

# Über das Angriffsvermögen von Wässern, Böden und Gasen auf Beton

Anmerkungen zu den Normentwürfen  
DIN 4030 E und DIN 1045 E

Von Justus Bonzel und Friedrich Wilhelm Locher, Düsseldorf

## Übersicht

*Gleichlaufend zu DIN 1045 — Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton — und anderer für das Bauen mit Beton wichtiger Vorschriften wird auch die aus dem Jahre 1954 stammende DIN 4030 — Beton in betonschädlichen Wässern und Böden — in einem Arbeitsausschuß des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton neubearbeitet. Der Entwurf für die neue DIN 4030<sup>1)</sup> behandelt nur noch Wirkung, Vorkommen, Untersuchung und Beurteilung der angreifenden Stoffe. Die beton-technischen Maßnahmen werden in DIN 1045<sup>2)</sup> aufgenommen.*

*In DIN 4030 E wurden die Ausführungen über Wirkung und Vorkommen der betonangreifenden Stoffe ergänzt. Aufgenommen wurden zusätzliche Angaben über Schwefelwasserstoff, wasserunlösliche Sulfide, freie organische Säuren und weiche Wässer und über das Vorkommen von betonangreifenden Stoffen in Böden und Gasen sowie Richtlinien für die chemische Analyse von Wässern und Böden.*

*Völlig neu gefaßt wurden die Grundsätze für die Beurteilung des Angriffsvermögens der betonangreifenden Wässer und Böden. Während die derzeit gültige Fassung der DIN 4030 nur wenige, das unterschiedliche Angriffsvermögen der verschiedenen Stoffe nicht berücksichtigende Grenzwerte für den Gehalt an angreifenden Stoffen enthält und die eigentliche Beurteilung dem Fachmann überläßt, gibt die Neufassung für die wesentlichen betonangreifenden Stoffe von Wässern und Böden bestimmte Grenzwerte an, mit deren Hilfe das Angriffsvermögen von Wässern und Böden vorwiegend natürlicher Zusammensetzung weitgehend auch von einem Nichtfachmann beurteilt werden kann.*

<sup>1)</sup> DIN 4030 E — Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Beton- und Stahlbetonbau 63 (1968) H. 4, S. 91/94. Beziehb. durch Beuth-Vertrieb, Berlin 30 und Köln.

<sup>2)</sup> DIN 1045 E — Beton- und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung. Beziehb. durch Beuth-Vertrieb, Berlin 30 und Köln.

*In DIN 4030 E werden die Angriffsgrade schwach, stark und sehr stark unterschieden. Sie wurden so festgelegt, daß Wässern und Böden mit „schwachem“ und „starkem“ Angriffsgrad ein entsprechend zusammengesetzter und hergestellter Beton ausreichend widerstehen kann. Die zur Herstellung von Beton mit ausreichender chemischer Widerstandsfähigkeit erforderlichen beton-technischen Maßnahmen (Zusammensetzung und Dichtigkeit des Betons, Zementart, Betondeckung der Bewehrung usw.) sind in DIN 1045 E aufgeführt. Bei „sehr starkem“ Angriffsgrad ist stets ein dauerhafter Schutz des Betons notwendig.*

## **1. Allgemeines**

Von einem Betonbauwerk wird gefordert, daß es die ihm zugedachte Aufgabe während einer bestimmten Zeit erfüllt. Bauwerke und Bauteile aus Beton müssen daher auch chemisch angreifenden Stoffen widerstehen können, die längere Zeit auf sie einwirken. Der Bauleiter oder der Betoningenieur sieht sich daher häufig vor die Frage gestellt, ob mit einem chemischen Angriff auf Beton zu rechnen ist und welche Maßnahmen ggf. zu ergreifen sind. Aufschluß darüber gibt DIN 4030 — Beton in beton-schädlichen Wässern und Böden.

Die derzeit gültige Fassung der DIN 4030 stammt aus dem Jahre 1954. Sie behandelt Wirkung, Vorkommen, Untersuchung und Beurteilung der angreifenden Stoffe und die baulichen Maßnahmen, d. h. nicht Fragen des Anmachwassers für Beton, sondern Fragen der Einwirkung von betonangreifenden Stoffen auf den erhärteten Beton. Sie ersetzte die aus dem Jahre 1930 stammenden Richtlinien über die Ausführung von Betonbauwerken im Meerwasser und die Richtlinien für die Ausführung von Bauwerken aus Beton im Moor, in Moorwässern und ähnlich zusammengesetzten Wässern.

Schon der Einföhrungserlaß des Normblattes durch das Bundesverkehrsministerium enthielt Vorschriften für die Betonzusammensetzung, die über die Forderungen der DIN 4030 hinausgingen. Im Jahre 1960 gab das BVM einen weiteren Erlaß über die Verwendung der Zemente bei schwach und stark betonangreifenden Wässern heraus. Aber auch mit diesen Änderungen genügt die aus dem Jahre 1954 stammende Fassung der DIN 4030 nicht mehr den heutigen Erkenntnissen.

Die Berücksichtigung der für die angreifenden Stoffe festgelegten Grenzwerte war zwar einfach, die Grenzwerte waren aber zu pauschal. Sie berücksichtigten nicht das unterschiedliche Angriffsvermögen der verschiedenen Stoffe und überließen die eigentliche Beurteilung dem Fachmann. Aus diesem Grunde wurde gleichlaufend zur Neubearbeitung der Stahlbetonbestimmungen (DIN 1045) und weiterer für den Stahlbetonbau wichtiger Normen, wie z. B. DIN 1164, DIN 4226, DIN 1048, auch die Neubearbeitung der DIN 4030 aufgenommen. Dabei erwies es sich als zweckmäßig, nur die Untersuchung und die Beurteilung der angreifenden Stoffe in DIN 4030 E und die betontechnischen Maßnahmen in DIN 1045 E aufzunehmen.

## 2. Angreifende Stoffe

Die Angaben der DIN 4030 E über die betonangreifenden Stoffe, Wirkung und Vorkommen wurden gegenüber der zur Zeit gültigen Fassung ergänzt und in einigen Fällen präzisiert. Aufgenommen wurden zusätzliche Angaben über Schwefelwasserstoff, wasserunlösliche Sulfide, freie organische Säuren und weiche Wässer sowie über das Vorkommen von betonangreifenden Stoffen in Böden und Gasen.

Nach DIN 4030 E können Wässer und Böden betonangreifend sein, wenn sie freie Säuren, Sulfide, Sulfate, bestimmte Magnesium- oder Ammoniumsalze oder bestimmte organische Verbindungen enthalten, ferner Gase mit Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid.

Das Angriffsvermögen *saurer Wässer* hängt von der Stärke und Konzentration der Säure ab. Es wird mit einem pH-Wert (Wasserstoffionen-Konzentration) unter 7 gekennzeichnet und nimmt mit abnehmendem pH-Wert zu. Als betonangreifend gelten im allgemeinen Wässer mit pH-Werten unter 6,5; Werte unter 4,5 kommen bei Wässern natürlicher Zusammensetzung jedoch nur selten vor.

*Freie organische Säuren* wirken im allgemeinen nicht so stark wie die anorganischen Säuren. In einigen Fällen bilden sie mit dem Kalk des Zementsteins schwerlösliche Salze, die einen weiteren Angriff behindern. Die *kalklösende Kohlensäure*, d. i. der kalklösende Anteil der im Wasser gelösten freien Kohlensäure, greift Beton in ähnlicher Weise an wie andere schwache Säuren. Da jedoch ihr Angriffsvermögen durch den pH-Wert nicht ausreichend erfaßt wird, muß sie gesondert bestimmt werden (Abschnitt 5).

*Schwefelwasserstoff*, an seinem Geruch (faulig) leicht erkennbar, ist in Wasser gelöst eine nur schwache Säure, die den Beton praktisch nicht angreift. Er kann jedoch dem Wasser gasförmig entweichen, sich an der Oberfläche feuchten Betons anreichern, als Gas tiefer in ausgetrockneten Beton eindringen und bei Zutritt von Feuchtigkeit und Sauerstoff Schwefelsäure bilden. In schlecht belüfteten Abwasserkanälen können schon ständig im Abwasser vorhandene geringe Mengen Schwefelwasserstoffs zu Säureschäden im Bereich oberhalb des Wasserspiegels führen. (Abwasserleitungen sollten jedoch schon aus anderen Gründen stets belüftet werden.) Auch *wasserunlösliche Sulfide*, die im allgemeinen als Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) und seltener als Markasit ( $\text{FeS}_2$ ) oder als Magnetkies ( $\text{FeS}$ ) in einigen Kies- und Sandböden zu finden sind, können bei Zutritt von Luft und Feuchtigkeit Schwefelsäure und Eisensulfat bilden. *Basische Lösungen* greifen Beton im allgemeinen nicht an. Nach verschiedenen von J. Biczkok beschriebenen Untersuchungen [1] sind selbst 10 %ige Lösungen starker Basen noch unschädlich. Wesentlich konzentriertere Lösungen können jedoch kieselsäurehaltigen Zuschlag und die aluminathaltigen Phasen des Zementsteins auflösen.

Als *austauschfähige Salze*, die Kalk aus dem Zementstein lösen, kommen am häufigsten die Chloride von Magnesium und Ammonium vor. Beim Angriff auf den Beton bildet sich wasserlös-

liches Calciumchlorid. Das Magnesium scheidet sich als Hydroxid oder als wasserhaltiges Silicat ab und bildet eine den weiteren Angriff hemmende Schicht. Da das Ammonium als Gas entweicht, ist das Angriffsvermögen der Ammoniumsalze stärker als das der Magnesiumsalze. In ähnlicher Weise wirken auch die Nitrate und die entsprechenden Salze anderer Metalle, wie z. B. des Aluminiums und des Eisens. Salze, die schwer löslich sind oder mit dem Kalk des Betons schwerlösliche Calciumverbindungen bilden, wie z. B. Carbonate, Fluoride und Oxalate, greifen den Beton nicht an. Unschädlich ist auch Ammoniakwasser.

*Sulfate* setzen sich mit einigen Kalk- und Tonerdeverbindungen des Zementsteins zu Calciumaluminatsulfaten oder Gips um. Die wasserreichen Calciumaluminatsulfate, auch Ettringit oder laienhaft „Zementbazillus“ genannt, entstehen unter erheblicher Volumenvergrößerung und können zu einem Zertreiben nicht widerstandsfähigen Betons führen.

*Weiches Wasser* — d. h. Wasser, das keine oder nur sehr wenig gelöste Calcium- oder Magnesiumsalze enthält — kann Calciumhydroxid aus dem Beton lösen. Das Angriffsvermögen bei einer Gesamthärte unter 3°dH ist jedoch schwach und bei wasserundurchlässigem Beton (Abschnitt 4) praktisch nicht mehr wirksam.

*Pflanzliche und tierische Öle und Fette* sind Ester verschiedener Fettsäuren, die bis zu 20 Gew.-% freie Fettsäure enthalten können und mit dem Calciumhydroxid des Zementsteins fettsaure Calciumsalze (Kalkseifen) bilden. Eine Schädigung des Betons ist nur zu erwarten, wenn die Öle in den Beton eindringen und sich dort erneuern können, was jedoch bei wasserundurchlässigem Beton (Abschnitt 4) praktisch nicht möglich ist.

*Mineralöle und -fette* greifen Beton nicht an, wenn sie saure Bestandteile in nennenswerter Menge nicht enthalten. Dies kann in der Regel angenommen werden, da eine Verseifungszahl über 0,50 und eine Neutralisationszahl über 0,25 im allgemeinen nur bei schwerflüssigen Ölen, bei Rohölen und bei sehr lange und stark belüfteten, gealterten Ölen vorkommen [2]. Auch *Phenole*, die mit dem Calciumhydroxid des Zementsteins Phenolate bilden können, kommen praktisch nur in schweren Steinkohlenteerölen vor und besitzen nur ein sehr geringes Angriffsvermögen. Alle diese Fälle sind für Beton nur von geringer Bedeutung, da schwerflüssige Öle in dichten Beton praktisch nicht eindringen, in dichten Beton eingedrungene leichtflüssige Öle dort praktisch nicht autoxydieren oder sich erneuern können und im allgemeinen keine betonangreifenden Stoffe enthalten. Leichtflüssige Öle können jedoch in trockenen Beton eindringen. Öldurchtränkter Beton kann ähnlich wie durchfeuchteter Beton eine geringere Druckfestigkeit aufweisen als trockener Beton.

Im allgemeinen unterscheidet man zwei Arten des chemischen Angriffs auf Beton, und zwar nach der Wirkungsweise der betonangreifenden Stoffe den *lösenden* und den *treibenden* Angriff. Lösend wirken saure und weiche Wässer, austauschfähige Salze sowie pflanzliche und tierische Öle und Fette. Treiben wird in erster Linie durch Sulfat hervorgerufen. Ein chemischer Angriff auf den Beton spielt sich in der Regel aber nur in Gegenwart von Feuchtigkeit ab. In den meisten praktischen Fällen handelt

es sich daher bei den angreifenden Medien um Wässer mit betonangreifenden Stoffen, wie z. B. Meerwasser und Moorwasser, sowie bestimmte Grundwässer, Oberflächenwässer und Abwässer. Feste trockene Stoffe und Gase greifen trockenen Beton im allgemeinen nicht merkbar an. In Gegenwart von Feuchtigkeit können jedoch auch feste Stoffe gelöst werden und angreifende Flüssigkeiten bilden. Daher sind auch Böden mit betonangreifenden Stoffen zu beachten, die schwach feucht sind oder die trocken sind und nur zeitweise stärker durchfeuchtet werden. Auch stark meerwasserhaltige Luft und bestimmte Industrieabgase können besondere Maßnahmen erfordern. Gase können in trockenen Beton tiefer eindringen, bei Feuchtigkeitszutritt oder Taupunktunterschreitung bilden sich dann betonangreifende Lösungen. Auch bei geringen Abgasmengen und niedrigen Konzentrationen können sich die betonangreifenden Bestandteile im Laufe der Zeit im Beton anreichern.

### 3. Beurteilung des Angriffsgrades

Das Angriffsvermögen von Wässern und Böden [3, 4, 5] hängt in erster Linie von der Konzentration der betonangreifenden Stoffe ab, die durch eine chemische Analyse (Abschnitt 5) zu ermitteln ist. Zur Beurteilung der betonangreifenden Eigenschaften eines Bodens genügt es im allgemeinen, das Grund- oder Sickerwasser zu prüfen. Eine Untersuchung von Bodenproben ist nur erforderlich, wenn keine Wasserproben entnommen werden können, aber wenigstens zeitweise mit einer stärkeren Durchfeuchtung zu rechnen ist, und wenn z. B. aufgrund der geologischen Herkunft oder der Beschaffenheit betonangreifende Stoffe im Boden vermutet werden.

Zur Beurteilung des Angriffsvermögens von Wässern und Böden schreibt die DIN 4030 E folgende Untersuchungen vor:

#### *Wasser*

- a) pH-Wert
- b) Geruch
- c) Kaliumpermanganatverbrauch in mg  $\text{KMnO}_4/\text{l}$
- d) Gesamthärte in  $^\circ\text{dH}$
- e) Carbonathärte in  $^\circ\text{dH}$
- f) Nichtcarbonathärte in  $^\circ\text{dH}$
- g) Magnesium in mg  $\text{Mg}^{2+}/\text{l}$
- h) Ammonium in mg  $\text{NH}_4^+/\text{l}$
- i) Sulfat in mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$
- j) Chlorid in mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$
- k) Kalklösende Kohlensäure in mg  $\text{CO}_2/\text{l}$

#### *Boden*

- a) Säuregrad nach Baumann-Gully
- b) Sulfat in mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{kg}$  lufttrockenen Bodens
- c) Sulfid in mg  $\text{S}^{2-}/\text{kg}$  lufttrockenen Bodens

Für die Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung werden nur der pH-Wert sowie die Gehalte an kalklösender Kohlensäure, Ammonium, Magnesium

und Sulfat herangezogen. Für den Angriffsgrad von Böden sind der Säuregrad nach Baumann-Gully und der Sulfatgehalt maßgebend.

Das Angriffsvermögen von Wässern wird in drei Angriffsgrade unterteilt, die mit „schwach“, „stark“ und „sehr stark“ betonangreifend bezeichnet werden. Böden können Beton nur über die in ihnen enthaltene Feuchtigkeit angreifen. Bei Böden, bei denen eine Wasserentnahme nicht möglich ist, ist immer damit zu rechnen, daß die angreifenden Bestandteile nur sehr langsam erneuert werden. Aus diesem Grund wird der chemische Angriff von Böden nur in die beiden Angriffsgrade „schwach“ und „stark“ betonangreifend unterteilt.

Die Angriffsgrade von Wässern und Böden kennzeichnen die Wirkung der entsprechenden betonangreifenden Bestandteile auf einen nach DIN 1045 E wasserdurchlässigen Beton, der zwar ein geschlossenes Gefüge besitzt, in den aber aufgrund seiner hohen Kapillarporosität Wasser und betonangreifende Bestandteile eindringen können.

Die in DIN 4030 E für die Bestimmung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung und von Böden festgelegten Grenzwerte sind in den Tafeln 1 und 2 zusammengestellt. In der Neufassung werden die Grenzwerte nicht mehr für die angreifenden *Verbindungen*, sondern für die angreifenden *Ionen* angegeben. Damit nimmt man zwar in Kauf, daß auch unschädliche Verbindungen, wie z. B. Magnesium- und Ammoniumcarbonat, als angreifend gerechnet werden, vermeidet aber das Umrechnen der Analyseergebnisse und erleichtert infolgedessen die Beurteilung. Der die Sicherheit vergrößern Fehler ist erfahrungsgemäß in den meisten praktischen Fällen jedoch sehr klein.

Die in Tafel 1 zusammengestellten Grenzwerte gelten für große Mengen stehenden oder schwach fließenden Wassers, dessen Angriffsvermögen durch Reaktion mit dem Beton nicht vermindert wird, da sich das Wasser immer wieder erneuern kann. Für die Beurteilung ist der höchste Angriffsgrad maßgebend, auch wenn er nur von einem der Werte, z. B. nur vom Gehalt an kalklösender Kohlensäure, erreicht wird. Liegen zwei oder mehr Werte im oberen Viertel eines Bereiches (beim pH-Wert im unteren Viertel), so erhöht sich der Angriffsgrad um eine Stufe. Diese Erhöhung gilt nicht für das Meerwasser, das in 1 Liter 2780 mg Sulfat  $\text{SO}_4^{2-}$  und 1330 mg Magnesium  $\text{Mg}^{2+}$  enthält, da die langjährige Erfahrung zeigt, daß dichter Beton dem Angriff des Meerwassers widersteht.

Mit einem verstärkten Angriff ist zu rechnen bei höherer Temperatur, da dann die chemischen Reaktionen beschleunigt ablaufen, bei starkem Wasserdruck, bei dem die angreifenden Stoffe tiefer in den Beton eindringen, sowie bei einem gleichzeitigen mechanischen Abrieb durch sehr starke Strömung und mitgeführte Feststoffe. Eine Abschwächung des Angriffs ist bei Bauten im Grundwasser zu erwarten, wenn eine geringe Durchlässigkeit des Bodens ein schnelles Erneuern der angreifenden Bestandteile erschwert (siehe z. B. die russische Norm H 114—54) oder wenn, wie z. B. bei schwankendem Grundwasserstand, das Wasser nicht ständig mit dem Beton in Berührung steht.

es sich daher bei den angreifenden Medien um Wässer mit betonangreifenden Stoffen, wie z. B. Meerwasser und Moorwasser, sowie bestimmte Grundwässer, Oberflächenwässer und Abwässer. Feste trockene Stoffe und Gase greifen trockenen Beton im allgemeinen nicht merkbar an. In Gegenwart von Feuchtigkeit können jedoch auch feste Stoffe gelöst werden und angreifende Flüssigkeiten bilden. Daher sind auch Böden mit betonangreifenden Stoffen zu beachten, die schwach feucht sind oder die trocken sind und nur zeitweise stärker durchfeuchtet werden. Auch stark meerwasserhaltige Luft und bestimmte Industrieabgase können besondere Maßnahmen erfordern. Gase können in trockenen Beton tiefer eindringen, bei Feuchtigkeitszutritt oder Taupunktunterschreitung bilden sich dann betonangreifende Lösungen. Auch bei geringen Abgasmengen und niedrigen Konzentrationen können sich die betonangreifenden Bestandteile im Laufe der Zeit im Beton anreichern.

### 3. Beurteilung des Angriffsgrades

Das Angriffsvermögen von Wässern und Böden [3, 4, 5] hängt in erster Linie von der Konzentration der betonangreifenden Stoffe ab, die durch eine chemische Analyse (Abschnitt 5) zu ermitteln ist. Zur Beurteilung der betonangreifenden Eigenschaften eines Bodens genügt es im allgemeinen, das Grund- oder Sickerwasser zu prüfen. Eine Untersuchung von Bodenproben ist nur erforderlich, wenn keine Wasserproben entnommen werden können, aber wenigstens zeitweise mit einer stärkeren Durchfeuchtung zu rechnen ist, und wenn z. B. aufgrund der geologischen Herkunft oder der Beschaffenheit betonangreifende Stoffe im Boden vermutet werden.

Zur Beurteilung des Angriffsvermögens von Wässern und Böden schreibt die DIN 4030 E folgende Untersuchungen vor:

#### *Wasser*

- a) pH-Wert
- b) Geruch
- c) Kaliumpermanganatverbrauch in mg  $\text{KMnO}_4/\text{l}$
- d) Gesamthärte in  $^\circ\text{dH}$
- e) Carbonathärte in  $^\circ\text{dH}$
- f) Nichtcarbonathärte in  $^\circ\text{dH}$
- g) Magnesium in mg  $\text{Mg}^{2+}/\text{l}$
- h) Ammonium in mg  $\text{NH}_4^+/\text{l}$
- i) Sulfat in mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$
- j) Chlorid in mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$
- k) Kalklösende Kohlensäure in mg  $\text{CO}_2/\text{l}$

#### *Boden*

- a) Säuregrad nach Baumann-Gully
- b) Sulfat in mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{kg}$  lufttrockenen Bodens
- c) Sulfid in mg  $\text{S}^{2-}/\text{kg}$  lufttrockenen Bodens

Für die Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung werden nur der pH-Wert sowie die Gehalte an kalklösender Kohlensäure, Ammonium, Magnesium

und Sulfat herangezogen. Für den Angriffsgrad von Böden sind der Säuregrad nach Baumann-Gully und der Sulfatgehalt maßgebend.

Das Angriffsvermögen von Wässern wird in drei Angriffsgrade unterteilt, die mit „schwach“, „stark“ und „sehr stark“ betonangreifend bezeichnet werden. Böden können Beton nur über die in ihnen enthaltene Feuchtigkeit angreifen. Bei Böden, bei denen eine Wasserentnahme nicht möglich ist, ist immer damit zu rechnen, daß die angreifenden Bestandteile nur sehr langsam erneuert werden. Aus diesem Grund wird der chemische Angriff von Böden nur in die beiden Angriffsgrade „schwach“ und „stark“ betonangreifend unterteilt.

Die Angriffsgrade von Wässern und Böden kennzeichnen die Wirkung der entsprechenden betonangreifenden Bestandteile auf einen nach DIN 1045 E wasserdurchlässigen Beton, der zwar ein geschlossenes Gefüge besitzt, in den aber aufgrund seiner hohen Kapillarporosität Wasser und betonangreifende Bestandteile eindringen können.

Die in DIN 4030 E für die Bestimmung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung und von Böden festgelegten Grenzwerte sind in den Tafeln 1 und 2 zusammengestellt. In der Neufassung werden die Grenzwerte nicht mehr für die angreifenden *Verbindungen*, sondern für die angreifenden *Ionen* angegeben. Damit nimmt man zwar in Kauf, daß auch unschädliche Verbindungen, wie z. B. Magnesium- und Ammoniumcarbonat, als angreifend gerechnet werden, vermeidet aber das Umrechnen der Analysenergebnisse und erleichtert infolgedessen die Beurteilung. Der die Sicherheit vergrößernde Fehler ist erfahrungsgemäß in den meisten praktischen Fällen jedoch sehr klein.

Die in Tafel 1 zusammengestellten Grenzwerte gelten für große Mengen stehenden oder schwach fließenden Wassers, dessen Angriffsvermögen durch Reaktion mit dem Beton nicht vermindert wird, da sich das Wasser immer wieder erneuern kann. Für die Beurteilung ist der höchste Angriffsgrad maßgebend, auch wenn er nur von einem der Werte, z. B. nur vom Gehalt an kalklösender Kohlensäure, erreicht wird. Liegen zwei oder mehr Werte im oberen Viertel eines Bereiches (beim pH-Wert im unteren Viertel), so erhöht sich der Angriffsgrad um eine Stufe. Diese Erhöhung gilt nicht für das Meerwasser, das in 1 Liter 2780 mg Sulfat  $\text{SO}_4^{2-}$  und 1330 mg Magnesium  $\text{Mg}^{2+}$  enthält, da die langjährige Erfahrung zeigt, daß dichter Beton dem Angriff des Meerwassers widersteht.

Mit einem verstärkten Angriff ist zu rechnen bei höherer Temperatur, da dann die chemischen Reaktionen beschleunigt ablaufen, bei starkem Wasserdruck, bei dem die angreifenden Stoffe tiefer in den Beton eindringen, sowie bei einem gleichzeitigen mechanischen Abrieb durch sehr starke Strömung und mitgeführte Feststoffe. Eine Abschwächung des Angriffs ist bei Bauten im Grundwasser zu erwarten, wenn eine geringe Durchlässigkeit des Bodens ein schnelles Erneuern der angreifenden Bestandteile erschwert (siehe z. B. die russische Norm H 114—54) oder wenn, wie z. B. bei schwankendem Grundwasserstand, das Wasser nicht ständig mit dem Beton in Berührung steht.

Tafel 1 Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung

	Untersuchung	Angriffsgrade		
		schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
1	pH-Wert	6,5 bis 5,5	5,5 bis 4,5	unter 4,5
2	kalklösende Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) in mg/Liter, best. mit dem Marmorversuch nach Heyer	15 bis 30	30 bis 60	über 60
3	Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) in mg/Liter	15 bis 30	30 bis 60	über 60
4	Magnesium (Mg <sup>2+</sup> ) in mg/Liter	100 bis 300	300 bis 1500	über 1500
5	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) in mg/Liter	200 bis 600	600 bis 3000	über 3000

Tafel 2 Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Böden

	Untersuchung	Angriffsgrade	
		schwach angreifend	stark angreifend
1	Säuregrad nach Baumann-Gully	über 20	–
2	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) in mg/kg lufttrockenen Bodens	2000 bis 5000	über 5000

Die in Tafel 2 genannten Grenzwerte gelten für Böden, die häufig durchfeuchtet werden. Der Angriffsgrad erniedrigt sich ebenfalls mit abnehmender Durchlässigkeit des Bodens.

In den Tafeln 1 und 2 sind nur die Bestandteile von Wässern und Böden aufgeführt, die bei Bestimmung des Angriffsgrades zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus schreibt die DIN 4030 E weitere Untersuchungen (Abschnitt 3, Absatz 2) vor, um auch Einflüsse geringerer Bedeutung und seltener auftretende angreifende Stoffe erfassen zu können.

Der Geruch und auch der Kaliumpermanganatverbrauch des Wassers lassen erkennen, ob Schwefelwasserstoff, Sulfide oder organische Verbindungen in größeren Mengen vorliegen. Um bei der Geruchsprüfung auch gelöste Sulfide erfassen zu können, muß der in ihnen enthaltene Sulfidschwefel durch Ansäuern als Schwefelwasserstoff ausgetrieben werden. Deutet der Geruch auf Schwefelwasserstoff hin, so ist der Sulfidgehalt des Wassers zu bestimmen. Die Beurteilung des Angriffsgrades ist in diesem Fall einem Fachmann zu übertragen, der insbesondere festzustellen hat, ob mit einer Anreicherung von Schwefelwasserstoff auf der Betonoberfläche oberhalb des Wasserspiegels zu rechnen ist.

In Böden können schon sehr geringe Sulfidgehalte von wenigen zehntel Prozent zu hohen Sulfat- und Säurekonzentrationen in Grund- und Sickerwässern führen. Die DIN 4030 E schreibt daher vor, daß das Angriffsvermögen von Böden, die mehr als 0,01 %  $S^{2-}$  enthalten, ebenfalls durch einen Fachmann zu beurteilen ist.

Der *Kaliumpermanganatverbrauch*, mit dem die Oxydierbarkeit des Wassers erfaßt wird, ist kein unmittelbares Maß für den Angriffsgrad. Bei Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung liegt er meistens unter 50 mg/Liter. Höhere Werte treten insbesondere bei Abwässern auf, die viel oxydierbare organische Bestandteile enthalten. Häusliche Abwässer haben einen Kaliumpermanganatverbrauch zwischen 150 und 300 mg/Liter; sie greifen jedoch Beton im allgemeinen nicht an. Da aber industrielle Abwässer, bei denen der Kaliumpermanganatverbrauch bis zu 50 000 mg/Liter betragen kann, betonangreifende Stoffe enthalten können, die mit der üblichen Wasseranalyse nicht erfaßt werden, wird in DIN 4030 E bei Überschreitung eines Kaliumpermanganatverbrauchs von 50 mg/Liter eine gesonderte Beurteilung durch einen Fachmann gefordert.

Die *Gesamthärte* ist ein Maß für die Konzentration der Erdalkalisalze, und zwar in natürlichen Wässern vorwiegend Hydrogencarbonate, Sulfate und Chloride des Calciums und des Magnesiums. Die Carbonathärte gibt nur den Gehalt an Hydrogencarbonaten der Erdalkalien, die Nichtcarbonathärte den Gehalt an den restlichen Erdalkalisalzen an. Mit dieser Untersuchung ist festzustellen, ob weiches Wasser mit einer Gesamthärte unter 3 °dH vorliegt, das den bei Festlegung der Angriffsgrade zugrunde gelegten durchlässigen Beton schwach angreift. In solchen Fällen ist stets ein wasserundurchlässiger Beton (Abschnitt 4.2.1) erforderlich. Bei der Beurteilung des Angriffsgrades nach Tafel 1 wird die Härte des Wassers jedoch nicht berücksichtigt.

Das *Chlorid* greift den Beton nicht an. Sein Gehalt ist jedoch zu bestimmen, da es den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen kann. Das ist insbesondere beim Angriff von Meer- und Brackwässern zu beachten, die in einem Liter bis zu 20 g Chlorid  $Cl^-$  enthalten können.

## 4. Bauliche Maßnahmen

### 4.1 Allgemeines

Hinweise über die bei den verschiedenen Angriffsgraden nach DIN 4030 E zu ergreifenden baulichen Maßnahmen enthält DIN 1045 E. Die Angriffsgrade der DIN 4030 E, deren Bezeichnung das Verhalten eines nach DIN 1045 E wasserundurchlässigen Betons geringer Güte mit geschlossenem Gefüge bei Einwirken der betonangreifenden Stoffe der Tafeln 1 und 2 kennzeichnet, wurden gleichzeitig so festgelegt, daß Wässer und Böden mit schwachem und starkem Angriffsvermögen einen dichten und aufgrund seiner Zusammensetzung und Herstellung auch sonst als gut zu bezeichnenden Beton praktisch nicht störend verändern. Die meisten der praktisch vorkommenden Angriffe können daher

von Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe ohne besondere Schutzmaßnahmen ertragen werden. Der hohe Widerstand gegenüber chemischen Angriffen setzt einen „dichten“ Beton und eine bestimmte stoffliche Auswahl voraus. Auch für das Konstruieren, das Bemessen und die Bauausführung sind bestimmte Hinweise zu beachten.

## 4.2 Betontechnologische Maßnahmen

### 4.2.1 Anforderungen an den Beton

Die wichtigsten Anforderungen der DIN 1045 E an den Beton sind in Tafel 3 zusammengestellt. Voraussetzung für die Erzielung der hohen chemischen Widerstandsfähigkeit des Betons ist, daß der Beton sachgemäß zusammengesetzt, hergestellt und eingebaut wird, sich nicht entmischt und daß der Beton vollständig verdichtet und sorgfältig nachbehandelt wird. In der Regel gelten für seine Herstellung die Bedingungen der DIN 1045 E für Beton II. Dabei ist die im Einzelfall erforderliche Betonzusammensetzung aufgrund von Eignungsprüfungen, aber unter Berücksichtigung der Hinweise des Abschnittes 4.2 festzulegen [5, 6, 7].

Für Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe sollten die Richtwerte der DIN 1045 E für den Mehlkorngelalt (Zement + Feinststoffe bis 0,25 mm Korngröße) beachtet werden, da sowohl ein zu niedriger als auch ein zu hoher Mehlkorngelalt den chemischen Widerstand des Betons ungünstig beeinflussen kann. Das Zuschlaggemisch soll nicht zu sandreich, sondern so zusammengesetzt sein, daß sich ein geringer Wasseranspruch ergibt (Kornzusammensetzung im günstigen Sieblinienbereich oder Ausfallkörnung, siehe Bilder 1 bis 4 der DIN 1045 E).

Da die Erfahrungen gezeigt haben, daß „schwachen“ Angriffen ein wasserundurchlässiger Beton ausreichend widersteht, fordert die DIN 1045 E für diesen Angriffsgrad einen Beton, dessen größte Wassereindringtiefe bei der Wasserundurchlässigkeits-

Tafel 3 Anforderungen an Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe

Angriffsgrad nach DIN 4030 E	Anforderungen nach DIN 1045 E
schwach	größte Wassereindringtiefe nach DIN 1048 $e_{\text{max}}$ $\leq$ 5 cm, W/Z-Wert $\leq$ 0,60
stark	größte Wassereindringtiefe nach DIN 1048 $e_{\text{max}}$ $\leq$ 3 cm, W/Z-Wert $\leq$ 0,50
sehr stark	wie bei starkem Angriff und Schutz des Betons
ab 400 mg $\text{SO}_4^{2-}$ je Liter Wasser ab 3000 mg $\text{SO}_4^{2-}$ je kg Boden	} Zement mit hohem Sulfatwiderstand

prüfung nach DIN 1048 5 cm und dessen W/Z-Wert 0,60 nicht überschreitet (Tafel 3). Das bedeutet, daß wegen der auf der Baustelle unvermeidbaren Streuungen ein W/Z-Wert von etwa 0,55 angestrebt werden muß. Um bei kleineren Bauvorhaben auch ohne den Aufwand für Beton II auskommen zu können, darf bei schwachem Angriffsgrad auch Beton I verwendet werden, wenn der Zementgehalt bei einem Zuschlaggrößtkorn von 31,5 mm mindestens 350 kg/m<sup>3</sup> beträgt und die Sieblinie des Zuschlaggemisches im günstigen Sieblinienbereich A . . . B verläuft (Bild 3 DIN 1045 E). Diese Möglichkeit sollte auch für Beton mit 16 mm Größtkorn und einem Mindestzementgehalt von 400 kg/m<sup>3</sup> vorgesehen werden.

Nach DIN 1045 E muß Beton, der „starken“ Angriffen ausgesetzt wird, so dicht sein, daß die größte Wassereindringtiefe bei der Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach DIN 1048 3 cm nicht überschreitet. Der W/Z-Wert darf höchstens 0,50 betragen. Bei der Betonherstellung auf der Baustelle ist dann wegen der unvermeidbaren Streuungen ein W/Z-Wert von etwa 0,45 anzustreben.

„Sehr starken“ Angriffen nach DIN 4030 E kann Beton auf die Dauer nicht widerstehen. In solchen Fällen fordert die DIN 1045 E daher außer einem dichten Beton wie bei starkem Angriff einen dauerhaften Schutz des Betons (Abschnitt 4.4). Ein Schutz des Betons ist bei Meerwasser oder ähnlich zusammengesetzten Wässern nicht nötig, da viele Untersuchungen und Bauausführungen bewiesen haben, daß Beton mit einer größten Wassereindringtiefe von 3 cm bei der Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach DIN 1048 durch Meerwasser praktisch nicht störend verändert wird.

Auch bei dauernder stärkerer Einwirkung betonangreifender Gase (wie z. B. bestimmter Industrieabgase) oder stahlangreifender Stoffe (wie z. B. stark meerwasserhaltiger Luft oder Wässern mit mehr als etwa 1500 mg Chlor je Liter) sollte ein Beton mit hohem Widerstand gegen schwache Angriffe (größte Wassereindringtiefe nach DIN 1048  $\leq$  5 cm; W/Z  $\leq$  0,60) verwendet werden. Die Betonzusammensetzung sollte den Anforderungen für starken Angriff (größte Wassereindringtiefe nach DIN 1048  $\leq$  3 cm; W/Z-Wert  $\leq$  0,50) entsprechen, wenn die betonangreifenden Gase lange Zeit in starker Konzentration und/oder in begrenzten Räumen wirken und dabei zeitweise Taupunktunterschreitungen möglich sind (wie z. B. in Filterkammern oder in Abgasschornsteinen bestimmter Industrien) oder wenn häufig oder lange Zeit sehr starke Chloridlösungen auf den Beton einwirken können.

#### 4.2.2 Stoffliche Auswahl

Bei der Herstellung von Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Einwirkungen sind auch bestimmte Anforderungen an die Ausgangsstoffe zu beachten. In der Regel sind Zuschläge zu verwenden, die auch gegenüber den angreifenden Stoffen beständig sind. Carbonathaltige Zuschläge, wie z. B. dichter Kalkstein, können beim Angriff saurer Wässer in Ausnahmefällen verwendet werden, z. B. wenn die angreifenden Stoffe sich nur

sehr langsam erneuern und schnell neutralisiert werden können. Aber auch dann bieten sie praktisch keinen Vorteil gegenüber beständigen Zuschlägen.

Ein hoher Widerstand gegenüber Sulfatangriffen wird durch die Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand erreicht. Daher fordert die DIN 1045 E, daß unabhängig vom Angriffsgrad nach DIN 4030 E bei Sulfatgehalten ab 400 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  je Liter Wasser und ab 3000 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  je kg Boden außer dichtem Beton ein solcher Zement zu verwenden ist. Als Zement mit hohem Sulfatwiderstand gelten:

- a) Portlandzement mit einem rechnerischen Gehalt an Tricalciumaluminat  $\text{C}_3\text{A}$  von höchstens 3 Gew.-% (DIN 1164 E),
- b) Hochofenzement mit mindestens 70 Gew.-% Hüttensand (DIN 1164 E),
- c) Hochofenzement aus Portlandzementklinker mit höchstens 3 Gew.-% Tricalciumaluminat  $\text{C}_3\text{A}$  und Hüttensand mit höchstens 13 Gew.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (DIN 1164 E),
- d) Sulfathüttenzement (DIN 4210).

Bei Meerwasser ist trotz seines hohen Sulfatgehaltes die Verwendung eines Zements mit hohem Sulfatwiderstand nicht erforderlich, da die Erfahrung gezeigt hat, daß Beton mit hohem Widerstand gegen starke chemische Angriffe (größte Wassereindringtiefe nach DIN 1048  $\leq 3$  cm; W/Z-Wert  $\leq 0,50$ ) gegenüber Meerwasser ausreichend widerstandsfähig ist.

Bei sehr dichten Betonrohren, wie z. B. bei sachgemäß hergestellten Schleuderbetonrohren, Walzbetonrohren, Schleuderpfeßbetonrohren und wohl auch bei einigen Rüttelpfeßbetonrohren, dürfte es genügen, Zement mit hohem Sulfatwiderstand erst bei einem Sulfatgehalt ab 600 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  je Liter Wasser zu fordern, wenn sichergestellt ist, daß dieser Wert bei der späteren Nutzung nicht überschritten wird. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß der W/Z-Wert in der Regel 0,35, in keinem Fall aber 0,40 überschreitet und daß der Beton vollständig verdichtet wird. Betonrohre, die aus sehr erdfeuchtem Beton hergestellt werden, erfüllen diese Bedingungen in der Regel nicht.

### 4.3 Konstruktive Maßnahmen und Hinweise für die Bauausführung

Für hohen Widerstand gegen chemisch angreifende Stoffe sind die Bauteile so auszubilden, daß die den angreifenden Stoffen ausgesetzte Fläche möglichst klein ist. Ecken und Kanten sollten gebrochen oder abgerundet werden. Auskragungen und Aussparungen sollten möglichst vermieden werden. Zweckmäßig ist die Verwendung dichter und gut passender Schalungen mit dichten Fugen, damit geschlossene und stufenlose Betonflächen erhalten werden.

Die Betonierabschnitte sind möglichst ohne Arbeitsfugen zu betonieren. Sind Arbeitsfugen aus arbeitstechnischen Gründen nicht zu vermeiden, so sollten sie möglichst nicht in der Wasserwechselzone liegen. Bei Bauwerken und Bauteilen mit größeren

Abmessungen sind Dehnungsfugen anzuordnen, damit Formänderungen infolge Schwindens und wechselnder Temperatur ohne Ribbildung aufgenommen werden können. Der hohe chemische Widerstand setzt voraus, daß nicht nur der Beton, sondern auch die Arbeits- und Dehnungsfugen undurchlässig sind und daß in den Bauteilen auch später keine Risse z. B. aus Belastung, Setzung, Schwinden und Temperatur entstehen, in die angreifende Stoffe eindringen können. Soweit Zugspannungen auftreten, kann es daher aus Gründen der Dichtigkeit und des Rostschutzes der Bewehrung zweckmäßig sein, schlaffbewehrte Bauteile nach Stadium I zu bemessen oder die Ribbreite durch Anordnung von profilierten Betonstählen mit kleinerem Durchmesser zu beschränken (DIN 1045 E, Abschnitt 17.1.5). Zur Vermeidung von Netzrissen an der Oberfläche ist der Beton sorgfältig nachzubehandeln.

Die Betondeckung der Bewehrung muß größer sein als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Die DIN 1045 E sieht bei ständiger Einwirkung von Gasen oder von anderen Stoffen, die die Korrosion des Stahls fördern, und von betonangreifenden Stoffen nach DIN 4030 E für die Betondeckung ein Grundmaß von mehr als 3 cm vor, gestattet davon aber noch Abminderungen je nach Bedingung (DIN 1045 E, Abschnitt 13.2.2) bis zu 1,5 cm. Eine Vergrößerung des Grundmaßes ist vorgeschrieben, wenn das Zuschlaggrößtkorn größer als 31,5 mm ist, wenn im Laufe der Zeit, z. B. durch starken Verschleiß an der Betonoberfläche, mit einer Verminderung der Betondeckung zu rechnen ist oder wenn ohne seitliche Schalung unmittelbar gegen das Erdreich betoniert wird. Die bei chemischem Angriff einzuhaltende Mindestbetondeckung der Bewehrung bedarf u. E. in DIN 1045 E noch einer genaueren Festlegung, da sonst zu geringe Betondeckungen und nennenswerte Unterschreitungen der bisher geforderten Werte möglich sind. Die Betondeckung aller Stahleinlagen sollte im allgemeinen bei schwachen Angriffen nach DIN 4030 E 3 cm und bei starken und sehr starken Angriffen nach DIN 4030 E 5 cm nicht unterschreiten. Für sehr dichte bewehrte Betonrohre, wie z. B. für Schleuderbetonrohre, Walzbetonrohre, Schleuderpreßbetonrohre und wohl auch für einige Rüttelpreßbetonrohre, dürfte eine etwas geringere Betondeckung der Bewehrung ausreichend sein, wenn der W/Z-Wert in der Regel 0,35, in keinem Fall aber 0,40 überschreitet und der Beton vollständig verdichtet und sorgfältig nachbehandelt wird.

Bei Bauwerken und Bauteilen, die dauernd betonangreifenden Gasen (wie z. B. bestimmten Industrieabgasen) oder stahlangreifenden Stoffen (wie z. B. stark meerwasserhaltiger Luft oder Wässern mit mehr als etwa 1500 mg Chlorid je Liter) in stärkerer Konzentration ausgesetzt sind, sollte die Betondeckung aller Stahleinlagen 3 cm nicht unterschreiten. Die Betondeckung der Bewehrung sollte in solchen Fällen mindestens 5 cm betragen, wenn die betonangreifenden Gase lange Zeit in starker Konzentration und/oder in begrenzten Räumen wirken und dabei zeitweise Taupunktunterschreitungen möglich sind (wie z. B. in Filterkammern oder in Abgasschornsteinen) oder wenn häufig oder lange Zeit sehr starke Chloridlösungen auf den Beton einwirken können.

Bei jungem, noch nicht ausreichend erhärtetem Beton kann es zweckmäßig sein, den unmittelbaren Zutritt angreifender Wässer durch bautechnische Maßnahmen (z. B. durch Ableiten des Wassers) vorübergehend zu verhindern.

#### **4.4 Schutz des Betons bei sehr starken Angriffen**

Bei „sehr starken“ Angriffen nach DIN 4030 E ist nach DIN 1045 E ein dauerhafter Schutz des Betons vorzusehen. Die aufgetragenen Schutzschichten müssen auf dem Betonuntergrund gut haften, undurchlässig sein und gegenüber allen auf sie einwirkenden Stoffen, auch gegenüber alkalischen Einwirkungen aus dem Beton, beständig sein, gegebenenfalls auch bei niedrigeren oder erhöhten Temperaturen und bei Frost. Die Schutzschichten müssen auch genügend abnutzungsfest sein, wenn sie mechanisch beansprucht werden. Ein dauerhafter Schutz des Betons setzt voraus, daß in den Schutzschichten auch nachträglich keine Risse entstehen.

Als Schutzschichten kommen Anstriche und Beschichtungen<sup>3)</sup>, Dichtungsbahnen aus Kunststoffolien oder aus getränkten und beschichteten Pappen (siehe DIN 4031, DIN 4117 und AIB) und Verkleidungen in Frage. Bei Plattenverkleidungen müssen auch die Fugen dicht und beständig sein. Da dies praktisch oft schwer zu verwirklichen ist, empfiehlt es sich, unter dem Plattenbelag eine dichte Folie anzuordnen. In bestimmten Fällen können bei Bauteilen in Böden auch Schichten aus Ton, Lehm oder feinkörnigen Kalksteinschüttungen verwendet werden. Häufig, z. B. bei Gründungen, hat sich eine Vergrößerung des Betonquerschnittes und der Betondeckung der Bewehrung als zweckmäßige und wirtschaftliche, manchmal aber auch als einzig mögliche Schutzmaßnahme erwiesen.

### **5. Entnahme und Untersuchung von Wasser- und Bodenproben**

Die Beurteilung des Angriffsvermögens von Wässern und Böden setzt eine sachgemäße Probenahme und eine zuverlässige chemische Untersuchung voraus. Die DIN 4030 E enthält daher Richtlinien, die bei der Probenahme zu beachten sind, und schreibt Analyseverfahren vor, die sich bei der Untersuchung von Wässern und Böden bewährt haben.

#### **5.1 Probenahme**

Bei der Probenahme kommt es darauf an, repräsentative Proben zu erhalten, d. h. Proben, die das Angriffsvermögen des Wassers oder des Bodens auf das gesamte Bauwerk wiedergeben. Bei ausgedehnten Bauwerken kann es daher erforderlich sein, Proben von verschiedenen Stellen zu entnehmen. Das ist insbeson-

<sup>3)</sup> Siehe Merkblatt „Schutzbehandlung des Betons bei sehr starken chemischen Angriffen nach DIN 4030 E“. Aufgestellt im Arbeitskreis Schutzbehandlung des Vereins Deutscher Zementwerke, erscheint demnächst in der Zeitschrift *beton*.

dere immer dann der Fall, wenn verschiedene Grundwasserhorizonte oder Bodenschichten angeschnitten werden. Ist bei Wässern mit zeitlichen Änderungen der Zusammensetzung zu rechnen, z. B. wenn bei Oberflächenwässern die Wasserführung oder bei Grundwässern der Wasserstand stark wechselt, so sind mehrere Proben in angemessenen Zeitabständen zu entnehmen.

Bei der Entnahme von Wasserproben ist darauf zu achten, daß das zu prüfende Wasser nicht mit Fremdwasser vermischt ist. Daher ist Grundwasser immer zuerst abzupumpen oder auszuschöpfen und die Probe aus dem Neuzufluß zu entnehmen. Dadurch wird außerdem sichergestellt, daß der ursprüngliche Gehalt an Kohlensäure und Schwefelwasserstoff noch vorhanden ist. Diese Bestandteile entweichen leicht gasförmig, insbesondere wenn das Wasser geschüttelt oder erwärmt wird. Um einen Verlust während der Beförderung zu verhindern, wird bei der Probenahme Calciumcarbonat, z. B. in Form von Marmorpulver, bzw. Cadmium- oder Zinkacetat zugesetzt. Das Calciumcarbonat reagiert mit der kalklösenden Kohlensäure unter Bildung von wasserlöslichem Hydrogencarbonat, der Schwefelwasserstoff und die ggf. im Wasser gelösten Sulfide mit dem Cadmium- oder Zinkacetat unter Bildung von wasserunlöslichem gelbem Cadmium- oder weißem Zinksulfid. Jede Wasserprobe besteht aus drei Teilproben, die in drei gereinigte, möglichst trockene Flaschen einzufüllen sind. Die mit Calciumcarbonat versetzte Probe von 0,5 Liter dient zur Bestimmung der kalklösenden Kohlensäure, die mit Cadmium- oder Zinkcarbonat versetzte Probe von ebenfalls 0,5 Liter zur Bestimmung von Schwefelwasserstoff und wasserlöslichen Sulfiden. Alle anderen Bestimmungen werden mit der dritten Probe von 2 Liter ausgeführt.

Bodenproben sind unmittelbar nach der Entnahme in ein Gefäß von etwa 2 Liter Inhalt einzufüllen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Sulfide mit dem Sauerstoff der Luft unter Bildung von Schwefelsäure und Sulfaten reagieren können. Aus diesem Grund soll die Bodenprobe möglichst hohlraumarm eingefüllt und das Gefäß (Weithalsflasche oder Einmachglas) anschließend luftdicht verschlossen werden.

## 5.2 Chemische Untersuchung des Wassers

Für die Ausführung der chemischen Untersuchung gibt DIN 4030 E Analysenverfahren an, die sich bereits bewährt haben. Da eingehende Anweisungen für die Ausführung der Prüfungen im einschlägigen Schrifttum [8, 9] zu finden sind, werden nur abgeänderte Verfahren eingehender beschrieben; im übrigen wird auf das entsprechende Schrifttum verwiesen.

Der *pH-Wert* ist elektronisch zu messen, um die bei den verhältnismäßig engen Bereichen der Angriffsgrade erforderliche Genauigkeit zu erreichen. Geräte und Meßverfahren sind in DIN 19 260 bis DIN 19 263 beschrieben.

Der *Geruch* ist an der ursprünglichen Wasserprobe und an einer mit Salzsäure angesäuerten Probe zu prüfen. Im wesentlichen ist darauf zu achten, ob Schwefelwasserstoff und Phenole vorliegen.

Der *Kaliumpermanganatverbrauch* wird in alkalischer Lösung bestimmt, um den Sulfidschwefel mitzuerfassen und um eine Störung durch Chlorid zu vermeiden.

Die *Härte* ist ein Maß für die im Wasser gelösten Erdalkaliverbindungen, in natürlichen Wässern vorwiegend Verbindungen von Calcium und Magnesium. Dabei entspricht 1 °dH einem Gehalt von 10 mg CaO/Liter oder äquivalenten Mengen an MgO, SrO oder BaO, und zwar 7,2 mg MgO/Liter, 18,5 mg SrO/Liter und 27,3 mg BaO/Liter. Die Gesamthärte gibt die Gesamtkonzentration aller Erdalkalisalze an, die Carbonathärte nur den Gehalt der als Hydrogencarbonat gebundenen Erdalkalien und die Nichtcarbonathärte die Konzentration der restlichen Erdalkalisalze, und zwar u. a. der Sulfate, Chloride und Nitrate. Die Gesamthärte wird durch komplexometrische Titration des Calcium- und Magnesiumgehalts bestimmt. Die Carbonathärte wird aus der Methylorange-Alkalität, auch m-Wert genannt, berechnet, die man nach DIN 8104 durch Titration der Wasserprobe mit 0,1 n Salzsäure gegen Methylorange als Indikator erhält. Die Nichtcarbonathärte ergibt sich als Differenz zwischen der Gesamthärte und der Carbonathärte.

Zur Bestimmung des *Magnesiumgehalts* wird die bei der komplexometrischen Titration erhaltene Summe von Calcium und Magnesium herangezogen. Außerdem wird bei pH-Werten von mindestens 12,5 nach Ausfällen des Magnesiums als Hydroxid der Calciumgehalt allein komplexometrisch bestimmt. Der Magnesiumgehalt kann dann aus der Gesamthärte und dem Calciumgehalt errechnet werden.

*Ammonium* ist in nennenswerten Konzentrationen nur in Wässern enthalten, die durch Abwässer verunreinigt sind. Daher wird zunächst durch eine halbquantitative kolorimetrische Vergleichsprüfung mit Nessler's Reagens festgestellt, ob die Probe mehr als etwa 10 mg  $\text{NH}_4^+$ /Liter enthält. Vor der quantitativen Bestimmung wird das freie Ammoniumhydroxid, das den Beton nicht angreift, durch Kochen ausgetrieben. Um auch den in betonangreifenden organischen Verbindungen enthaltenen Stickstoff zu erfassen, wird anschließend in einer stark alkalischen Lösung destilliert. Die ausgetriebenen Stickstoffverbindungen, und zwar Ammoniak und Amine, werden in einer Borsäurelösung aufgefangen und acidimetrisch bestimmt.

Der *Sulfatgehalt* des Wassers wird in der üblichen Weise gravimetrisch als Bariumsulfat bestimmt.

Der *Chloridgehalt* läßt sich entweder durch eine Titration mit einer Mercurinitratlösung gegen Diphenylcarbazon als Indikator oder auch gravimetrisch nach Fällern als Silberchlorid erfassen.

Zur Bestimmung der *kalklösenden Kohlensäure* schreibt DIN 4030 E den Marmorversuch nach Heyer vor. Dazu wird im ursprünglichen Wasser und in der mit Calciumcarbonat (Marmorpulver) versetzten Probe die Methylorange-Alkalität nach DIN 8104 durch Titration mit 0,1 n Salzsäure bestimmt. Enthält das Wasser kalklösende Kohlensäure, so hat in der mit Calciumcarbonat ver-

setzten Wasserprobe die Methylorange-Alkalität um einen entsprechenden Betrag zugenommen, da die kalklösende Kohlensäure einen Teil des Calciumcarbonats unter Bildung von Calciumhydrogencarbonat gelöst und infolgedessen die Carbonathärte erhöht hat.

Zur Bestimmung des *Sulfidgehalts* wird die Wasserprobe verwendet, der bei der Probenahme Cadmium- oder Zinkacetat zugesetzt worden war. Aus dem abfiltrierten Rückstand wird der Sulfidschwefel mit Salzsäure als Schwefelwasserstoff ausgetrieben, in einer Vorlage erneut als Cadmium- oder Zinksulfid aufgefangen und jodometrisch bestimmt.

### 5.3 Chemische Untersuchung des Bodens

Die chemische Untersuchung des Bodens [10] wird an der zerkrümelten und an der Luft getrockneten Probe ausgeführt. Zur Bestimmung des Säuregrades wird nur die Kornklasse kleiner als 2 mm verwendet, die ohne vorherige Zerkleinerung abgeseiht wird. Die Gehalte an Sulfat und Sulfid werden an der auf eine Korngröße von max. 0,09 mm zerkleinerten Gesamtprobe bestimmt.

Mit dem *Säuregrad* nach Baumann-Gully wird der Gehalt an Wasserstoffionen erfaßt, die gegen andere Kationen, u. a. auch gegen Calciumionen, ausgetauscht werden können und die daher lösend auf den Zementstein einwirken. Durch Schütteln mit 1 n Natriumacetatlösung werden die austauschfähigen Wasserstoffionen in den Bodenbestandteilen durch Natriumionen ersetzt. Infolgedessen bildet sich eine äquivalente Menge freier Essigsäure, die durch Titration mit 0,1 n Natronlauge bestimmt wird. Als Säuregrad wird dann die Menge an 0,1 n Essigsäure angegeben, die bei der Umsetzung von 100 g der Bodenprobe mit der Natriumacetatlösung gebildet wird.

Der *Sulfat*gehalt wird im Salzsäureauszug gravimetrisch als Bariumsulfat bestimmt. Zur Herstellung des Salzsäureauszugs wird die Probe mit verdünnter Salzsäure 1:1 eingedampft, anschließend werden die Feststoffe abfiltriert, und dann wird im Filtrat die zunächst gelöste Kieselsäure abgeschieden.

Zur *Sulfid*bestimmung, die nach DIN 51 724, Abschnitt 4.2, auszuführen ist, wird der Sulfidschwefel mit Salzsäure als Schwefelwasserstoff ausgetrieben. Da atomarer Wasserstoff die sonst nur sehr langsame Zersetzung von Pyrit stark beschleunigt, werden der Probe Zinkgranalien und Chrom(II)-Ionen zugesetzt. Der Schwefelwasserstoff wird in einer Vorlage als Cadmiumsulfid ausgefällt und jodometrisch bestimmt.

### 6. Zusammenfassung

Es wird über kennzeichnende Neuerungen der Normentwürfe über betonangreifende Wässer, Böden und Gase und über die betontechnischen Maßnahmen berichtet. Bei der Neubearbeitung wurden die Erkenntnisse und der Stand der praktischen Entwick-

lung soweit wie möglich berücksichtigt. Die DIN 4030 E enthält nur noch Angaben über Wirkung, Vorkommen, Untersuchung und Beurteilung der angreifenden Stoffe. Aufgenommen wurden zusätzliche Hinweise über Schwefelwasserstoff, wasserlösliche Sulfide, freie organische Säuren und weiche Wässer und über das Vorkommen von betonangreifenden Stoffen in Böden und Gassen sowie Richtlinien für die Untersuchung von Wässern und Böden.

Das Angriffsvermögen von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung kann im allgemeinen nach dem pH-Wert und dem Gehalt an kalklösender Kohlensäure, Ammonium, Magnesium und Sulfat ausreichend beurteilt werden. Eine gesonderte Beurteilung ist notwendig, wenn bestimmte Merkmale, wie z. B. Geruch, Farbe,  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch, auch auf andere angreifende Stoffe hinweisen. In DIN 4030 E sind für die Beurteilung des Angriffsgrades entsprechende Grenzwerte festgelegt, die das unterschiedliche Angriffsvermögen der verschiedenen Stoffe berücksichtigen und trotzdem auch dem Nichtfachmann in den meisten vorkommenden Fällen eine Beurteilung des Angriffsgrades ermöglichen. Das Angriffsvermögen von Wässern wird in die Angriffsgrade schwach, stark und sehr stark und das Angriffsvermögen von Böden in die Angriffsgrade schwach und stark unterteilt. Die Angriffsgrade kennzeichnen das Verhalten eines nach DIN 1045 E wasserdurchlässigen Betons mit geschlossenem Gefüge bei Einwirken betonangreifender Stoffe. Sie wurden aber gleichzeitig so festgelegt, daß ein entsprechend zusammengesetzter und hergestellter Beton gegenüber Wässern und Böden mit schwachem und starkem Angriffsvermögen widerstandsfähig ist.

Die bei den einzelnen Angriffsgraden erforderlichen betontechnischen Maßnahmen enthält DIN 1045 E. Bei schwachem Angriff sollte die größte Wassereindringtiefe bei der Prüfung nach DIN 1048 5 cm und der Wasserzementwert 0,60, bei starkem Angriff die größte Wassereindringtiefe 3 cm und der Wasserzementwert 0,50 nicht überschreiten. Der Beton ist stets vollständig zu verdichten und sorgfältig nachzubehandeln. Die Betondeckung der Bewehrung sollte bei schwachen Angriffen 3 cm, bei starken Angriffen 5 cm nicht unterschreiten. Ähnliche Betondeckungen sind notwendig, wenn der Beton stahlangreifenden Stoffen in stärkerem Maße ausgesetzt wird. Sehr starke Angriffe nach DIN 4030 E erfordern außer einem dichten Beton einen dauerhaften Schutz des Betons. Unabhängig vom Angriffsgrad nach DIN 4030 E sind bei Sulfatgehalten ab 400 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  je Liter Wasser und ab 3000 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  je kg Boden Zemente mit hohem Sulfatwiderstand zu verwenden. Bei Meerwasser ist die Verwendung eines Zements mit hohem Sulfatwiderstand nicht erforderlich, da Beton mit hohem Widerstand gegen starke chemische Angriffe gegenüber Meerwasser ausreichend widerstandsfähig ist.

Die zuverlässige Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern und Böden setzt die sachgemäße Entnahme einer ausreichenden Anzahl repräsentativer Proben und eine sachgemäße chemische Untersuchung voraus. Die DIN 4030 E enthält Angaben für die Probenahme und die Verfahren für die chemische Untersuchung der Wasser- und Bodenproben.

## SCHRIFTTUM

- [1] Biczok, J.: Betonkorrosion — Betonschutz. 6. Aufl., Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1968.
- [2] Vorläufiges Merkblatt über das Verhalten von Beton gegenüber Mineral- und Teerölen. beton 16 (1966) H. 11, S. 461/463; ebenso *Betontechnische Berichte* 1966, Beton-Verlag, Düsseldorf 1967, S. 169/176.
- [3] Locher, F. W., und H. Pisters: Beurteilung betonangreifender Wässer. Zement-Kalk-Gips 17 (1964) H. 4, S. 129/136.
- [4] Locher, F. W.: Chemischer Angriff auf Beton. beton 17 (1967) H. 1, S. 17/19, und H. 2, S. 47/50; ebenso *Betontechnische Berichte* 1967, Beton-Verlag, Düsseldorf 1968, S. 19/34.
- [5] Bonzel, J.: Beurteilungsgrundsätze und technologische Maßnahmen für Beton in angreifenden Wässern. Betonstein-Zeitung 29 (1963) H. 11, S. 633/636.
- [6] Bonzel, J.: Über die neuere zement- und betontechnische Entwicklung. beton 17 (1967) H. 6, S. 221/224, und H. 7, S. 263/267; ebenso *Betontechnische Berichte* 1967, Beton-Verlag, Düsseldorf 1968, S. 63/83.
- [7] Walz, K., und J. Bonzel: Entwurf der Normen für Zuschläge, Beton und Stahlbeton (*Betontechnologische Festlegungen*). beton 18 (1968) H. 6, S. 217/220, und H. 7, S. 259/262; ebenso *Betontechnische Berichte* 1968, Beton-Verlag, Düsseldorf 1969, S. 83/101.
- [8] Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. 3. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße 1960.
- [9] Höll, K.: Wasser — Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung. 4. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin 1968.
- [10] Gessner, H.: Vorschrift zur Untersuchung von Böden auf Zementgefährlichkeit. Diskussionsbericht Nr. 29 der Eidgenöss. Materialprüf- und Versuchsanstalt, Zürich 1928.