

## 2 Expositionsklassen von Wasserbauwerken

Westendarp, A.

### 2.1. Expositionsklassensystematik

#### 2.1.1 Allgemeines

Mit der neuen Normengeneration für den Massivbau [DIN EN 206-1, 2001], [DIN 1045-2, 2001] soll der Bedeutung der Dauerhaftigkeit für Nutzungsdauer und Wirtschaftlichkeit von Bauwerken und Bauteilen aus Beton mehr als bislang Rechnung getragen werden. Vor diesem Hintergrund werden in den genannten Regelwerken Expositionsklassen definiert, mit denen die auf das Bauteil einwirkenden Umgebungsbedingungen beschrieben werden können. Diese Expositionsklassen sind Basis für verschiedene dauerhaftigkeitsrelevante Festlegungen beispielsweise hinsichtlich Betondeckung, Betonausgangsstoffen, Betonzusammensetzung oder Nachbehandlung.

Unterschieden wird grundsätzlich in Expositionsklassengruppen, die zu einem Angriff auf die Bewehrung (Bewehrungskorrosion) und solche, die zu einem Angriff auf den Beton selbst (Betonkorrosion) führen (siehe Tabelle 2.1). Innerhalb der einzelnen Expositionsklassen wird die Intensität des Angriffs durch Zahlen von 1 bis 3 bzw. von 1 bis 4 definiert. Hierbei gilt prinzipiell: Je höher die Zahl, desto intensiver der Angriff.

Bewehrungskorrosion		Betonkorrosion	
XC1 - XC4	Carbonatisierung	XF1 - XF4	Frost mit / ohne Taumittel
XD1 - XD3	Chloride (außer Meerwasser)	XA1 - XA3	Chemischer Angriff
XS1 - XS3	Chloride aus Meerwasser	XM1 - XM3	Verschleißbeanspruchung
X0 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko			

Tabelle 2.1: Expositionsklassen

In [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 1, werden die einzelnen Expositionsklassen detailliert beschrieben und Bauteilbeispiele zugeordnet. In der [ZTV-W, 215, 2004] findet sich eine vergleichbare Tabelle 2.1 mit Zuordnung wasserbauspezifischer Beispiele (siehe Anlage 1).

Je nach Beanspruchung kann ein Bauteil nur einer oder einer Kombination aus mehreren Expositionsklassen unterliegen.

Die dauerhaftigkeitsrelevanten Beanspruchungen, denen eine Bauteiloberfläche unterliegt, sollen durch die Wahl der Expositionsklassen **möglichst realitätsnah** abgebildet werden.

Gerade bei den zumeist massigen Bauteilen von Wasserbauwerken gilt es, bei der Wahl von Betonausgangsstoffen und Betonzusammensetzung einen optimalen Kompromiss zwischen der über die Expositionsklassen gesteuerten Dauerhaftigkeit der Betonsubstanz an

sich auf der einen Seite und der Minimierung dauerhaftigkeitskritischer Risse bzw. Rissbreiten infolge Zwang aus Hydratationswärme auf der anderen Seite zu finden. Die entsprechenden Anforderungen beispielsweise an Zementart, Zementgehalt oder Wasser/Bindemittelwert sind teilweise konträr. Unangemessen hohe Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Betons infolge Wahl einer zu „scharfen“ Expositionsklasse (z. B. XF3 statt XF1) können diese Kompromissfindung erheblich erschweren und letztendlich sogar kontraproduktiv sein („dauerhafter Beton zwischen einer Vielzahl von Rissen“) oder führen zu einem unverhältnismäßig hohen Grad an rissbreitenbegrenzender Bewehrung.

**Verantwortlich für die sachgerechte Festlegung der Expositionsklassen ist der Bauherr bzw. Auftraggeber einer Baumaßnahme**, ihm wird damit im Dauerhaftigkeitskonzept gemäß neuer Normung eine zentrale Rolle zugewiesen.

Beachtet werden sollte, dass die Wahrscheinlichkeit einer angemessenen, zielsicheren Zuordnung von Expositionsklassen trotz aller publizierten Beispielsammlungen in engem Zusammenhang mit dem Vorhandensein zumindest elementarer Kenntnisse über die zu Grunde liegenden Schadensmechanismen steht. Literatur zur Expositionsklassenproblematik und zu den mit bestimmten Beanspruchungen (Expositionen) einhergehenden (Schadens)Mechanismen ist mittlerweile in großem Umfang verfügbar (siehe beispielsweise [DAfStb, Heft 526], [DBV 2003]); auf eine detaillierte Erörterung wird deshalb im Rahmen dieses Beitrages verzichtet. Nachfolgende Grundsätze sollten bei der Expositionsklassenzuordnung aber in jedem Fall berücksichtigt werden.

#### 2.1.2 Bewehrungskorrosion

Bewehrungskorrosion ist nur möglich, wenn die durch das alkalische Milieu des Betons hervorgerufene Passivschicht auf der Bewehrungs Oberfläche zuvor zerstört worden ist. Dies kann geschehen durch

- **Carbonatisierung** des Betons bis hin zur Bewehrung (Expositionsklassen XC)
- **Chlorideintrag** in den Beton bis hin zur Bewehrung (Expositionsklassen XD).

Der Carbonatisierungsfortschritt ist abhängig vom Zutritt von Kohlendioxid in den Beton (hohe Carbonatisierungsraten in trockenem Beton, minimale bzw. keine Carbonatisierung bei hohen Sättigungsgraden der Poren im Zementstein).

Der Chlorideintrag in den Beton erfolgt entweder durch Diffusion in den wassergefüllten Poren oder durch kapillares Saugen bei Beaufschlagung von Betonen mit geringen Sättigungsgraden mit chloridhaltigen Wässern („Huckepacktransport“), wobei der letztgenannte Transportmechanismus zu erheblich höheren Chloridanreicherungen in wesentlich kürzeren Zeiträumen führen kann als der erstgenannte.

Bewehrungskorrosion (anodische Teilreaktion mit Eisenauflösung) kann aber auch nach einer Depassivierung der Bewehrung nur auftreten, wenn **gleichzeitig**

- die Ausbildung eines **Elektrolyten** (Voraussetzung: entsprechender Feuchtigkeitsgehalt im Beton im Bereich der Bewehrung)

und

- die **kathodische Teilreaktion** (Voraussetzung: Zutritt von Sauerstoff durch die Poren des Zementsteins bis an die Bewehrung; kann durch hohe Sättigungsgrade unterbunden werden)

möglich sind.

### 2.1.3 Betonkorrosion

#### Frostbeanspruchung

Die Intensität eines Frostangriffs auf Beton ist abhängig von der Intensität der Temperaturbeanspruchung (Minimaltemperatur, Temperaturdifferenzen, Anzahl der atmosphärisch, betriebs- oder gezeitenbedingten Frost-Tau-Wechsel), dem Sättigungsgrad der Poren im Zementstein des Betons und der Art des anstehenden Mediums (Süß- oder Meerwasser, taumittelhaltige Wässer). Hinsichtlich des Sättigungsgrades geht man allgemein davon aus, dass sich bei freibewitterten, horizontalen oder näherungsweise horizontalen Flächen infolge Beaufschlagung mit Regen, Schnee bzw. Schneematsch temporär hohe Sättigungsgrade im oberflächennahen Beton einstellen können (XF3, XF4). Bei eher vertikal orientierte Flächen werden sich hingegen infolge freier Bewitterung nur mäßige Sättigungsgrade einstellen (XF1, XF2). Bei vertikalen Flächen mit direkter Wasserbeaufschlagung, wie beispielsweise bei Wasserbauwerken im Bereich der Wasserwechselzone, ist hingegen ebenfalls vom Eintreten hoher Sättigungsgrade auszugehen. Substanzielle frostbedingte Schäden treten nur in Verbindung mit hohen Sättigungsgraden auf. Hinweise zur frostrelevanten Temperaturbeanspruchung von Wasserbauwerken finden sich in [Westendarp, A.; Schulze, M., 2000], umfassende Informationen zur Frostbeanspruchung von Beton sind in [DAfStb, Heft 560] zusammengestellt.

#### Chemischer Angriff

Die Einstufung von Bauteilflächen im Hinblick auf einen chemischen Angriff erfolgt auf Basis der in [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2, festgelegten Grenzwerte für bestimmte Merkmale von Böden und Grundwasser. Beim Grundwasser geht man in [DIN 1045-2, 2001] hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit (die für bestimmte Austauschreaktionen von Relevanz ist) von näherungsweise hydrostatischen Bedingungen aus. Bauteilflächen, die mit Meerwasser in Berührung kommen, sind (mindestens) der Expositionsklasse XA2 zuzuordnen. Weitergehende Informationen hinsichtlich Vorkommen und Wirkungsweise von chemisch angreifenden Böden und Grundwasser finden sich in [DIN 4030-1, 1991].

#### Verschleiß

Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung ist eine ausschließlich national geregelte Exposition (nur in [DIN 1045-2, 2001], nicht in [DIN EN 206-1, 2001]), die geschaffen wurde, um den „Beton mit hohem Verschleißwiderstand“ gemäß bisheriger Fassung der DIN 1045 auch künftig berücksichtigen zu können. Leider werden bei der Definition der Expositionsklassen XM1 bis XM3 in [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 1, die unterschiedlichen Arten der Verschleißbeanspruchung (z. B. schleifend/gleitend bzw. schlagend/stoßend) nur unzureichend berücksichtigt. Bei Wasserbauwerken können Verschleißbeanspruchungen vor allem resultieren aus

- Güterumschlag, Verkehr (insbesondere bei Oberseiten von Kajen)
- Schiffsanfahrt, Eisgang (z. B. bei Schleusenkammerwänden)
- Geschiebetransport (insbesondere bei Wehrrücken, Tosbecken).

Die Intensität der Verschleißbeanspruchung durch geschleibeführende Wässer (Hydroabrasionsverschleiß) ist insbesondere abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers und der Geschleibefracht (Verhältnis Abrasivgut/Wasser). In der [ZTV-W 215, 2004], Tabelle 2.1, wird u. a. anhand dieser Kriterien eine Zuordnung zu den Expositionsklassen XM1 bis XM3 vorgenommen. Die Verschleißbeanspruchung der Sohlen von Schleusenammern in Fließgewässern oder der Sohl- und Wandflächen von Umläufen in Schleusenanlagen erfahren i. d. R. nur vergleichsweise geringe Verschleißbeanspruchungen, eine Zuordnung zu einer Klasse XM ist hier zumeist nicht gerechtfertigt. Schleusenammernwände sollten in den Bereichen, in denen Schiffsanfahrt möglich ist, der Expositionsklasse XM1 zugeordnet werden. Bei Wehrrücken und Tosbecken im Bereich von Bundeswasserstraßen ist zumeist eine Zuordnung zu XM2 angemessen, während die Expositionsklasse XM3 beispielsweise bei Bauteilen im Bereich von Gebirgsbächen angemessen sein kann.

Weitergehende Informationen zum Thema „Verschleiß“ und hier insbesondere zum Thema „Hydroabrasionsverschleiß“ finden sich u. a. in [DAfStb, Heft 511].

## 2.2 Wasserbauspezifische Bauwerksbeispiele

### 2.2.1 Allgemeine Hinweise zur Expositionsklassenfestlegung

Erster Schritt bei der Festlegung der für ein Bauwerk oder Bauteil relevanten Expositionsklassen ist die Identifizierung und sinnvolle Zusammenfassung von Bauteil- bzw. Bauwerksoberflächen mit gleichem oder sehr ähnlichem Beanspruchungsspektrum (siehe z. B. Bild 2.1, Farbmarkierungen). Anschließend wird diesen Flächen das jeweils maßgebende Expositionsklassenpektrum zugeordnet wird. Dabei kann es insbesondere zu Anfang hilfreich sein, die Expositionsklassen- gruppen gemäß Tabelle 2.1 systematisch auf Relevanz hin zu überprüfen.

Bei der Festlegung der Expositionsklassen sind die während der Nutzungsdauer des Bauwerkes überwiegend anstehenden Beanspruchungen zu Grunde zu legen. Die Oberseite der Sohle einer Schleusen- kammer kann beispielsweise während der Bauzeit oder während mehrwöchiger Trockenlegungsphasen in der Nutzungsphase des Bauwerks durchaus eine Frost- beanspruchung (XF3) erfahren. Da Häufigkeit und Ein- wirkungszeit dieser Beanspruchung aber nur sehr be- grenzt ist, sollte auf die Zuordnung einer XF-Expositi- onsklasse verzichtet werden.

Die in nachfolgenden Bauwerksbeispielen teilwei- se vorgenommene Festlegung von Bereichen mit be- stimmten Expositionsklassen auf Grund von Wasser- ständen (NNW, MHW etc.) können nur exemplarischen Charakter haben. Bei der Festlegung von Expositi- onsklassen ist jedes zu bewertende Bauwerk kritisch da- hingehend zu überprüfen, wie oft und mit welcher Dau- er bestimmte Wasserstände und daraus resultierende Beanspruchungen tatsächlich auftreten können.

Nachfolgend soll am Beispiel typischer Wasserbauwer- ke des Binnen- und des Küstenbereiches die Auswahl angemessener Expositionsklassen erörtert werden.

#### 2.2.2 Schleuse im Binnenbereich

Bild 2.1 zeigt die Prinzipskizze einer Schleuse im Bi- nenbereich, die Oberflächen mit vergleichbarem Ex- positionsklassenpektrum sind durch farbliche Markie- rungen zusammengefasst und durchnummeriert wor- den.

In Tabelle 2.2 finden sich die für die einzelnen Flächen relevanten Expositionsklassen. Die wesentlichen As-

pekte für die Zuordnung der Expositionsklassen wer- den nachfolgend erörtert.

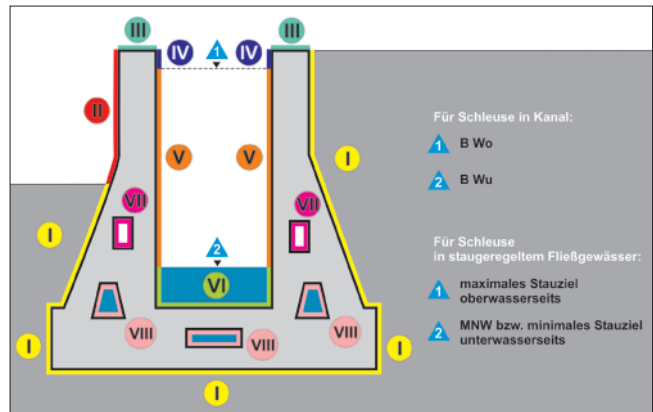


Bild 2.1: Schleuse im Binnenbereich (Beispiel)

Expositionsklasse	Flächen							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
XC	2	4	4	4	2	1	3	1
XD	-	-	3	-	-	-	-	-
XS	-	-	-	-	-	-	-	-
XF	-	1	4	1	3	-	-	-
XA	? <sup>1)</sup>	-	-	-	? <sup>1)</sup>	? <sup>1)</sup>	-	? <sup>1)</sup>
XM	-	-	-	1	1	-	-	-

<sup>1)</sup> Bewertung anstehender Böden und Wasser auf Basis von [DIN 1045-2; 2001], Tab. 2.  
Ggf. Zuordnung zu einer Expositionsklasse XA

Tabelle 2.2: Expositionsklassenzuordnung für eine Schleuse im Binnenbereich (Regelfall)

#### Flächen I:

**XC:** Die Flächen I erfahren durch den anstehenden Boden hindurch nur einen eingeschränkten Zutritt von Kohlendioxid. Zudem sind die Poren des Betons auch im bauteiloberflächennahen Bereich weitgehend mit Wasser gefüllt, wodurch das Eindringen von Kohlendioxid erschwert wird. Unterhalb des Grundwasserstandes ist eine Zuordnung zu XC1 angemessen (wobei sich XC1 und XC2 in erster Linie in den Anforderungen an die Betondeckung, nicht aber an die Betonzusammensetzung unterscheiden).

**XD:** Ein Chlorideintrag in den Beton ist allenfalls im oberen Bereich der Kammerwände durch taumittelhaltige, von der Schleusen- kammerplattform abfließende Wasser möglich. Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion dürfte aber auch für den Fall der Depassivierung der Bewehrung durch Chloride wegen des erschwerten Sauerstoffzutritts an die Bewehrung durch die wasser- gefüllten Poren hindurch kaum auftreten.

**XF:** Von den beiden Voraussetzungen für einen schädigenden Frostangriff (hinreichender Sättigungsgrad des Betons, frostkritische Temperaturen) ist die erste möglicherweise, die zweite hingegen nicht erfüllt.

**XA:** Zur Beantwortung der Frage, inwieweit der Beton durch den anstehenden Boden oder das Grundwasser durch einen chemischen Angriff beansprucht wird, ist eine entsprechende Analyse und Bewertung gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2, durchzuführen.

**XM:** Die Flächen I erfahren keine nennenswerte mechanische Beanspruchung.

#### **Flächen II:**

**XC:** Die Flächen entsprechen frei bewitterten Außenbauteilen (XC4). Die Zuordnung von Außenbauteilen zu dieser stärksten XC-Klasse resultiert aus den über das Jahr hinweg temporär begünstigenden Randbedingungen für bestimmte Effekte: Im Sommer sind die Poren des oberflächennahen Betons oftmals weitestgehend ausgetrocknet, Kohlendioxid kann ohne große Behinderung eindringen, der Carbonatisierungsfortschritt ist hoch. Im Laufe der Zeit kann die Carbonatisierungsf front die Bewehrung erreichen und dort zur Zerstörung der Passivschicht führen. Im Anschluss hieran wird es immer wieder Phasen geben, in denen der Sauerstoffzutritt durch die Porenstruktur des Betons an die Bewehrung möglich ist, in denen aber gleichzeitig noch ein hinreichender Feuchtigkeitsgehalt im Beton zur Ausbildung eines korrosionsnotwendigen Elektrolyten vorhanden ist (anders als beispielsweise in dauernd trockenen Innenräumen, wo trotz großen Carbonatisierungstiefen das Korrosionsrisiko gering ist).

**XD:** Siehe Flächen I.

**XF:** Die für einen schädigenden Frostangriff erforderliche Temperaturbeanspruchung wird sicherlich im Winter häufiger gegeben sein, an vertikalen Flächen ist aber die Ausbildung eines hohen Sättigungsgrades alleine durch Bewitterung nicht möglich. Deshalb erfolgt hier, anders als bei horizontalen Flächen, auf denen sich Wasser sammeln kann, eine Zuordnung zu XF1 und nicht zu XF3.

**XA:** Hier nicht gegeben.

**XM:** Analog Flächen I.

#### **Flächen III:**

**XC:** Analog Flächen II.

**XD:** Flächen von Verkehrswasserbauwerken mit Personenverkehr, wie Schleusenammerplattformen oder Treppen, werden im Winter mit Taumitteln abgestreut. Der Taumittelsatz kann erfahrungsgemäß auch durch entsprechende Verbote für die gesamte Nutzungsdauer nicht zielsicher unterbunden werden. Derartige Flächen werden deshalb in [ZTV-W 215, 2004] der Expositionsklasse XD3 zugeordnet, auch wenn die Chloridbeanspruchung möglicherweise etwas weniger

intensiv ist als beispielsweise bei Teilen von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung, die gemäß [DIN 1045-2, 2001] ebenfalls in diese Expositionsklasse fallen.

**XF:** Bei frei bewitterten, horizontalen oder zumindest annähernd horizontalen Flächen geht man immer davon aus, dass in Verbindung mit entsprechender Temperatureinwirkung im Winter hohe Sättigungsgrade im oberflächennahen Betonbereich und damit eine intensive Frostbeanspruchung auftreten können. Frei bewitterten horizontalen Bauteilflächen wird deshalb immer die Expositionsklasse XF3 bzw. bei Taumittelsatz, wie im vorliegenden Fall, die Expositionsklasse XF4 zugeordnet. Dies gilt auch, wenn die unter Entwässerungsgesichtspunkten üblichen Gefälle von 1,5 % realisiert werden, weil sich hier dennoch beispielsweise Schnee oder Schneematsch ansammeln und entsprechend hohe Sättigungsgrade im Beton einstellen können.

**XA:** Die Flächen III erfahren im Normalfall keinen chemischen Angriff.

**XM:** Bei Schleusenammerplattformen ist Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung nur dann zu berücksichtigen, wenn diese häufig wiederkehrende Beanspruchungen durch Fahrzeuge erfahren. Dies ist bei Schleusenammerplattformen in der Regel nicht der Fall.

#### **Flächen IV:**

Für die Flächen IV ist prinzipiell das gleiche Expositionsklassenspektrum maßgeblich wie bei den Flächen II. Zusätzlich ist eine mechanische Beanspruchung der Flächen durch Schiffsanfahrt bzw. -reibung zu berücksichtigen (Expositionsklasse XM1 gemäß [ZTV-W 215, 2004]).

#### **Flächen V:**

**XC:** Die Schleusenammerwände werden betriebsbedingt wechselweise mit Wasser beaufschlagt bzw. frei bewittert. Die Zeiträume, in denen der Kammerwasserstand auf Unterwasser steht, reichen erfahrungsgemäß nicht aus, um die Poren im oberflächennahen Bereich soweit auszutrocknen, das Kohlendioxid vergleichbar schnell wie bei einer frei bewitterten, längere Zeit aber nicht mit Regen beaufschlagten Fläche eindringen kann. Die an Schleusenammerwänden auch nach vielen Jahrzehnten gefundenen geringen Carbonatisierungstiefen von nur wenigen Millimetern bestätigen diese Aussage. Schleusenammerwänden zwischen Unter- und Oberwasserstand wird deshalb nicht die Expositionsklasse XC4, sondern XC2 zugeordnet.

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XF:** Bei Schleusenkammerwänden geht man für die Flächen zwischen Unter- und Oberwasserstand davon aus, dass durch das temporär anstehende Wasser in Verbindung mit frostkritischen Temperaturen ein Frostangriff in Verbindung mit hohem Wassersättigungsgrad auftreten kann. Trotz ihrer vertikalen Orientierung sind diese Flächen deshalb nicht der Expositionsklasse XF1 (wie bei den Flächen IV), sondern der Expositionsklasse XF3 zuzuordnen. Die Beanspruchungsintensität ist bei Bauwerken wie Schleusen, bei denen die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel nicht alleine auf Änderungen der Lufttemperatur oder der Sonneneinstrahlung, sondern insbesondere auf betriebsbedingte Wasserstandsänderungen zurückzuführen ist, ungleich höher als bei Bauwerken in den meisten anderen Baubereichen.

**XA:** Zur Beantwortung der Frage, inwieweit der Beton durch das anstehende Kanal- bzw. Flusswasser durch einen chemischen Angriff beansprucht wird, ist eine entsprechende Analyse und Bewertung gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2, durchzuführen.

**XM:** Wie bei den Flächen IV ist davon auszugehen, dass durch den Schifffahrtsbetrieb mechanische Beanspruchungen (Reibung, Anfahrt) auftreten, die im Normalfall eine Zuordnung der Flächen III in die Expositionsklasse XM1 erforderlich machen.

#### Flächen VI:

**XC:** Die Flächen VI befinden sich, von der Bauzeit und temporären Trockenlegungen während der Nutzungsphase des Bauwerkes einmal abgesehen, ständig unter Wasser. Der Zutritt von Kohlendioxid (Voraussetzung für die Carbonatisierung und damit letztendlich die Zerstörung der Passivschicht der Bewehrung) und Sauerstoff (Voraussetzung für die kathodische Teilreaktion) durch die weitestgehend wassergefüllten Poren des Zementsteins hindurch ist kaum möglich. Eine carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion kann deshalb weitestgehend ausgeschlossen werden, die Flächen sind der Expositionsklasse XC1 zuzuordnen.

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analog Flächen V.

**XM:** Eine mechanische Beanspruchung durch Schifffahrt ist hier allenfalls im Übergangsbereich zu den Flächen V gegeben (Definition „Übergangsbereiche“ s. Abschnitt 2.3). Bei Schleusen in Flüssen, die für die Schifffahrt freigegeben sind, geht man im Regelfall davon aus, dass die Beanspruchung durch Geschiebetransport eine Einstufung der Oberfläche der Schleusenkammer- oder Sohle in eine Expositionsklasse XM nicht rechtfertigt. Dies gilt auch für Schleusen, die temporär

zur Unterstützung des Abflusses herangezogen werden.

#### Flächen VII:

**XC:** Nicht frei bewitterte Flächen, zu denen die Außenluft Zugang hat bzw. an denen eine Luftfeuchtigkeit vorherrscht, welche die Ausbildung eines Elektrolyten im Beton ermöglicht, werden der Expositionsklasse XC3 zugeordnet. Dazu gehören auch nicht beheizte Innenräume, wie beispielsweise Kontrollgänge in Schleusenanlagen. Beheizte Innenräume innerhalb der Schleuse, deren Raumklima dem von normalen Büro- oder Wohnräumen entspricht, können hingegen der Expositionsklasse XC1 zugeordnet werden. Hier ist Bewehrungskorrosion auch für den häufig eintretenden Fall, dass bereits eine Depassivierung der Bewehrung infolge Carbonatisierung stattgefunden hat, nicht zu erwarten, weil ein hinreichender Feuchtigkeitsgehalt im Beton in Höhe der Bewehrung nicht gegeben und damit die Ausbildung eines Elektrolyten nicht möglich ist.

**XD, XF, XA, XM:** Hier nicht gegeben.

#### Flächen VIII:

**XC:** Den zum Füllsystem von Schleusenanlagen gehörenden Oberflächen (Längskanäle, Grundlauf etc.) wird analog zu den Flächen VI die Expositionsklasse XC1 zugeordnet.

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analog Flächen V.

**XM:** Mechanische Beanspruchungen aus Eisgang oder Geschiebetransport sind im Bereich des Füllsystems im Regelfall nicht so ausgeprägt, dass eine Zuordnung zu einer entsprechenden Expositionsklasse XM erforderlich wäre.

#### 2.2.3 Wehranlage im Binnenbereich

In Bild 2.2 ist eine Wehranlage im Bereich eines Fließgewässers im Binnenbereich skizziert. Die zugehörigen Expositionsclassen sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt.

#### Flächen PI:

**XC:** Ständig unter Wasser (→ XC1).

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analyse und Bewertung der anstehenden Böden und Wässer gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2. Ggf. Zuordnung zu entsprechender XA-Klasse.

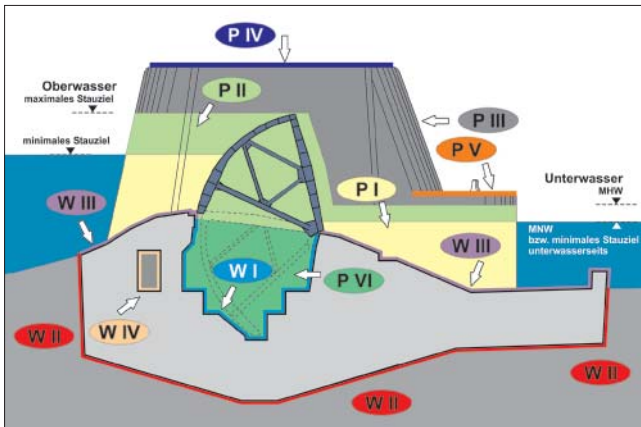


Bild 2.2: Wehranlage im Binnenbereich

Expositionsklasse	Flächen									
	PI	P II	P III	P IV	P V	P VI	W I	W II	W III	W IV
XC	1	4	4	4	4	1	1	1	1	3
XD	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-
XS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
XF	-	1	1	4	4	-	-	-	-	-
XA	?)	?)	-	-	-	?)	?)	?)	?)	-
XM	1	1	-	-	-	-	-	-	2	-

1) Bewertung anstehender Böden und Wasser auf Basis von [DIN 1045-2; 2001], Tab. 2.  
Ggf. Zuordnung zu einer Expositionsklasse XA

Tabelle 2.3: Expositionsklassen für Wehranlage im Binnenbereich

**XM:** Angesichts der im Wehrbereich höheren Strömungsgeschwindigkeiten und der konzentrierteren Beaufschlagung mit Treibgut (im oberen Bereich der Flächen P1) als beispielsweise bei einer Uferwand ist eine Einstufung in die Expositionsklasse XM1 angemessen.

**Flächen PII:**

**XC:** Der Beton kann je nach Wasserstandsverhältnissen beim konkreten Bauwerk zumindest temporär soweit austrocknen, dass annähernd Carbonatisierungsfortschritte wie bei üblichen Außenbauteilen zu unterstellen sind (→ XC4).

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XF:** Trotz vertikaler Orientierung der Flächen sind frostkritische Temperaturen in Verbindung mit hohen Sättigungsgraden möglich (→ XF3).

**XA:** Analog Flächen PI.

**XM:** Analog Flächen PI.

**Flächen PIII:**

**XC:** Die Beanspruchungen der Flächen PIII entspricht der frei bewitterter Außenbauteile (→ XC4).

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XF:** Hier handelt es sich analog zu den Flächen II aus dem Beispiel „Schleuse“ um frei bewitterte, vertikale Flächen von Außenbauteilen (→ XF1).

**XA, XM:** Hier nicht gegeben.

**Flächen PIV, PV:**

Die horizontalen Plattformen der Wehrpfeiler erfahren, sofern sie begehbar sind, im Regelfall vergleichbare Beanspruchungen wie die Schleusenammerplattformen (Flächen III im Beispiel „Schleuse“). Für nicht begehbare horizontale Flächen ist die Beanspruchung durch Chloride aus Taumitteln i. d. R. geringer (Sprühnebelbereich?) bzw. entfällt ganz. Entsprechend reduziert sich ggf. die Frostbeanspruchung von XF4 auf XF3.

**Flächen PVI:**

**XC:** Ständig unter Wasser (→ XC1).

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analyse und Bewertung des Wassers gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2. Ggf. Zuordnung zu entsprechender XA-Klasse.

**XM:** Wenn nennenswerte Beanspruchungen durch Geschiebe, Treibgut etc. ausgeschlossen werden kann, ist die Zuordnung einer XM-Klasse nicht erforderlich, andernfalls ist eine Zuordnung zu XM1 vorzunehmen.

**Flächen WI:**

Analog Flächen PVI.

**Flächen WII:**

**XC:** Ständig unter Wasser (→ XC1).

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analyse und Bewertung der anstehenden Böden und Wasser gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2. Ggf. Zuordnung zu entsprechender XA-Klasse.

**XM:** Hier nicht gegeben.

**Flächen VIII:**

**XC:** Ständig unter Wasser (→ XC1).

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analyse und Bewertung der anstehenden Böden und Wässer gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2. Ggf. Zuordnung zu entsprechender XA-Klasse.

**XM:** Bei Wehrrücken und Tosbecken in Fließgewässern mit mäßiger Geschiebefracht und zumeist hohen Strömungsgeschwindigkeiten (wegen der Einengung des Abflussquerschnittes) ist gemäß [ZTV-W 215, 2004], Tabelle 2.1, eine Zuordnung zur Expositions-klasse XM2 vorzusehen.

**Flächen WIV:**

Expositionsklassen analog Flächen VII im Beispiel „Schleuse“.

2.2.4 Durchlass im Binnenbereich

In Bild 2.3 ist ein Durchlass mit integriertem Fußgänger- und Radweg dargestellt, wie er in ähnlicher Form zur Durchleitung eines Fließgewässers mit mäßiger Strömungsgeschwindigkeit und mäßiger Geschiebefracht unter einem Kanal im westdeutschen Kanalnetz realisiert worden ist.

Die zugehörigen Expositionsklassen sind in Tabelle 2.4 zusammengestellt und werden nachfolgend erörtert.

**Flächen I:**

**XC:** Carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion wegen Behinderung des Zutritts von Kohlendioxid (Carbonatisierung; Depassivierung der Bewehrung) und Sauerstoff (Unterbindung der kathodischen Teilreaktion) durch die wassergefüllten Poren des Zementsteins hindurch kaum möglich (→ XC1).

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Zur Beantwortung der Frage, inwieweit der Beton durch das anstehende Flusswasser durch einen chemischen Angriff beansprucht wird, ist eine entsprechende Analyse und Bewertung gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2, durchzuführen.

**XM:** Bei mäßiger Fließgeschwindigkeit und mäßiger Geschiebefracht, wie sie für Flüsse in Deutschland außerhalb alpiner Regionen im Regelfall gegeben sind, ist eine Zuordnung zur Expositions-klasse XM1 angemessen.

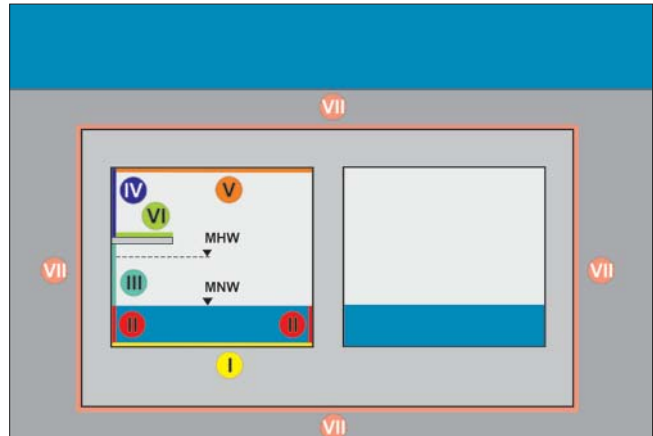


Bild 2.3: Durchlass Fließgewässer unter einem Kanal

Expositionsklasse	Flächen						
	I	II	III	IV <sup>2)</sup>	V	VI <sup>2)</sup>	VII
XC	1	1	4	3(4)	3(4)	3(4)	1/2
XD	-	-	-	-	-	-	-
XS	-	-	-	-	-	-	-
XF	-	-	3	1	1	1(3)	-
XA	? <sup>1)</sup>	? <sup>1)</sup>	? <sup>1)</sup>	-	-	-	? <sup>1)</sup>
XM	1	-	-	-	-	-	-

1) Bewertung anstehender Böden und Wässer auf Basis von [DIN 1045-2; 2001], Tab. 2. Ggf. Zuordnung zu einer Expositions-klasse XA  
2) Sofern keine Taumittel auf dem Fuß- und Radweg eingesetzt werden.

Tabelle 2.4: Expositionsklassenzuordnung für Durchlass (Fließgewässer, geringe Strömungsgeschwindigkeit, mäßige Geschiebefracht)

**Flächen II:**

Die Expositionsklassenzuordnung entspricht derjenigen für die Flächen I. Die Flächen II erfahren allerdings keine mechanische Beanspruchung, die eine Einstufung in XM1 rechtfertigen würde.

**Flächen III:**

**XC:** Über die Höhe der Flächen II betrachtet werden sich die korrosionsrelevanten Randbedingungen unterschiedlich ausprägen. Je nach Abstand zum Wasserspiegel und Wasserstand sind im Bereich der Flächen 3 sowohl Phasen mit geringen Sättigungsgraden der Poren im Zementstein und damit höheren Carbonatisierungsraten als auch solche mit Sättigungsgraden, die zur Ausbildung eines Elektrolyten im Beton und zur Ausbildung der kathodischen Teilreaktion (Sauerstoffzutritt zur Bewehrung) optimal sind, zu erwarten. Aus diesen Gründen ist eine Zuordnung zur Expositions-klasse XC4 angemessen.

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XF:** Im Bereich unmittelbar oberhalb des Wasserspiegels sind sowohl frostkritische Temperaturen als auch (trotz vertikaler Orientierung der Flächen) hohe Wassersättigungsgrade möglich (→ XF3).

**XA:** Siehe Flächen I.

**XM:** Eine mechanische Beanspruchung durch Schiffsverkehr ist nicht gegeben. Die Beanspruchung der Bauteilflächen durch Treibgut oder Eisschollen dürfte nicht so intensiv sein, dass eine Einstufung in XM1 gerechtfertigt wäre.

#### Flächen IV:

**XC:** Die Außenluft hat zu diesen Flächen ständig Zutritt, eine direkte Beaufschlagung durch Regen erfolgt aber nicht. Derartige Flächen weisen normalerweise geringere Sättigungsgrade und damit einen rascheren Carbonatisierungsfortschritt auf als frei bewitterte Außenbauteile. Andererseits beeinträchtigt der geringere Sättigungsgrad aber auch die Ausbildung eines Elektrolyten. Deshalb erfolgt zumeist eine Einstufung nach XC3. Im vorliegenden Fall wäre allerdings angesichts der zu erwartenden Kondenswasserbildung auf den Flächen auch eine Einstufung nach XC4 vertretbar.

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XF:** Auf Grund des unter Frostaspekten geringen möglichen Sättigungsgrades ist selbst bei Eintritt frostkritischer Temperaturbeanspruchungen nur eine Einstufung in XF1 gerechtfertigt.

**XA, XM:** Hier nicht gegeben.

#### Flächen V:

Für die Flächen V gelten die Aspekte und Einstufungen der Flächen IV sinngemäß.

#### Flächen VI:

**XC:** Hinsichtlich carbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion gelten die Aussagen zu den Flächen IV sinngemäß (XC3 bzw. XC4).

**XD:** Sofern der Rad- und Gehweg im Winter gestreut wird, ist eine Zuordnung zu XD3 erforderlich.

**XF:** Die Einstufung ist abhängig von der Frage, ob Wasser in flüssiger Form auf die horizontalen Flächen gelangen kann. Sofern dies der Fall ist, wäre eine Einstufung in XF3 (bei Taumittelverwendung in XF4) erforderlich, andernfalls genügt die Einstufung in XF1 (bei Taumittelverwendung in XF2).

**XA:** Hier nicht gegeben.

**XM:** Fußgänger- und Radfahrverkehr erfordern keine Zuordnung zu einer XM-Klasse.

#### Flächen VII:

**XC:** Die Außenflächen des Durchlasses sind in Abhängigkeit vom Grundwasserstand in die Expositionsklassen XC1 oder XC2 einzuordnen.

**XD, XF:** Hier nicht gegeben.

**XA:** Analyse und Bewertung der anstehenden Böden und Wässer gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2. Ggf. Zuordnung zu entsprechender XA-Klasse.

**XM:** Hier nicht gegeben.

### 2.5 Kaje im Meerwasserbereich

Bauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen, sind gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 1, grundsätzlich der Expositionsklasse XA2 zuzuordnen. Die Frostbeanspruchung von Bauteilen im Meerwasserbereich dürfte nach derzeitigem Erkenntnisstand bei mäßiger Wassersättigung zwischen XF1 und XF2, bei hoher Wassersättigung zwischen XF3 und XF4 einzuordnen sein. Da eine entsprechend feine Differenzierung in [DIN EN 206-1, 2001] bzw. [DIN 1045-2, 2001] zurzeit nicht vorgesehen ist, werden frostbeanspruchte Bauteile im Meerwasserbereich je nach auftretendem Wassersättigungsgrad den Klassen XF2 bzw. XF4 zugeordnet. Vertiefende Untersuchungen zu dieser Thematik stehen noch aus.

Hinsichtlich Bewehrungskorrosion ist bei Bauteilen im Meerwasserbereich zu prüfen, inwieweit eine Zuordnung zur Expositionsklasse XS (Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser) erforderlich ist. Gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 1, und [ZTV-W 215, 2004], Tabelle 2.1, sind Außenbauteile in Küstennähe der Expositionsklasse XS1 zuzuordnen. Der Begriff „Küstennähe“ wird hier allerdings nicht näher definiert. In [DAfStb, Heft 526] wird eine Entfernung von bis zu 1 km von der Küste als Zuordnungskriterium für die Expositionsklasse XS1 genannt. Sofern keine genaueren Erkenntnisse zu den spezifischen Randbedingungen eines Standortes vorliegen, sollte dieses Kriterium für eine Zuordnung herangezogen werden.

Für die einzelnen Bauteiloberflächen der in Bild 2.4 dargestellten Kaje ergeben sich im Regelfall die in Tabelle 2.5 aufgeführten Expositionsklassen.

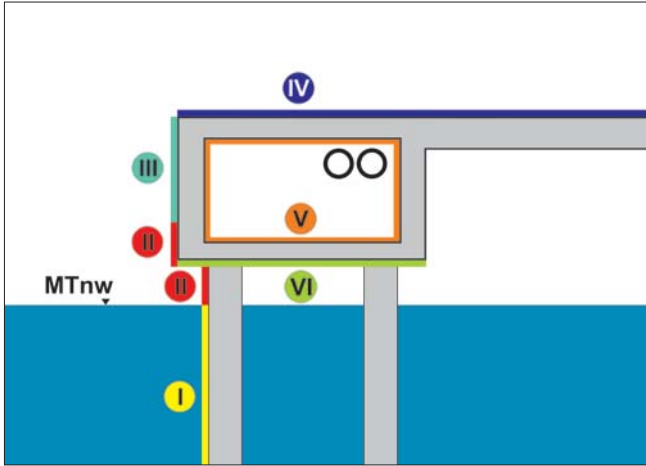


Bild 2.4: Kaje im Meerwasserbereich (Beispiel)

Expositions- klasse	Flächen					
	I	II	III	IV	V	VI <sup>2)</sup>
XC	1	2	4	4	3 (4)	2/4
XD	-	-	-	3	-	-
XS	2	3	3	3	1	3
XF	-	4	2	4	-	4/2
XA	2	2	(2)	(2)	-	2
XM	-	1	1	1 <sup>1)</sup>	-	-

<sup>1)</sup> Abhängig von Beanspruchung aus Verkehr, Güterumschlag etc.  
<sup>2)</sup> Abhängig vom Abstand zwischen Wasseroberfläche und Bauteilunterseite

Tabelle 2.5: Expositionsklassenzuordnung für eine Kaje im Meerwasserbereich (Regelfall)

**Flächen I: (unterhalb MTnw)**

**XC:** Bei Betonflächen, die ständig unter Meerwasser liegen, können analog zu vergleichbaren Flächen im Süßwasserbereich Kohlendioxid und Sauerstoff durch die wassergefüllten Poren hindurch nur sehr eingeschränkt in den Beton eindringen (Expositionsklasse XC1).

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XS:** Chloride aus dem Meerwasser können in den Beton eindringen, die Chloridgehalte in Höhe der Bewehrung sind nach entsprechender Beaufschlagungszeit so hoch, dass die Passivschicht auf dem Bewehrungsstahl gefährdet oder zerstört ist. Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion tritt dennoch zumeist nicht oder allenfalls in geringem Umfang auf, weil der Zutritt von Sauerstoff an die Bewehrung durch die wassergefüllten Poren hindurch nicht möglich bzw. stark eingeschränkt ist (Verhinderung der kathodischen Teilreaktion). Bauteilflächen, die sich ständig unter Meerwasser befinden, werden deshalb pauschal der Expositionsklasse XS2 zugeordnet. Kritisch zu betrachten sind allerdings

Bauteilbereiche bis etwa 2 m unterhalb der Wasserwechselzone. Hier kann bewegtes, sauerstoffreicheres Wasser zu einer Begünstigung des Sauerstoffeintrags in den Beton führen. Auch ist es möglich, dass die Ausbildung der kathodischen Teilreaktion (Sauerstoffzutritt) in Bereichen oberhalb des Wasserspiegels erfolgt, während die anodische Teilreaktion (Eisenauflösung) unterhalb der Wasserlinie stattfindet.

**XF:** Hier nicht gegeben.

**XA2:** Wegen Meerwasser XA2.

**XM:** Nur bei nachweislich intensiver mechanischer Beanspruchung (beispielsweise durch Sandschliff) sollte eine Einordnung in die Expositionsklasse XM1 in Erwägung gezogen werden.

**Flächen II: (oberhalb MTnw bis Ende Spritzbereich)**

**XC:** Der Wassersättigungsgrad von Flächen innerhalb der sich gezeitenbedingt üblicherweise einstellenden Wasserwechselzone und des unmittelbar anschließenden Spritzbereiches ist während der meisten Zeit so hoch, dass Kohlendioxid nur in beschränktem Umfang in den Beton eindringen kann (→ XC2).

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XS:** Der Chlorideintrag erfolgt hier nicht allein durch Diffusion innerhalb der wassergefüllten Poren, sondern zumindest temporär auch durch kapillares Saugen, woraus erheblich höhere Chlorideintragsraten resultieren. Zudem ist die Ausbildung der kathodischen Teilreaktion im oberen Bereich der Wasserwechselzone bzw. im unmittelbar anschließenden Spritzbereich auf Grund des zumindest temporär geringeren Sättigungsgrades möglich (→ XS3).

**XF:** Durch die gezeitenbedingten Wasserstandsänderungen ist auch an vertikalen Flächen innerhalb der Wasserwechselzone die Ausbildung hoher Sättigungsgrade möglich (→ XF4).

**XA:** Wegen Meerwasser XA2.

**XM:** Bei mechanischer Beanspruchung beispielsweise durch Eisgang oder Schiffsanfahrt ist eine Zuordnung zu XM1 angemessen.

### Flächen III: (Sprühbereich)

**XC:** Die Randbedingungen für carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion entsprechen in etwa denen für ein frei bewittertes Außenbauteil (→ XC4).

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XS:** Die direkte Beaufschlagung mit chloridhaltigen Wässern erfolgt hier zwar seltener als bei den Flächen 2 (überwiegend bei Hochwassersituationen), der Chlorideintrag findet aber dann vorrangig über kapillares Saugen mit entsprechend hohen Transportraten statt. Zudem erfolgt ein ständiger Chlorideintrag über die salzhaltige Luft. Die nach Zerstörung der Passivschicht der Bewehrung durch Chloride für Korrosionsprozesse erforderlichen Randbedingungen (Sauerstoffzutritt und Mindestfeuchtigkeitsgehalt zur Ausbildung eines Elektrolyten) sind im Bereich der Flächen 3 in optimaler Form gegeben (→ XS3).

**XF:** Im Bereich der (vertikalen) Flächen 3 wird sich in Verbindung mit frostkritischen Temperaturen im Regelfall nur ein mäßiger Sättigungsgrad, allerdings in Verbindung mit salzhaltigen Wässern, einstellen (→ XF2).

**XA:** Sofern sichergestellt ist, dass eine direkte Meerwasserbeaufschlagung hier nur selten erfolgt, kann auf eine Zuordnung zu XA2 verzichtet werden.

**XM:** Bei mechanischer Beanspruchung durch Eisgang ist eine Zuordnung zu XM1 angemessen.

### Flächen IV: (Sprühbereich)

**XC:** Frei bewittertes Außenbauteil (→ XC4).

**XD:** Sofern der Einsatz von Taumitteln für die gesamte Nutzungsdauer nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, ist eine Zuordnung zu XD3 erforderlich.

**XS:** Hier gelten prinzipiell die gleichen Überlegungen wie bei den Flächen III (→ XS3).

**XF:** Bei horizontalen bzw. nahezu horizontalen Flächen sind hohe Sättigungsgrade, im vorliegenden Fall in Verbindung mit Taumitteln und Meerwasser, möglich (→ XF4).

**XA:** Sofern sichergestellt ist, dass eine direkte Meerwasserbeaufschlagung hier nur sehr selten erfolgt, kann auf eine Zuordnung zu XA2 verzichtet werden.

**XM:** Je nach Beanspruchung beispielsweise durch Güterumschlag ist eine Zuordnung in die entsprechende XM-Kategorie gemäß [DIN 1045-2, 2001], Tabelle 2, erforderlich (im Regelfall XM1).

### Flächen V: (Versorgungskanäle innerhalb des Kajenüberbaus)

**XC:** Planmäßig geht man davon aus, dass hier nur Außenluft ohne Niederschlag Zutritt hat (→ XC3). Erfahrungsgemäß wechseln sich in solchen Bauteilbereichen während der Nutzungsdauer aber Perioden mit geringer Luftfeuchtigkeit (insbesondere, wenn beispielsweise Heizrohre für anlegende Schiffe innerhalb der Kanäle verlaufen) mit Perioden hoher Luftfeuchtigkeit (z. B. wegen unplanmäßigem Zutritt von Wasser über Einstiegsluken etc.) ab. Oftmals folgen dadurch auf Zeiten mit hohen Carbonatisierungsraten solche mit korrosionsoptimalen Randbedingungen hinsichtlich Elektrolytausbildung und Sauerstoffzutritt. Falls solche Situationen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können, ist eine Zuordnung zu XC4 statt XC3 angemessener.

**XD:** Hier nicht gegeben.

**XS:** Chlorideintrag über salzhaltige Luft (→ XS1).

**XF, XA, XM:** Hier nicht gegeben.

### Flächen VI:

Die Beanspruchungen und damit die Expositionsklassen entsprechen je nach Abstand zwischen Wasseroberfläche und Bauteilunterseite entweder denen der Flächen II oder III. Ausgenommen hiervon ist die mechanische Beanspruchung infolge Schiffsanfahrt, die an den Flächen VI nicht auftritt.

### 2.3 Zusammenfassung von Bauabschnitten mit gleichen Expositionsklassen

Nach Identifizierung von Bauwerks- bzw. Bauteiloberflächen mit ähnlicher Beanspruchung und Festlegung des zugehörigen Expositionsklassenspektrums gilt es nun festzulegen, welche Bauwerks- bzw. Bauteilbereiche mit welchem Beton realisiert werden sollen. In Bild 2.5 ist dies exemplarisch für das Schleusenbeispiel aus Abschnitt 2.2.2 umgesetzt worden.

Bei der Festlegung sind neben den Expositionsklassenspektren der entsprechenden Bauteilflächen und den daraus resultierenden Anforderungen an Betonausgangsstoffe und Betonzusammensetzung auch bauablauf- und bauausführungsspezifische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Eine zu feine Unterteilung und damit eine zu große Anzahl unterschiedlicher Betone ist weder unter wirtschaftlichen noch ausführungstechnischen Aspekten sinnvoll. Für das Schleusenbeispiel bietet sich, über den Querschnitt betrachtet, eine Aufteilung in drei Bereiche an (siehe Tabelle 2.6).

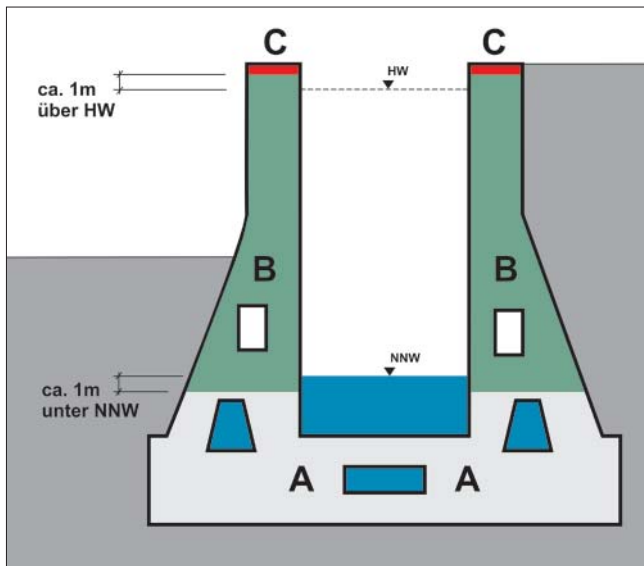


Bild 2.5: Betone für Schleusenbeispiel gemäß Abschnitt 2.2.2

Bereich	Beschreibung	Expositionsklassen
A	"Sohlbeton" bis maximal 1 m unterhalb Unterwasserstand	XC1, ggf. XA...
B	"Kammerwandbeton" von mindestens 1 m unterhalb UW bis mindestens 1 m oberhalb OW	XC4, XF3, XM1, ggf. XA...
C	"Planiebeton" (obere etwa 50 cm der Kammerwand)	XC4, XD3, XF4

Tabelle 2.6: Betone für Schleusenbeispiel gemäß Abschnitt 2.2.2

Bei der Bereichsfestlegung sind entsprechende **Übergangsbereiche** („Vorhaltemaße“) zu berücksichtigen: Im Bereich des Unterwasserstandes der Schleuse grenzen beispielsweise Flächen mit der Expositions-klasse XF3 (oberhalb Unterwasserstand) an Flächen ohne Frostbeanspruchung (unterhalb Unterwasserstand). Um Dauerhaftigkeitsprobleme im Übergangsbereich mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen, sollte der XF3-Beton gemäß [ZTV-W 215, 2004], Tabelle 2.1, bis mindestens 1 m unterhalb Unterwasserstand ausgeführt werden. Im Oberwasserbereich grenzen XF3-Flächen an XF1-Flächen (Freibord). Auch hier sollte der XF3-Beton bis mindestens 1 m über Oberwasserstand geführt werden. Bei üblichen Schleusenabmessungen grenzt der XF3-Beton damit direkt an den Planiebeton (für Zusammensetzung maßgebliche Expositions-klassen: XD3, XF4).

Vergleichbare Übergangsbereiche sind auch für alle anderen Bauwerksbereiche und Expositionssituationen festzulegen. Sofern in der [ZTV-W 215, 2004] hierzu keine Vorgaben getroffen werden, sind angemessene Größenordnungen zu wählen.

Die Festlegung der Bereiche mit gleichen Betonen kann grundsätzlich sowohl vom Auftraggeber als auch von der bauausführenden Firma übernommen werden. Empfohlen wird eine Festlegung durch den Auftraggeber, damit eine Berücksichtigung bei Planung und Aus-

schreibung möglich ist und eine gewisse Nivellierung bei der Ausführung von Wasserbauwerken sichergestellt wird.

## 2.4 Betonzusammensetzung auf Basis des Expositions-klassen-spektrums

Aus dem für ein Bauteil relevanten Expositions-klassenspektrum resultieren u. a. Mindestanforderungen bzw. Grenzwerte für Betonausgangsstoffe und Betonzusammensetzung. Am Beispiel des Kammerwandbetons aus Abschnitt 2.3 soll nachfolgend die Entwicklung dieser Grenzwerte für den Beton eines bestimmten Bauteils dargestellt werden.

Die Ableitung der Grenzwerte aus dem Expositions-klassenspektrum ist bei Beton nach Eigenschaften **nicht** Aufgabe des Bauherrn bzw. Auftraggebers einer Baumaßnahme. Die von ihm für das Bauteil festgelegten Expositions-klassen werden vielmehr in die gemäß [DIN EN 206-1, 2001] / [DIN 1045-2, 2001], Abschnitt 6, zu erstellende Festlegung des Betons aufgenommen. Die Erstellung dieser Festlegung erfolgt i. d. R. durch das bauausführende Unternehmen. Auf Basis der Festlegung hat der Transportbetonhersteller den Beton herzustellen und zu liefern, er ist verantwortlich für die Einhaltung der aus den Expositions-klassen resultierenden Grenzwerte.

Bei der Ermittlung der Grenzwerte für den Beton eines bestimmten Bauteils ist in einem ersten Schritt zu prüfen, ob allein [DIN 1045-2, 2001] in Verbindung mit der zugehörigen A1-Änderung oder zusätzlich die [DAfStb RL MB] als Basis heranzuziehen sind. Letztere darf bei Bauteilen angewendet werden, bei denen die kleinste Bauteilabmessung mindestens 0,80 m beträgt und bei denen Zwang und Eigenspannungen in besonderer Weise zu berücksichtigen sind.

Die A1-Änderung zu [DIN 1045-2, 2001] und die [DAfStb RL MB] enthalten **unterschiedliche** Tabellen F.2.1 und F.2.2 mit Grenzwerten für Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons. Bei massigen Bauteilen von Verkehrswasserbauwerken, wie der hier betrachteten Schleusen-kammerwand, kann im Regelfall die DAfStb-Richtlinie angewendet werden.

In Tabelle 2.7 sind die gemäß [DAfStb RL MB], Tabellen F.2.1 und F.2.2, für die einzelnen Expositions-klassen maßgeblichen Grenzwerte zusammengestellt. Aus der Überlagerung dieser Anforderungen ergibt sich das für den Beton des jeweiligen Bauteils maßgebliche Anforderungsspektrum. Da für die Expositions-klasse XF3 sowohl Betone mit als auch ohne LP-Bildner eingesetzt werden dürfen, ergeben sich für das Beispiel „Kammerwandbeton“ entsprechend zwei unterschiedliche Varianten.

	XC4	XF3		XM1	Kammerwandbeton	
					mit LP-Bildner	ohne LP-Bildner
max. w/z	0,60	0,55	0,50	0,55	0,55	0,50
min. Druckfestigkeitsklasse [---]	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37 <sup>1)</sup>	C25/30	C30/37
min z [kg/m <sup>3</sup> ]	280	300	300	300	300	300
min z <sup>2)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	270	270	270	270	270	270
min. LP-Gehalt [Vol.-%]	---	4,0 <sup>3)</sup>	---	---	4,0 <sup>3)</sup>	---

<sup>1)</sup> Gemäß /B/, Tabellen F.2.1/F.2.2, Fußnote d) bei LP-Beton eine Festigkeitsklasse niedriger  
<sup>2)</sup> Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen  
<sup>3)</sup> Gemäß /B/, Tabellen F.2.1/F.2.2, Fußnote f) Mindestluftgehalt 4 Vol.-% bei Größtkorn 32 mm

Tabelle 2.7: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften des Kammerwandbetons aus Abschnitt 2.3

Anlage 1 - ZTV-W LB 215, Tabelle 2.1 -Expositionsclassen

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Wasserbauspezifische Beispiele <sup>1)</sup> für die Zuordnung von Expositionsclassen (informativ)
<b>1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko</b>		
X0	Bauteile ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht betonangreifender Umgebung	Unbewehrter Kernbeton bei zonierter Bauweise
<b>2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung</b>		
XC1	trocken oder ständig nass	Sohlen von Schleusenammern, Sparbecken oder Wehren, Schleusenammernwände unterhalb UW, hydraulische Füll- und Entleersysteme
XC2	nass, selten trocken	Schleusenammernwände im Bereich zwischen UW und OW (sinngemäß Sparbeckenwände)
XC3	mäßige Feuchte	Nicht frei bewitterte Flächen (Außenluft, vor Niederschlag geschützt)
XC4	wechselnd nass und trocken	Freibord von Schleusenammern- oder Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb NW, freibewitterte Außenflächen
<b>3 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser</b>		
XD1	mäßige Feuchte	Wehrpfeiler im Sprühnebelbereich von Straßenbrücken
XD2	nass, selten trocken	
XD3	wechselnd nass und trocken	Plattformen von Schleusen, Verkehrsflächen (z.B. Hafentflächen), Treppen an Wehrpfeilern
<b>4 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser</b>		
XS1	Salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	unter Wasser	Sperrwerksohlen, Wände und Gründungspfähle unter NNTnW
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Gründungspfähle, Kajen, Molen und Wände oberhalb NNTnW
<b>5 Frostangriff mit und ohne Taumittel/Meerwasser</b>		
XF1	mäßige Wassersättigung mit Süßwasser ohne Taumittel	Freibord von Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb HW
XF2	mäßige Wassersättigung mit Meerwasser und/oder Taumittel	Vertikale Bauteile im Spritzwasserbereich und Bauteile im unmittelbaren Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	hohe Wassersättigung mit Süßwasser ohne Taumittel	Schleusenammernwände im Bereich zwischen UW-1,0 m und OW+1,0 m (Sparbeckenwände sinngemäß), Ein- und Auslaufbereiche von Dükern zwischen NW und HW, Wehrpfeiler zwischen NW und HW
XF4	hohe Wassersättigung mit Meerwasser und/oder Taumittel	Vertikale Flächen von Meerwasserbauteilen wie Gründungspfähle, Kajen und Molen im Wasserwechselbereich, meerwasserbeaufschlagte horizontale Flächen, Plattformen von Schleusen, Verkehrsflächen (z.B. Hafentflächen), Treppen an Wehrpfeilern
<b>6 Betonkorrosion durch chemischen Angriff</b>		
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen (Unterwasser- und Wasserwechselbereich, Spritzwasserbereich)
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung	
<b>7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung</b>		
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	Flächen mit Beanspruchung durch Schiffsreibung (z.B. Schleusenammernwände oberhalb UW-1,0 m), Flächen mit mäßiger Geschiebefracht und mäßiger Strömungsgeschwindigkeit, häufig befahrene horizontale Verkehrsflächen (z.B. bei Güterumschlag), Eisgang
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	Wehrrücken und Tosbecken mit mäßiger Geschiebefracht und hoher Strömungsgeschwindigkeit
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	Tosbecken mit starker Geschiebefracht und hoher Strömungsgeschwindigkeit
<sup>1)</sup> Diese Beispiele gelten für die überwiegende Beanspruchung während der Nutzungsdauer. Abweichende Umgebungsbedingungen während der Bauzeit oder Nutzung (z.B. Trockenlegung) führen erfahrungsgemäß nicht zu Schäden.		