
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>
Hochofenzement: Mischungsverhältnis 1 : 3 Gew., Rheinkies 0—7 mm . . . . .	306	423	451	596	623	698	114	129	175	212	288	396
Portlandzement: Mischungsverhältnis 1 : 3 Gew., Rheinkies 0—7 mm . . . . .	321	327	424	413	594	577	73	117	120	220	195	402
Hochofenzement: Mischungsverhältnis 1 : 6 Gew., Rheinkies 0—7 mm . . . . .	111	143	182	195	261	287	58	62	84	78	137	148
Portlandzement: Mischungsverhältnis 1 : 6 Gew., Rheinkies 0—7 mm . . . . .	105	118	151	151	263	231	31	38	66	82	96	136

Einwirkung von calciumchloridhaltigem Anmachwasser auf die Frostbeständigkeit des Betons. Durch den Zusatz von Calciumchlorid 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.

<sup>1</sup> Vögler: Rationalisierung im Bauwesen, Z. VDI. 1938, S. 1324.

<sup>2</sup> 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:

**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 dienten, zu verstopfen. Auch Aluminiumchlorid wirkt in ganz ähnlicher Weise, ebenso die Nitrate der genannten Salze. Seit Jahren kommen Mischungen der genannten Salze unter verschiedenen Namen in den Handel. Wertvoll ist

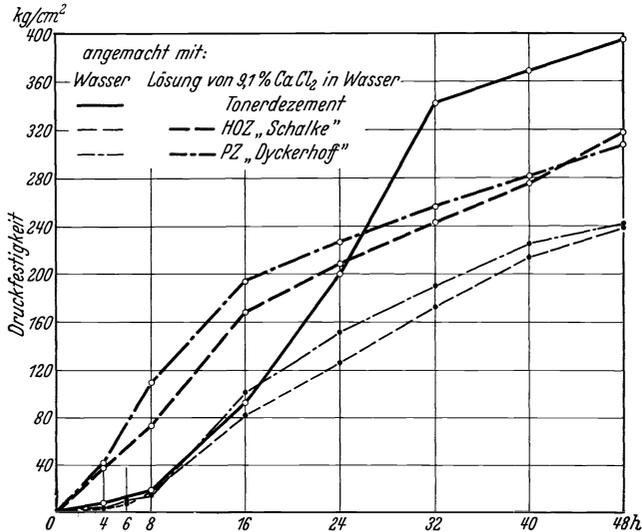


Abb. 41. Wirkung von schnellbindend veranlassenden Zusätzen: Durch Zusatz geeigneter Salze wird der Zement zum Schnellbinden gezwungen. Durch Veränderung der Konzentration kann die Schnelligkeit des Bindens geregelt werden.

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 konnten. 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,

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.

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. Beim Zusammentreten mit Kalk bildet sich das schwer lösliche Calciumoleat und Kaliumhydrat wird frei, das sich an der Luft karbonisiert zu Kaliumkarbonat (Pottasche). Der wirksamste Bestandteil dieser in den Handel kommenden Zusätze sind nun diese ölsauren Salze. Die sich abscheidenden Neubildungen verstopfen die Poren und wirken in dieser Weise 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 Kaliumoleat 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 porenbildende 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 Eigelbin, 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 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 demnach 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, es 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.

### 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. Zug muß vermieden werden, Fenster in Neubauten sind also zu schließen, wenn ein frisch gemachter Zementestrich in ihnen liegt. Sehr zu beachten ist, daß zugiges Wetter oder Wind vielmehr austrocknend wirken als die Sonne. Schwindrisse, die durch zu frühe Entziehung des Wassers auftreten, werden deshalb häufig bei Beton, der ohne Schutz der geschilderte Austrocknung ausgesetzt ist, beobachtet.

### 1. Imprägnierung mit Silicofluoriden: Fluatierung.

In recht großem Umfange werden für chemische Nachbehandlung des Betons die Fluate verwendet. Diese kommen in den Handel meist als Magnesiumsiliciumfluoride, weiter als Bleisiliciumfluoride usw. Alle diese Fluoride setzen sich beim Aufbringen des Fluorids, welches in Wasser gelöst meist in den Handel kommt und als verhältnismäßig konzentrierte Lösung verwendet wird, mit dem kohlen sauren 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 kohlen sauren 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 Fluate etwas erhöhend auf die Salzwasserbeständigkeit des Betons, wenn auch meist diese Wirkung überschätzt wird. Der Hauptvorteil der Fluate liegt in der Härtung der Betonoberfläche. Demgemäß werden sie in Fabrikräumen, um das Stauben zu verhindern, verwendet.

### 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 sie den Wasserdurchtritt allerdings nicht zu verhindern.

### 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 Außenluft 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 Peche 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 möglichst trocken 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 ungelernete 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 einen gewissen Vorteil, da 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 Peche 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<sup>1</sup>.

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

<sup>1</sup> 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.

sich die inneren Umlagerungen dauernd 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

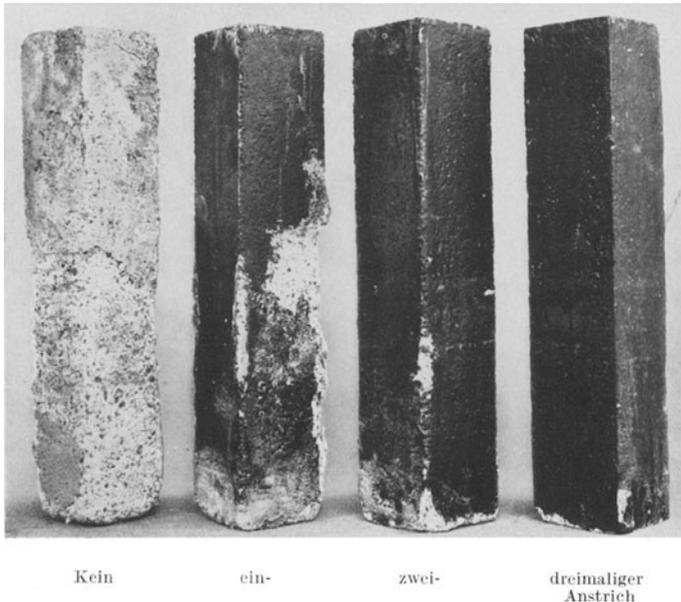


Abb. 42. Schützende Wirkung von dreimal aufgebrachtem Schutzanstrich. Durch die Aufbringung des Schutzanstrichs ist der Beton vor dem Zutritt der schädlichen Lösung bewahrt, seine Lebensdauer infolgedessen stark verlängert (7 Jahre Lagerung in Magnesiumsulfatlösung).

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, dreimaliger Anstrich dichtet vollkommen (Abb. 42).

In besonders schweren Fällen, also bei sehr hoher Aggressivität im strömenden Wasser od. dgl. ist Umklebung mit Bitumenpappe, am besten 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 zugrundegeht (Abb. 43). Neuerdings nimmt man an Stelle der Pappe auch Metallbahnen, also sehr



Abb. 43. Zerstörung von Beton hinter Ziegelsteinverblendung: Die Verblendung hält naturgemäß auf längere Zeit nicht dicht. Der Beton war mit Rücksicht auf die Verblendung fälschlicherweise porös gemacht und wurde durch das Sulfat zum Treiben gebracht. Die Raumvergrößerung führte zu Aufbauschung des Mauerwerks, wobei erst nach längerer Zeit die Zerstörung des Betons offenbart wurde. Man arbeitet deshalb heutzutage ohne Verblendung.

dünne Metallfolien, welche bisweilen aus in Bitumen eingebettetem Blei, Kupfer oder Leichtmetall, häufig mit oxydischen Oberflächen bestehen.

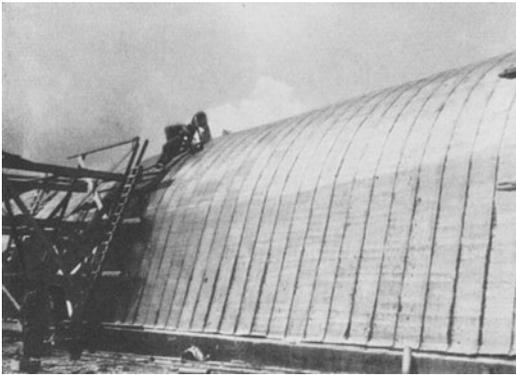


Abb. 44. Schutz von Beton oder Mauerwerk gegen Feuchtigkeitszutritt durch Überlappung von Bitumenpappe oder Metall, im vorliegenden Falle Metallfolien.

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 breiter (ungefähr 60 cm) 30 bis 40 m Länge geliefert.

Auf diese Weise wurde

beispielsweise die Urselbachtal-Brücke, die Franzosenschlucht-Brücke, das Krafthaus Sorpetalsperre und andere Bauwerke gedichtet<sup>1</sup> (Abb. 44).

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

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

### **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. 12 u. 59) und die Fachliteratur verwiesen. Hier interessiert nur

1. die chemische Zusammensetzung der Zuschläge,
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 werden sollen, untersagt. Dieses Verbot ist falsch, denn es ist wohl zu unterscheiden, zwischen der verschiedenen Art der aggressiven Lösung. Kommen neutrale Salze, wie beispielsweise das schädliche Magnesiumsulfat im Meerwasser u. dgl. in Frage, 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, er ist aber auch gar nicht notwendig, da freie Säure in der Natur nur in ganz geringem Umfange vorkommt. Bei Versuchen im Presseler Moor hat sich gezeigt, daß in Betonplatten, die 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. Kohlen Schlacke ist stets gipshaltig. Bei Herstellung von Kohlen Schlackebeton muß also die Höhe des Gipsgehaltes bestimmt werden. Allzu gipshaltige Zuschläge sind auszuschalten. Eine Verminderung des Gipsgehaltes vermag man herbeizuführen durch Auswaschen der Zuschläge, also einem Liegenlassen in nicht zu dicken Schichten im Regen, eine

Arbeitsweise, die bei Posidonienschieferschlacke bisweilen angewendet wird.

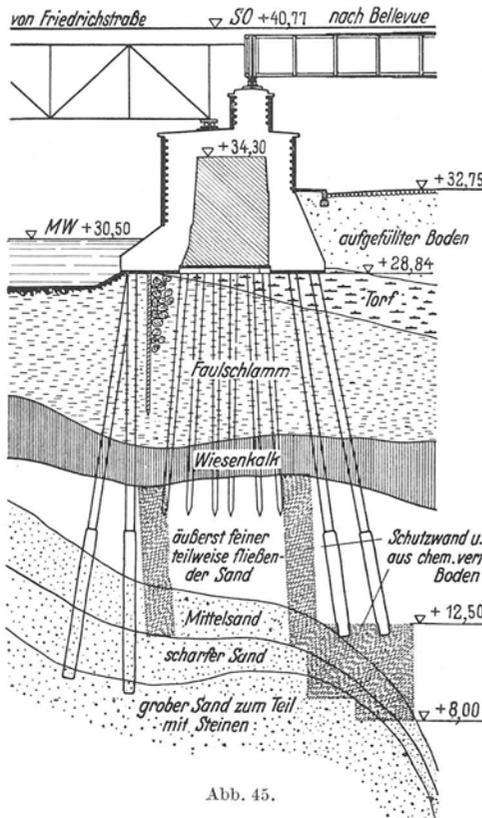
Sulfidgehalt des Zuschlags kommt vor in der Hochofenschlacke. Sulfid ist unbedenklich, Treiberscheinungen wurden bis jetzt trotz hohem Sulfidgehalt noch nicht beobachtet. Die Hochofenschlacke ist deshalb als Betonzuschlag zugelassen, in seltenen Fällen gibt es Hochofenschlacken, die zum Zerfall neigen. Solche zum Zerfall neigende Hochofenschlacken müssen als Betonzuschlag ausgeschieden werden<sup>1</sup>.

## 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.

Am längsten angewendet wird die Verfestigung für Schwemmsand, dadurch, daß man denselben gefrieren läßt. Dieses Verfahren hat große Bedeutung bei der Abteufung von Schächten. Bei diesem Gefrierverfahren werden um den zukünftigen Schacht U-förmige Eisenrohre mehrere 100 m tiefeingetrieben, 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 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 Tüb-

bing 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 aufgetaut<sup>2</sup>.



bing 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 aufgetaut<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vgl. S. 59.

<sup>2</sup> Grün: Untersuchungen über den Abbindeverlauf und die Erhärtung von Beton in Gefrierschächten. Zement 1928. Nr. 37ff.

**Dauernde Verfestigung.** Eine chemische Verfestigung ist das schon lange in Kalibergwerken mit Erfolg angewendete Bodenverfestigungsverfahren nach Joosten<sup>1</sup>. 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 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. Bei Schächten arbeitet man grundsätzlich bei Undichtigkeiten in ähnlicher Weise oder aber auch durch Einpressen von Zementmilch.

Dieses Zementeinpreßverfahren hat besonders große Bedeutung gewonnen bei der Abdichtung von Naturgesteinen, die klüftig sind unter 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 den Joostenschen Verfahren unterscheidet es sich dadurch, daß die Verfestigung von den Kalksilikathydraten des Zements ausgeht, die hohe Festigkeiten erreichen, während bei Wasserglaseinpressung, nur weniger feste Kieselsäurehydrate entstehen (vgl. Abb. 45).

### 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 Wasseraustragung, oder
2. durch Wasserhinzufügung, also durch Wasseranlagerung.

1. Die Herstellung durch Wasseraustragung 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 „Ziegelsteine“ jedem geläufig und entsprechend dem Gebrauch nur als Ziegelsteine oder Backsteine zu bezeichnen und im Kap. IV S. 97 besprochen.

2. Steigende Bedeutung gewinnen in letzter Zeit diejenigen Steine, welche durch Anlagerung von Wasser an Mineralstoffe, welche dieses dann

<sup>1</sup> Mast: Die Entwicklung des chemischen Bodenverfestigungsverfahrens nach Dr. Joosten in zehnjähriger Praxis. Beton und Eisen 1938. S. 225.

aufnehmen, entstehen. Auch hier spielt das Feuer, also die Hitze, eine ausschlaggebende Rolle, aber nicht nur Härtung der Steine, sondern um die Rohstoffe in reaktionsfähige Form überzuführen. Den Rohstoffen wird also gewaltsam Wasser, auch Kohlensäure entzogen und sie werden 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

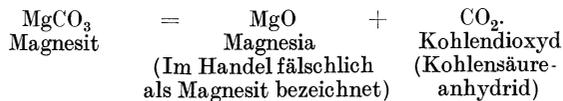
1. Gips,
2. Magnesit.

#### 1. Gips als Bindemittel.

Mit Gips als Bindemittel werden in der Hauptsache die weitbekanntesten 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 den 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. 19 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 zu einem wenig 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 (MgOCl). 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 und der 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 wärmehaltige 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. Die hergestellten Platten werden in Darr-Räume gebracht, um die Erhärtung des an sich weiter erhärtenden Gemisches  $MgO + \text{Magnesiumsulfat}$  zu beschleunigen. Sie 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 Überdekung (3 cm) mit dichtem Beton ist deshalb zu fordern.

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. Kalk als Bindemittel.

Kalk als Bindemittel wurde früher sehr viel benutzt zur Herstellung der Schwemmsteine (s. unter  $\beta$ ). Auch heute noch zieht man ihn zu diesem Zwecke heran, setzt allerdings stets Zement hinzu, um die Erhärtung zu beschleunigen.

$\alpha$ ) **Kalksandsteine.** Ohne Zementzusatz werden heute nur noch die sog. Kalksandsteine hergestellt. Ihre Erhärtung beruht auf der Umsetzung des Kalkes mit der Kieselsäure des Sandes. Man stellt sie her aus gelöschtem Kalk durch Mischen des Kalkes mit Sand, Pressen des Mischgutes und Erhitzung der Rohlinge in gespanntem Wasserdampf. Die Erhitzung nimmt man in Härtekesseln vor bei 8—12 at, also bei Temperaturen, die weit über  $100^\circ$  liegen. Hierbei bilden sich Kalksilikate, also Salze des Kalkes mit der Kieselsäure des Sandes. Die Erhärtung ähnelt also der des Zementes. Infolgedessen sind die Steine wasserbeständig. Bei richtiger Herstellung, also bei nicht zu dichter Beschaffenheit und genügender Erhärtung, haben sie ähnliche Eigenschaften wie gewöhnliche Ziegelsteine.

$\beta$ ) **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.

In den Bergen 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 desto weniger Gas aufzulösen, je geringer der Druck ist, unter dem sie steht. Auf Grund dieser Tatsache entwich das gelöste Gas bei der durch die Eruption hervorgerufenen Aufhebung des Druckes plötzlich, da die Flüssigkeit, die Lava, es nicht mehr gelöst zu halten vermochte. Dabei blähte sich die Gesteinsmasse auf und erstarrte in der Luft bei der starken Abkühlung in dieser aufgeblähten Form als Gesteinsschaum. Der so entstandene Bims bedeckt das ganze untere 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 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 man wenig Wasser zufügt. Der plötzlich entstehende Wasserdampf bläht bei seiner Entstehung die Schlacke auf und in diesem Zustand erstarrt sie.

Als Bindemittel diente früher bei der Verkittung des Bimses zu Steinen Kalkhydrat. Es fand dann bei langsamer Erhärtung zwischen 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. Ramm-pfähle, 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 wird<sup>1</sup>.

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. Dann ist kaum eine wesentliche Einwirkung aggressiver Lösungen zu erwarten, zumal sich das Erdreich um die Pfähle ja beim Rammen stark verdichtet. Bei Ortpfähle spielt gleichfalls diese Verdichtung häufig eine Rolle, beispielsweise bei Frankipfählen, deren Beton bei zweckmäßiger Arbeitsweise so dicht wird, daß er nur noch eine Wasseraufnahme von 1—2% aufweist bei gleichzeitiger starker Verdichtung des Bodens.

Eine andere Sorte von Ortpfählen wird in der Weise hergestellt, daß

<sup>1</sup> Vgl. Grün: Neuzeitliche Betonpfahlgründung. Z. VDI. 1934. S. 663.

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.

### e) Fußböden.

An Ort und Stelle werden auch die sog. Terrazzoböden hergestellt, die aus Kalkstein und ähnlichen weichen Steinen verschiedener, ziemlicher grober Körnung und 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 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 einfach 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. 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. mit dem 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 Temperung, d. h. langsame Abkühlung, um gute Kristallisation und dichtes 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 ergibt<sup>1</sup>.

### f) Zementleichtsteine.

Leichtes Gefüge des Steines kann man neben der Heranziehung leichter Zuschlagsstoffe, wie Holz (vgl. S. 91), Bims (vgl. S. 92) auch erreichen dadurch, daß man Zement aufbläht zu dem sog. Porenbeton.

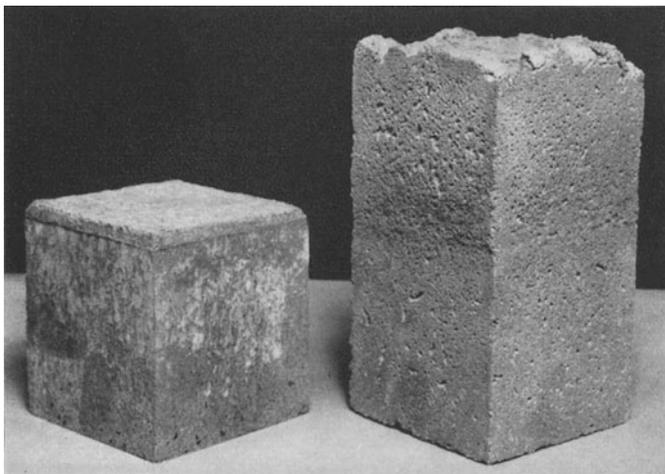


Abb. 46. Porenbeton. Das Bild zeigt die gleiche Zementmenge einmal als Puzement angemacht wie Mörtel (links), das andere Mal aufgebläht durch Gase (rechts): Die größere Leichtigkeit des Porenbetons erhöht auch seine Wärmehaltung infolge Gasgehalts.

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. 46).

**a) 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 seines Zementgehalts erstarrt. Man muß bei dieser Arbeitsweise die Steife der Masse in Beziehung bringen zu ihrer Erstarrungsdauer, d. h.

<sup>1</sup> Grün: Kunststeine, Ullmann, Enzyklopädie der techn. Chemie 1930, Bd. VII.

wenn beim Schlagen in der Mischmaschine u. dgl. der Zementschaum entstanden ist, muß er auch möglichst bald erstarren, damit er nicht wieder zusammenfällt, wie beispielsweise Schaum in einem Bierglas, das lange stehen bleibt (Iporitbeton).

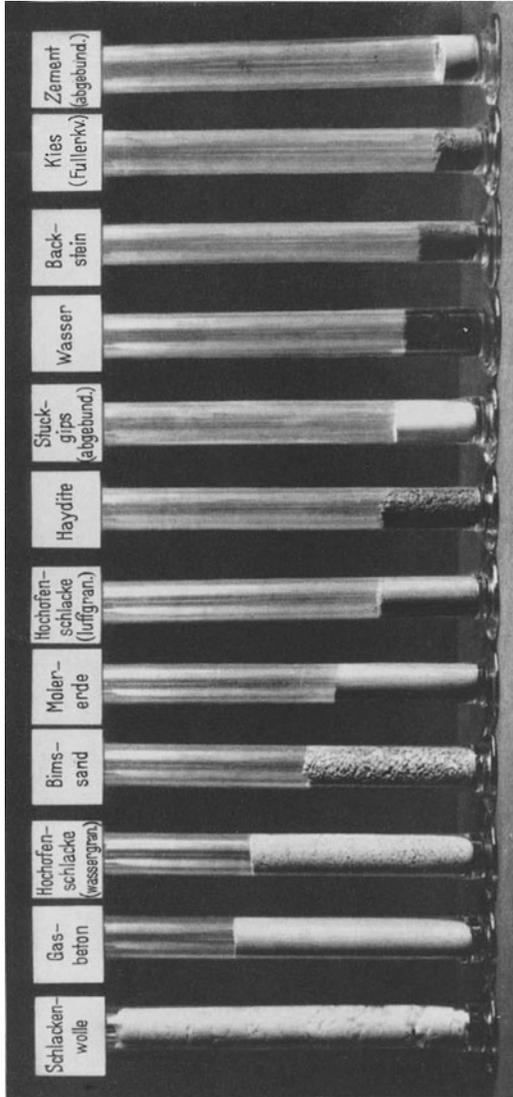
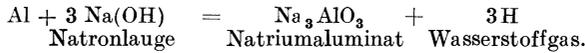


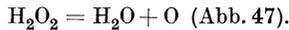
Abb. 47. Gewichte von Bims, Zement und Stückschlacke. In den Zylindern sind jeweils gleiche Gewichte verschiedener Baustoffe eingebracht. Es zeigt sich, daß das Gewicht und somit auch die Wärmehaltung besonders bestimmt ist durch die Form: Beispielsweise nimmt Stückschlacke einen nur geringen Raum ein, Schlackenwolle dagegen einen vielfacheren, da sie stark aufgebläht ist. Hüttenbims liegt dazwischen auf derselben Stufe wie gewöhnlicher Bims.

**β) Gasentwicklung.** Die Gaserzeugung im Zement 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 gebrauchen, indem man als Anmachwasser Wasserstoffsuperoxyd nimmt ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), 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 Baustoffe<sup>1</sup>, 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 feldspatigen Ursteinen, 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 tonereicher. Tonsubstanz zeichnet sich dadurch aus, daß sie mit Wasser eine plastische Beschaffenheit annimmt, also bildsam wird. 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 meist 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 Tonerde reines

<sup>1</sup> Vgl. auch Drögler: Alte Dachziegel. Tonind.-Ztg. 1938, Nr. 31/32.

Aluminiumoxyd ( $Al_2O_3$ ]). Aus dem reinen Kaolin entstehen beim Brennen bei Temperaturen von etwa  $1000^\circ$  (Weißglut) unter Wasseraustritt eingefrittete Scherben, die wir als Porzellan kennen. Verunreinigungen, wie beispielsweise durch Eisenoxyd, führen zur Färbung des Scherbens und des ursprünglichen Tones. Sandgehalt, der bei 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 Kanalbecken oder zum Schutz von Beton gegen angreifende Flüssigkeiten (Umstampfung mit Lehm).



Abb. 48. Anlage zur Herstellung von Rohsteinen für Ziegel: Durch den Kastenbeschieber 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: Händle & Söhne, Mühlacker).

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 läßt deshalb Tone, welche recht bildsam und verformbar sein sollen, längere Zeit lagern, 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)<sup>1</sup>; gleichzeitig geringer Kalkgehalt gibt die bekannten gelben Ziegel.

Zur Herstellung von Ziegeln werden die Tone, wenn sie nicht von Anfang an Sand enthalten, mit Sand gemagert, um die Schwindneigung beim Trocknen und Brennen herabzusetzen (Abb. 48). 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 stattfinden durch Brennen mit schwefelhaltiger Kohle.

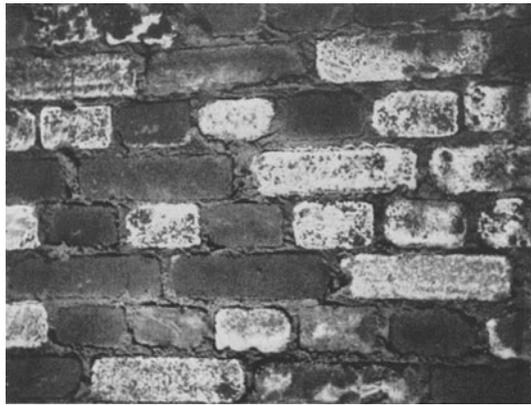


Abb. 49. Die Ausblühungen sind entstanden durch Sulfat, welches mit dem Kalk des Mörtels Gips bildet. Diese Ausblühungen sind schwer abwaschbar.

Der Erfolg 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. 49). 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

<sup>1</sup> Der Name „Klinker“ für hoch erhitze, 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, und beim Vermahlen entsteht der uns bekannte Portlandzement. Diese Vermahlung erfolgt auf großen eisernen Mühlen (vgl. S. 47), gewöhnlich mit 2—3% Gipszusatz. Die Klinker der Ziegelindustrie unterscheiden sich grundsätzlich von diesen Zementklinkern, schon deshalb, weil sie eine ganz andere chemische Zusammensetzung haben (ganz wenig Kalk, viel Kieselsäure und Tonerde) und weil sie ganz anderen Zwecken dienen.

erhitzend abgekühlt und gegen das direkte Feuer, Staub und die Gase geschützt werden sollen. Zu geringe Brenntemperaturen führen zu verwitternden Ziegeln, die unter Umständen auch unter Putz durch Wasseraufsaugung im Frost nach wenigen Jahren zugrunde gehen (Abb. 50).

Wichtig für den Bauingenieur zu wissen ist noch, daß man auch unreine Tone zu reinfarbigen 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, überzieht. Hat nun Grundmasse und Überzug nicht das

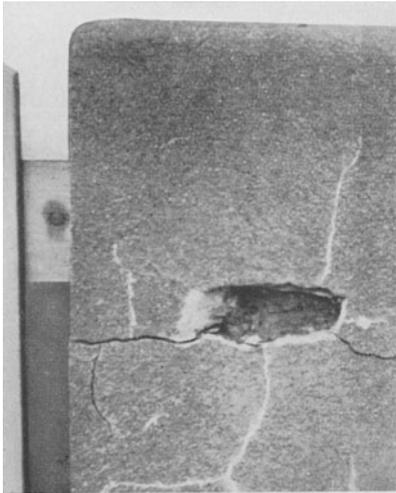


Abb. 50. Gemauerter, mit Putz umkleideter Gartenpfeiler, zerstört durch einen einzigen ungenügend stark gebrannten Ziegelstein.

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 abzdichten 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 Salzmischungen. Feldspatglasuren sind schwerflüssig und werden auf Steinzeug verwendet. Leichter flüssig sind die Blei-, Zink- und ähnliche

sowie die Salzglasuren, zu welcher letzteren man einfach Kochsalz verwendet, welches beim Brennen in den Ofenraum eingestreut wird. Das Kochsalz zersetzt sich hierbei zu 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 leicht Risse, die dazu führen können, daß das Bauwerk, hauptsächlich auf der Schlagseite nicht wasserdicht wird. Wird eine Schlagseite 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 so die bei Klinkerbauten so gefürchteten feuchten Flecke (Abb. 51). Schlagseiten sind deshalb, falls Klinker herangezogen werden, stets mit rissefreien Klinkern in Zementmörtel herzustellen<sup>1</sup>.

### b) Ausblühungen.

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

Am Mauerwerk werden vier 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 Erdreich hinterfüllt sind, in welchem sich verwesende organische Substanzen befinden. Kennlich ist Salpeter daran, daß er überaus feine 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 Natrium stammt aus den Ziegelsteinen, in welche es meist durch schwefel-



Abb. 51. Klinkerbau gegen Schlagregen nicht geschützt, infolgedessen wasserdurchlässige Giebelmauer. Der Wassereintritt ist an den dunklen Stellen, die nach Westen liegen (Schlagregen!) deutlich zu sehen. Das bei unseren Vätern übliche Hervorragelassen des Daches über den Giebel hinaus hatte also seine Berechtigung 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!)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vgl. auch Kohl-Bastian: Fachkunde für Maurer, Berlin 1938.

<sup>2</sup> Vgl. auch Bautenschutz durch handwerksgerechtes Bauen. Baumarkt 1938, S. 1367.

haltige Kohle hineingerät. Man setzt deshalb dem Ton zum Brennen von Ziegelsteinen häufig Bariumcarbonat zu, um das Sulfat in unlöslichen Schwerspat überzuführen, der nicht zu Ausblühungen führen kann. Auch Natriumsulfat ist in Wasser leicht löslich und kann durch häufiges Abwaschen entfernt werden. Es schmeckt etwas bitter und salzig.

### 3. Calciumsulfat, schwefelsaures Calcium, Gips ( $\text{CaSO}_4$ ).

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.



Abb. 52. Kalkausblühungen. Aus dem sehr stark kalkhaltigen Mörtel hat sich Kalk als doppelkohlensaurer Kalk gelöst und als harte weiße Schicht wieder abgetrennt.

### 4. Calciumkarbonat,

kohlensaurer Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ).

Das Calciumkarbonat bildet sich nur aus dem Mörtel, hauptsächlich bei Verwendung von viel Kalk und von sehr kalkreichen Zementen. Es löst sich im Mörtel als wasserlösliches Calciumbicarbonat oder doppelkohlensaures Calcium, aus welchem sich dann wieder Calciumkarbonat unter Entweichen von Kohlensäure zurückbildet, oder aber bei sehr hohem Kalkgehalt als Calciumhydroxyd, welches mit der Kohlensäure der Luft zu kohlensaurem Kalk zusammentritt. Der kohlensaure 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 ist<sup>1</sup>.

Allgemein ist wichtig, unter Verwendung sulfatfreier Steine und nicht zu hochkalkigen Mörtels so zu arbeiten, daß die Ausblühungen von vornherein vermieden werden.

<sup>1</sup> Grün: Lösungerscheinungen an Beton. Bauing. 1930, Nr. 26.

Von gewöhnlichen Mauerziegeln ist auch zu verlangen, daß sie gut gebrannt sind, da sie sonst leicht durch Frost zerstört werden. Dieser Frost zerstört sie auch dann, wenn in Mauern und Pfeilern, die gelegentlicher Wassereinwirkung, also Regen, ausgesetzt sind, die Ziegelsteine verputzt sind, dadurch, daß die Volumenvergrößerung des Wassers beim Frieren das ganze Mauerwerk samt Putz auseinandertreibt. Ungeputztes Mauerwerk kann in solchen Fällen dadurch vernichtet werden, daß die Steine allmählich zu Pulver zerrieseln, herausfallen und nur der Mörtel als Steg stehen bleibt (vgl. Abb. 16 S. 25). 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 zerstört<sup>1</sup>.

## V. Eisen und Stahl.

Das Eisen ist in purem Zustande 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. Verschiedene Eisensorten, welche wir alle aus dem täglichen Gebrauch kennen, sind durchweg kein reines Eisen, sondern kohlenstoffhaltige Sorten, die außer dem Kohlenstoff noch geringe Mengen andere Elemente enthalten. Das Wesen des Eisens ist es nämlich, daß durch verhältnismäßig geringe Beimengungen seine Eigenschaften in sehr weitem Umfange verändert werden. So kann man beispielsweise mit einem Stahlmesser, das ja geringe Mengen Kohlenstoff enthält, reines Eisen ohne weiteres zerschneiden. Die weitere Tatsache, daß man Eisengegenstände mit Stahlmeißel bearbeiten kann, beispielsweise beim Drehen oder Hobeln, ist ja bekannt. Für den Baumeister kommen nicht nur die gewöhnlichen weichen Eisensorten in Frage (Moniereisen, Bewehrungseisen 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) Rohstoffe für das Eisen.
- b) Die Herstellung.
- c) Verschiedene Eisensorten.

### a) Rohstoffe.

Die reinsten Eisenerze sind der Magneteisenstein ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) und der Roteisenstein ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Beide kommen in Schweden vor, außerdem auch an manchen Stellen in Deutschland. Geringer prozentige Erze sind das Brauneisenerz ( $\text{Fe}_4\text{O}_3[\text{OH}]_3$ ), der Spateisenstein ( $\text{FeCO}_3$  kohlensaures Eisen, Eisencarbonat) und der Pyrit oder Eisenkies ( $\text{FeS}_2$ ). Der letztere

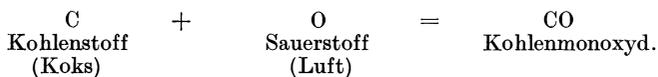
<sup>1</sup> Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie Bd. 10 (1928), S. 117ff. — Toni 1932, Nr. 93.

ist besonders weit verbreitet als Verunreinigung in sehr vielen Gesteinen, bei deren Entstehen organische Vorgänge mitspielten. Die in dem Organismus vorhandenen Eisenverbindungen sind zu Eisenkies geworden, einer gelbglänzenden, häufig schön kristallisierten Verbindung, die man bisweilen in Kohlen, oder besonders gut ausgebildet in Ölschiefer findet. Dieses Eisen ist teilweise Träger des Schwefels in der Kohle oder im Posidonienschiefer, und der Schwefel, der später zu dem hohen Sulfatgehalt der Schlacke führt, stammt hierher.

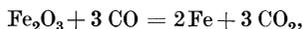
Alle diese Eisenverbindungen enthalten in mehr oder weniger großem Umfang Quarz ( $\text{SiO}_2$  und andere häufig tonerdehaltige oder kieselsäurehaltige Gesteine [Gangart]). Die Gangart muß beim Verhüttungsprozeß beseitigt werden.

### b) Gewinnung des Eisens.

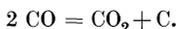
Gewonnen wird das Eisen im Hochofen, einem Schachtofen, in welchem das Eisen zusammen mit Kalkstein und Koks eingebracht wird. In den Hochofen wird von unten durch ein Gebläse der Wind eingedrückt, das ist heiße Luft, die vorerhitzt ist, um die Temperatur zu erhöhen. Im Hochofen spielt sich dann folgender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



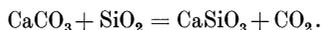
Durch das bei der Verbrennung des Kokses entstandene Gas Kohlenoxyd (CO) wird das Eisenoxyd des Erzes zu Eisen reduziert nach folgender Formel:



Kohlensäure entweicht. Das so 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 Kokses 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  $1500^\circ$  und sammelt sich im unteren Teil des Hochofens als Roheisen 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. 42), die durchweg einen tiefen Schmelzpunkt haben. Der Kalkzusatz hat also den Zweck, derartige Verbindungen mit tiefem Schmelzpunkt zu bilden, da die Gangart allein, die ja in der Hauptsache aus Kieselsäure und Tonerde besteht, bei den Hochofentemperaturen nicht schmelzen würde. Die so ent-

standene 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 Roheisen ist je nach der Möllerschaffenheit, also nach der Beschaffenheit des aufgegebenen Erzes und Gesteins und nach der Hochofenführung entweder graues oder weißes Gußeisen.

### c) Verschiedene Eisensorten.

Das graue Gußeisen, uns allen bekannt von den gewöhnlichen Haushaltswaren, enthält ungefähr  $3\frac{1}{2}\%$  Kohlenstoff (C), welcher in Form von Graphitkristallen ausgeschieden wird. Beim Auflösen in Salzsäure bleibt er 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 und zieht sich beim Erkalten nicht zusammen, sondern dehnt sich ein klein wenig aus. Es füllt deshalb die Form und ist für scharfkantige Gußstücke geeignet. Sein Siliciumgehalt beträgt ungefähr  $2\%$ . Nur siliciumhaltiges Eisen vermag so große Mengen Kohlenstoff ( $3\text{--}4\%$ ) zu lösen und gibt das genannte graue Roheisen.

Manganhaltige Eisen, hergestellt aus manganhaltigen Erzen oder unter Zuschlag von Manganerzen, scheidet keinen Graphit ab. Es enthält dann auch wenig Silicium und erstarrt beim Abkühlen zu dem weißen Roheisen. Aus diesem weißen Roheisen ist der Kohlenstoff nicht ausgeschieden, sondern es enthält ihn gelöst. Bei Auflösen in Säure bleibt deshalb kein kristallisierter 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

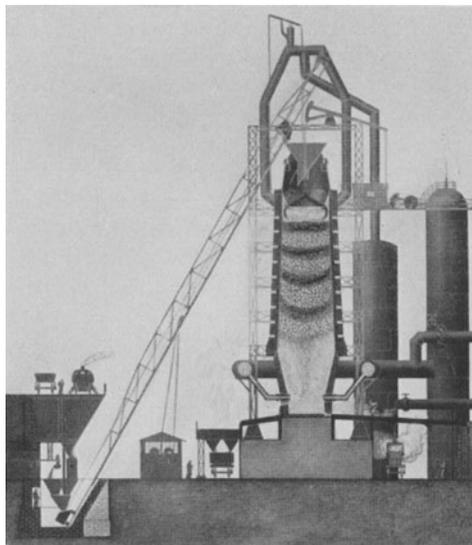


Abb. 53. Schema eines Hochofens. In den Hochofen werden von oben (von der Gicht) Eisenerze, Kalkstein und Koks eingebracht. Der Koks reduziert beim Verbrennen das Eisenoxyd zu metallischem Eisen, welches durch Kohlenstoffaufnahme schmilzt. Die Gangart (Ton und Sand) schmilzt mit dem eingebrachten Kalkstein zu Hochofenschlacke, die in der Rast des Hochofens sich in glühend-flüssigem Zustand von dem Eisen scheidet. Beide Schmelzen, Schlacke und Eisen, verlassen den Ofen durch die Abstichformen.

die Form trotz seines niedrigen Schmelzpunktes von etwas über  $1000^{\circ}$  nicht scharf aus. Gußstücke aus ihm müssen demgemäß hinterher bearbeitet werden. 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 nicht kristallisiert abzuscheiden und derartiges Eisen ist dann mit einer harten Schicht von weißem Roheisen überzogen. Derartige 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) gelangt das flüssige Roheisen in die Bessemerbirne, wo dann Luft von unten eingedrückt wird. Hierdurch verbrennt der hohe Kohlenstoffgehalt von ungefähr 3% zu Kohlensäure, ebenso das Silicium zu Kieselsäure. Die Kohlensäure entweicht als Gas, die Kieselsäure scheidet sich ab; gleichzeitig wird die Phosphorsäure zu der bekannten Bessemer-Schlacke gebunden und dem Eisen entzogen, während die Qualität des Eisens verbessert wird und gleichzeitig in der Schlacke ein ausgezeichnetes Düngemittel, die Thomasschlacke entsteht, deren Bildung durch Kalkzusatz noch begünstigt wird. Das entstandene Eisen hat nur noch  $\frac{1}{2}\%$  Kohlenstoff und seine Eigenschaften sind weitgehend verändert. Es besitzt einen sehr hohen Schmelzpunkt, der bei ungefähr  $1500^{\circ}$  liegt, es ist starkplastisch, also nicht gießbar, läßt sich dagegen schmieden, da es weit unterhalb seines Schmelzpunktes weich wird. Bei etwas höherem Kohlenstoffgehalt von ungefähr 1% ist diese Art Eisen härtbar, d. h. das ursprüngliche weiche Material wird beim Erhitzen und nachfolgendem schnellen Abkühlen hart. Man nennt härtbares Eisen Stahl. Es hat einen höheren Schmelzpunkt als das Gußeisen, aber einen niedrigeren als Schmiedeeisen.

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, so daß das Verfahren etwas besser regelbar ist.

Wichtig ist noch die Möglichkeit der Beeinflussung der Eiseneigenschaften durch die verschiedenen anderen Metalle. So macht Nickel den Stahl außerordentlich zäh, Wolfram, Molybdän und Vanadin machen ihn sehr hart und wärmebeständig, so daß Drehstäbe (Schnelldrehstäbe) 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 geringen Gehalt derartiger Metalle beruht auch die Verhinderung des Rostens (nichtrostender Stahl)<sup>1</sup>.

Für hoch beanspruchte Bauwerke werden neuerdings auch hochwertige Eisensorten verwendet, um möglichst geringe Abmessungen mit

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

möglichst hoher Beanspruchungsfähigkeit zu vereinen. (Die Unterlagen für die Herstellung von Betonbauwerken mit Eisen-Einlagen oder mit hochwertigem Eisen sind in den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton vereinigt und dort nachzuschlagen.)

Sehr erhebliche Ersparnisse an Gewicht und an Fracht lassen sich erzielen durch Anwendung hochwertiger Baustähle. So würden die heutigen großen Stahlisenbahnbrücken bei den gewaltigen Lasten unserer Lokomotiven und unserer großen Güterwagen gar nicht mehr gebaut werden können, wenn nicht der hochwertige Baustahl St 52 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 altmodischen Baustahl St 37<sup>1</sup>. 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% Gewichtspersparnis vorhanden 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<sup>2</sup>.

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 grade 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.

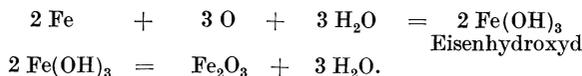
Das Rosten des Eisens ist eine Oxydation. Unter einer Oxydation versteht man die Zufügung von Sauerstoff zu einem vorhandenen Element oder einer Verbindung. Es bildet sich bei der Oxydation des Eisens also Eisenoxyd und zwar über dem Umweg von Eisenhydroxyd, das ist also wasserhaltiges Oxyd und Eisenkarbonat. Eisen kommt zwei- und dreiwertig vor. Zunächst bildet sich immer die zweiwertige Form, die aber sehr schnell in die dreiwertige Form übergeht. Auch Mischungen zwischen zwei- und dreiwertigem Eisen kommen vor, beispielsweise „Hammerschlag“ beim Schmieden durch Verbrennung des Eisens ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

<sup>1</sup> Schaper: Der hochwertige Baustahl St 52 im Bauwesen. Bautechnik 1938, S. 649.

<sup>2</sup> Das Verfahren wird von Wayß und Freytag u. a. durchgeführt.

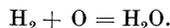
an der Luft<sup>1</sup>. Das Rosten findet überall da statt, wo Eisen mit Wasser und Sauerstoff in Berührung kommt. Trocken es Eisen reagiert nicht mit Sauerstoff, um so schneller dagegen feuchtes und ganz besonders intensiv ist die Reaktion, wenn geringe Mengen von Säure, seien es auch nur schwache Säuren oder beispielsweise Kohlensäure oder Salze zugegen sind. Deshalb rosten Eisen in stark kohlenensäurehaltiger 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 Anfrassungen von Eisenrohren in Wasserleitungen, denen kohlenensäurehaltiges Wasser zugeführt wird. In vielen Städten sind dadurch kostspielige Zerstörungen der Wasserleitung hervorgerufen worden. Um dies zu verhindern, ist es notwendig, das Wasser, bevor es die Leitung betritt, kohlenensäurefrei zu machen durch Überfließenlassen über kohlen-säurem Kalk oder durch Lüftung. Bei der Lüftung entweicht die Kohlensäure als Gas. Bei Überfließen über kohlen-säuren Kalk löst die Kohlensäure den Kalk auf und wird dadurch abgesättigt, das Wasser wird hier allerdings härter. Auch der intensive Rostvorgang in Steinholzfußböden ist auf diese Beschleunigung der Reaktion im vorliegenden Falle 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 und durch Strömung bilden, die die Rostbeschleunigung im Gefolge haben.

Die einfache Formel für das Rosten ist:

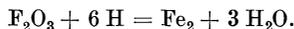


Als Zwischenstadium bildet sich auch Eisenhydroxydul ( $\text{Fe(OH)}_2$ ), welches aber schnell in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  übergeht.

Die Zufügung von Wasserstoff wirkt in entgegengesetzter Weise, da man sich vorstellen kann, daß der Wasserstoff Sauerstoff an sich reißt und Wasser bildet nach der Formel:



Einen derartigen Vorgang nennt man Reduktion. 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 (s. oben), 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 entrißt. Dabei verbrennt er selbst zu Kohlensäure, die entweicht (Näheres s. oben).

<sup>1</sup> Die beim Schmieden oder Gießen unter blendender Lichterscheinung wie Feuerwerk in der Luft zerplatzenden Teilchen sind „brennendes Eisen“.

Wird 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 tritt der sog. Lochfraß ein, 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 die 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 oder nur selten nachgefüllt, so sind die auftretenden Rosterscheinungen minimal und ohne Bedeutung für die Lebensdauer der Anlage.

Schutz gegen Rostbildung bietet neben den schon erwähnten Verzetzen 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 Menniganstrich ist oft schädlicher als nützlich, wenn er zu dünn ist. Mehrmaliger Anstrich ist stets erforderlich, wenn der Film dicht sein soll und selbstverständlich Wiederholung des Anstrichs mehr oder weniger häufig, je nach den Bedingungen, denen der Anstrich unterliegt; denn jeder Anstrich geht im Laufe der Zeit infolge seiner organischen Grundlage zugrunde. Wichtig ist zur Erhaltung von Bauwerken, 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 bleiben. Gerade solche Wasserecken, in denen sich kohlen säurehaltiges und schwefel säurehaltiges (Rauchgase!) Wasser ansammeln kann, sind die Ausgangspunkte für die Verrostungen, die in kurzer Zeit so stark werden können, daß selbst die Standfestigkeit des Bauwerks beeinträchtigt wird.

## 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 als Aluminiumsilikat = Ton das verbreitetste Metall auf der Erde, dennoch wurde es, da man es anfangs nicht herstellen konnte, erst als eines der allerletzten Metalle dem menschlichen Gebrauch in gediegener Form zugänglich gemacht. Es kostete je kg

1854 . . . .	800 RM.
1892 . . . .	war der Preis durch Vervollkommnung der Methode und Einführung der Elektrolyse auf 5 RM gesunken.
1909 . . . .	1,40 RM.
Heute kaum.	1,— RM.

Die Gewinnung des Aluminiums geschieht heutzutage ausschließlich auf elektrolytischem Wege und zwar folgenderweise<sup>1</sup>:

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

<sup>1</sup> Näheres siehe Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. I S. 252, Abb. 96.

von ungefähr 7 V geschickt. Die Ofenfütterung bildet die Kathode und auf ihr scheidet sich das glühendflüssige Aluminium bei einer Badtemperatur von ungefähr  $800-900^{\circ}$  ab, während bei dieser Zerlegung des Aluminiumoxyds ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) in Aluminium (Al) und Sauerstoff (O) der Sauerstoff sich an der von oben her in das Bad eintauchenden Kohleanode abscheidet und hier mit deren Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennt. Die im Bad gelöste Tonerde wird also dauernd zu Aluminium reduziert und muß deshalb durch dauernde Zugabe von Tonerde ungefähr

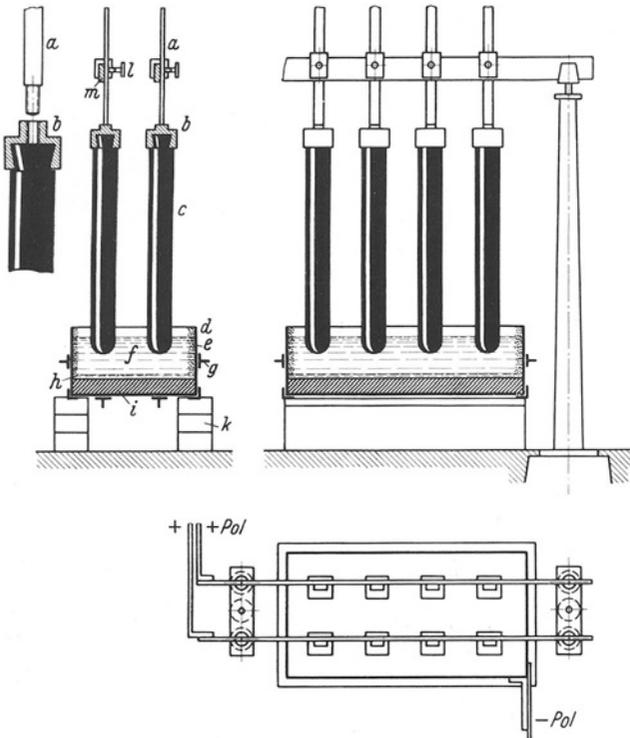


Abb. 54. Aluminiumbad nach WINTELER.

*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 gleicher Höhe gehalten werden (Abb. 54). Die Elektroden verbrennen durch die Aufnahme des Sauerstoffs und sind deshalb von Zeit zu Zeit zu erneuern. Das glühendflüssige Aluminium wird durch Abstechen oder Herausschöpfen 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

neuerdings gelungen 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 es sogar als Leitungsdraht (mit und ohne Stahlseele) für elektrischen Strom verwenden kann, ist sein Anwendungsbereich so erweitert, daß wir zweifellos einem Leichtmetallzeitalter entgegengehen. Denn wir sind ja imstande, Aluminium in beliebigen Mengen aus Ton zu gewinnen, wenn uns nur genügend elektrischer Strom zur Verfügung steht, während andere Metalle wie Kupfer

	Al	Silicium	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

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

Eigenschaften: Das spezifische Gewicht des Aluminium ist 2,7. Die Festigkeit seiner Legierungen beträgt 38—42 kg je qmm. Die Drähte können bis zu großer Dünne ausgezogen werden. Wie die obige Zusammenstellung zeigt, bestehen alle Erzeugnisse mit über 95% aus Aluminium. 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

DIN-Bezeichnung	ZerreiBfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung %
MgAl <sub>3</sub> . .	25—28	8—12
MgAl <sub>6</sub> . .	28—32	11—16
MgMn <sub>2</sub> . .	19—23	1,5—5

der Vereinigten Deutschen Metallwerke, Frankfurt a. M. ist die korrosionsbeständigste Legierung MgMn<sub>2</sub>. 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 nebenstehende Tabelle (Abb. 55).

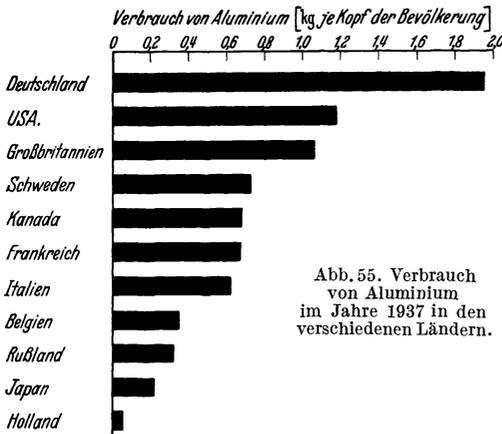


Abb. 55. Verbrauch von Aluminium im Jahre 1937 in den verschiedenen Ländern.

Entwicklung auf den Kopf der Bevölkerung gestiegen ist, zeigt die nebenstehende Tabelle (Abb. 55).

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, Arma-

turen u. dgl. zur Gewichtserleichterung 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 Seebauer<sup>1</sup> sind zur Erzeugung von 1 t Aluminium 22 000 kWh Strom erforderlich. Auch Kalziumkarbid, Buna, Stickstoff und Edelmetalllegierungen 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 als elektrisches Element wirkt und gelöst wird. Deshalb muß beim Nageln von Aluminiumblechen auf Holz der Eisennagel von dem Aluminium durch ein Gummiplättchen od. dgl. getrennt werden<sup>2</sup>.

## B. Organische Baustoffe.

Die organischen Baustoffe sind entstanden durch Tätigkeit von Tieren oder Pflanzen und enthalten deren Produkte. Allerdings sind auch die Muscheln durch eine derartige Tätigkeit aufgebaut, sie bestehen aus kohlensaurem Kalk, man nennt sie aber 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, bei dem wieder der wichtigste Abschnitt der Schutz gegen die Tätigkeit anderer Lebewesen ist, die es unter Kohlensäureentweichung zu vernichten drohen. Zur Abschließung dienen nicht nur Dachpappen und Kitte, 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. Holz<sup>3</sup>.

Im Leben des Baumes hat das Holz verschiedene Aufgaben zu erfüllen, es hat 1. den Baumstamm zu bilden, der die Blätterkrone trägt, 2. vermittelt es den Saftverkehr zwischen dieser Blätterkrone und den Wurzeln, schließlich dient es noch als Speisekammer für Reservestoffe, wie beispielsweise Stärke. Entsprechend dieser vielfachen Aufgabe be-

<sup>1</sup> Vgl. Umschau 1939, S. 140.

<sup>2</sup> Näheres vgl. Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. I S. 246.

<sup>3</sup> Vgl. auch Prof. Kollmann: Technologie des Holzes. Berlin: Julius Springer 1936.

steht das Holz aus Zellen, in der Hauptsache aus der Zellulose, welche faserig ist, die dann durch verholzenden Stoff, das sog. Lignin, starr gemacht wird und so die notwendige Tragfähigkeit erhält.

### Eigenschaften des Holzes.

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

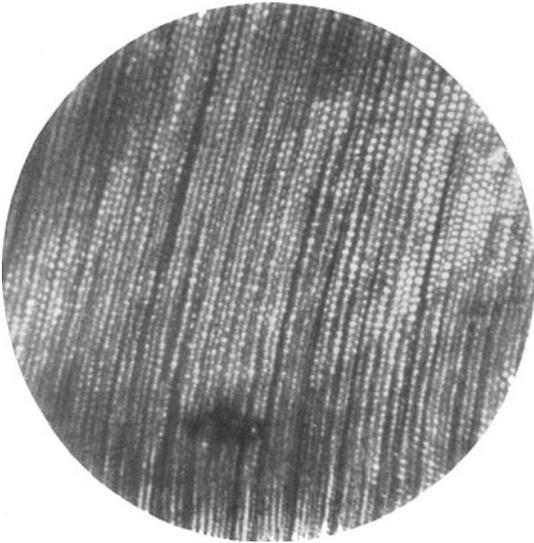


Abb. 56. Mikroaufnahme eines Holzdünnschnitts.

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.

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 ist, 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.

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.

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, also 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. 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.

Nach seiner chemischen Zusammensetzung besteht das Holz zur Hälfte aus Kohlenstoff. Im übrigen sind noch einige Prozent Wasserstoff und über 40% Sauerstoff vorhanden. Manche Hölzer haben außerdem noch geringe Mengen Gerbstoff, wie beispielsweise das Eichenholz oder Farbstoffe, die sog. Farbhölzer, die zu Färben dienen. Die Asche des Holzes, welche nur ungefähr 3% der ganzen Substanzmenge beträgt, besteht zu einem 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.

### 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 gibt es die Destruktions- und die 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.

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 vierstöckigen 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 frei setzt, 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 stark übertragbar, seine Sporen bleiben ein Jahr am Leben und können infolge ihrer Leichtigkeit schon durch Luftzug, durch Stiefel, Hände usw. verschleppt werden, so daß der Hausschwamm besonders leicht übertragbar ist. 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

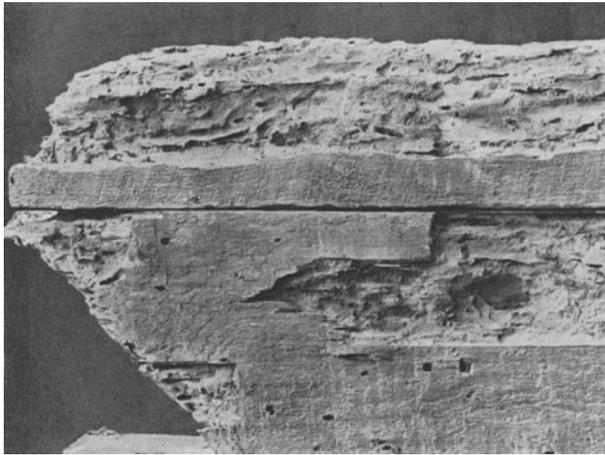


Abb. 57. Beispiel einer Zerstörung durch Holzbock: Der Holzbock zerfrißt das Holz und tritt in letzter Zeit in steigendem Maße auf. Da die Oberfläche zunächst intakt bleibt, werden leicht Zerstörungen bei Festigkeitsuntersuchungen erst später entdeckt<sup>1</sup>. Abhilfe ist nur möglich durch Vergiftung des Holzes.

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 Totenuhren bezeichnet werden. Solche Holzwürmer kommen hauptsächlich in Frage in Möbeln, die sie völlig zu zerfressen vermögen. Diese 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 bei zahlreichen Bohrlöchern erfolgen und oft wiederholt wer-

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

den, so daß auch die Puppen erfaßt werden. Die in dieser Weise behandelten Hölzer werden 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 muß<sup>1</sup>. 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. 57). Besonders großer Schaden wird auch durch Bohrfraß von Muscheln, die wurmgleich bis zu 40 cm lang, und am Kopf mit Platten aus kohlenurem Kalk versehen sind, angerichtet. In wenigen Jahren vermögen diese Muscheln 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 Heimorten 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 gegen jährlich in die Millionen; allein in San Franzisko belief sich der Schaden in den Jahren 1917 bis 1921 auf 25 Mill. Dollar<sup>2</sup>.

Bei Einwirkung von Feuer zerfällt das Holz wieder in seine ursprünglichen Bestandteile.

Holz wird bekanntlich gebildet unter der Einwirkung von Chlorophylls der Blätter, aus der Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) 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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sich zu dem Kohlehydrat, der Zellulose, dem Hauptbestandteil des Holzes ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  xmal) 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 ( $\text{CO}_2$ ) zurück, gleichzeitig Wasser, und es bleiben nur die 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, bleibt ein Teil des Kohlenstoffs als Holzkohle zurück.

### Schutz des Holzes.

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

<sup>1</sup> Hespeler: Neuere Erfahrungen in der Hausbockbekämpfung. Bauing. 1938, S. 283.

<sup>2</sup> Roch: Holzfressende Muscheln als Großschädlinge. Umschau 1938, S. 1128. — Vgl. auch Bärenfänger: Biologische Faktoren bei Unterwasseranstrichen im Meer. Angew. Chem. 1939, S. 72.

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 befindlichen 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, nichtmehr zur Nahrung dienen kann. Zur Bedeckung 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 Bäume 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 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, erst dann gingen sie zugrunde, da nunmehr die Lebensbedingungen für die Zerstörungspilze geschaffen waren, nämlich Zutritt von Luft.

Der Schutz von Holz gegen Fäulnis und Feuer ist selbstverständlich bei der Empfindlichkeit dieses Baustoffes gegen die genannten Einflüsse von großer Wichtigkeit<sup>1</sup>.

### 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 licht undurchlässig 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 naturgemäß 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

<sup>1</sup> Vgl. auch: Der Schutz feuchten Holzes im Bau. Baumarkt 1938 S. 1268 und 1293. — Möra th: Holzschutz, Holzverbindungen und holzsparende Bauweisen. Bautechn. 1938 S. 645. — Holzschutz im Hochbau. Berlin: Bauwelt-Verlag 1939.

an den Stößen bereits vor der Verbauung mit Leinöl zu streichen. Die Lebensdauer wird dadurch stark hinaufgesetzt. Ein derartiger Leinöl-anstrich 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. 129.

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 wässerigen Flüssigkeiten, welche ein Gift gelöst enthalten, wie beispielsweise Sublimat, welches dann die Lebensfähigkeit 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 („Zyanisieren“), Kupfersalze u. dgl. in Betracht. Der wichtigste Teil beim Imprägnieren ist das Verfahren, wie die Imprägnierflüssigkeit dem Holz zugeleitet wird. Beim einfachen Anstrich wird nur die oberste Schicht des Holzes erfaßt. 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 Imprägnierflüssigkeit 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 welcher 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 at auszusetzen, bis es sich völlig mit Luft von diesem Druck gefüllt hat, dann unter noch höherem Druck die Imprägnierflüssigkeit einzupressen (6 at) 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. 58.) 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 2½ auf 30 Jahre, für Telegrafentangen von 8 Jahre auf 15 Jahre bei Zyanisierung, auf 21 Jahre bei Steinkohlenteerimprägnierung. Für Grubenhölzer von 1 Jahr auf 6 Jahre.

Die Kosten für Grubenhölzer 1 m<sup>3</sup> einschließlich Einbaukosten fallen also beispielsweise durch Fluornatriumimprägnierung von 48 RM auf 9,35 RM<sup>1</sup>.

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

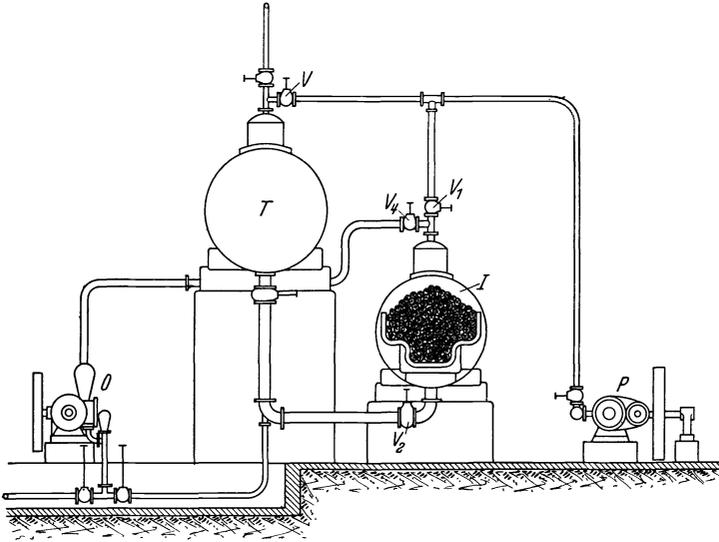


Abb. 58. Holzimprägnierung. Das Holz wird in einem geschlossenen Kessel zunächst unter Druck gesetzt, um die Poren mit Luft zu füllen. Darauf wird die Imprägnierflüssigkeit unter Beibehaltung des Druckes aus dem Kessel *T* zugelassen und der Druck dann erhöht. Durch die Erhöhung des Druckes wird die 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 und das Verfahren zu teuer und das Holz zu naß werden.

### Schutz gegen Schadenfeuer<sup>2</sup>.

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, kohlen-saure 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

<sup>1</sup> Vgl. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, 2. Aufl. S. 164.

<sup>2</sup> Vgl. auch Nowak: Der Feuerschutz des Holzes und seine Prüfung. Mitt. Wiener Städt. Prüfanst. Baustoffe 1938, Folge 1.

festhalten und dieses bei der Verbrennung wieder abgeben, das dann nach Art des heidenfrostschens Phänomens das Holz mit einer die Hitze schwer leitenden Dampfhülle umgibt und so vor der Entflammung einige Zeit schützt.

Allen diesen Mitteln ist aber gemeinsam, daß sie höheren Temperaturen auf die Dauer nicht zu widerstehen vermögen, also die Inbrandsetzung des Holzes nur hinauszögern, nicht aber bei hoher Hitzeeinwirkung (Thermitbomben) 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. Kunsthharze (Kunststoffe, Bakelith).

Die Kunsthharze haben in letzter Zeit eine ganz außerordentliche Bedeutung gefunden. Sie werden schon in großem Umfange verwendet als Holzersatz zur Herstellung von Transformatorengehäusen, Tischplatten, Radiokästen, Unterlagen für Schaltanlagen, Lichtschaltern, Türgriffen, Fenstergriffen, Dosen, Füllfederhaltern, zur Herstellung von Beschlägen usw.

Derartige Kunsthharze 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:  $\text{CH}_2\text{O}$  (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  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ . Beide Verbindungen, Formaldehyd sowie Karbolsäure, die sich bei der Destillation von Steinkohle oder von Holz bilden, stehen uns als Rohstoffe für die Kunsthharze in großem Umfange zur Verfügung; da außerdem den Kunsthharzen 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 ungeheure Gebiet der Herstellung künstlicher Stoffe mit den eigentümlichsten und interessantesten Eigenschaften eine sehr große Zukunft gegeben. Schon jetzt haben sich die Kunsthharze hauptsächlich in Form des Bakeliths 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 Kunsthharzen, die beispielsweise als Klebstoffe, als Lacke für Isolation u. dgl. dienen, und zwischen den festen Kunsthharzen. Von den letzteren das wichtigste ist das Bakelith, 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 war.

Bakelith wird hergestellt aus Phenol und Formaldehyd unter Heranziehung einer Kontaksubstanz, die die Reaktion zwischen den beiden chemischen Körpern beschleunigt ohne sie selbst zu verändern. Bei dieser Reaktion entstehen je nach den Wärmegraden drei Formen, und die Entstehung dieser drei Formen macht das Bakelith so überaus weitgehend verwendungsfähig und leicht verarbeitbar. Es entsteht zunächst als Kondensationsprodukt das Produkt A. Kondensation ist 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 unerschmelzbar 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 Bakeliths 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 dem C beruht die leichte Verarbeitbarkeit des Bakeliths. Man erzeugt nämlich zunächst Bakelith A, mischt es mit Füllstoffe, wie Holzmehl, Graphit, Schwerspat u. dgl. und preßt das Gemisch unter Erhitzung auf etwa 160°. Nunmehr ist Bakelith A in Bakelith B übergegangen und das Stück kann entformt werden (man arbeitet unter Druck, um Blasigwerden durch Gasentwicklung zu verhindern). Da nun das Bakelith 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 überführen<sup>1</sup>.

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.

<sup>1</sup> Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. 2, 1928, S. 60.

### III. Dachpappe.

Die Dachpappe ist gewöhnliche Pappe, 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.

In DIN 2122, Tränkungsmasse für Teerpappe, ist beschrieben, daß die Tränkungsmasse gewonnen wird als Destillat von Steinkohlenroh-teer oder als Schmelzerzeugnis aus Steinkohlenteer und Steinkohlenteeröl u. dgl. Der Erweichungspunkt, der nicht unter 20° und nicht über 40° betragen darf, ist vorgeschrieben.

Prüfungsvorschrift für Tränkmasse . . . . . DIN 2124.  
Prüfungsvorschrift für Teerdachpappe . . . . . 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 Glattwerden zu vermeiden, mit mineralischen Stoffen eingepudert oder mit Sand bedeckt. Bitumendachpappe hat dieselbe Menge Tränkmasse wie andere Pappe, nämlich das Zweifache des Gewichts der Pappe<sup>1</sup>.

#### 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 das Bauwerk selbst 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 so dicht wie möglich hergestellt wird, da alle Anstriche u. dgl. nur zusätzliche Dichtungsmaßnahmen darstellen und da sie ferner, weil sie aus organischen Stoffen bestehen, eine meist beschränktere Lebensdauer haben als die Baustoffe selbst, besonders, wenn es sich um anorganische Baustoffe handelt.

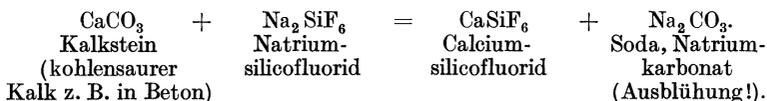
<sup>1</sup> Vgl. auch Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 3, 2. Aufl. S. 520.

Imprägnierung zur Erhöhung der Wasserdichtigkeit ist entweder durchführbar mit Ölen verschiedener Art oder mit wässrigen Flüssigkeiten.

Ölimprägnierung kommt besonders in Frage für Holz (vgl. S. 114) 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. Selbstverständlich ist es auch für Beton anwendbar.

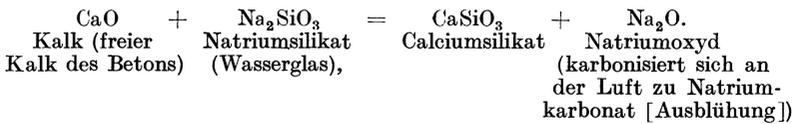
Eine etwas andersartige Anwendungsweise von Ölen u. dgl. gegenüber den Ölimprägnierungen stellt das Czeremley dar, welches vor langen Jahren erfunden, auch heutzutage noch unter verschiedenen Phantasienamen in den Handel kommt. Es handelt sich bei dem Czeremley und der Schar von Mitteln, die nach seinem Vorbild zusammengesetzt werden, um Lösungen von Öl oder Paraffin in Lösungsmitteln, wie Benzol, Trichloräthylen u. dgl. Das Öl bleibt nach Verdunstung des Lösungsmittels im Naturstein, Backstein, Holz oder Beton zurück und macht ihn wasserabweisend. 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 hohem Druck müssen also Schutzanstriche herangezogen werden.

Anorganische Tränkungsmittel sind die Fluuate, die verwendet werden zur Herabsetzung der Fäulnisfähigkeit von Holz und zur Erhöhung der Widerstandsfestigkeit von Beton gegen Abnutzung. Die gleichen Fluuate 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. Die Fluuate setzen die Salzwasserbeständigkeit von Beton nur wenig herauf, erhöhen dagegen die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung, verhindert also Stauben von Fußböden. Sie reagieren meistens sauer, dürfen deshalb nicht in Eisenblechbehältern aufbewahrt werden, da sie diese durchfressen, wenn Feuchtigkeit vorhanden ist. Die Wirkungsweise der Fluuate 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 mit ihnen angestrichene Betonflächen auf, da ein Entweichen der Kohlensäure eintritt.

Als Imprägniersilikate 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.

### b) Umkleidung.

Die wirksamste Abdichtung ist die Umkleidung mit Bitumenpappe und Bleifolienpappe u.dgl. Sie werden hauptsächlich angewandt bei Bauwerken, die hohem Grundwasserstand ausgesetzt sind, bei Tunneln in nassen Gebirgen und bei Brücken, Dächern u.dgl. 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 unter Erschütterungen steht. So werden die Untergrundbahntunnel 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 gehoben und dadurch unwirksam gemacht wird.

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. 43, S. 86). 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.

## IV. Klebmittel.

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. 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 gelartige 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. 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 Kaseinleim, da bei ihnen kaseinsaurer Kalk, also ein Satz entsteht, welches sich in Wasser nicht mehr löst. Es handelt sich also im ersteren Fall der reversibelen 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, 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 Gel leicht unter Abscheidung von Wasser sich kontrahiert und die Klebekraft verschwindet. Praktisch hergestellt wird der Kleister also am besten kurz vor dem Gebrauch durch ein-

faches Aufkochen der Stärke; allzu langes Kochen ist zu vermeiden. Bei längerem Stehen vergärt er 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 unter Einwirkung von Phenol u. dgl. gegen Bakterien geschützt sind, gehören hierher.

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 Festigkeit<sup>1</sup>.

### Wasserbeständige Leimung.

Der Kaseinleim oder Käsekalkleim, der schon seit dem Mittelalter in Verwendung ist, wird hergestellt aus Kalk und Kasein. Kasein selbst wird bekanntlich aus Milch gewonnen. Das Kaseinpulver 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 zellulosehaltigen Klebemittel, die aus Lösungen von Zelluloid (Filmabfälle) bestehen, welches in Azeton, Essigester u. dgl. gelöst ist. Die Klebewirkung beruht einfach auf Verdunstung des Lösungsmittels.

Aus diesen wird häufig künstliches Holz hergestellt, welches man verwendet zum Ausfüllen von Rissen an Balken oder Möbelstücken. Hergestellt werden sie durch Vermischung dieses genannten Klebemittels mit Holzmehl.

Geringere Bedeutung haben Klebemittel aus Kautschuk in Schwefelkohlenstoff oder Chloroform, oder von Harzen u. dgl.<sup>2</sup>.

## V. Kitte.

Kitte sind pastenförmige Massen, bisweilen auch dicke Flüssigkeiten, die dazu dienen, entweder Löcher als Füllkitte oder aber Gebrauchsgegenstände zusammenzufügen, also zu verkitten. Es gibt auch Kitte,

<sup>1</sup> Näheres über Herstellung, Handelssorten usw. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 5 S. 577. II. Aufl.

<sup>2</sup> Vgl. Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, 2. Aufl. S. 568.

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 Erstarung 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 Ullmann<sup>1</sup> folgende Anweisungen:

1. Die Kittstellen müssen völlig rein, insbesondere Metalle von allen Oxydschichten, Öl, Fett, Staub usw. befreit sein.

2. Bei Kittten, 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-, Glycerin- oder Leinölkitten werden die Kittstellen zweckmäßig vor dem Kittten mit Wasserglaslösung bzw. Glycerin oder Leinöl bestrichen.

5. Glatte oder polierte Kittstellen werden vor dem Auftragen des Kittes mittels mechanischer Hilfsmittel aufgeraut.

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

<sup>1</sup> Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, S. 553.

man beispielsweise Plattenbeläge bei Bauwerken, die Säureeinwirkungen ausgesetzt sind, ausfugt und schließlich auch noch ölbeständige Kittre für ähnliche Zwecke<sup>1</sup>.

## VI. 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. Temperafarben, 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. 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, Manganoxycide 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 aufgefrischt. Die Folge davon ist dann, daß der Anstrich später verschießt oder verblaßt, also nicht lichtecht ist. Pigmente, welche mit Kalkwasser als Bindemittel verwendet oder die auf

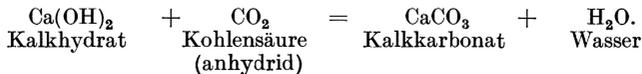
<sup>1</sup> Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, S. 556.

Putz aufgestrichen werden sollen, müssen kalkecht sein, solche, die für Wasserfarben dienen, müssen wasserbeständig sein. Öleuchtigkeit 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.

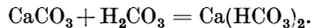
### b) Bindemittel.

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 aus gewöhnlichem Kalkhydrat besteht, mit der Kohlensäure der Luft nach folgender Formel:



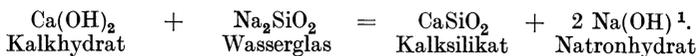
Der hierbei entstehende, in feinen Kristallen sich ausscheidende kohlen-saure Kalk bildet den Binder. Die Bindung ist hauptsächlich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit nicht beständig, da durch weiteren Zutritt von Kohlensäure aus der Luft doppeltkohlen-saurer Kalk nach folgender Formel entsteht:



Dieser doppeltkohlen-saure 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 an-gemacht. 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.

<sup>1</sup> Karbonisiert sich mit der Kohlensäure der Luft zu Natriumkarbonat (Soda).

Bei den Leimfarben ist der Farbkörper 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 Kaseinfarben liegt Milch als Bindemittel vor. Neuerdings werden Kaseinfarben fertig aus Kasein mit pulverförmigem, gelöschtem Kalk gemischt in den Handel gebracht, während man im Altertum mit „Milch malte“. Es entsteht nach dem Vermahlen 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 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 wird. Der Vorgang ist demnach keine Trocknung im landläufigen Sinne, also kein Wasserverlust, 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 polymerisiert und oxydiert ist, es löst sich nur anfangs nämlich noch 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. 28), 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 Um-

setzung der Kasein- und Wasserglasfarben, die häufig gleichfalls mit Entweichen von Wasser verbunden sind, sowie beim Oxydieren der Ölfarben, bei welchen gleichfalls gasförmige Oxydationsprodukte entstehen, treten stets Schrumpfung 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; sie haben daher, weil sie schneller trocknen, in weitem Umfang die Ölfarben verdrängt<sup>1</sup>.

Viele Rostschutz- und Betonschutzanstriche beruhen auf der gleichen Grundlage wie die Nitrozellulosefarben, da auch sie lediglich Lösungen darstellen (Bitumina, Teere, Pech, gelöst in Solventnaphtha, Benzol usw.). Notwendig ist bei diesen Anstrichen, daß der Film kein allzu großes Schrumpfvormögen hat, daß er lichtbeständig und im Alter 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 Heranziehung besonders geeigneter Standöle, Holzöle, Leinöle u. dgl. oder durch Bitumenanstrich durch Mischen von Bitumina, Pechen u. dgl. von verschiedenem Schmelzpunkt. 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. 83. 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. Emulsionen werden für Eisen wenig verwendet, mehr dagegen für Betonschutz, und haben hier den Vorteil, daß sie auch 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 Film<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 7 S. 439ff.: Hier sind auch ausführliche Angaben über Verfälschungsmöglichkeit usw. zu finden.

<sup>2</sup> 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.

## Schluß.

Die Beschäftigung mit Chemie wird dem Architekten und Bauingenieur viel Interessantes bieten und vor allen Dingen ihm das Verständnis für seine Baustoffe erweitern. Es liegt mir nichts daran, aus Architekten und Ingenieuren Chemiker zu machen oder sie mit dem Studium von Chemie zu belasten. Noch weniger ist mir darum zu tun, zu einer Halbbildung Anlaß zu geben, die nie etwas taugt. Aber ein gewisses Kennenlernen der Baustoffe ist notwendig, denn es gibt nicht nur ein inneres Verhältnis zu diesen Baustoffen, sondern es führt zu wirtschaftlichen und kulturellen Vorteilen. Zu wirtschaftlichen Vorteilen, weil richtige angewandte Baustoffe nicht zugrunde gehen und weil Ersparnis beim Bau die Folge diese Kenntnis sind. Kulturellen Vorteil, weil erst dann eine richtige Verwendung unserer modernen Baustoffe möglich ist, wenn man diese Baustoffe kennt. Mit dem Rüstzeug an Baustoffkenntnis, mit welchem noch vor einem Menschenalter unsere Architekten und Ingenieure bauten, ist es heute nicht mehr getan. Der moderne Baumeister muß seine Baustoffe kennen und muß einsehen lernen, daß er ohne diese Kenntnis nicht weiter kommt. Dann wird er durch diese Kenntnis in die Lage gesetzt, Bauausführungen zu wählen und anzuwenden, an die noch vor kurzer Zeit unsere Vorfahren nicht denken konnten. Die modernen Baustoffe, d. h. schwer verfaulbar gemachtes Holz, Stahlbeton, Eisenbeton, Dichtungsstoffe und Kitte geben heute die Möglichkeit, Bauausführungen zu wählen, die dem Baumeister des Altertums oder des Mittelalters bis in die Neuzeit hinein unerreichbare Wunschträume blieben. Mehr Kenntnis der Baustoffe ist deshalb mit Recht seit Jahren der Schlachtruf aufgeklärter Ingenieure und Architekten. Diese Mehrkenntnis der Baustoffe soll dieses Buch von der chemischen Seite vermitteln. Gelingt diese Vermittlung, so hat das kleine Werk seinen Zweck erfüllt, nämlich unseren modernen und modernsten Baustoffen, die oft noch verkannt und in ihren unbegrenzten Möglichkeiten gar nicht begriffen werden, den Weg in die Praxis zu ebnen.

## 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 teilweise 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  $\text{NaCl}$  bisweilen Natriumchlorid, dann wieder Chlornatrium und schließlich salzsaures Natron oder chlorwasserstoffsäures Natrium. Allein zweckmäßig wäre die Bezeichnung „Natriumchlorid“. Ebenso wird auch bisweilen Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) nach dem Auffinder, dem Chemiker Glauber, noch „Glaubersalz“ genannt. Es heißt aber neben „Natriumsulfat“ auch „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 mit weniger Wasser sich auszuscheiden, je nach den Umständen der Entstehung (Temperatur, Druck, Konzentration, Zeit). So schreibt man beispielsweise für das kristallwasserhaltige Natriumsulfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{ aqu}$  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 also nicht etwa aus 100% Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), denn das Molekulargewicht für das ganze Salz setzt sich wie folgt zusammen:

	Molekular- gewicht	%
Natriumsulfat . . . . .	142,16	44,1
10 $\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	180,16	55,9
Summe	322,23	100,0

Es hat also nur einen Gehalt von 44,1%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , der Rest ist Kristallwasser.

Um dem Leser das Studium von chemischen oder volkstümlichen Abhandlungen, in welchen die alten Namen bisweilen noch gebraucht sind, zu erleichtern, ist im nachfolgenden ein Verzeichnis angeführt, in welchem 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.

- Aethanol = Aethylalkohol  $[C_2H_5(OH)]$ .  
 Aethylalkohol  $[C_2H_5(OH)]$  = Alkohol = Aethanol.  
 Ätznatron = Natronlauge = Natriumhydroxyd  $[Na(OH)]$ .  
 Alaun  $[KAl(SO_4)_2 + 12H_2O]$  = 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  $(Al_2O_3)$  gehört zu den „Erden“.  
 Anhydrit = Calciumsulfat  $(CaSO_4)$  wasserfrei = schwefelsaures Calcium.  
 Bariumoxyd (BaO) gehört zu den „alkalischen Erden“.  
 Bariumsulfat  $(BaSO_4)$  = schwefelsaures Barium = Schwerspat.  
 Bittersalz = Magnesiumsulfat  $(MgSO_4 + 7H_2O)$  = schwefelsaure Magnesia.  
 Calcium-Aluminiumsulfat  $(3CaO + Al_2O_3 + 3CaSO_4 + 30H_2O)$  = Zementbazillus = Calciumsulfoaluminat.  
 Calciumchlorid  $(CaCl_2)$  = Chlorcalcium = chlorwasserstoffsäures Chlorcalcium.  
 Calciumhypochlorid  $[Ca(OCl)_2]$  = Chlorkalk.  
 Calciumoxyd (CaO) = alkalische Erden.  
 Calciumsilikat  $(CaO SiO_2)$  auch  $CaSiO_2$  geschrieben = kieselsaures Calcium.  
 Calciumsulfat  $(CaSO_4 + \frac{1}{2}H_2O)$  = Stuckgips.  
 Calciumsulfat  $(CaSO_4)$  wasserfrei = Anhydrit = schwefelsaures Calcium.  
 Calciumsulfat  $(CaSO_4 + 2H_2O)$  = schwefelsaures Calcium = Gipsstein.  
 Calciumsulfat  $(CaSO_4)$  gebrannt, wasserfrei = Estrichgips.  
 Calciumsulfoaluminat = Calcium-Aluminiumsulfat  $(3CaO + Al_2O_3 + 3CaSO_4 + 30H_2O)$  = Zementbazillus.  
 Chilesalpeter = Kaliumnitrat  $(KNO_3)$  = salpetersaures Kalium.  
 Chlorcalcium = Calciumchlorid  $(CaCl_2)$  = chlorwasserstoffsäures Calcium.  
 Chloride: Salze der Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure.  
 Chlorkalk = Calciumhypochlorid  $[Ca(OCl)_2]$ .  
 Chlormagnesia = Magnesiumchlorid  $(MgCl_2 + 6H_2O)$ .  
 Chlormagnesium = Magnesiumchlorid  $(MgCl_2 + 6H_2O)$ .  
 Chlornatrium = Natriumchlorid  $[Na(OH)]$  = chlorwasserstoffsäures Natrium = Kochsalz.  
 Chlorwasserstoffsäure = Salzsäure (HCl).  
 Chlorwasserstoffsäures Calcium = Calciumchlorid  $(CaCl_2)$  = Chlorcalcium.  
 Chlorwasserstoffsäures Natrium = Natriumchlorid  $[Na(OH)]$  = Chlornatrium = Kochsalz.  
 Chromsaures Kali = Kaliumdichromat  $(K_2Cr_2O_7)$  = saures Salz 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  $(CaSO_4 + 2H_2O)$  = schwefelsaures Calcium.  
 Glaubersalz = Natriumsulfat  $(Na_2SO_4 + 10H_2O)$  = schwefelsaures Natrium.  
 Grubengas = Methan  $(CH_4)$  = Sumpfgas.  
 Kalilauge = Kaliumhydroxyd (K OH)  
 Kalium gehört zu den „Alkalien“.  
 Kalium-Aluminiumsulfat = Alaun  $[KAl(SO_4)_2 + 12H_2O]$ .  
 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 = kieselsaures Natrium.

- Kaliwasserglas ( $K_2SiO_3$ ) = Kaliumsilikat = kieselsaures Natrium = Kalisalz der Kieselsäure.
- Kieselfluorwasserstoffsäure ( $H_2SiF_6$ ): Ihre Salze heißen kurz: Fluat e.
- Kieselsaures Calcium = Calciumsilikat ( $CaO, SiO_2$ , auch  $CaSiO_3$  geschrieben).
- Kieselsaures Natrium = Kaliwasserglas ( $K_2SiO_3$ ) = Kaliumsilikat = Kalisalz der Kieselsäure.
- Kochsalz = Natriumchlorid ( $NaCl$ ) = chlorwasserstoffsäures Natrium = Chlornatrium.
- 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 für  $CO_2$  richtig Kohlendioxyd oder Kohlensäureanhydrid sagen müßte.
- Kohlensäureanhydrid ( $CO_2$ ) = Kohlendioxyd = Kohlensäure.
- Kohlensaure Magnesia = Magnesit ( $MgCO_3$ ) = Magnesiumkarbonat.
- Kupfersalz der Schwefelsäure = Kupfersulfat ( $CuSO_4 + 5H_2O$ ) = schwefelsaures Kupfer = Kupfervitriol.
- Kupfersulfat ( $CuSO_4 + 5H_2O$ ) = schwefelsaures Kupfer = Kupfervitriol = Kupfersalz der Schwefelsäure.
- Kupfervitriol = Kupfersulfat ( $CuSO_4 + 5H_2O$ ) = schwefelsaures Kupfer = Kupfersalz der Schwefelsäure.
- Magnesia ( $MgO$ ) = Magnesia usta = Magnesiumoxyd = Magnesit (Bezeichnung ist falsch, sie gebührt eigentlich nur dem Magnesiumkarbonat, der Name „Magnesit“ ist aber in der Steinholzindustrie allgemein üblich).
- Magnesit ( $MgCO_3$ ) = Magnesiumkarbonat = kohlen-saure Magnesia (siehe auch Magnesia).
- Magnesiumkarbonat = Magnesit ( $MgCO_3$ ) = kohlen-saure Magnesia.
- Magnesiumchlorid ( $MgCl_2 + 6H_2O$ ) = Chlormagnesium oder Chlormagnesia.
- Magnesiumchloridlauge = Steinholzlauge ( $MgCl_2$ ).
- Magnesiumoxyd = Magnesia ( $MgO$ ) = Magnesit.
- Magnesiumsalz der Kieselfluorwasserstoffsäure = Magnesiumsiliciumfluorid ( $MgSiF_6$ ): Kurz als Fluat bezeichnet, kommt zur Härtung von Beton in den Handel.
- Magnesiumsiliciumfluorid ( $MgSiF_6$ ) = Magnesiumsalz der Kieselfluorwasserstoffsäure.
- Magnesiumsulfat ( $MgSO_4 + 7H_2O$ ) = schwefelsaure Magnesia = Bittersalz.
- Metanol = Methylalkohol [ $CH_3(OH)$ ].
- Methan ( $CH_4$ ) = Grubengas = Sumpfgas.
- Methylalkohol [ $CH_3(OH)$ ] = Metanol.
- Natrium = Alkalien.
- Natriumkarbonat = Soda ( $Na_2CO_3 + 10H_2O$ ) = kohlen-saures Natron.
- Natriumchlorid ( $NaCl$ ) = Chlornatrium = chlorwasserstoffsäures Natrium = Kochsalz.
- Natriumhydroxyd [ $Na(OH)$ ] = Natronlauge = Ätznatron.
- Natriumsilikat = Wasserglas ( $Na_2SiO_4$ ).
- Natriumsulfat ( $Na_2SO_4 + 10H_2O$ ) = kristallisiertes schwefelsaures Natrium = Glaubersalz.
- Natronlauge = Natriumhydroxyd = Ätznatron ( $Na OH$ ).
- Nitrate = Salze der Salpetersäure.
- Rohrzucker = Zucker ( $C_2H_{12}O_6$ ) = Rübenzucker.
- Rübenzucker = Zucker ( $C_2H_{12}O_6$ ) = Rohrzucker.
- Salpetersäure ( $HNO_3$ ): Die Salze heißen Nitrate.
- Salpetersaures Kalium = Kaliumnitrat ( $KNO_3$ ) = Chilesalpeter.
- Salzsäure ( $HCl$ ) = Chlorwasserstoffsäure: Die Salze heißen Chloride.
- Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) = Vitriolöl oder Vitriol: Die Salze heißen Sulfate.
- Schwefelsaure Magnesia = Magnesiumsulfat ( $MgSO_4 + 7 H_2O$ ) = Bittersalz.
- Schwefelsaures Barium = Bariumsulfat ( $BaSO_4$ ) = Schwerspat.
- Schwefelsaures Calcium = Calciumsulfat (Gips).
- Schwefelsaures Kupfer = Kupfersulfat ( $CuSO_4 + 5 H_2O$ ) = Kupfervitriol.
- Schwefelsaures Natrium = Natriumsulfat ( $Na_2SO_4 + 10 H_2O$ ) = Glaubersalz.

Schwerspat = Bariumsulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) = schwefelsaures Barium.  
 Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10 \text{H}_2\text{O}$ ) = Natriumcarbonat = kohlensaures Natrium oder kohlensaures Natron.  
 Steinholzlauge ( $\text{MgCl}_2$ ) = Magnesiumchloridlauge, oft auch kurz „Lauge“ genannt. Die Bezeichnung „Lauge“ ist hier eigentlich falsch, da chemisch nur den Alkalilaugen, wie Natriumhydroxyd, die Bezeichnung zukommt.  
 Strontiumoxyd ( $\text{SrO}$ ) = alkalische Erden.  
 Stuckgips = Calciumsulfat ( $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ).  
 Sulfate: Salze der Schwefelsäure.  
 Sumpfgas = Methan ( $\text{CH}_4$ ) = Grubengas.  
 Übermangansäures Kali = Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ).  
 Vitriol = Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).  
 Vitriolöl = Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).  
 Wasserglas ( $\text{Na}_2\text{SiO}_4$ ) = Natriumsilikat.  
 Zucker ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) = Rohrzucker (der gewöhnlich in den Handel kommende Zucker ist Rohrzucker) = Rübenzucker.

## Namenverzeichnis.

Im Namenverzeichnis sind nur die allerwichtigsten Schriftstellen angeführt, da das vorliegende Buch möglichst von jeder unnötigen Erwähnung befreit bleiben sollte. Aus diesem Grunde ist auch auf nur verhältnismäßig wenig Schriftstellen hingewiesen. 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

hingewiesen werden.

Die Veröffentlichungen oder Mitarbeit folgender Herren konnte ich dankend verwerten:

Aspdin 40.	Hoffmann 106.	Nowak 120.
Bärenfänger 17.	Intze 34.	Roch 117.
Böhm 80.	Johannsen 106.	Schaper 107.
Bornemann 57, 80.	Joosten 89.	Thompson 80.
Drögsler 97.	Kleinlogel 79.	Ullmann 103, 110, 113,
Durrer 106.	Kohl-Bastian 101.	120, 122, 123, 127, 128,
Geßner 68, 79.	Kollmann 114.	129, 132.
Graf 59, 80.	Kosack 55.	Vögler 80.
Grün 22, 38, 79, 84, 88,	Kühl 65.	Winteler 111.
93, 95, 102, 132.	Madel 117	Witkin 80.
Güldenpfennig 38.	Mast 89.	Zollikofer 68, 79.
Hespeler 117.	Mörath 118.	

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 (3 J.), Dr. Rudolf Tiemeyer ( $1\frac{1}{2}$  J.), Dr. Hans Schlegel ( $1\frac{1}{2}$  J.).

Laboranten: Hans Herres (15 J.), Willi Müller (14 J.), Arno Friedrich (3 J.), Eberhard Schulz (3 J.), Heinrich Jakobs (1 J.), August Blissenbach (1 J.).

Büroangestellte: Alfred Kunze (13 J.), Adolf Weil (12 J.), Hans Schwaen (4 J.), Walter Braun (1 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 unter Fettdruck derjenigen Seitenzahlen, auf denen sich die jeweilige Hauptabhandlung befindet.

- Abbinden von Zement 50.  
Abbindewärme 51.  
Abwässerkanäle 69.  
Adhäsion 126.  
Ätzwirkung von Basen 28.  
Aggressive Kohlensäure 18, 22.  
Aggressivwirkung auf Beton 58, 66, 67.  
Aggressives Wasser 55.  
Aggressivwirkung von Wasser 63.  
Alabastergips 39.  
Alaun 39.  
Aldrey 112.  
Algen, Schutz gegen Besiedlung durch 23.  
Algenbildung an Gesteinen 19.  
Algenzerstörung 23.  
Alit 49.  
Alkalische Reaktion 28, 29.  
Aludur 112.  
Aluminate 29.  
Aluminium 110.  
Aluminium, Verbrauch von 112.  
Aluminiumbad 111.  
Aluminiumchlorid und Beton 81.  
Aluminiumoxyd 29.  
Aluminiumsiliciumfluorid 25.  
Aluminiumsilikate 44, 110.  
Ammoniumchloridzerstörung von Beton 76.  
Ammoniumsiliciumfluorid 26.  
Ammonsalz Wirkung auf Beton 66.  
Amphoter 28.  
Analyse der Zemente 43.  
Andesit 20.  
Anhydrit (Gipsstein) 38.  
Anorganische Baustoffe 12.  
Anstrichfarben 129.  
Arbeitsfugen im Beton 56.  
Architekt, Notwendigkeit der Baustoffkenntnis für den 2.  
Architekt und Baustoffkunde 8.  
Arten von Bindemittel 29.  
Atomgewichte 11.  
Aufbau des Betons 54.  
Auripigment 130.  
Ausblühungen 23, 26, 56, 91, 94, 99, 101.  
Austauschsäurewirkung auf Beton 68.
- Backstein 61, 89.  
Backsteinverwendung 5.  
Bakelith 121.
- Basalt 14, 20.  
Basen 28.  
Bauform, Moderne 7.  
Bauform und Verwitterung 25.  
Baugestaltung als Verwitterungsschutz 62.  
Baugestaltung von Stahlbauten 110.  
Bauingenieur, Notwendigkeit der Baustoffkenntnis für den 2.  
Baukalk 30.  
Baustoffe, Anorganische 12.  
— Chemisch veränderte 5.  
— Geschichte der 3.  
— Historisches über 3.  
— Organische 114.  
— und Bauweisen 6.  
Baustoffverwendung in verschiedener Form 4.  
Bautenschutz, Wasserglasbehandlung als 26.  
Bauweisen und Baustoffe 6.  
Bauwerke, Säurefeste 17.  
Bauwerk, Umkleidung von 125.  
Bauwerken, Dichtung von 81.  
Bauxit 110.  
Beizeerien 67.  
Belit 49.  
Bergtraß 34.  
Bessemer Verfahren 106.  
Beständigkeit von Beton 54.  
Beton 6, 53.  
— Aggressivwirkung auf 58, 66.  
— Aluminiumchlorid und 81.  
— Ammoniumchloridzerstörung von 76.  
— Ammonsalz Wirkung auf 66.  
— Arbeitsfugen im 56.  
— Aufbau des 54.  
— Austauschsäurewirkung auf 68.  
— Beständigkeit von 54.  
— Bittersalzerstörung von 76.  
— Bitumenzusatz zum 82.  
— Chemie des 61.  
— Chemische Einwirkungen auf 63, 67.  
— Dichtigkeit des 54.  
— Dichtung von 81.  
— Dolomitwirkung auf 67.  
— Drainageröhre aus 67.  
— Eisenkarbonatzerstörung von 74.  
— Emulsionen und 84.  
— Entmischung von 55.  
— Erhärtungsvorgänge im 65.

- Beton, Essigsäurewirkung auf 67, 74.  
 — Fette und 77.  
 — Fettwirkung auf 67.  
 — Frosteinwirkungen auf 52, 57.  
 — Frostzerstörung von 49.  
 — Gaseinwirkung auf 64.  
 — Gelbildung im 65.  
 — Gipsbildung im 69.  
 — Glaubersalzwirkung auf 66.  
 — Grünfuttersilos aus 67.  
 — Grundwasserwirkung auf 67, 74.  
 — Hitzeinwirkung auf 57.  
 — Huminsäurewirkung auf 67.  
 — Kohlensäurewirkung auf 67, 71.  
 — Kohlenschlacke und 75.  
 — Klinkerverblendung von 86.  
 — Kornaufbau des Zuschlags 58.  
 — Leicht- 54.  
 — Magnesiumsalzwirkung auf 66, 67.  
 — Magnesiumsulfatzerstörung von 76.  
 — Meerwasserwirkung auf 67, 74, 75.  
 — Milchsäurewirkung auf 67, 74.  
 — Mischungsverhältnis von 56.  
 — Moorwasserwirkung auf 67.  
 — Nachbehandlung von 82.  
 — Ölwirkung auf 67.  
 — Ortpfähle aus 93.  
 — Oxalsäurewirkung auf 66.  
 — Palmitinsäure und 78.  
 — Paraffin und 77.  
 — Pflanzenfette und 78.  
 — Phosphorsäurewirkung auf 66.  
 — Physik des 54.  
 — Rauchgasewirkung auf 67, 68.  
 — Säurewirkung auf 65, 66.  
 — Saure Salzwirkung auf 66.  
 — Schutz von 69.  
 — Schutz von — gegen aggressive Lösungen 85.  
 — Schutzanstriche auf 64.  
 — Schutzanstriche für 83.  
 — Schwefelsäurewirkung auf 67.  
 — Schwefelwasserstoffwirkung auf 67.  
 — Schweflige Säure und 65, 67, 68.  
 — Schwer- 54.  
 — Schwinden von 57.  
 — Schwindrisse im 63.  
 — Sulfatzerstörung von 64, 75.  
 — Verfestigung mürben 88.  
 — Vitriolöl und 67.  
 — Vorgespannte Eisen im 107.  
 — Wärmeausdehnung von 57.  
 — Zuckersäurewirkung auf 67.  
 Betonieren, Frost beim 80.  
 Betonzusätze 79.  
 Betonzusatz, Calciumchlorid als 50.  
 Betonzerstörung durch Chemikalien 67.  
 Bicalciumsilikat 42.  
 Bimsentstehung 92.  
 Bimskies 20.  
 Bimsstein 92.  
 Bindemittel 28.  
 — Arten von 29.  
 — Gips als 29, 90.  
 — Hydraulische 29.  
 — im Sandstein 22.  
 — Kalk als 30.  
 — Unhydraulische 29.  
 Bittersalzerstörung von Beton 76.  
 Bitumendachpappe 123.  
 Bitumenzusatz zum Beton 82.  
 Bleisiliciumfluorid 26.  
 Bleiverguß von Eisen in Naturstein 24.  
 Blutveränderung durch Kohlenoxydvergiftung 33.  
 Boden, Verfestigung von 88.  
 Bohrmuschelzerstörung von Holz 117.  
 Branntkalk 11, 31.  
 Braunkohle 68.  
 Braunkohle als Schwefelquelle 24.  
 Brennen von Zement 44.  
 Brohltal 34.  
 Brown-Millerit 49.  
 Calciumaluminat 40.  
 Calciumchlorid als Betonzusatz 50.  
 Calciumsilikat 30, 40, 50.  
 Calciumsulfat (Gips) 38.  
 Celit 49.  
 Chemie des Betons 61.  
 Chemie, Funktionen des Chemikers, Vorwort S. 1.  
 Chemie, Was ist, Vorwort S. 1.  
 Chemisch veränderte Baustoffe 5.  
 Chemische Einwirkungen auf Beton 63, 66.  
 — Formeln 10.  
 — Sedimentgesteine 17.  
 — Verbindungen 28.  
 — Zerstörungen von Beton 67.  
 — Zusammensetzung des Zementes 42.  
 Chlorcalciumwirkung im Zement 49.  
 Chlorwasserstoffsäure 29.  
 Cilor-Zement 48.  
 Czeremley 83, 124.  
 Dachpappe 123.  
 Dachziegel 97.  
 Destillation, trockene von Holz 115.  
 Diabas 14, 20.  
 Dicalciumsilikat 49.  
 Dichtigkeit des Betons 54, 58.  
 Dichtung von Bauwerken 123.  
 Dichtung von Beton 81.  
 Diorit 20.  
 Doppeltkohlenaurer Kalk 18.  
 Dolomit 17, 20, 77.  
 Dolomitwirkung auf Beton 67.  
 Drainageröhre aus Beton 67.  
 Drehöfen 45.

- Dreistoffsystem Kalk — Kieselsäure —  
 Tonerde 42.  
 Druckwasserwirkung 63.  
 Dünger, Künstlicher 76.  
 Duraluminium 112.
- Eigenschaften der Natursteine 20.**  
 Einteilung 28.  
 Einteilung des Buches 8.  
 Eisen 103.  
 — Lochfraß im 109.  
 — Reduktion von 6.  
 — Rosten von 6, 107.  
 — Rosten von — in Natursteinen 24.  
 — Schutzanstrich für 109.  
 — Veränderung seiner Eigenschaften  
 durch chemische Zusätze 3.  
 Eisengewinnung 104.  
 Eisenkarbonatzerstörung von Beton 74.  
 Eisenportlandzement 41.  
 Eisensulfat 29.  
 Elektron 112.  
 Elektron, Chemischer Aufbau 3.  
 Emulsion und Beton 84.  
 Emulsionen 132.  
 Endotherme Reaktion 30.  
 Energie in den verschiedenen Zeit-  
 altern Vorwort S. 1.  
 Engobieren von Ziegeln 100.  
 Entmischung von Beton 55.  
 Erdkruste, Sialzone der 3.  
 — Simazone der 3.  
 — Zusammensetzung der, Vorwort S. 2.  
 Ergußgesteine 14, 17.  
 Erhärtung von Zement 49, 50.  
 Erhärtungsvorgänge im Beton 65.  
 Erstarren von Zement 49, 50.  
 Erzverhüttung 5.  
 Essigsäurewirkung auf Beton 67, 74.  
 Estrichgips 38.  
 Exotherme Vorgänge 29.
- Färbereien 67.**  
 Farbkörper 129.  
 Feldspat 14, 20, 61.  
 Feldspat, Chemischer Aufbau 3.  
 Felit 49.  
 Fensterglas, Chemischer Aufbau 3.  
 Festigkeit von Puzzolanmörteln 35.  
 Fette Öle 80.  
 Fette und Beton 77.  
 Fettwirkung auf Beton 67.  
 Feuerschutz von Holz 120.  
 Feuersbrunst 24.  
 Fluat 124.  
 Fluat als Bautenschutz 26.  
 Fluatierung 27.  
 Fluatierung auf Beton 62, 83.  
 Formaldehyd 121.  
 Formeln, Chemische 10.
- Formzustand des Zuschlags: Einwir-  
 kung auf die Isolationsfähigkeit im  
 Beton 61.  
 Frost beim Betonbau 80.  
 Frostwirkung auf Beton 52, 57.  
 Frostwirkung auf Natursteine 24.  
 Frostzerstörung von Beton 49.  
 Fußböden 94.  
 Futtermittelsilos 74.
- Gabbro 20.**  
 Gangart 6.  
 Gaseinwirkung auf Beton 64.  
 Gefrierverfahren 88.  
 Gel 126.  
 Gel im erhärtenden Zement 50.  
 Gelatine 126.  
 Gelbildung im Beton 65.  
 Gele im Holz 114.  
 Geschichte der Baustoffe 3.  
 Gesteine, Algenbildung an 19.  
 Gips 19.  
 — (Calciumsulfat) 38.  
 — als Bindemittel 29, 90.  
 — im Zement 39.  
 Gipsausblühungen 102.  
 Gipsbildung im Beton 69.  
 Gipsbildung in Natursteinen 23.  
 Gipsdielen 90.  
 Gipsgehalt im Zuschlag 87.  
 Gipskochen 38.  
 Gipsmörtel 39.  
 Gips Schlackenzement 48.  
 Gipsstein 20.  
 Gipsstein (Anhydrit) 38.  
 Gipszusatz zum Portlandzement 48.  
 Glas, Chemischer Aufbau 3.  
 Glasmehl 34.  
 Glasuren 100.  
 Glaubersalzwirkung auf Beton 66.  
 Glühverlust von Traß 34.  
 Glykokoll 126.  
 Glycerin 78, 79.  
 Granit 13, 20, 22, 104.  
 Granit, Chemischer Aufbau 3.  
 Graphit 105.  
 Grauwacke 20.  
 Grubengas, Entstehung aus Fäkalien-  
 verfaulung 1.  
 Grundwasserwirkung auf Beton 67, 74.  
 Grünfuttersilos aus Beton 67.  
 Grünspan 130.  
 Grünstein 20, 38.  
 Gußbeton 55, 56, 60.  
 Gußeisen 105.
- Hadriansvilla 25.**  
 Hartzuschläge 94.  
 Hausbau in Samoa 4.  
 Hausschwamm 116.

- Heißwasserbereiter 109.  
 Heraklithplatten 91.  
 Historisches über Baustoffe 3.  
 Hitze einwirkung auf Beton 57.  
 Hochofen 104.  
 Hochofenschlacke 14, 34, 44, 105.  
 — (Dünnschliff) 46.  
 — als Zuschlag 59.  
 Hochofenstückschlacke 59.  
 Hochofenzement 41.  
 Hochofenzement und Traß 56.  
 Holz 114.  
 — Bohrmuschelzerstörung von 117.  
 — Chemischer Aufbau 3.  
 — Feuerschutz von 120.  
 — Gele im 114.  
 — Imprägnierung von 118.  
 — Künstliches 127.  
 — Lebensdauer von 120.  
 — Ölfarbenanstriche für 119.  
 — Pigmentanstriche für 119.  
 — Pilze im 116.  
 — Schutz des 118.  
 — Trockenfäule im 116.  
 — Verbrennen von 118.  
 Holzasche 118.  
 Holzbock 117.  
 Holzdünnschliff 115.  
 Holzessig 115.  
 Holzimprägnierung 120.  
 Holzkohle 118.  
 Holzteer 119.  
 Holzverzuckerung 115.  
 Holzwürmer 116.  
 Holzzerstörung durch Bohrmuscheln 117.  
 Hünengräber 5.  
 Hüttenbims 59, 61, 92.  
 Hüttenbims, Schaumslag 92.  
 Hüttenzement 40, 41, 49.  
 Hüttenzement, Erhärten von 49.  
 Huminsäurewirkung auf Beton 67.  
 Hydraule-Fakorten 36.  
 Hydraulische Bindemittel 29.  
 Hydraulischer Kalk 36.  
 Hydraulite 34.  
 Hydrophyl 129.  
 Hydroxylgruppe 28.  
 Hydrozellulose 115.  
  
 Imprägnierung von Holz 118.  
 Irdengut 97.  
 Isarkies 20.  
  
 Kalibergwerk 76.  
 Kaliwasserglas 26.  
 Kalk 29.  
 — als Bindemittel 30.  
 — Hydraulischer 36.  
 — im Dreistoffsystem 42.  
  
 Kalk, Karbonisierung des 33.  
 — Krebse im 32.  
 — Künstlicher hydraulischer 37.  
 Kalkaluminat 42, 44.  
 Kalkarmer Zement 41.  
 Kalkausblühungen 102.  
 Kalkaussinterung 56.  
 Kalkbläschen 32.  
 Kalk erhärtung 32.  
 Kalkfarben 130.  
 Kalklöschchen 32.  
 Kalkmergel 41.  
 Kalkmörtel 34.  
 Kalkmuschel 17.  
 Kalkofen 31.  
 Kalksandstein 92.  
 Kalksilikate 44.  
 Kalksteine 12, 17, 20.  
 Kalksteinkies 20.  
 Kalkteig 32.  
 Kaolin 97.  
 Karbolineum 119.  
 Karbolsäure 77.  
 Karbonisierung des Kalkes 33.  
 Karstbildung 18.  
 Kasein-Farben 131.  
 Kasein-Leim 126, 127.  
 Keimsche Mineralfarben 130.  
 Kies 15, 20.  
 Kies, Kornaufbau von 59.  
 Kieselsäure im Dreistoffsystem 42.  
 Kitte 127.  
 Kitt (Anweisung) 128.  
 Klebemittel 125.  
 Klebstoffe 122.  
 Kleister 126.  
 Klinker 49, 99.  
 Klinker (Ziegelstein) 99.  
 Klinkerverblendung von Beton 86.  
 Kochprobe 48.  
 Kochsalz 29.  
 Kölner Dom 19, 70.  
 Kohäsoin 126.  
 Kohlenmonoxyd 33.  
 Kohlenoxyd, Blutveränderung durch 33.  
 Kohlensäure 19.  
 — Aggressive 69.  
 — als Lebensquelle 22.  
 — als Verwitterungsfaktor 22.  
 — Düngung 30.  
 Kohlensäuregehalt im Regenwasser 22.  
 Kohlensäurevorkommen 30.  
 Kohlensäurewirkung auf Beton 67, 71.  
 Kohlenwäsche 63.  
 Kohlensaurer Kalk 17.  
 Kohlenschlacke und Beton 75.  
 Kohlenstoff, Besondere Eigenschaften bei Bildung chemischer Verbindungen 1.

- Kohlenstoff, Einfluß auf die Beschaffenheit des Eisens 1.  
 Kolloide 98, 126.  
 Konverter Verfahren 106.  
 Korallen 17, 70.  
 Kornaufbau von Kies 59.  
 Korund 94.  
 Kraftverbrauch in den verschiedenen Zeitaltern, Vorwort S. 1.  
 Krebse im Kalk 32.  
 Kreide 30.  
 Kreta, Königsburg in 39.  
 Kristallbildung in Tiefengesteinen 13, 22, 30.  
 Kryolith 110.  
 Ktesiphon, Palast von 5.  
 Künstlicher hydraulischer Kalk 37.  
 Künstliches Holz 127.  
 Kunstharze 121.  
 Kunststeine 9, 89, 93.  
 Kunststoffe 121.  
  
 Lacke 122.  
 Lackmuspapier 28, 29.  
 Lautal 112.  
 Lebensdauer von Holz 120.  
 Leichtbeton 54, 60.  
 Leichtmetall 110.  
 Leichtsteine 92, 95.  
 Leichtziegel 100.  
 Leim 126.  
 Leukolith 39.  
 Lignin 114.  
 Lochfraß im Eisen 109.  
 Lockere Sedimentgesteine 20.  
 Lockerung des Gefüges von Zement 19.  
 Löschkalk 11, 31, 37.  
 Lösungswirkung von Wasser 64.  
 Lokomotivgase 68.  
  
 Magnesia (Leichtmetall-Legierung) 3.  
 Magnesit 90.  
 Magnesit, Chemischer Aufbau 3.  
 Magnesiumoxychlorid 90.  
 Magnesiumsalzwirkung auf Beton 66, 67.  
 Magnesiumsiliciumfluorid 26, 83.  
 Magnesiumsulfatzerstörung von Beton 76.  
 Mahlen von Zement 48.  
 Mansfelder Schlacke 14.  
 Mansfelder Steine 95.  
 Marmorverarbeitung 25.  
 Marmorzement 39.  
 Meerwasserbauten 57.  
 Meerwasserwirkung auf Beton 67, 74, 75.  
 Mennige 109.  
 Milchsäure 29.  
 Milchsäurewirkung auf Beton 67, 74.  
 Mineralfarben, Keimsche 130.  
 Mischung verschiedener Zementarten 52.  
 Mischungsverhältnis von Beton 56.  
 Moderne Bauformen 7.  
 Möller 105.  
 Mörtel, Widerstandsfähigkeit gegen Verwitterung 24.  
 Moorsäure 23.  
 Moorwasserwirkung auf Beton 67.  
 Mühlen 57.  
 Muschelkalk 27.  
 Muschelschalen 17.  
  
 Nachbehandlung von Beton 82.  
 Nagelfluh 18.  
 Natriumchlorid 29.  
 Natriumoleat 79.  
 Natriumsilikat 26.  
 Natronlauge 29.  
 Naturstein 8, 12, 20.  
 — Bleiverguß von Eisen in 25.  
 — Frostwirkung auf 24.  
 — Gipsbildung in 23.  
 — Rosten von Eisen in 24.  
 — Schutz von — gegen Verwitterung 24.  
 — Abdichtung von 89.  
 — Eigenschaften der 20.  
 Natursteinzerstörung durch Rauchgase 23.  
 Nichtrostender Stahl 106.  
 Nitrozellulosefarben 129, 132.  
 Normenzemente 30, 40.  
  
 Ölfarben 131.  
 Ölfarbenanstriche für Holz 119.  
 Ölwirkung auf Beton 67, 77.  
 OH-Gruppe 28.  
 Organische Baustoffe 114.  
 Ortpfähle aus Beton 93.  
 Oxalsäurewirkung auf Beton 66.  
 Oxydation 137.  
  
 Palmitinsäure und Beton 78.  
 Pantheon in Rom 6.  
 Papier, Chemischer Aufbau 3.  
 Pappe, Chemischer Aufbau 3.  
 Paraffin und Beton 77.  
 Pfähle 93.  
 Pflanzenfette und Beton 78.  
 Pflanzenleim 127.  
 Pflanzenwachstum 30.  
 Pflastersteine 14.  
 Ph-Wert von Regenwasser 22.  
 Phenol 121.  
 Phosphorsäurewirkung und Beton 66.  
 Phosphorschlacke 14.  
 Physik des Betons 54.  
 Pigment 129.  
 Pigmentanstrich für Holz 119.

- Pilze im Holz 116.  
 Polymerisation 122.  
 Porenbeton 95.  
 Porphyr 14, **20**.  
 Portlandstein 40.  
 Portlandzement 40.  
 Portlandzement, Gipszusatz zum **48**.  
 Portlandzementklinker **47**, **99**.  
 Portlandzementklinker aus Gips 41.  
 Porzellan 99.  
 Pottasche 26.  
 Putz 94.  
 Puzzolane **34**.  
 Puzzolanmörtel, Festigkeit von **35**.  
**Quarz**, Tridymitwirkung im 24.  
 Quarzit 20.  
**Ramppfähle** 93.  
 Rauchgase (Natursteinzerstörung) 23.  
 Rauchgaswirkung auf Beton 67, 68.  
 Reduktion von Eisen 6.  
 Reduktionsvorgang 108.  
 Regenwasser, Kohlensäuregehalt von 22.  
 — Ph-Wert von 22.  
 — Sulfatgehalt von 22.  
 Roheisen 104, **105**.  
 Rohmehl 41.  
 Rohrkorrosion 108.  
 Rom, Pantheon in 6.  
 Romankalke 37.  
 Rosten von Eisen 6, **107**.  
 Rosten von Eisen in Natursteinen 24.  
 Rüttelbeton 55.  
**Säulenbasalt** 14.  
 Säulenstellung der griechischen Tempel 7.  
 Säurefeste Bauwerke 17.  
 Säuren 28.  
 Säurewirkung auf Beton 65, 66.  
 Salpeterausblühungen 101.  
 Salzbildung 28, 29, 61.  
 Salze 28.  
 Samoa, Hausbau in 4.  
 Sand 15.  
 Sandstein 16, **20**, 22.  
 — Bindemittel im 12.  
 — Chemischer Aufbau 3.  
 Sandzement 53.  
 Saure Reaktion 29.  
 Saure Salze 29.  
 Saure Salzwirkung auf Beton 66.  
 Sealithor-Zement 48.  
 Sedimentgesteine 14, 27.  
 — Lockere 20.  
 — Verfestigte 20.  
 Seife, Chemischer Aufbau 3.  
 Seifenbildung 78.  
 Sialzone der Erdkruste 3.  
 Siemens-Martin-Verfahren 106.  
 Sikkativ 131.  
 Siliciumfluorid 26.  
 Silikate, Chemischer Aufbau 3.  
 Simazone der Erdkruste 3.  
 Soda 26.  
 Sol 126.  
 Sonnenbrenner 14.  
 Sonnenbestrahlung 19.  
 Sorel-Zement 91.  
 Sulfatausblühungen 101.  
 Sulfatgehalt von Regenwasser 22.  
 Sulfatwirkung auf Beton 66, **74**.  
 Sulfaterstörung von Beton 64, **75**.  
 Sulfidgehalt des Zuschlags 88.  
 Schachtföden 45.  
 Schadenfeuer 24.  
 Schalenbeton 7.  
 Schaumslagelacke, Hüttenbims **92**.  
 Schlackensand 35.  
 Schlackenwolle 61.  
 Schmelzkitte 128.  
 Schmierseife 82.  
 Schnellbinden von Zement 79.  
 Schnelldrehstähle 106.  
 Schutz des Holzes 118.  
 Schutz von Beton gegen aggressive  
 Lösungen 85.  
 Schutz von Naturstein gegen Ver-  
 witterung 24.  
 Schutzanstrich **129**.  
 — für Eisen 109.  
 — auf Beton 64, 83.  
 Schutzanstrichwirkung 64.  
 Schwefelsäurewirkung auf Beton **67**.  
 Schwefelsaurer Kalk 38.  
 Schwefelwasserstoff 69.  
 Schwefelwasserstoffwirkung auf Beton  
**67**.  
 Schweflige Säure 68.  
 — Steinzerstörung durch 23.  
 — und Beton 65, 67, 68.  
 Schwemmsand 88.  
 Schwerbeton **54**.  
 Schwinden von Beton 57.  
 Schwindrisse im Beton 83.  
 St. 37 107.  
 St. 52 107.  
 Stadtatmosphäre 22.  
 Stärkekleister 126.  
 Stahl 103, **106**.  
 Stahl, Nicht rostender 106.  
 Stahlbauten, Baugestaltung von 110.  
 Stahlsaitenbeton 107.  
 Stallaktiten 18.  
 Standöl 131.  
 Staufferfett 77.  
 Steingut 99.  
 Steinholz 77, **90**, 108.  
 Steinholz, Chemischer Aufbau 3.  
 Steinmehlzusatz zum Zement 53.  
 Stöchiometrische Verhältnisse 11.

- Stuckgips 38.  
 Stückschlacke 35, 61.  
 Talsperren 22.  
 Teerdachpappe 123.  
 Terrazzo 94.  
 Thermitbomben 121.  
 Thomasschlacke 106.  
 Thurament 35.  
 Tiefengesteine 13.  
 Ton 61.  
 Ton, Chemischer Aufbau 3.  
 Tonerde 97.  
 Tonerdezement 40, 51.  
 Tonerdezement im Dreistoffsystem 42.  
 Tonplatten 97.  
 Tonschiefer 16, 20.  
 Trachyt 20.  
 Transportbeton 65, 97.  
 Traß 34.  
 — Glühverlust von 36.  
 — und Hochofenzement 56.  
 Traßkalkmörtel 34.  
 Traßzement 40, 42, 53.  
 Tricalciumaluminat 49.  
 Tricalciumsilikat 42, 49.  
 Tridymitwirkung in Quarz 24.  
 Trockenfäule im Holz 116.  
 Tropfnasen 25.  
 Tropfsteinbildung 72.  
 Tropfsteinhöhlen 19.  
 Trümmergesteine, Verkittete 15, 16, 27.  
 Tuff 20.  
 Tuffsteine 27, 34.  
 Tuffsteinverwitterung 24.  
 Tunnelzerstörung 68.  
 Umkleidung von Bauwerken 125.  
 Umschläger bei Zement 48.  
 Unhydraulische Bindemittel 29.  
 Urgesteine 13, 22, 27.  
 Verarbeitung von Zement 48.  
 Verbrennen von Holz 118.  
 Verfestigte Sedimentgesteine 20.  
 Verfestigung mürben Betons 88.  
 Verfestigung von Böden 88.  
 Verkittete Trümmergesteine 16, 27.  
 Verlängerter Zementmörtel 36.  
 Verseifung 78.  
 Verwitterung 16, 17, 19.  
 — Bauform und 25.  
 — Wassereinfluß bei der 22.  
 Verwitterungsschutz, Baugestaltung als 62.  
 Vitriolöl und Beton 67.  
 Vorgespannte Eisen im Beton 107.  
 Vorsatzbeton 64.  
 Vulkane 70.  
 Wärmeausdehnung von Beton 57.  
 Warmwasserheizung 109.  
 Wasser, Aggressivwirkung von 63.  
 Wasser, Aggressives 55.  
 — als Zerstörungsfaktor 19.  
 — Lösungswirkung von 64.  
 Wassereinbruch 81.  
 Wassereinfluß bei der Verwitterung 22.  
 Wasserglas 26, 125.  
 Wasserglas, Chemischer Aufbau 3.  
 Wasserglasbehandlung als Bautenschutz 26.  
 Wasserglasfarben 130.  
 Wasserleitungszerstörung 108.  
 Wasserstoffatome in Säuren 28.  
 Wasserzementfaktor 55.  
 Wasserzusammensetzung 29.  
 Weltbild, Modernes 2.  
 Wolframstahl 106.  
 Zellulose 114.  
 Zelluloseleim 127.  
 Zement 40.  
 — Abbinden von 50.  
 — Analyse der 43.  
 — Brennen von 44.  
 — Chlorcalciumwirkung im 49.  
 — Erhärtung von 49, 50.  
 — Erstarren von 49, 50.  
 — Gel im erhärtenden 50.  
 — Gips im 39.  
 — Kalkarmer 41.  
 — Lockerung des Gefüges von 19.  
 — Mahlen von 48.  
 — Schnellbinden von 79.  
 — Steinmehlzusatz zum 53.  
 — Umschläger bei 48.  
 Zementarten, Mischung verschiedener 84.  
 Zementbazillus 76.  
 Zemente 30.  
 Zementeinpresse 89.  
 Zementerhärtung 40.  
 Zementholzplatten 91.  
 Zementkalke 36.  
 Zementkalkmörtel 36.  
 Zementklinker 49.  
 Zementleim 55.  
 Zementmörtel, Verlängerter 36.  
 Zementmühlen 47.  
 Zementsteine 89, 91.  
 Ziegel, Engobieren von 100.  
 Ziegelmehl 34.  
 Ziegelstein 89.  
 — Chemischer Aufbau 3.  
 — (Klinker) 99.  
 Zuckerwirkung auf Beton 67.  
 Zuschlag, Formzustand des 61.  
 — Gipsgehalt im 87.  
 — Hochofenschlacke und 59.  
 — Kornaufbau des 58.  
 Zuschlagsstoffe 21.  
 Zyanisieren 119.