Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 63 (1995)
Heft: 12

Artikel: Chemikalien, die auf Beton wirken
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153810

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Chemikalien, die auf Beton wirken

Beton ist gegenüber vielen, aber nicht allen Chemikalien weitgehend beständig.

Für einmal stehen chemische Reaktionen im Mittelpunkt eines «Cementbulletins». Dieses handelt vom Verhalten von Betonen gegenüber chemischen Verbindungen aller Art. Darüber wurde bereits in der letzten Ausgabe berichtet, allerdings nur in tabellarischer Form [1].

Ein guter Beton ist die halbe Miete

Grundsätzlich ist fachgerecht hergestellter Beton gegenüber vielen Chemikalien, Nahrungsmitteln und chemisch-technischen Produkten weitgehend beständig. Daneben gibt es Situationen, in denen Beton als Baustoff ungeeignet ist oder durch zusätzliche Massnahmen (z. B. eine Beschichtung) geschützt werden muss.
Die wichtigsten Schädigungsmechanismen von Beton sind in *Abbildung 1* schematisch zusammengestellt, die in sehr ähnlicher Art bereits im letzten «Cementbulletin» publiziert worden ist [1]. Im folgenden wird detaillierter darauf eingegangen. Dabei werden ausschliesslich Reaktionen bzw. Veränderungen betrachtet, die den Zementstein betreffen. Veränderungen von Komponenten, die im Zementstein eingebettet sind, also die Korrosion der Bewehrung oder chemische Reaktionen von Zuschlagstoffen, werden hier nicht besprochen.
Ein chemikalienbeständiger Beton muss in erster Linie möglichst dicht sein und wenig (oder noch besser keine) Risse aufweisen. Er sollte ganz allgemein von hoher Qualität sein. Deshalb gilt:

- Verwendung eines geeigneten Zements (unter Umständen Zement mit hoher Sulfatbeständigkeit bei Sulfatgefährdung; puzzolanische Zusatzstoffe wie Silicastaub [4] oder Flugasche [5] in anderen Fällen)
- tiefer W/Z- bzw. W/B-Wert
- ev. Einführen künstlicher Luftporen
- sorgfältige, fachgerechte Verarbeitung des Frischbetons, u. a. gute Verdichtung ohne Entmischung
- ausreichend lange und wirkungsvolle Nachbehandlung

Lösende und treibende Angriffe

Die Zusammensetzung des Zementsteins ist komplex, und entsprechend vielfältig sind auch die Reaktionen, die er eingehen kann. Erinnert sei daran, dass Zementstein aus Portlandzement entsteht, wenn dieser mit Wasser reagiert. Dabei gehen die Hauptkomponenten Tricalciumsilikat (C_3S) und Dicalciumsilikat (C_2S) in Calciumsilikathydrate (CSH) und Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$) über. Ein Teil des Calciumhydroxids wird bei der Hydratation von Tricalciumaluminat (C_3A) und Tetracalciumaluminatferrit (C_4AF) benötigt, der Rest liegt gelöst im Porenwasser oder fest im Zementstein vor. Wie wir sehen werden, ist er an vielen Reaktionen des Zementsteins beteiligt und oft für Betonschäden verantwortlich. Die am häufigsten vorkommenden Schädigungsarten sind in *Abbildung 1* zusammengefasst. Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen

- *lösendem Angriff* (Weg A und Weg B), bei dem der Zementstein fortschreitend von aussen nach innen aus dem Beton herausgelöst wird, und
- *treibendem Angriff* (Weg C), der meistens durch Sulfationen ausgelöst wird, die in den Beton eindringen und dort die Bildung expansiver Verbindungen bewirken, die das Zementsteingefüge zerstören.

Typische Vertreter für die einzelnen Angriffsarten sind

- starke Säuren wie Salzsäure für Weg A_1
- Oxal- und Weinsäure für Weg A_2
- Meerwasser für Weg A_3
- reines oder weiches Wasser für Weg B
- sulfationenhaltige Wässer oder Böden für Weg C

Bereits hier soll festgehalten werden, dass die Wirkung einer Chemikalie auf Beton sehr stark von ihrer Konzentration, aber auch weiteren Randbedingungen wie Dauer der Einwirkung, Temperatur, Anwesenheit anderer Substanzen abhängt. Oft liegen auch Gemische von Chemikalien vor, die sich in ihrer Wirkung auf den Zementstein verstärken oder abschwächen können, oder eine Verbindung reagiert mit verschiedenen Komponenten des Zementsteins. Wenn im folgenden einzelne chemische Reaktionen aufgeführt sind, dann handelt es sich deshalb oft um Vereinfachungen, bei denen die wichtigste Reaktion herausgegriffen wird.

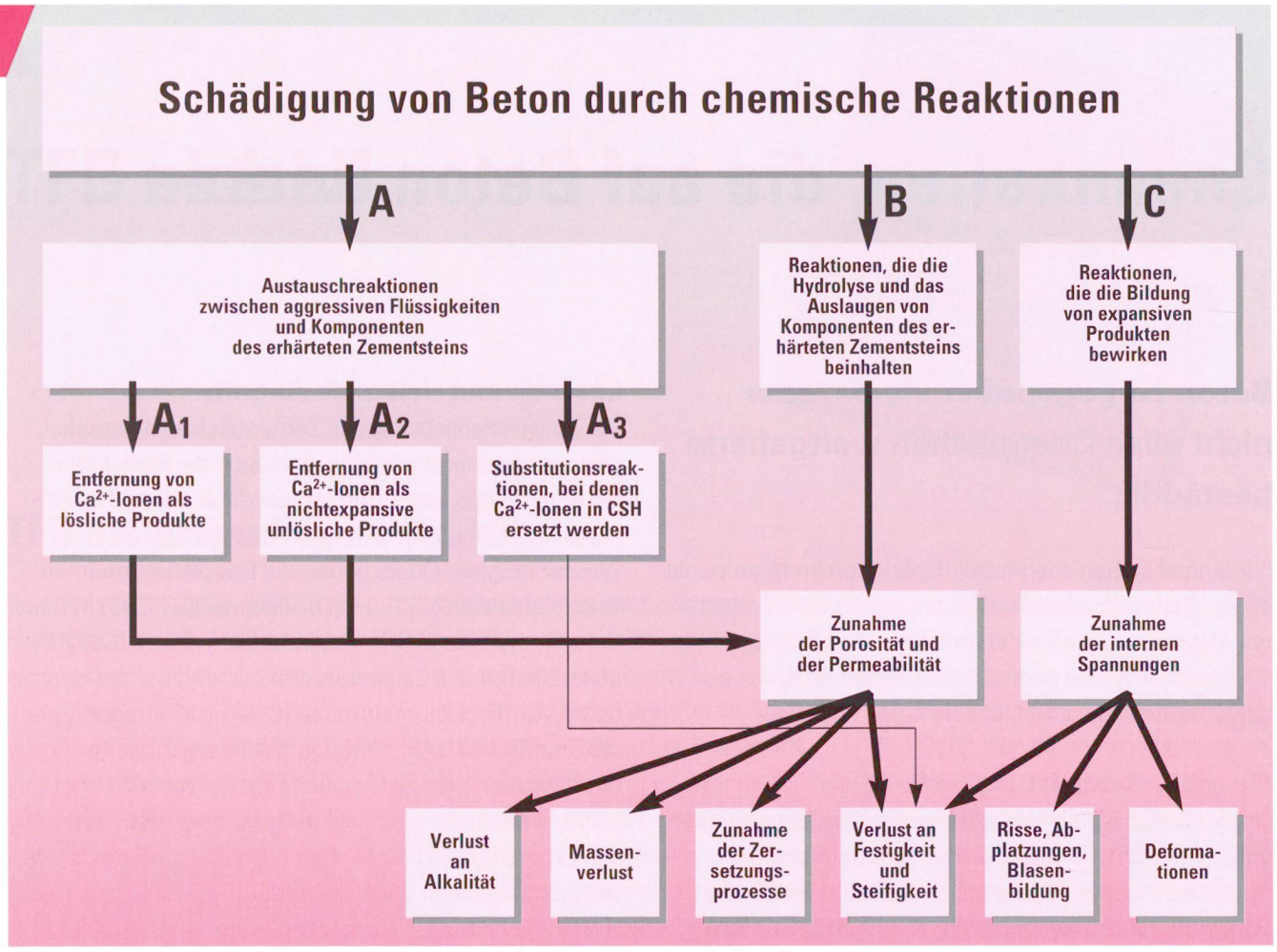


Abb. 1 Chemische Reaktionen, die Betonschäden bewirken (nach [2, 3]). Grafik: TFB/ZSD

Angriff durch weiches Wasser

Weiches Wasser, das weniger als 30 mg CaO pro Liter enthält, kann langsam Calciumhydroxid aus dem Zementstein herauslösen [6]. In stehenden Wässern dauert dieser Vorgang so lange, bis ein stationärer Zustand, das Gleichgewicht, erreicht ist. Wird das Wasser laufend ausgetauscht wie in Fliessgewässern, wird auch laufend Calciumhydroxid entfernt. Schliesslich wird ein Punkt erreicht, an dem die übrigen Bestandteile des Zementsteins instabil werden; der Beton verliert an Festigkeit [7].

Weiches Wasser kann theoretisch sehr grosse Schäden an Beton anrichten. Glücklicherweise wird ein wasserdichter Beton mit einem W/Z-Wert < 0,60 praktisch nicht angegriffen. Eine Ausnahme bilden weiche Wässer, die andere betonangreifende Stoffe oder kalklösende Kohlensäure (siehe später) enthalten [6].

Lösender Angriff durch Säuren

Säuren lassen sich in anorganische und organische Säuren unterteilen. Anorganische Säuren sind beispielsweise Salz-, Salpeter- oder Schwefelsäure, organische Säuren sind Ameisen-, Essig- oder Ölsäure. Aus der in der letzten «Cementbulletin»-Ausgabe [1] publizierten Tabelle ist ersichtlich, dass anorganische Säuren – von einigen Ausnahmen abgesehen – Beton stärker schädigen als organische Säuren.

Viele anorganische Säuren bilden zusammen mit dem $Ca(OH)_2$ (Calciumhydroxid) im Zementstein gut wasserlösliche Verbindungen, beispielsweise

$$Ca(OH)_2 + 2\,HCl \Rightarrow CaCl_2 + 2\,H_2O$$

Calciumhydroxid, Salzsäure, Calciumchlorid, Wasser

$$Ca(OH)_2 + 2\,HNO_3 \Rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\,H_2O$$

Calciumhydroxid, Salpetersäure, Calciumnitrat, Wasser

Etwas vereinfachend kann festgehalten werden, dass eine Säure um so schädlicher ist, je löslicher die gebildeten Calciumsalze sind. Aufgrund der Angaben in *Tabelle 1* gehören deshalb Perchlorsäure, Salpetersäure und Salzsäure zu den stark angreifenden Substanzen, denn die entsprechenden Salze (Calciumperchlorat, -nitrat und -chlorid) weisen eine grosse Wasserlöslichkeit auf. Calciumphosphate, die aus Phosphorsäure

entstehen, sind dagegen nur schlecht wasserlöslich. Sie bilden auf der Betonoberfläche eine Schicht, die weitere Angriffe durch Phosphorsäure verhindert. Schwefelsäure müsste aufgrund der vorstehenden Überlegungen relativ unschädlich sein, denn Calciumsulfate sind laut *Tabelle 1* schlecht wasserlöslich. Hier spielen aber die Sulfationen noch eine zusätzliche betonschädigende Rolle (Sulfattreiben), auf die später eingegangen wird.

Starke anorganische Säuren reagieren nicht nur mit Calciumhydroxid, sie greifen auch die übrigen Bestandteile des Zementsteins unter Bildung von löslichen Calcium-, Aluminium- und Eisensalzen sowie von kolloidalen Kieselsäuren (Kieselgelen) an [7].

Kohlensäure, H_2CO_3, nimmt unter den Betonschädlingen eine besondere Stellung ein. Sie ist in vielen Wässern vorhanden, denn sie entsteht unter anderem dann, wenn sich CO_2 (Kohlendioxid) aus der Luft in Wasser löst oder tierische und pflanzliche Materialien verfaulen.

Nicht alle im Wasser vorhandene Kohlensäure greift den Zementstein an. Spezialisten unterscheiden zwischen gebundener, stabilisierender und aggressiver bzw. überschüssiger Kohlensäure. Gefährlich für den Zementstein ist die überschüssige, auch kalklösend genannte Kohlensäure, die primär mit Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat reagiert [7, 9].

Organische Säuren greifen Beton ebenfalls an, indem sie $Ca(OH)_2$ in leicht- bis schwerlösliche Salze umwandeln. Ein Beispiel:

$$\underset{\text{Calciumhydroxid}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{Essigsäure}}{HO_2CCH_3} \Rightarrow \underset{\text{Calciumacetat}}{Ca(O_2CCH_3)_2} + \underset{\text{Wasser}}{2\,H_2O}$$

Essigsäure gehört zusammen mit Ameisen- und Milchsäure zu den stärkeren organischen Säuren, die recht gut wasserlösliche Calciumsalze bilden und dadurch Beton schädigen. Aus Oxal- und Weinsäure dagegen entstehen schwerlösliche Reaktionsprodukte, die sich sogar als Schutzschichten für Beton eignen [3].

Lösender Angriff durch Salze

Eine ganze Reihe von Salzen greifen den Zementstein durch Bildung wasserlöslicher Salze an, die ausgelaugt werden. So sind abgesehen vom sehr schwer wasserlöslichen Magnesiumsulfat alle Magnesiumsalze in der Lage, Calciumionen im Zementstein zu ersetzen. An der Betonoberfläche bilden sich Magnesiumhydroxid und

Verbindung	Löslichkeit in g/100 ml H_2O bei tiefer Temp.		bei hoher Temp.	
Calciumoxalat (Calciumsalz der Oxalsäure)	0,00067	(13 °C)	0,0014	(95 °C)
Calciumcarbonat (Calcit)	0,0014	(25 °C)	0,0018	(75 °C)
Calciumcarbonat (Aragonit)	0,00153	(25 °C)	0,0019	(75 °C)
Calciumfluorid	0,0016	(18 °C)	0,0017	(26 °C)
Calciumsulfit	0,0043	(18 °C)	0,0011	(100 °C)
Calciumsulfid	0,021	(15 °C), zers.	0,048	(60 °C), zers.
Calciumtartrat (Calciumsalz der Weinsäure)	0,0266	(0 °C)	0,0689	(37,5 °C)
Calciumphosphate	≤ 0,03	(38 °C)	≤ 0,08	(100 °C)
Calciumoleat (Calciumsalz der Ölsäure)	0,04	(25 °C)	0,03	(50 °C)
Calciumhydroxid	0,185	(0 °C)	0,077	(100 °C)
Calciumsulfat Dihydrat (Gips)	0,241		0,22	(100 °C)
Calciumcitrat (Calciumsalz der Zitronensäure)	0,85	(18 °C)	0,96	(23 °C)
Calciumlactat (Calciumsalz der Milchsäure)	3,1	(0 °C)	7,9	(30 °C)
Calciumformat (Calciumsalz der Ameisensäure)	16,2	(0 °C)	18,4	(100 °C)
Calciumchromat	16,3	(20 °C)	18,2	(45 °C)
Calciumacetat (Calciumsalz der Essigsäure)	37,4	(0 °C)	29,7	(100 °C)
Calciumchlorid Dihydrat	74,5	(20 °C)	159	(100 °C)
Calciumthiosulfat	100	(3 °C)	zers.	
Calciumnitrat	121,2	(18 °C)	376	(100 °C)
Calciumbromid	142	(20 °C)	312	(106 °C)
Calciumchlorat	177,7	(8 °C)	sehr gut löslich	
Calciumperchlorat	188,6	(25 °C)	sehr gut löslich	

Tab. 1 Wasserlöslichkeit ausgewählter Calciumsalze [8].

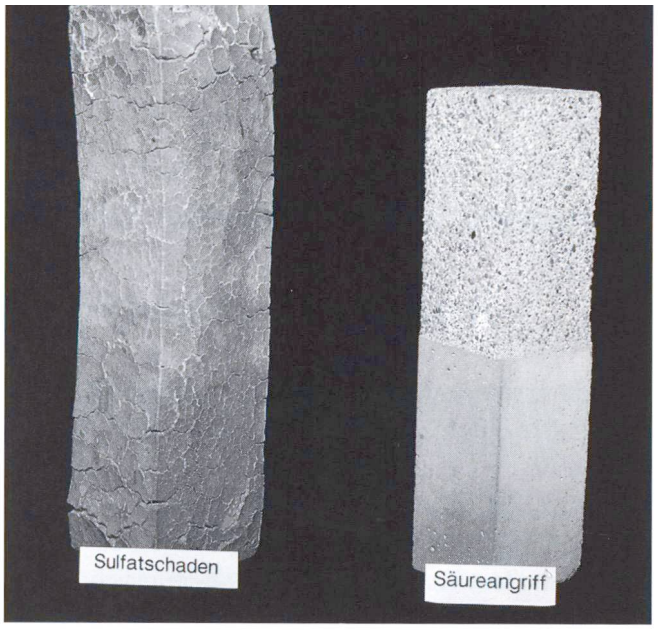
Magnesiumsilikate, die an sich einen weiteren Angriff unterbinden. Allerdings ist Magnesiumhydroxid eine weiche, gallertartige Masse, die durch strömendes Wasser abgetragen wird [7].

Ammoniumsalze lösen vor allem $Ca(OH)_2$ aus dem Zementstein, wobei Ammoniak entsteht. Für Ammoniumchlorid gilt beispielsweise:

$$\underset{\text{Calciumhydroxid}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{Ammoniumchlorid}}{2\,(NH_4)Cl} \Rightarrow \underset{\text{Calciumchlorid}}{CaCl_2} + \underset{\text{Ammoniak}}{2\,NH_3}$$

Das freigesetzte Ammoniak, eine Base, löst sich in Wasser. Es greift Beton nicht an. Ammoniumcarbonat und Ammoniumfluorid, aus denen die schwerlöslichen Verbindungen Calciumcarbonat und Calciumfluorid entstehen würden, bilden keine Gefahr für den Zementstein [7].

Im Gegensatz zur Bewehrung wird Zementstein durch Chloridionen erst in hohen Konzentrationen geschädigt. (Chloride im Anmachwasser bewirken eine beschleunigte Hydratation des noch vorhandenen Portlandzementklinkers.) Chloridionen werden durch Reaktion mit hydratisierten Aluminaten zu schwerlöslichen Chloroaluminaten, beispielsweise $3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot H_2O$ (Friedelsches Salz), teilweise in Beton fixiert. Im Meerwasser haben sie, wie später ausgeführt wird, einen positiven Effekt in bezug auf mögliche Sulfatschäden [3].



Mörtelprismen mit Sulfatschaden (links) und nach einem Säureangriff.
Foto: TFB-Archiv

Baseneinwirkung

Basen sind im allgemeinen wenig schädlich für Beton. Allerdings reagieren starke Basen wie Natrium- oder Kaliumhydroxid mit hydratatisierten Aluminatverbindungen, insbesondere mit Tricalciumaluminiumhydrat. Da Portlandzement nur wenig Aluminate enthält, sind diese Reaktionen von untergeordneter Bedeutung. Bei Natriumhydroxid wurde beobachtet, dass 10%ige Lösungen festigkeitssteigernd wirken; starke Festigkeitsverluste treten erst ab Basenkonzentrationen um 25 % auf [10].

Sulfattreiben

Zu den wohl bekanntesten Betonschäden gehört das sogenannte «Sulfattreiben». Seine Ursachen sind trotz jahrelanger Forschung nicht bis ins letzte Detail geklärt. Als gesichert darf angenommen werden, dass der Hauptgrund für das Auftreten von Sulfatschäden die Bildung von Ettringit ist. Ettringit entsteht durch die Umsetzung von Hydraten, die bei der Hydratation von C_3A (Tricalciumaluminat, $3\ CaO \cdot Al_2O_3$) entstehen. Der Angriff von im Wasser gelöstem Gips lässt sich folgendermassen formulieren [11]:

$$\underset{\text{Tetracalciumaluminathydrat}}{4\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13\ H_2O} + \underset{\text{Gips}}{3\ CaSO_4 \cdot 2\ H_2O} + \underset{\text{Wasser}}{14\ H_2O}$$

$$\Rightarrow \underset{\text{Ettringit}}{3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\ CaSO_4 \cdot 32\ H_2O} + \underset{\text{Calciumhydroxid}}{Ca(OH)_2}$$

Die Entstehung von Ettringit ist mit einer achtfachen Volumenzunahme verbunden. Sobald die nadelförmigen Kristalle nicht mehr in den Porenraum hineinwachsen können, baut sich ein Kristallisationsdruck auf, der zur Dehnung und schliesslich zur Sprengung des Betongefüges führt [11]. Erst in neuerer Zeit als Schädigungsmechanismus erkannt wurde die Thaumasitbildung (z. B. im oberen Hauensteintunnel) [12]. Thaumasit ist ebenfalls ein Expansionsprodukt, das auf die Reaktion von Zementstein mit Sulfationen zurückzuführen ist. Seine Formel

$$CaO \cdot SiO_2 \cdot CaSO_4 \cdot CaCO_3 \cdot 14\ H_2O$$

deutet darauf hin, dass für die Bildung kein hydratatisiertes C_3A benötigt wird. Daraus folgt, dass auch Betone mit sulfatbeständigen Portlandzementen (CEM I 32,5 HS oder CEM I 42,5 HS), die sich durch einen tiefen C_3A-Gehalt auszeichnen, unter ungünstigen Umständen durch Sulfationen zerstört werden können.
Weitere Informationen zum Sulfattreiben und zu Portlandzement mit hoher Sulfatbeständigkeit: [11] und dort zitierte Literatur.

Meerwasser

Meerwasser in der Nordsee und im Atlantik weist einen Salzgehalt von etwa 36 g/l auf. Die betonangreifenden Bestandteile sind hauptsächlich Magnesium-, Sulfat- und Chloridionen. Interessanterweise sind die Schäden durch Sulfationen selbst bei Portlandzement mit hohen C_3A-Gehalten weit geringer als erwartet. Zwar wird viel Ettringit gebildet, doch dieser scheint weniger expansiv zu sein als unter anderen Bedingungen. Einen wesentlichen Anteil daran wird den ebenfalls in grosser Kon-

Literatur

[1] *Hermann, K.*, «Stoffe, die chemisch auf Beton einwirken», Cementbulletin **63** [11], 3–11 (1995).
[2] *Lauer, K. R.*, «Classification of concrete damage caused by chemical attack», Materials and Structures **23**, 223–229 (1990).
[3] *Lachaud, R.*, et *Salomon, M.*, «Les altérations du béton», Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publiques» **428**, 21–63 (1984).
[4] *Hermann, K.*, «Betonzusatzstoffe: Silicastaub», Cementbulletin **63** [7], 3–7 (1995).
[5] *Hermann, K.*, «Betonzusatzstoffe: Flugaschen», Cementbulletin **63** [6], 3–7 (1995).
[6] DIN 4030, Teil 1: «Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Grundlagen und Grenzwerte» (Juni 1991).
[7] *Weigler, H.*, und *Karl, S.*, «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 383–404.
[8] «CRC Handbook of Chemistry and Physics», 63th ed. (1982–1983).
[9] *Kölliker, E.*, «Die Carbonatisierung von Stahlbeton – ein Überblick», Beton- und Stahlbetonbau **85** [6], 148–153 und [7], 186–189 (1990).
[10] *Krenkler, K.*, «Chemie des Bauwesens», Band 1: Anorganische Chemie, Springer-Verlag, Berlin (1980), Seiten 346–380.
[11] *Hermann, K.*, «Betonschäden durch den Angriff von Sulfationen», Cementbulletin **60** [4], 1–8 (1992).
[12] *Schmid, L. R.*, «Tunnelbauten im Angriff aggressiver Bergwässer», Schweizer Ingenieur und Architekt [44], 8–14 (1995).
[13] *Hermann, K.*, «Beton in Kläranlagen», Cementbulletin **61** (23), 1–10 (1993).

zentration vorliegenden Chloridionen zugeschrieben, die Chloroaluminate bilden und an CSH-Phasen adsorbiert werden [2, 3].

Fette und Öle

Zu unterscheiden gilt es hier zwischen Mineralölen sowie pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen. Mineralöle, die als Erdöldestillate fast ausschliesslich aus sogenannten Kohlenwasserstoffen bestehen, sind an und für sich unschädlich, es sei denn, sie enthalten Säuren. Zudem kann die Festigkeit von Beton, der von Mineralölen durchtränkt ist, durch eine Art «innerer Schmierung» zeitweise oder dauernd herabgesetzt sein [7].
Pflanzliche und tierische Öle sind Glycerinester von Fettsäuren. Dies bedeutet, dass sie unter den stark basischen Bedingungen an der Zementoberfläche oder im Zementstein hydrolysieren (verseifen) können. Die dabei gebildeten Seifen erniedrigen die Festigkeit des Zementsteins. Fette sind weniger schädlich als Öle, da sie weniger leicht in Beton eindringen können.

Weitere organische Verbindungen

Viele reine organische Substanzen dringen zwar in den Beton ein, schädigen diesen aber nicht. Beispiele sind reine Kohlenwasserstoffe (z. B. Hexan, Benzol), Benzin (Gemische von Kohlenwasserstoffen), Alkohole (Methanol, Ethanol) oder chlorierte Kohlenwasserstoffe (Tetrachlorethylen, Tetrachlorkohlenstoff).
Ester, zu denen die bereits erwähnten pflanzlichen und tierischen Fette gehören, können verseift werden, wie dies hier am Beispiel von Essigester (Essigsäureethylester) formuliert wird (andere Ester reagieren analog):

$$\underset{\text{Calciumhydroxid}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{Essigsäureethylester}}{2\ C_2H_5O_2CCH_3} \Rightarrow \underset{\text{Calciumacetat}}{Ca(O_2CCH_3)_2} + \underset{\text{Ethanol}}{2\ C_2H_5OH}$$

Da Calciumacetat relativ gut wasserlöslich ist, kann es zum Abbau von Zementstein kommen.

Inhalt 1995

Nr. 1	*Kurt Hermann*	**«Zusatzmittel: BE»**
Nr. 2	*Rolf Werner / Kurt Hermann*	**«Recycling von Bauschutt»**
Nr. 3	*Kurt Hermann*	**«Verdichten mit Innenvibratoren»**
Nr. 4	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe»**
Nr. 5	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe: Hydraulischer Kalk»**
Nr. 6	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe: Flugasche»**
Nr. 7	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe: Silicastaub»**
Nr. 8	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe: Füller»**
Nr. 9	*Kurt Hermann*	**«Zusatzstoffe: Pigmente»**
Nr. 10	*Kurt Hermann*	**«Risse in jungem Beton»**
Nr. 11	*Kurt Hermann*	**«Stoffe, die chemisch auf Beton einwirken»**
Nr. 12	*Kurt Hermann*	**«Chemikalien, die auf Beton wirken»**

Angreifende Gase

In der umgebenden Luft enthaltenes CO_2 (Kohlenstoffdioxid) kann prinzipiell mit allen hydratisierten Zementsteinkomponenten reagieren. Im Vordergrund steht die Reaktion mit Calciumhydroxid:

$$\underset{\text{Calciumhydroxid}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{Kohlenstoffdioxid}}{CO_2} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} \Rightarrow \underset{\text{Calciumcarbonat}}{CaCO_3} + \underset{\text{Wasser}}{2\ H_2O}$$

Calciumcarbonat (Kalkstein) wirkt sich positiv auf die Festigkeit, die Härte und die Dimensionsstabilität des Betons aus. Andererseits erniedrigt es den pH-Wert der Porenlösungen und begünstigt dadurch die Korrosion der Bewehrung. Dieses unter dem Begriff «Carbonatisierung» bekannte Phänomen ist in zahlreichen Publikationen behandelt worden. Weitere Informationen sind beispielsweise in [9] zusammengefasst.
Zu den betonschädigenden gasförmigen Verbindungen gehören Schwefeldioxid (SO_2) und Schwefelwasserstoff (H_2S), wenn sie zu Schwefelsäure oxidiert werden. So wird in Gaszonen von Kläranlagen und Abwasserleitungen oft die sogenannte biogene Schwefelsäurekorrosion beobachtet. Schuld daran sind Bakterien auf den feuchten Bauteiloberflächen, die Schwefelwasserstoff unter Sauerstoffmangel zu aggressiver Schwefelsäure umwandeln [13]. *Kurt Hermann*