



## BETON IN AGGRESSIVEN WÄSSERN

Beurteilung des Wassers

Bauausführung

TGL

11357

Gruppe 255, 257, 700

Verbindlich ab 1.2.1963

Dieser Standard gilt für den örtlich hergestellten Beton, Betonfertigteile, auch Behälter und Betonwaren aller Art, bei denen der Beton Wässern und nassen Erdarten ausgesetzt ist, die aggressive Stoffe enthalten, zum Beispiel Meerwasser, Moorwasser, angreifende Grund-, Oberflächen- und Abwässer sowie Industrierwässer.

## 1. BETONAGGRESSIVE WÄSSER UND STOFFE UND IHRE WIRKUNG

Betonaggressiv sind solche Wässer, die entweder gar keine oder sehr wenig Inhaltstoffe oder freie Säuren, Sulfate, Magnesiumsalze oder bestimmte Ammoniumsalze enthalten. Dabei ist zu beachten, daß jede noch so geringe Menge einer chemischen Verbindung unter bestimmten Voraussetzungen mit den Bestandteilen des Betons reagieren kann. Die wesentlichsten Zerstörungserscheinungen sind:

physikalische Korrosion (Substanzverminderung), zum Beispiel Auslaugungsprozesse, mechanischer Abrieb

chemische Korrosion (Substanzverminderung oder -anreicherung) durch Ionenaustausch, zum Beispiel durch Umsetzen schwerlöslicher in leichtlösliche Verbindungen

physikalisch-chemische Korrosion (Treibwirkung) durch Kristallisationsprozesse, zum Beispiel Neubildung von Salzkristallen nach vorangegangenen chemischen Umsetzungen.

## 1.1.

Wässer, die gar keine oder nur sehr wenig Inhaltstoffe enthalten, also fast chemisch rein sind, lösen Kalkverbindungen aus dem Beton. Enthalten sie gleichzeitig freie Kohlensäure, siehe Abschnitt 1.2.1., wie es bei Hochmooren und Quellwässern vorkommt, wird das Lösungsvermögen gegenüber den Kalkverbindungen erhöht.

## 1.2.

Freie Mineralsäuren, zum Beispiel Schwefelsäure, Salzsäure und Salpetersäure, sind starke Säuren und schädigen bei pH-Werten (Wasserstoffionen-Konzentration) kleiner als 6 den Beton durch Herauslösen des Bindemittels und der karbonathaltigen Zuschlagstoffe.

## 1.2.1.

Kohlensäure wirkt nur lösend auf den Kalk des Zementes, wenn sie als Überschußkohlensäure im Wasser vorhanden ist. Diese kalklösende Überschußkohlensäure ist ein Teil der in den Wässern vorhandenen freien Kohlensäure.

Fortsetzung Seite 2 bis 13

Bearbeiter: Fachbereich 117, Baustoffe

Bestätigt: 25.6.1962, Amt für Standardisierung, Berlin

Ist das Wasser reich an Hydrogenkarbonat, so kann viel freie Kohlensäure vorhanden sein, die zur Aufrechterhaltung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes dient. Bei geringen Hydrogenkarbonat- oder Erdalkaligehalten, zum Beispiel in weichen Wässern, ist meist ein Überschuß an freier, kalklösender Kohlensäure vorhanden, die schon in kleinen Mengen den Beton angreift. Es ist deshalb stets der Anteil an kalklösender Kohlensäure des Wassers zu bestimmen.

### 1.3.

Organische Säuren, wie sie sich vorwiegend bei Gärungsprozessen bilden, und Huminstoffe, die in Moorwässern und stark humushaltigen (moorigen) Erdstoffen anzutreffen sind, greifen den Beton im allgemeinen weniger an als die Mineralsäuren; stärkere Schäden sind erst nach längerer Einwirkung zu erwarten.

Die Erhärtung frischen Betons kann bereits durch geringe Mengen Huminsäure im Zuschlagstoff und Anmachwasser behindert werden. Zuschlagstoffe sind auf ihren Gehalt an Huminstoffen zu überprüfen und ihre Schädlichkeit festzustellen, siehe Abschnitt 5.1.4. und Abschnitt 5.1.5.

### 1.4.

Lösliche Sulfate (schwefelsaure Salze) können schon in verdünnter Lösung zu Treiberscheinungen führen. Durch Wechselwirkung zwischen dem Kalk und der Tonerde des Zementes mit dem Sulfation ( $SO_4^{-2}$ ) bilden sich in Abhängigkeit vom pH-Wert entweder Calciumaluminatsulfat-Verbindungen mit sehr unterschiedlichen Kristallwassergehalten (zum Beispiel Ettringit) oder Gips, die beide starkes Treiben hervorrufen und zu einer Zerstörung des Betons führen können, siehe Abschnitt 3.4.

#### 1.4.1.

Schwefelhaltige Gase ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ) und ihre wässrigen Lösungen werden durch Berührung mit Luftsauerstoff zu Schwefelsäure oxydiert, die nach längerer Einwirkung die in Abschnitt 1.4. beschriebenen Erscheinungen auslösen kann.

### 1.5.

Magnesiumsalze, und zwar sowohl Magnesiumsulfat als auch Magnesiumchlorid, wirken schädlich auf den Beton ein. Sie treten in Wechselwirkung mit dem Kalk des Zementes, der gegen Magnesium ausgetauscht wird, so daß sich Magnesiumhydroxyd als weiche, gallertartige Masse zwischen den Sandkörnern ablagert, während sich bei Magnesiumsulfat gleichzeitig Gips oder Ettringit und bei Magnesiumchlorid Calciumchlorid bilden.

### 1.6.

Ammoniumsalze werden vom freien Kalk des Zementes in Ammoniak und Säurerest aufgespalten. Eine Zerstörung des Betongefüges tritt auf, wenn die Umsetzung zwischen Kalk und Säurerest zu einer löslichen Verbindung (einschließlich Calciumsulfat) führt.

### 1.7.

Fette und Öle wirken, je nach Herkunft ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit, verschieden auf den Beton ein.

#### 1.7.1.

Pflanzliche und tierische Fette und Öle, ihre Fettsäuren sowie synthetische Fettsäuren sind betonaggressiv, weil sie den Kalk des Betons zu Kalkseife umsetzen.

#### 1.7.2.

Mineralöle und -fette sind nicht betonaggressiv, wenn sie frei von Harzen und Säuren sind. Mineralöle enthalten jedoch vielfach noch pflanzliche und tierische Fette und Öle, dann gilt Abschnitt 1.7.1.

## 1.7.3.

Ist Beton von Fetten und Ölen völlig durchtränkt, so wird die Festigkeit und besonders der Haftverbund mit der Stahlbewehrung vermindert.

## 2. VORKOMMEN DER BETONAGGRESSIVEN STOFFE

## 2.1.

Meerwasser enthält als betonaggressive Inhaltstoffe Salze des Magnesiums und Salze der Schwefelsäure. Je nach dem Meeresteil, dem das Wasser entstammt, ist die Menge an betonaggressiven Inhaltstoffen verschieden.

T a b e l l e 1

-	Ostsee Masse in mg/l
Ca <sup>+2</sup>	90
Mg <sup>+2</sup>	260
Na <sup>+</sup>	2190
K <sup>+</sup>	70
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	580
Cl <sup>-</sup>	3960

Der gesamte Salzgehalt der Ostsee beträgt beispielsweise nach Tabelle 1 nur 7000 mg/l.

Natürliche oder künstliche Solen können eine ähnliche Zusammensetzung haben wie Meerwasser.

## 2.2.

Gebirgs- und Quellwasser sind oft arm an Inhaltstoffen und enthalten häufig kalklösende Kohlensäure, zum Beispiel die sogenannten Säuerlinge.

## 2.3.

Moorwasser, stark humushaltige (moorige) Erdstoffe, Grundwasser und Flußwasser sind betonaggressiv, wenn sie wenig Inhaltstoffe oder die in Abschnitt 1. genannten betonaggressiven Stoffe in bestimmten Mengen enthalten, siehe Tabelle 2.

## 2.4.

Die Abwässer der Industrie sind meistens betonaggressiv, zum Beispiel Abwässer von Kokereien, Kohlenzechen, Zellstoffwerken, Zuckerfabriken, Gerbereien, Farbenfabriken, Galvanisieranstalten und Molkereien. Neben angreifenden organischen und anorganischen Säuren ist in ihnen meistens das Sulfation (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) der betonaggressive Bestandteil. Sickerwässer von Schlackenhaldden können betonaggressiv sein. Auch der Untergrund und die Nachbarschaft von Haldden können im Laufe von Jahren mit betonaggressiven Stoffen angereichert sein.

## 3. UNTERSUCHUNG UND BEURTEILUNG DES WASSERS

## 3.1.

Sollen Betonbauwerke oder Betonfertigteile Wässern und nassen Erdstoffen mit unbekanntem chemischen Eigenschaften ausgesetzt werden, so ist eine chemische Untersuchung des Wassers und des Erdstoffes vorzunehmen.

### 3.2.

Im Prüfbericht sind mindestens anzugeben:

Abdampfdruckstand

pH-Wert

Härte

Verbrauch an  $\text{KMnO}_4$

Gehalt an  $\text{CaO}$ ,  $\text{CO}_2$  (gesamt und kalklösend)

$\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{S}^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  oder andere aggressive Stoffe.

Bei Industrierwässern ist die chemische Untersuchung weiterzuführen, um die unter den Abschnitten 1.2. bis 1.7. angeführten betonaggressiven Stoffe zu erfassen.

Äußere Merkmale betonaggressiver Wasser sind häufig:

Charakteristische dunkle Färbung

Ausscheiden von Salzen

Auffallender Geruch

Aufsteigen von Gasblasen

Saure oder alkalische Reaktion des Wassers.

### 3.3.

Das Ergebnis der chemischen Untersuchung bildet allein die Grundlage für die Beurteilung der Aggressivität des Wassers gegenüber Beton, die in 5 Aggressivitätsgraden von nicht betonaggressiv bis sehr stark betonaggressiv nach Tabelle 2 anzugeben ist.

### 3.4.

Das Wasser ist unter Berücksichtigung der gelösten Stoffe von der Untersuchungsstelle wie folgt zu beurteilen:

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchung werden mit den Zahlenangaben der Tabelle 2 verglichen und die Aggressivität der Inhaltstoffe festgestellt. Die Größe der Aggressivität dieser Stoffe ergibt den Aggressivitätsgrad des Wassers. Enthält das Wasser 2 oder mehr Inhaltstoffe mit der gleichen Aggressivität, so erhöht sich in der Regel der Aggressivitätsgrad des Wassers um eine Einheit. Die Zahlenangaben der Tabelle 2 tragen deshalb orientierenden Charakter.

## 4. WIRKSAME BETONAGGRESSIVITÄT

Unter "wirksamer Betonaggressivität" werden Richtwerte verstanden, nach denen die Vorkehrungen zum Schutze des Betonbauwerkes oder der Betonfertigteile nach Abschnitt 5. zu treffen sind.

### 4.1.

Die Wirkung des aggressiven Wassers und nassen Erdstoffes auf den Beton kann grundsätzlich nur nach den Bedingungen abgeschätzt werden, unter denen das aggressive Wasser mit dem Beton in Berührung kommt.

Der nach Abschnitt 3.4. ermittelte Aggressivitätsgrad des Wassers entspricht dem wirksamen Betonaggressivitätsgrad unter folgenden Voraussetzungen:

#### 4.1.1.

Es wird ein Beton der Güte B 50 hergestellt.

#### 4.1.2.

Der Beton wird in durchlässigen Baugrund, Sand oder Kies, eingebettet.

## 4.1.3.

Es handelt sich um stehendes Wasser, das an frisch erhärteten Beton, der die vorgeschriebene Betongüte noch nicht erreicht hat, herantreten kann.

## 4.2.

Stimmen die örtlichen Gegebenheiten mit den Voraussetzungen der Tabelle 2 nicht überein, so ist vom Projektanten die "wirksame Betonaggressivität" des Wassers abzuschätzen.

## 4.3.

Die Richtwerte werden auf der Grundlage des nach Abschnitt 3.4. ermittelten Aggressivitätsgrades des Wassers festgelegt. Der Aggressivitätsgrad ist je nach den herrschenden örtlichen Gegebenheiten zu erhöhen oder zu vermindern.

Erfahrungsgemäß erhöht sich der Aggressivitätsgrad des Wassers um eine Einheit bei folgenden Bedingungen:

4.3.1. fließendes Wasser

4.3.2. häufig wechselnder Wasserstand

4.3.3. einseitig wirkender Wasserdruck

4.3.4. höhere Wassertemperatur als 45 °C

4.3.5. feingegliederte Betonbauwerke

Der Richtwert kann bei folgenden Bedingungen vermindert werden:

## 4.3.6.

Das betonaggressive Wasser tritt erst nach 28 Tagen an den Beton heran.

## 4.3.7.

Das betonaggressive Wasser tritt nur wenige Male im Jahr, beispielsweise durch Hochwasser, an das Bauwerk, das im rolligen Baugrund steht, heran.

## 4.3.8.

Der Beton ist in bindigen Erdstoffen, zum Beispiel Lehm, Ton, Schluffton, Tonmergel, Geschiebemergel eingebettet.

Die Abminderung kann in Abhängigkeit von der Bildsamkeit  $w_{fa}$  vorgenommen werden.

Abminderung um einen Aggressivitätsgrad: bei  $w_{fa} = 0,05$  bis  $0,10$

Abminderung um zwei Aggressivitätsgrade: bei  $w_{fa} > 0,10$

Die Bildsamkeit (Plastizitätszahl)  $w_{fa}$  ist die Differenz zwischen den Wassergehalten eines Erdstoffes an der Fließgrenze  $w_f$  und der Ausrollgrenze  $w_a$

$$w_{fa} = w_f - w_a$$

Die Wassergehalte werden auf die Trockenmasse der Probe bei 105 °C bezogen.

## 4.3.9.

Die Hinweise in den Abschnitten 4.3.1. bis 4.3.8. geben nur Anhaltspunkte, wie die wirksame Betonaggressivität des Wassers abgeschätzt werden kann.

Tabelle 2 Aggressivität des Wassers in Abhängigkeit von der Menge der Inhaltstoffe

Reaktionen		A				B							C		
		Vorwiegend Auslaugungsprozesse einschließlich Hydrolyse an den Ca-Verbindungen des Betons				Vorwiegend chemische Umsetzungen Begleiterscheinung: Auslaugung							Chemische Umsetzungen und Treiberscheinungen Begleiterscheinung: Auslaugung vorwiegend Bildung von		
		Säurewirkung, Austauschvorgänge		Austauschvorgänge, Säurewirkung			Ettringit und Gips			Gips und Ettringit	Gips, Magnesiumhydroxyd Ammoniumsalze				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Aggressivität des Wassers <sup>1)</sup>		Abdampfdruckstand des filtrierten Wassers bei gleichzeitiger Anwesenheit kalklösenden CO <sub>2</sub> oder pH-Wert		Kalkgehalt CaO	pH-Wert	Kalklösende Kohlensäure		Magnesium Mg <sup>+2</sup>	Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Sulfid S <sup>-2</sup>	Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> bei gleichzeitiger Anwesenheit von			
		mg/l	pH-Wert	mg/l		kalklösendes CO <sub>2</sub> mg/l	Karbonathärte bei odH		bei NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ≤ 150 mg/l	bei NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ≥ 150 mg/l		Mg <sup>+2</sup> < 100 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> < 100 mg/l Cl <sup>-</sup> < 1000 mg/l			Mg <sup>+2</sup> ≥ 100 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ≥ 100 mg/l
I	nicht betonaggressiv	>150	-	-	>100	>6	<10	>2,0	<100	<100	<50	<1	<200	<250	<100
II	schwach betonaggressiv	150 bis 50	0 bis 5	≥ 6	100 bis 50	6,0 bis 5,5	<10 10 bis 40	0,2 bis 2,0 >2,0	100 bis 150	100 bis 150	50 bis 100	1 bis 10	200 bis 350	250 bis 400	100 bis 200
III	mittel betonaggressiv	150 bis 50	>5	<6	<50	5,5 bis 5,0	<10 10 bis 40 40 bis 90	<0,2 0,2 bis 2,0 >2,0	150 bis 250	150 bis 250	100 bis 150	>10	350 bis 600	400 bis 700	200 bis 350
IV	stark betonaggressiv	<50	0 bis 5	>5,5	-	5,0 bis 4,0	10 bis 40 40 bis 90 >90	<0,2 >2,0 bei jeder Härte	250 bis 500	250 bis 500	150 bis 250	-	600 bis 1200	700 bis 1500	350 bis 600
V	sehr stark betonaggressiv <sup>2)</sup>	<50	>5	<5,5	-	4,0 bis 3,0	-	-	>500	>500	>250	-	>1200	>1500	>600

<sup>1)</sup> Siehe Abschnitt 3.4.

<sup>2)</sup> Besondere Untersuchungen und Beurteilungen sind erforderlich, siehe Abschnitt 4.4.

## 4.4.

Ein Gutachten von einer der hierfür ermächtigten Stellen oder einem von der Staatlichen Bauaufsicht zugelassenen Sachverständigen für Baustoffe über die Abschätzung der wirksamen Betonaggressivität und die zu treffenden Schutzmaßnahmen ist einzuholen, wenn

## 4.4.1.

der Aggressivitätsgrad des Wassers **s e h r s t a r k** betonaggressiv mit einem pH-Wert kleiner als 3 ist oder Inhaltstoffe vorhanden sind, deren Mengen den doppelten Zahlenwert der Angaben der Tabelle 2, Zeile 5, übersteigen;

## 4.4.2.

der wirksame Betonaggressivitätsgrad **s e h r s t a r k** betonaggressiv festgestellt wird;

## 4.4.3.

der Aggressivitätsgrad des Wassers nach diesem Standard nicht sicher zu bestimmen ist, beispielsweise bei Industrierwässern nach Abschnitt 2.4.

## 5. GRUNDSÄTZE FÜR BAULICHE SCHUTZMASSNAHMEN

Die wichtigste Voraussetzung für die Widerstandsfähigkeit eines Betons gegenüber betonaggressiven Wässern und nassen Erdstoffen ist die Herstellung eines möglichst dichten und gleichmäßigen Betongefüges und die Verwendung eines geeigneten Zementes.

Die baulichen Schutzmaßnahmen sind auf der Grundlage der nach Abschnitt 4. ermittelten Richtwerte für die wirksame Betonaggressivität des Wassers zu treffen und müssen mindestens die Forderungen des Abschnittes 5.3. erfüllen.

Je dichter der Beton hergestellt und je zweckentsprechender die Zementauswahl getroffen wird, um so widerstandsfähiger ist der Beton.

Insbesondere ist folgendes zu beachten:

## 5.1. Auswahl und Güte der Baustoffe

## 5.1.1.

Die Bindemittel müssen den Standards entsprechen. Ein Zusatz von Puzzolanen, unabhängig von der Art der verwendeten Bindemittel und von der Zugabe zu diesen, hat sich bewährt. Werden Puzzolane zugesetzt, so dürfen sie bei der Ermittlung des Wasserzementwertes nicht als Bindemittel gerechnet werden.

## 5.1.2.

In sulfathaltigen Wässern ab  $1200 \text{ mg/l SO}_4^{-2}$  sind geeignete, sulfatbeständige Zemente zu verwenden. Geeignet sind Sulfathüttenzement, Portlandzement mit bis zu 5% Tricalciumaluminat und sulfatbeständiger Portlandzement, frei von Tricalciumaluminat. Sind gleichzeitig mehr als 600 mg/l Magnesium oder Ammoniumionen im Wasser gelöst, ist Sulfathüttenzement weniger geeignet. Frischbeton und frisch erhärteter Beton nach Abschnitt 4.1.3., der aus Sulfathüttenzement hergestellt wurde, darf nicht mit Wasser in Berührung gebracht werden, das kalklösende Kohlensäure enthält und einen pH-Wert kleiner als 6 besitzt.

In Sonderfällen darf Tonerdeschmelzzement als geeigneter Zement für sulfathaltige Wässer verwendet werden, wenn keine Ammoniumsalze, kein alkalisches Wasser und keine höheren Wassertemperaturen vorhanden sind.

## 5.1.3.

Tritt der Beton mit Wasser nach Abschnitt 1.1. oder mit Wässern in Berührung, die einen pH-Wert kleiner als 6 besitzen oder mehr als 10 mg/l kalklösende Kohlensäure enthalten, wird empfohlen, den Zementgehalt zu erhöhen und das betonaggressive Wasser so lange vom Frischbeton fernzuhalten, bis die geforderte Betongüte erreicht ist.

Tritt das Wasser früher an den Beton heran oder handelt es sich um Wasser mit hohen Aggressivitätsgraden, so sind zusätzlich zur Pufferung des betonaggressiven Wassers eine Kalksteinpacklage vor dem Beton anzuordnen oder die Abmessungen des Betonbauteiles bei gleichzeitiger Verwendung von dichtem Kalksteinsplitt als Betonzuschlagstoff zu erhöhen.

## 5.1.4.

Als Anmachwasser für Portlandzement und Hüttenzement dürfen Wasser verwendet werden, die einen pH-Wert größer als 4 und nicht mehr als 35000 mg/l gelöste Salze enthalten. Wasser mit einem kleineren pH-Wert als 4 sind nur zu verwenden, wenn sie mit Kalkhydrat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  neutralisiert werden. Meerwasser darf bei Verwendung dieser Zemente beim Anmachen des Betons mit Ausnahme von Spannbeton benutzt werden.

Das Anmachwasser soll frei von organischen Verbindungen, insbesondere Zucker oder Huminstoffen, sein. Industrierwasser nach Abschnitt 2.4. sind bedingt geeignet. Sollen diese Wasser verwendet werden, ist ihre Eignung nachzuweisen. Erstarrungsanfang und -ende des Zementes müssen dem Stand für die Qualität des verwendeten Zementes entsprechen. Die Festigkeit des Mörtels darf im Vergleich zur Festigkeit des Mörtels, der mit Trinkwasser angemacht wird, nicht mehr als 15% abfallen.

Wird Sulfathüttenzement oder Tonerdeschmelzzement verarbeitet, muß der Beton mit Wasser angemacht werden, das dem Trinkwasser entsprechen soll.

## 5.1.5.

Die Zuschlagstoffe müssen hinsichtlich ihres Gehaltes an schädlichen Bestandteilen, insbesondere Huminstoffen und ihrer Eigenschaften, den Forderungen ihrer Standards entsprechen. Die Zuschlagstoffe dürfen mit den betonaggressiven Wässern keine Reaktion eingehen, ausgenommen Zuschlagstoffe für Beton nach Abschnitt 5.1.3.

## 5.1.6.

Die Stahlbewehrung einschließlich der Bügel muß bei Betonen, die betonaggressiven Wässern ausgesetzt sind, eine Betonüberdeckung von mindestens 30 mm erhalten. Hierbei gelten die Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 5.3.4. nicht als Betonüberdeckung.

Falls mechanische Beanspruchung, zum Beispiel durch Sandschliff, Eisabrieb oder Wellenschlag eintritt, ist eine noch größere Betonüberdeckung vorzusehen und auf hohe Verschleißfestigkeit zu achten. Wird Stahlbeton dem Meerwasser oder hochchloridhaltigen Wässern mit über 1000 mg/l Chlorid ausgesetzt oder mit diesen Wässern angemacht, so muß eine Betonüberdeckung von mindestens 50 mm vorgesehen werden. Die Güte des Betons muß in diesen Fällen den Forderungen nach Abschnitt 5.3.5. entsprechen.

## 5.2. Herstellung des Betons

Der Beton ist grundsätzlich nach den Standards herzustellen. Seine Widerstandsfähigkeit gegenüber betonaggressiven Wässern und nassen Erdstoffen kann durch folgende zusätzlichen Maßnahmen erhöht werden:

## 5.2.1.

Der Frischbeton darf nicht zu sperrig oder zu steif sein, damit er einwandfrei eingebracht und verdichtet werden kann. Die Steife soll etwas plasti-



scher sein, als es im Hinblick auf das Verdichtungsverfahren notwendig wäre, damit der Frischbeton auch bei geringen, während der Herstellung unvermeidlichen Schwankungen stets gut verarbeitbar bleibt. Durch Erhöhung oder Verminderung der Zementleimmenge (Wasser + Zement) kann die Steife des Frischbetons den Verarbeitungsbedingungen der Betonierstelle angepaßt werden. Der Frischbeton darf nicht durch alleinige Zugabe von Wasser verarbeitbarer gestaltet werden. Durch ständige Überwachung muß dafür gesorgt werden, daß der nach Abschnitt 5.3. vorgeschriebene

$$\text{Wasserzementwert} = \frac{\text{Wasser in l}}{\text{Zement in kg}}$$

auch bei unterschiedlicher Zementleimmenge eingehalten wird.

Die Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe und die Bindemittelmengen müssen so gewählt werden, daß mit dem vorgesehenen Verdichtungsverfahren ein gleichmäßiger, dichter Beton entsteht. Es ist besonders darauf zu achten, daß der Beton sich weder entmischt, noch das Anmachwasser abstößt. Für das Verdichten sind Verfahren anzuwenden, die eine höhere Wasserundurchlässigkeit des Betons gewährleisten.

#### 5.2.2.

Die Verarbeitbarkeit und die Wasserundurchlässigkeit können durch Zugabe von geeigneten Betonzusatzmitteln verbessert werden. Das ist ganz besonders wichtig bei Bauteilen, die unter einseitigem Überdruck des Wassers stehen.

Als geeignete Zusatzmittel gelten Dichtungsmittel, Betonverflüssiger und luftporenbildende Zusatzmittel. Die Zusatzmittel müssen den Standards entsprechen. Werden zur Erhöhung der Lebensdauer des Betons luftporenbildende Stoffe verwendet, so darf der Gesamtporenraum des Frischbetons durch die eingeführte Luft auf nicht mehr als insgesamt 5% erhöht werden.

#### 5.2.3.

Die Betonkörper sind in einem ununterbrochenen Arbeitsgang zu betonieren. Das gilt in besonderem Maße bei wasserundurchlässigem Beton, damit der monolithische Charakter des Bauwerkes gewahrt bleibt. Sind aus baulichen oder arbeitstechnischen Gründen Arbeitsfugen unvermeidlich, so sind sie nach Möglichkeit nicht im Bereich der Wasserwechselzone anzuordnen.

Bleibende Arbeitsfugen können vermieden werden, wenn dem zuletzt eingebrachten Beton geeignete Erstarrungsverzögerer zugesetzt werden, die den Frischbeton bis zum Weiterbetonieren verarbeitbar erhalten. Die mit Zementschlamm angereicherte und in der Regel mit Haarrissen durchsetzte oberste Schicht ist vor dem Weiterbetonieren an den Anschlußflächen entweder vor Beginn des Erstarrens oder nach guter Erhärtung unter Anwendung von Druckwasser, Druckluft oder Sandstrahlgebläse oder durch Abstemmen sorgfältig zu entfernen oder aufzurauen. Vor dem Weiterbetonieren sind Anschlußflächen von erstarrtem Beton grundsätzlich zu nässen. Sobald die Anschlußflächen nach Aufsaugen des Wassers nur noch mattfeucht sind, ist zunächst eine dünne Schicht desselben Betons unter Fortlassung der groben Zuschläge aufzubringen. Dann ist sofort weiterzubetonieren.

Wenn in einer trockenen Baugrube nicht gearbeitet werden kann und unter Wasser betoniert werden muß, zum Beispiel Unterwasserbeton, sind die Grundsätze für das Betonieren unter Wasser besonders zu beachten.

#### 5.2.4.

Jede Vergrößerung der Angriffsfläche, zum Beispiel Arbeitsfuge, Risse, scharfe Kanten, erleichtern den Angriff der betonaggressiven Wasser, deshalb sind scharfe Kanten zu vermeiden oder zu brechen. Der Betonkörper ist möglichst lange feucht nachzubehandeln, damit Trockenschwindrisse nicht auftreten können.

### 5.2.5.

Da die Verarbeitung und Verdichtung des Betons besondere Bedeutung für die Wasserundurchlässigkeit und damit die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen betonaggressive Wasser besitzen, ist besonderer Wert auf eine zuverlässige Bauleitung und Gütekontrolle zu legen.

### 5.3. Güteforderungen an den Beton und Schutzmaßnahmen

Die Betongüte und die Schutzmaßnahmen sind auf Grund des ermittelten wirksamen Betonaggressivitätsgrades auszuwählen.

#### 5.3.1. Wirksamer Betonaggressivitätsgrad I (nicht betonaggressiv)

Es sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

#### 5.3.2. Wirksamer Betonaggressivitätsgrad II (schwach betonaggressiv)

Der Beton muß mindestens eine Güte B 120 besitzen. Die Verwendung eines geeigneten Zementes nach den Abschnitten 5.1.2. oder 5.1.3. ist je nach Art und Zusammensetzung des betonaggressiven Wassers erforderlich.

Wird die Zementauswahl nicht getroffen, so sind mindestens ein Beton der Güte B 160 mit einem Wasserzementwert kleiner als 0,65 oder ein Beton mit mindestens 300 kg Zement je m<sup>3</sup> Beton herzustellen.

#### 5.3.3. Wirksamer Betonaggressivitätsgrad III (mittel betonaggressiv)

Die Kornzusammensetzung der zur Verarbeitung kommenden Zuschläge muß mindestens im brauchbaren Bereich zwischen den Sieblinien E und F liegen. Es ist mindestens ein Beton der Güte B 160 mit einem Wasserzementwert kleiner als 0,65 oder ein Beton mit mindestens 300 kg Zement je m<sup>3</sup> Beton herzustellen.

Zement nach den Abschnitten 5.1.2. und 5.1.3.

#### 5.3.4. Wirksamer Betonaggressivitätsgrad IV (stark betonaggressiv)

Die Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe muß im besonders guten Bereich zwischen den Sieblinien D und E liegen. Die Zuschläge sind getrennt nach 3 Kornklassen (0 bis 2,5 mm; 2,5 mm bis 5 mm und über 5 mm anzuliefern und der Mischmaschine aufzugeben.

Der Beton darf mit keinem höheren Wasserzementwert als 0,45 angemacht werden. Beim Betonieren unter Wasser darf er nicht größer als 0,4 sein.

Diese Forderungen führen bei Verwendung eines durchschnittlichen Zementes der Güte Z 225 bei einem Wasserzementwert von 0,45 und einem Luftgehalt kleiner als 1,5% zu einer Betongüte von etwa B 300. Der Zementgehalt ergibt sich aus der geforderten Kornzusammensetzung der zur Verfügung stehenden Zuschlagstoffe und der für die Verdichtung notwendigen Steife. Er beträgt bei Kiessand der Körnung 0 bis 25 mm etwa 350 kg bis 450 kg Zement je m<sup>3</sup> Beton.

Zement nach den Abschnitten 5.1.2. und 5.1.3.

Stehen keine geeigneten Zemente zur Verfügung, so sind Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 5.3.5. zu treffen. Anstriche mit Bitumen oder Teer als Grundstoff in Form von Lösungen oder Emulsionen nach TGL 3652 oder eine Fluatbehandlung können frischen Beton vor der Einwirkung betonaggressiver Wasser schützen.

Die Wasserundurchlässigkeit des Betons ist mittels Eignungsprüfung im Alter von 90 Tagen nachzuweisen.

Nach Erreichen eines Wasserdruckes von  $7 \text{ kp/cm}^2$  darf die Wassereindringtiefe nicht mehr als 80 mm betragen. Die Wasserundurchlässigkeit kann vorausschauend abgeschätzt werden, wenn am Frischbeton nicht mehr als 1,5 Raum-% Luftporen festgestellt werden.

Der Luftgehalt von 1,5% in verdichtetem Frischbeton ist eingehalten, wenn

$$\frac{z}{\rho_z} + \frac{k}{\rho_k} + w = 985 \text{ dm}^3$$

ist.

Hierbei bedeuten:

$\rho_z$  = Reindichte des Zementes

$\rho_k$  = Kornrohddichte der Gesamtzuschläge

$z$  = Gehalt an Zement

$k$  = Gehalt an Zuschlagstoff

$w$  = Gehalt an Wasser

} in  $\text{kg/m}^3$  verdichtetem Frischbeton

Der Luftporengehalt kann nach der Festraumrechnung<sup>3)</sup> oder mit Hilfe eines Luftporenprüfers ermittelt werden. Diese vorausschauende Maßnahme entbindet jedoch nicht von dem Nachweis der Wasserundurchlässigkeit.

### 5.3.5. Wirksamer Betonaggressivitätsgrad V (sehr stark betonaggressiv)

Die Forderungen nach Abschnitt 5.3.4. sind einzuhalten. Darüber hinaus darf bei der Wasserundurchlässigkeitsprüfung die Eindringtiefe nach einem Wasserdruck von  $7 \text{ kp/cm}^2$  nur 40 mm betragen. Zur Gewährleistung der Wasserundurchlässigkeit müssen an Zement, Feinanteilen 0 bis 0,2 mm des Zuschlagstoffes und nötigenfalls Zusatz von Gesteinsmehl 0 bis 0,2 mm in  $\text{m}^3$  Fertigbeton folgende Mindestmengen vorhanden sein:

Bei Körnungen bis	kg
5 mm	500
12,5 mm	425
25 mm	350
35,5 mm	300
56 mm	275

Der Luftgehalt des verdichteten Frischbetons darf 1% nicht überschreiten, damit die Forderung nach Wasserundurchlässigkeit eingehalten werden kann. Die Stahleinlagen müssen eine Betonüberdeckung von 50 mm erhalten.

Puzzolane nach Abschnitt 5.1.1. und Zusatzmittel nach Abschnitt 5.2.2. dürfen verwendet werden.

Die vorgenannten Maßnahmen reichen für Betone aus, die dem Meerwasser ausgesetzt werden sollen.

3) Die Angaben beziehen sich nur auf Frischbetone, denen keine luftporenbildenden Stoffe zugesetzt worden sind.

Erscheinen die angeführten Maßnahmen nicht ausreichend, siehe Abschnitt 4.4., so ist dafür Sorge zu tragen, daß das betonaggressive Wasser nicht unmittelbar mit dem Beton in Berührung kommt. Das kann beispielsweise durch bautechnische Maßnahmen, wie Ableiten des Wassers, durch Drainage oder Grundwasserabsenkung, durch Abdichten nach den Grundsätzen der Abdichtungstechnik, mit Dichtungsaufstrichen, Dichtungspasten, Plastwerkstoffen, Klinkerumkleidungen, Tonabdichtungen oder Dichtungsbahnen erfolgen, siehe TGL 3651 und TGL 3653.

#### 5.4. Sonstige Bestimmungen

Schleuderbetonrohre und Spannbetonrohre haben sich gegenüber stark betonaggressiven Wässern beständig erwiesen, wenn sie den Standards entsprechen.

Die nach Abschnitt 5.1.6. geforderte Betonüberdeckung der Stahlbewehrung darf in diesen Fällen unterschritten werden. Bei sehr stark betonaggressiven Wässern sind geeignete Schutzmaßnahmen für den Beton und die Stahlbewehrung zu treffen.

### 6. ENTNAHME VON WASSER- UND ERDSTOFFPROBEN

Die Untersuchung und Beurteilung von Wasser- und Erdstoffproben auf ihre betonaggressiven Eigenschaften setzt voraus, daß bereits bei der Entnahme und der Beförderung zur Untersuchungsstelle gewisse Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden. Durch unsachgemäße Entnahme von Wasserproben kann beispielsweise der Gehalt an Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, bei Erdstoffproben der Gehalt an Schwefeleisen oder Schwefelkies zum Teil oder ganz verlorengehen.

#### 6.1.

Für jede Erdstoffprobe sind mindestens 2000 cm<sup>3</sup> erforderlich. Flaschen, Chemikalien und Transportkisten können von den Untersuchungsstellen angefordert werden.

#### 6.2. Verpackung und Transport

Die Behälter mit Wasser- und Bodenproben sind sofort nach der Entnahme sorgfältig verschlossen der Untersuchungsstelle zuzuleiten.

#### Hinweise:

Liesche und Paschke: "Beton in aggressiven Wässern; Erläuterung und Beispiele zur TGL 11 357 Beton in aggressiven Wässern", Berlin, VEB Verlag für Bauwesen 1961

Biczok, J.: "Betonkorrosion und Betonschutz", Berlin, VEB Verlag für Bauwesen 1960

Sand, Kies und gebrochene Natursteine, Prüfung siehe TGL 11 360 (in Vorbereitung)

Baugrunduntersuchung, Probenahme von Erdstoff und Wasser siehe TGL 11 456 (in Vorbereitung).

Gutachterliche Stellungnahmen nach Abschnitt 4.4. können von folgenden Dienststellen eingeholt werden:

Deutsches Amt für Material- und Warenprüfung (DAMW) - Fachabteilung Bauwesen -

Prüfdienststelle	Berlin,	Berlin O 17, Mühlenstr. 17
"	Dresden,	Dresden A 27, Am Gericht 7
"	Leipzig,	Leipzig W 31, Nonnenstr. 44
"	Magdeburg,	Magdeburg O 1, Gr. Steinerne Tischstr. 4
"	Weimar,	Weimar, Helmholtzstr. 11
"	Wismar,	Wismar, Stalinstr. 239

VEB Baugrund Berlin,

Zweigstelle	Berlin,	Berlin W 8, Krausenstr. 35/36
"	Dresden,	Dresden N 6, Paul-Schwarze-Str. 2
"	Naumburg,	Naumburg/S., Maxim-Gorki-Ring 4a
"	Stralsund,	Stralsund, Carl-Heydemann-Ring 35

Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau,

Berlin O 17, Alt-Stralau 44-45.

Am 23.4.1962 lag beim Amt für Standardisierung noch kein vergleichbarer GOST oder Fachbereichsstandard der UdSSR vor. Zur gegebenen Zeit wird in der "STANDARDISIERUNG" bekanntgegeben, daß ein vergleichbarer GOST oder Fachbereichsstandard der UdSSR vorliegt.