

Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinigungsanlagen

Juni 2010

Merkblätter Betonsuisse/cemsuisse

Zur Erläuterung von speziellen Themen und zur Abgabe von Empfehlungen gibt Betonsuisse/cemsuisse Merkblätter ggf. mit einem Erläuterungsbericht heraus. Der Erläuterungsbericht ist informativer Bestandteil des Merkblattes. Grundlage dieses Merkblattes bilden die Ergebnisse eines von cemsuisse finanzierten Projektes unter Mitarbeit von Vertretern der cemsuisse, des VSA und der EMPA.

Die Verfasser haften nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können. Merkblätter sind nach ihrer Veröffentlichung fünf Jahre gültig. Die Gültigkeit kann wiederholt um jeweils fünf Jahre verlängert werden.

INHALT

0	Geltungsbereich	6
0.1	Abgrenzungen	6
0.2	Verweisungen	7
1	Verständigung	8
1.1	Fachausdrücke	8
1.2	Bezeichnungen	9
2	Grundsätze	10
2.1	Allgemeines	10
2.2	Einwirkungen des Abwassers auf Beton	10
2.3	Einflussfaktoren für den chemischen Angriff	10
2.4	Risikofaktoren und -bereiche sowie Widerstand des Betons	11
2.5	Expositionsklasse	13
3	Bemessung und konstruktive Durchbildung	14
4	Beton	15
4.1	Allgemeines	15
4.2	Anforderungen an Beton	15
4.3	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	16
5	Planung	17
5.1	Abschätzung des Erosionsrisikos	17
5.2	Massnahmen zur Risikoreduktion	17
5.3	Nutzungsvereinbarung	17
6	Ausführung	18
6.1	Allgemeines	18
6.2	Oberflächenbeschaffenheit	18
6.3	Nachbehandlung von Beton	18
6.4	Qualitätssicherung	19
7	Betrieb der ARA	20
8	Instandsetzung	21
8.1	Allgemeines	21
8.2	Beschichtung	21
8.3	Betonersatz	21
9	Prüfungen und Kontrollen während der Nutzung	22

VORWORT

Abwasserreinigungsanlagen (ARA) sind in der Regel Betonbauwerke, bei denen zu den üblichen Anforderungen an Tragsicherheit und Dichtigkeit die Forderung nach Widerstandsfähigkeit gegenüber dem chemischen Angriff des Abwassers und der ständigen Wasserbeaufschlagung hinzukommt. In den letzten Jahrzehnten haben sich die Verfahrenstechnik der biologischen Abwasserreinigung und die Normierung des Betonbaus fortlaufend weiterentwickelt. Die Wechselwirkung zwischen der veränderten biologischen Einwirkung und dem Widerstand des Betons wurden bisher teilweise zu wenig berücksichtigt.

Aus diesem Grunde wurde im Jahre 2007 durch cemsuisse ein Forschungsprojekt initialisiert und ein Forschungsauftrag an die EMPA erteilt, um die komplexen Phänomene sowohl aufseiten der Abwassertechnik als auch des Betonbaus näher zu untersuchen. Hierzu wurde eine interdisziplinär zusammengesetzte Projektgruppe gebildet, in welcher planende Ingenieure, Abwasserfachleute und Beton-technologen mitarbeiteten.

Das vorliegende Merkblatt basiert auf den Ergebnissen des Projektes und stellt den aktuellen Sachstand zur «Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinigungsanlagen» in der Schweiz dar (siehe Erläuterungsbericht). Es soll die sichere Anwendung von Beton beim Bau und Betrieb von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen gemäss den heutigen Erkenntnissen ermöglichen. Trotzdem wird sich – je nach spezifischen Randbedingungen – ein geringer Betonabtrag an den in Kontakt mit dem Abwasser befindlichen Betonbauteilen nicht vermeiden lassen.

Bern, im Juni 2010

Dr. Peter Lunk
Vorsitzender der Projektgruppe

MITGLIEDER DER PROJEKTGRUPPE

Bischof Stefan, dipl. Bau-Ing. ETH, Zürich
cemsuisse/Holcim (Schweiz) AG

Bühlmann Beat, dipl. Kult.-Ing. ETH, Bern
VSA/Ryser Ingenieure AG

Hangartner Werner, Klärwerkmeister, Bülach
VSA/ARA Bülach

Huggenberger Urs, dipl. Bau-Ing. HTL, Winterthur
VSA/Hunziker Betatech AG

Lunk Peter, Dr. sc. techn. ETH, Zürich (Vorsitz)
cemsuisse/Holcim (Schweiz) AG

Leemann Andreas, Dr. sc. nat., Dübendorf
EMPA

Mühlethaler Urs, dipl. Bau-Ing. HTL, Beinwil
VSA/LPM AG

Piel Alex, dipl. Bau-Ing. FH, Wildegg
cemsuisse/Jura Cement AG

Strahm Kurt, Péry
cemsuisse/Ciments Vigier SA

Von Schulthess Reto, Dr. sc. nat. ETH, Luzern
VSA/Holinger AG

Widmer Heiner, Dr. phil. nat., Bern
cemsuisse

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzungen

0.1.1

Das Merkblatt richtet sich an Planer, Bauherren, Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen und Behörden sowie auch an Unternehmer für Betonherstellung und an die Bauunternehmer.

0.1.2

Dieses Merkblatt regelt betonspezifische Parameter für die Projektierung und Ausführung von Abwasserreinigungsanlagen aus Stahlbeton. Es hat Gültigkeit für die in 2.1.1 beschriebenen Teile einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage. Für Industrieabwasser und anderes verschmutztes Abwasser sowie Korrosionsphänomene anderer Anlagenteile sind Fachleute beizuziehen und ggf. gesonderte Massnahmen zu treffen.

0.1.3

Das Merkblatt befasst sich nicht mit dem lösend wirkenden Angriff durch Schwefelsäure, welche z.B. durch Thiobazillen in der Gasraum-Sielhaut der Kanalisation aus Schwefelwasserstoff gebildet werden können (siehe dazu Erläuterungsbericht).

0.1.4

Hinweise zur Beurteilung des Angriffsgrades auf Beton, der einem chemischen Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser ausgesetzt wird (Wasser-/Bodentemperatur zwischen 5°C und 25°C und Fließgeschwindigkeit des Wassers sehr gering) gibt Norm SN EN 206-1, Tabelle 2. Sie gilt in der Schweiz nicht für den chemischen Angriff durch Abwasser.

0.1.5

Die nachfolgenden Ziffern gelten für Normalbeton nach SN EN 206-1 sowie die zugehörigen Anhänge NB, NC und ND.

0.2 Verweisungen

Im Text dieses Merkblattes wird auf die nachfolgend aufgeführten Publikationen verwiesen. Die Angabe der Publikationen erfolgt ohne Nennung der Jahreszahl. Es gilt die letzte und aktuellste Ausgabe der jeweiligen Publikation.

- Norm SIA 262 Betonbau
- Norm SIA 118/262 Allgemeine Bedingungen für Betonbau
- Norm SIA 262/1 Betonbau – Ergänzende Festlegungen
- Norm SIA 269/2 Erhaltung von Tragwerken – Betonbau (in Vernehmlassung)
- Norm SIA 270 Abdichtungen und Entwässerungen – Allgemeine Grundlagen und Schnittstellen
- Norm SIA 272 Abdichtung und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagebau
- Norm SN EN 197-1 Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien für Normalzement
- Norm SN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- Norm SN EN 450-1 Flugasche für Beton – Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien
- Norm SN EN 934-2 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung
- Norm SN EN 1008 Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung, Beurteilung der Eignung von Wasser, einschliesslich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton.
- Norm SN EN 1504 Produkte und System für Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definition, Anforderungen und Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton
- Norm SN EN 1504 Produkte und System für Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definition, Anforderungen und Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 3: Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung
- Norm SN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton
- Norm SN EN 13262-1 Silikastaub für Beton – Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien
- Norm SN EN 13670 Ausführung von Betonbauten (in Erarbeitung)
- Norm SN EN 15167-1 Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einspressmörtel – Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien
- Merkblatt SIA 2042 Massnahmen zur Vermeidung der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) beim Betonbau
- Richtlinien zum Korrosionsschutz von Abwasseranlagen, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz (SKG)
- Richtlinie «Schutzbauwerke aus Beton von Lageranlagen und Umschlagplätzen», Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter (KVU)

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Fachausdrücke

In diesem Merkblatt werden die nachfolgenden betonspezifischen Fachausdrücke sowie fachspezifische Begriffe der Abwasserreinigung verwendet:

ARA

Eine Kläranlage, in der Schweiz auch ARA (Abwasserreinigungsanlage) genannt, dient der Reinigung von Abwasser, das von der Kanalisation gesammelt und zu ihr transportiert wurde. Mehrzahl: ARA. Die normale Nutzungsdauer einer ARA beträgt in der Regel 30 Jahre.

Äquivalenter Wasserzementwert w/z_{eq}

Massenverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zur Summe aus Zementgehalt und k-fach anrechenbaren Anteilen von Zusatzstoffen.

Betonerosion

Kombinierter Angriff, bestehend aus einem lösenden, chemischen Angriff und einer zusätzlichen Verschleissbeanspruchung, der zu einem flächenhaften Abtrag der Betonoberfläche führen kann.

Bewehrungsüberdeckung

Abstand von der Oberfläche der Bewehrung von der Betonoberfläche. Die Bewehrungsüberdeckung c_{nom} bezeichnet Mindestwerte, in welchen ein Vorhaltemass zur Berücksichtigung unplanmässiger Abweichungen und zur Gewährleistung von der minimalen Bewehrungsüberdeckung im erhärteten Bauteil berücksichtigt ist.

Bicarbonat

Hydrogencarbonate (veraltet auch Bicarbonate oder saure Carbonate genannt) sind Salze, die sich von der einfach dissoziierten Kohlensäure ableiten und das Hydrogencarbonat-Ion (HCO_3^-) enthalten.

Biofilm

Ein Biofilm besteht aus einer dünnen Schleimschicht (Film), welche die Mikroorganismen enthält. Er entsteht, wenn sich Mikroorganismen an Grenzflächen zu einer festen Phase (z.B. Beton) ansiedeln.

Biologiebecken

Raum, in dem je nach Verfügbarkeit des Sauerstoffs aerobe (oxidierende) oder anoxische (reduzierende) biochemische Prozesse ablaufen. Diese werden von einer Vielzahl von Mikroorganismen (vorwiegend Bakterien) verursacht.

Calcit-Schicht

Dichte Schicht aus Calciumcarbonat, welche durch eine Fällungsreaktion zwischen Carbonat im Wasser und Calcium im Beton nahe an der Oberfläche entsteht.

Denitrifikation

Prozess bei der biologischen Abwasserreinigung. Unter Denitrifikation versteht man die Reduktion des im Nitrat (NO_3^-) gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff (N_2) durch Mikroorganismen.

Erosionsgrad

Mass für die Betonerosion.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung des frischen Betons ist zum Schutz der Betonoberfläche gegen äussere Einwirkungen und somit zur Sicherstellung einer geschlossenen, dichten und dauerhaften Betonoberfläche erforderlich.

Nitrifikation

Prozess bei der biologischen Abwasserreinigung. Als Nitrifikation bezeichnet man die bakterielle Oxidation von Ammoniak (NH_3) zu Nitrat (NO_3^-) unter Freisetzung von Protonen.

Protonen (Chemie)

Unter einem Proton versteht man das positiv geladene Wasserstoff-Ion H^+ .

Lösend wirkender Angriff

Schädigungsmechanismus, bei dem z.B. saure Lösung auf zementgebundene Werkstoffe einwirkt.

Treibend wirkender Angriff

Ein treibender Angriff liegt vor, wenn die auf den Beton einwirkenden Stoffe bei der Reaktion mit dem Zementstein neue Produkte mit wesentlich grösserem Volumen bilden. Der grössere Raumbedarf führt zur Sprengung des Betons von innen heraus. Ein typisches Beispiel hierfür ist auch das Sulfattreiben.

Verfahrenstechnik/Verfahrensart

Die Verfahrenstechnik einer Anlage entscheidet darüber, welche Bioprozesse in welchem Ausmass in welchem Teil der ARA ablaufen. Je nach Abwasserqualität und den Vorgaben der Einleitbedingungen werden die Anforderungen an die Verfahrenswahl bestimmt. In der vorliegenden Publikation werden nur die folgenden biologischen Verfahren behandelt: Belebtschlammverfahren (konventionell, A/I-Verfahren), Biofilter (Festbettverfahren).

Wasserhärte

Mit Wasserhärte wird die Äquivalentkonzentration der im Wasser gelösten Ionen der Erdalkalimetalle bezeichnet. Im Rahmen dieses Merkblattes werden folgende Bereiche der Wasserhärte definiert:

- Niedrige Wasserhärte $\leq 15^\circ \text{fH}$
- Hohe Wasserhärte $> 15^\circ \text{fH}$

Umrechnungsfaktor: $1^\circ \text{fH} = 0,560^\circ \text{dH}$

Zementart

Nach Norm SN EN 197-1 gibt es 5 Haupt- und 27 Normalzementarten, die sich in ihrer Zusammensetzung unterscheiden. In der Schweiz sind nicht alle Zementarten für den Einsatz in Beton zugelassen. Die zugelassenen Zementarten sind in der Norm SN EN 206-1 in Tabelle NA.3 aufgeführt.

Auf die Definition der unter 4.2.2 verwendeten Begriffe wird verzichtet und auf die Norm SIA 262 verwiesen.

1.2 Bezeichnungen

1.2.1 Lateinische Grossbuchstaben

A chemischer Angriff in Biologiebecken einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage
X.. (CH) Expositionsklasse X0, XC, XD, XF, XA (CH)

1.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

c_{nom} planmässige Bewehrungsüberdeckung (Mindestmass + Vorhaltemass von 10 mm)

1.2.3 Griechische Buchstaben

keine

2 GRUNDSÄTZE

2.1 Allgemeines

2.1.1

Die in diesem Merkblatt enthaltenen Empfehlungen beschränken sich auf die Becken der biologischen Stufe einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage, in denen die Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation ablaufen können.

2.1.2

Kommunales Abwasser stammt vorwiegend aus Haushalten und Gewerbe/Industrie und enthält neben schadstoffbelastetem Regenwasser vorwiegend häusliches Abwasser mit Fäkalien, Speiseresten, Desinfektionsmitteln sowie Spül- und Reinigungsmitteln.

2.2 Einwirkungen des Abwassers auf Beton

2.2.1

Abwasser bewirkt aufgrund der biologischen Einwirkung der Mikroorganismen im Biofilm einen chemischen Angriff auf der Oberfläche des erhärteten Betons und kann zu einer Betonerosion von abwasserberührten Wänden, Böden und Decken führen.

2.2.2

In Biologiebecken von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen ist in der Regel mit einem lösend wirkenden Angriff zu rechnen.

Der Sulfatgehalt des Abwassers ist jedoch immer zu bestimmen, um einen allfällig treibend wirkenden Angriff ausschliessen zu können.

2.3 Einflussfaktoren für den chemischen Angriff

2.3.1 Allgemeines

Der chemische Angriff von Abwasser in Biologiebecken wird von den nachfolgenden Einflussfaktoren massgebend beeinflusst:

- Zusammensetzung des Abwassers
- Biofilm
- Prozessführung
- Verfahrensart
- Mechanische Beanspruchung
- Wasserhärte

2.3.2 Zusammensetzung des Abwassers

Die Abwasserzusammensetzung (z.B. C_{org} , N-Verbindungen, BSB_5 etc.) bestimmt die Voraussetzungen für die Aktivitäten der Bioprozesse im Biologiebecken und damit zusammen mit den Einleitbedingungen sowohl die Wahl des Verfahrens als auch die Auslegung der Anlage.

2.3.3 Biofilm

Im Biofilm auf der Betonoberfläche können lokal tiefe pH-Werte (z.B. $pH = 4-5$) entstehen, obwohl der pH-Wert des Abwassers in den Becken bei etwa 7 liegt. Dies kann zu einem lösend wirkenden Betonangriff führen.

2.3.4 Prozessführung

Die Prozessführung in den Biologiebecken beeinflusst das Auftreten von Betonerosion. Freigesetzte Protonen in einem Nitrifikationsbecken führen vermehrt zu einem lösend wirkenden Angriff an der Betonoberfläche.

2.3.5 Verfahrensart

Die Wahl des Verfahrens beeinflusst das Auftreten von Betonerosion. Die Bioprozesse laufen in verschiedenen Verfahren sowohl räumlich als auch zeitlich unterschiedlich ab. Damit verbunden ist ein Betonabtrag.

2.3.6 Mechanische Beanspruchung

Eine mechanische Beanspruchung der Betonoberfläche – verfahrensbedingt oder durch Reinigung – verstärkt die Betonerosion.

2.3.7 Wasserhärte

Die Härte des Abwassers beeinflusst die Betonerosion massgebend. Aufgrund der Pufferwirkung des gelösten Kalks (z.B. in Form von Bicarbonat, d.h. HCO_3^-) im Abwasser wird ein Teil der freigesetzten Protonen im Biofilm vor dem Angriff der Betonoberfläche neutralisiert. Im Abwasser vorhandenes Carbonat führt bei Kontakt mit Calcium aus dem Beton bei hohem pH-Wert (z.B. $\text{pH} > 7$) zur Bildung einer Calcitschicht (vgl. Ziffer 1.1).

2.4 Risikofaktoren und -bereiche sowie Widerstand des Betons

2.4.1 Risikofaktoren und -bereiche

Folgende der unter 2.3.1 erwähnten Einflussfaktoren können als massgebende Risikofaktoren betreffend das Auftreten von Betonerosion betrachtet werden:

- Geringe Wasserhärte (witterungsbedingte Ereignisse, Pufferkapazität etc.)
- Nitrifikation ohne Denitrifikation
- Verfahren mit hoher mechanischer Belastung oder hoher Raumbelastung

2.4.1.1 Geringe Wasserhärte

Geringe Wasserhärte ($\leq 15^\circ\text{fH}$) ist in kalkarmen Gebieten der Schweiz anzutreffen, kann aber auch kurzfristig witterungsbedingt, z.B. durch starke Regenwasserzufuhr, auftreten. Wasser mit geringer Wasserhärte verfügt über eine geringere Pufferkapazität und geringere Mengen an Bicarbonat, welches zum Aufbau der Calcit-Schutzschicht an der Betonoberfläche beiträgt.

Die Wasserhärte im Einzugsgebiet ist bei der Planung von Abwasserreinigungsanlagen besonders zu berücksichtigen (vgl. Ziffer 5).

2.4.1.2 Nitrifikation ohne Denitrifikation

Bisherige Untersuchungen kommunaler Abwasserreinigungsanlagen haben gezeigt, dass Biologiebecken, in denen vorwiegend Nitrifikation stattfindet, die stärkste Erosion aufweisen. Findet in denselben Becken auch Denitrifikation statt, ist die Erosion schwächer (siehe dazu Erläuterungsbericht).

2.4.1.3 Verfahren mit hoher mechanischer Belastung oder hoher Raumbelastung

An der Oberfläche von Biologiebecken mit Erosionserscheinungen bildet sich eine dichte Calcit-Schicht. Eine mechanische Belastung der Oberfläche, sei es durch Abbürsten, Hochdruckreinigung oder eine verfahrensbedingte, hydraulische Belastung mit Partikeln, kann die Schutzwirkung dieser Schicht zerstören und damit den Erosionsgrad verstärken. Die Raumbelastung ist ein Mass für die Konzentration des Abwassers im Anlagevolumen (Raum) und dient als Auslegungs- und Vergleichsgrösse für Anlagen der biologischen Abwasserreinigung. Anlagen mit hoher Raumbelastung weisen höhere Konzentrationen auf, die zu einem höheren, lösend wirkenden Angriff führen können.

2.4.1.4 Risikobereiche

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen werden die folgenden Risikobereiche definiert:

Tabelle 1: Definition der Risikobereiche bezüglich Betonerosion

Risikobereich	A	B	C
Wasserhärte	> 15 °fH (8,4 °dH)	entweder ≤ 15 °fH (8,4 °dH)	≤ 15 °fH (8,4 °dH)
Bioprozesse der Stickstoffumwandlung	Nitrifikation und Denitrifikation	oder nur Nitrifikation	nur Nitrifikation
Verfahren	Belebtschlammverfahren	oder Festbettreaktor	Festbettreaktor

2.4.2 Widerstand des Betons

Der Widerstand des Betons wird durch folgende Parameter beeinflusst:

- Zusammensetzung des Betons
- Schutz des Betons im jungen Alter
- Weitere bautechnische und betriebliche Faktoren

2.4.2.1 Zusammensetzung des Betons

Die Zusammensetzung des Betons, insbesondere w/z-Wert und Zementart, hat einen Einfluss auf dessen Widerstand gegen Betonerosion. Bei beiden Parametern können sowohl das Depot an Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Beton wie die Dichte des Zementsteins beeinflusst werden.

2.4.2.2 Schutz des Betons in jungem Alter

Die Oberfläche des jungen Betons ist durch eine ausreichend lange Nachbehandlung zu schützen. Ebenso sollte die Erstbelastung der Betonoberfläche mit Abwasser möglichst spät erfolgen.

2.4.2.3 Weitere bautechnische und betriebliche Faktoren

Folgende weitere Faktoren können den Widerstand des Betons ebenfalls beeinflussen:

- Ausbildung des Bauteils (z.B. Kanten und Ecken)
- Risse
- Oberflächenzustand des Betons
- Mechanische Reinigung

2.5 Expositionsklasse

2.5.1

Die Expositionsklassen für eine Abwasserreinigungsanlage sind exemplarisch für zwei Fälle in Abbildung 1 dargestellt.

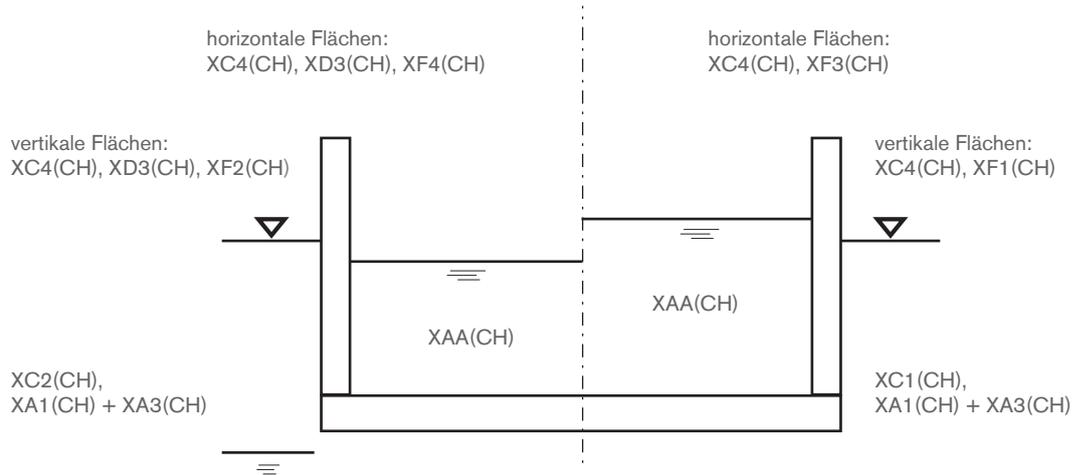


Abbildung 1: Expositionsklassen für Abwasserreinigungsanlagen

2.5.2

Auf der linken Seite der Abbildung 1 ist folgende Situation dargestellt:

- Erdberührte Bauteile, wechselnd feucht und trocken, chemischer Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser
- Bauteile über Oberkante Terrain mit Frost- und Frostauszalbelastung

2.5.3

Auf der rechten Seite der Abbildung 1 ist folgende Situation dargestellt:

- Erdberührte Bauteile, ständig feucht, chemischer Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser
- Bauteile über Oberkante Terrain mit Frostbelastung

2.5.4

Für den chemischen Angriff durch Abwasser in Biologiebecken von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen gilt die Expositionsklasse XAA(CH).

2.5.5

Ein Zusammenwirken zweier oder mehrerer Expositionsklassen ist zu beachten.

2.5.6

In der Regel ist für die Expositionsklasse XAA(CH) kein zusätzlicher Oberflächenschutz nach Norm SN EN 1504-2 notwendig.

3 BEMESSUNG UND KONSTRUKTIVE DURCHBILDUNG

3.1

Für Bemessung und konstruktive Durchbildung gelten die Norm SIA 262 und die zusätzlich in diesem Merkblatt unter Ziffer 3 erwähnten Normen und Richtlinien.

3.2

Abwassereinigungsanlagen entsprechen dem Anwendungsgebiet B7 nach Norm SIA 270. Für Dichtigkeit gelten die Anforderungen für die Dichtigkeitsklasse 2 nach Norm SIA 272.

Hinweis:

Anwendungsgebiet B7 bedeutet: Anwendungsgruppe B «Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagebau»; B7 = Kläranlage. Dichtigkeitsklasse 2 bedeutet: trocken bis leicht feucht, einzelne Feuchtstellen zugelassen, kein tropfendes Wasser an den trockenseitigen Bauwerksoberflächen zugelassen.

3.3

Um der Gefährdung durch Bewehrungskorrosion zu begegnen, sind die in Tabelle 2 aufgeführten Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung c_{nom} für die Expositionsklasse XAA(CH) einzuhalten. Ein Vorhaltemass von 10 mm ist in den angegebenen Werten eingerechnet. Die Anwendung von Tabelle 2 setzt die Herstellung eines dichten Überdeckungsbetons gemäss Norm SIA 262 voraus.

Tabelle 2: Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung c_{nom}

Mindestwert der Bewehrungsüberdeckung c_{nom} [mm]	Expositionsklasse XAA(CH)		
	Risikobereich A	Risikobereich B	Risikobereich C
Betonstahl	40	45	50
Spannstahl bzw. Spannglied	50	55	60

3.4

Für die Detailkonstruktionen hinsichtlich Abdichtung, z.B. Fugen, Durchdringungen etc., gilt Norm SIA 272.

3.5

Für den Korrosionsschutz in Abwasserreinigungsanlagen, z.B. für Einbauteile, ist die Richtlinie der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz zu beachten.

4 BETON

4.1 Allgemeines

4.1.1

Für Beton gelten die Norm SIA 262 und die zusätzlich in diesem Merkblatt unter Ziffer 4 erwähnten Anforderungen.

4.1.2

In der Regel ist Beton als «Beton nach Eigenschaften» auszuschreiben. In besonderen Fällen kann Beton als «Beton nach Zusammensetzung» verwendet werden.

4.2 Anforderungen an Beton

4.2.1

Für die Anforderungen an die Zusammensetzung von Beton in Biologiebecken von Abwasserreinigungsanlagen gilt Tabelle 3. Werden von der Tabelle 3 abweichende Betonzusammensetzungen verwendet, ist deren Eignung mittels dem Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit nach Norm SN EN 206-1 nachzuweisen.

Tabelle 3: Anforderungen an die Zusammensetzung von Beton mit einem Grösstkorn der Gesteinskörnung von 32 mm bei einem chemischen Angriff

Anforderungen an	Expositionsklasse XAA(CH)
Maximaler w/z-Wert [-]	0,45
Mindestzementgehalt ^a [kg/m ³]	320

^a ohne Anrechnung von Zusatzstoff

4.2.2

Ein Beispiel für die Ausschreibung der Betonwand eines Biologiebeckens, basierend auf den Formatvorgaben der Norm SIA 262 ist nachfolgend angegeben:

- Beton gemäss SN EN 206-1
- C 30/37 Festigkeit
- XC4(CH), XF4(CH), XD3(CH), XAA (CH) Exposition
- D_{max} 32 Grösstkorn
- Cl 0,10 Chloridgehalt
- F4 Konsistenz

Wird für den chemischen Widerstand ein prüftechnischer Nachweis verlangt, so sind die Prüfmethode und die Beurteilungskriterien festzulegen bzw. zu vereinbaren. Das Merkblatt SIA 2042 «Vermeidung der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) beim Betonbau» ist zu beachten und ggf. als zusätzliche Anforderung zu definieren.

4.3 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

4.3.1 Zement

4.3.1.1

Für die Expositionsklasse XAA(CH) dürfen nur die für die Expositionsklasse XD3(CH) freigegebenen Zementarten verwendet werden. Werden zusätzliche Anforderungen an den Frost- und Frosttausalz-widerstand gestellt, dürfen nur die für die geforderte XF-Klasse nach Tab. NA.3 der Norm SN EN 206-1 freigegebenen Zementarten eingesetzt werden.

4.3.1.2

Ist mit einem mittleren Sulfatgehalt des Abwassers grösser 600 mg/l SO_4^{2-} zu rechnen, sind Zemente mit einem hohen Sulfatwiderstand gemäss Norm SN EN 197-1 zu verwenden.

4.3.2 Gesteinskörnung

4.3.2.1

Das Merkblatt SIA 2042 Massnahmen zur Vermeidung der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) beim Betonbau ist zusätzlich zu beachten.

5 PLANUNG

5.1 Abschätzung des Erosionsrisikos

Da die Wahl des Verfahrens einen Einfluss auf das Potenzial der Betonerosion hat, soll der Planer den Bauherrn über die Risiken betreffend die zu erwartende Betonerosion und deren Auswirkungen informieren sowie bei Bedarf mögliche Folgen einer Verfahrenswahl auf die Investitions- und Betriebskosten abschätzen.

Dazu ist die Erfassung wichtiger Risikoparameter gemäss Ziffer 2.4 erforderlich. Diese sind:

- Verfahrenswahl (nur Nitrifikation, Raumbelastung, mechanische Belastung etc.)
- Wasserhärte

5.2 Massnahmen zur Risikoreduktion

Bei Anlagen mit hohem Risikopotenzial sind mögliche Massnahmen zu prüfen:

- Optimierung der Prozessführung (Der Betrieb einer Denitrifikationsstufe ist auch aus gewässer-schutztechnischer Sicht prüfenswert.)
- Verfahrenswahl (möglichst geringe mechanische Belastung)
- Bedeutung betontechnologischer Aspekte (insbesondere Zementart, w/z-Wert und Nachbehandlung)

5.3 Nutzungsvereinbarung

Auch bei Einhaltung aller Anforderungen an Beton ist bei Biologiebecken kommunaler Abwasserreinigungsanlagen mit einer Betonerosion in Form eines Betonabtrags von wenigen Millimetern zu rechnen. Dadurch wird die Gebrauchstauglichkeit des Betonbauwerks unter der Voraussetzung der Einhaltung der erforderlichen Bewehrungsüberdeckung nicht beeinträchtigt.

Der Planer informiert den Bauherren in Form einer Nutzungsvereinbarung über die Risiken des Auftretens von Betonerosion.

6 AUSFÜHRUNG

6.1 Allgemeines

6.1.1

Für die Ausführung gelten die Normen SIA 262 und SIA 118/262 sowie die zusätzlichen in diesem Merkblatt unter Ziffer 6 erwähnten Anforderungen.

6.1.2

Ziel ist die Herstellung eines dichten Überdeckungsbetons, um eine sehr gute Dauerhaftigkeit zu erhalten. Die Bildung einer Calcit-Schicht mit Schutzfunktion kann durch geeignete Bedingungen (z.B. Ca und Carbonat verfügbar) begünstigt werden.

6.2 Oberflächenbeschaffenheit

6.2.1

Für die Oberflächenbeschaffenheit des abwasserberührten Betons ist eine weitgehend glatte und geschlossene Oberfläche sowohl aus betrieblichen Gründen als auch zur Minimierung der Angriffsfläche anzustreben.

6.3 Nachbehandlung von Beton

6.3.1

Die Nachbehandlungsdauer (Nachbehandlungsklasse) ist in Abhängigkeit der Festigkeitsentwicklung des Betons (Verhältnis der charakteristischen Druckfestigkeit nach 2 und 28 Tagen, $r = f_{cm2}/f_{cm28}$) in der Betonrandzone festzulegen und wird mit den Nachbehandlungsklassen NBK1 bis 4 beschrieben. Die geforderte Nachbehandlungsklasse ist projektspezifisch festzulegen.

6.3.2

Bei abwasserberührten Flächen werden hohe Anforderungen an die Nachbehandlung gestellt. Es wird empfohlen, bei Biologiebecken die Nachbehandlungsklasse NBK4 zu wählen.

6.3.3

Detaillierte Schätzungen der Festigkeitsentwicklung des Betons können auf einem der folgenden Verfahren beruhen:

- Berechnung der Festigkeitsentwicklung aus Temperaturmessungen, die bei einer maximalen Tiefe von 10 mm unter der Oberfläche vorgenommen wurden
- Berechnung der Festigkeitsentwicklung auf der Grundlage der mittleren Tagestemperatur der Luft
- auf die Temperatur abgestimmte Nachbehandlung
- Rückprallhammerprüfung (nach Kalibrierung)
- sonstige erwiesenermassen geeignete Verfahren

6.3.4

Berechnungen der Festigkeitsentwicklung sollten auf einem geeigneten Rechenansatz beruhen, der sich für die verwendete Zementart bewährt hat.

6.3.5

Wenn keine genauen Ergebnisse zum eingesetzten Beton und keine verlässlichen Schätzwerte gemäss Ziffer 6.3.3 vorliegen und bei der Ausführung keine entsprechenden Prüfungen vorgenommen werden, gelten für die Nachbehandlungsdauer die Richtwerte der Tabelle 4.

Tabelle 4: Mindestnachbehandlungsdauer für die Nachbehandlungsklassen 2 bis 4 mit einer Oberflächenfestigkeit des Betons von 35, 50 und 70 % der festgelegten charakteristischen Festigkeit

Oberflächen- temperatur des Betons (t), °C	Mindestnachbehandlungsdauer, Tage ^a								
	Entwicklung der Betonfestigkeit ^{c, d} , $(f_{cm2}/f_{cm28}) = r$								
	schnell			mittel			langsam		
	$r \geq 0,50$			$0,50 > r \geq 0,30$			$0,30 > r \geq 0,15$		
	Nachbehandlungsklasse $(f_{cm2}/f_{cm28}) = r$								
	2 (30)	3 (50)	4 (70)	2 (30)	3 (50)	4 (70)	2 (30)	3 (50)	4 (70)
$t \geq 25$	1,0	1,5	3	1,5	2,5	5	2,5	3,5	6
$25 > t \geq 15$	1,0	2,0	5	2,5	4	9	5	7	12
$15 > t \geq 10$	1,5	2,5	7	4	7	13	8	12	21
$10 > t \geq 5^b$	2,0	3,5	9	5	9	18	11	18	30

^a Bei mehr als 5 h Verarbeitbarkeitszeit ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern.

^b Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeitspanne zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.

^c Die Entwicklung der Betonfestigkeit ist der Quotient aus der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen und der mittleren Druckfestigkeit nach 28 Tagen, ermittelt in Erstprüfungen oder beruhend auf bekanntem Verhalten von Beton vergleichbarer Zusammensetzung (siehe SN EN 206-1).

^d Bei einer sehr langsamen Entwicklung der Betonfestigkeit sollten in der Projektbeschreibung besondere Anforderungen angegeben werden.

6.4 Qualitätssicherung

6.4.1

Während der Ausführung sind Frischbetonkontrollen und Festbetonprüfungen vorzusehen. Die erreichte Dichtigkeit des Überdeckungsbetons ist nach SIA 262 zu überprüfen.

6.4.2

Für die Qualitätssicherung der abwasserberührten Betonoberflächen soll ein Schalungsprotokoll mit Angaben der Bewehrungsüberdeckung, Lufttemperatur, Witterung, Einbringzeit, Ausschalungsfrist und der Art der Nachbehandlung geführt werden.

7 BETRIEB DER ARA

7.1

Auf eine mechanische Reinigung mit Hochdruckreiniger der abwasserberührten Wände von in Betrieb stehenden Biologiebecken soll verzichtet werden. Bei Beckenentleerung ist die «Schlammschicht» zuerst austrocknen zu lassen und dann mit einer möglichst geringen mechanischen Beanspruchung zu reinigen.

7.2

Durch eine geeignete Prozessführung (Fördern der Denitrifikation, Reduktion der mechanischen Belastung etc.) kann die Betonerosion vermindert werden.

7.3

Werden dem Abwasser aus verfahrenstechnischen Gründen pH-Wert regulierende Stoffe (z.B. Kalkmilch) zugesetzt, ist mit einer geringeren Betonerosion zu rechnen. Der pH-Wert ist bei der Zugabe zu kontrollieren.

8 INSTANDSETZUNG

8.1 Allgemeines

8.1.1

Für Instandsetzungen gelten die Norm SIA 269/2 und die Normenreihe SN EN 1504 Teil 1 bis Teil 10 sowie zusätzlich die in diesem Merkblatt unter Ziffer 8 erwähnten Anforderungen.

8.1.2

Imprägnierungen nach Norm SN EN 1504-2 werden bei der Instandsetzung von Betonoberflächen in Biologiebecken von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen nicht empfohlen.

8.2 Beschichtung

8.2.1

Es gelten die Anforderungen an eine Beschichtung nach Norm SN EN 1504-2, Verfahren 6.1 «Widerstand gegen Chemikalien» ggf. in Verbindung mit Verfahren 5.1 «Physikalische Widerstandfähigkeit/Oberflächenverbesserung».

8.2.2

Es wird empfohlen, Referenzflächen anzulegen, um die Eignung eines oder mehrerer Produkte für die vorgesehene Anwendung genauer abzuklären (Norm SN EN 1504-2). Die Referenzflächen sind während mindestens 1 Jahr, besser 3 bis 5 Jahre, zu überwachen.

8.3 Betonersatz

8.3.1

Betonersatz hat die Anforderungen an Mörtel und Betone zum flächigen Auftragen mit Schutzwirkung gegen Karbonatisierung nach Norm SN EN 1504-3 und gleichzeitig die Anforderungen an Beton für die Expositionsklasse XAA(CH) zu erfüllen.

9 PRÜFUNGEN UND KONTROLLEN WÄHREND DER NUTZUNG

9.1

Eine Dokumentation der wichtigsten Abwasserwerte während der Betriebsphase hilft bei der Beurteilung von Betonerosion ebenso wie die Erfassung des Erosionsgrades.

9.2

Der Betonabtrag wird als Erosionsgrad in bestehenden Anlagen visuell erfasst. Hierzu kann mithilfe von Referenzfotos eine Zuordnung der Abtragtiefe zu einer Kategorie des Erosionsgrades erfolgen. Mit dieser Methode ist eine übereinstimmende Interpretation durch die Fachleute bei der Aufnahme des Erosionsgrades möglich. Die Referenzfotos stammen aus einem Laborversuch, bei dem die Betonoberfläche mit Säure künstlich abgetragen wurde.

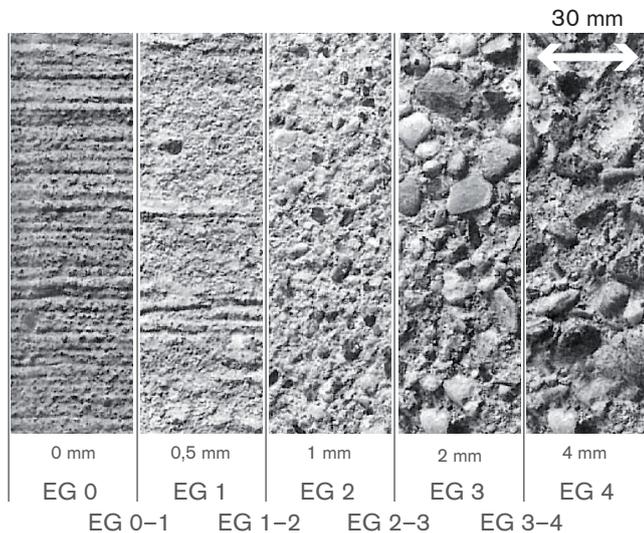


Abbildung 2: Referenzfotos zur Bestimmung des Erosionsgrades (EG) modifiziert nach Grube & Rechenberg 1987 (siehe Erläuterungsbericht, Abbildung 9).

9.3

Es wird empfohlen, die Biologiebecken alle 3 bis 5 Jahre auf ihren Zustand zu überprüfen. So können allfällige Instandsetzungs- bzw. Werterhaltungsmassnahmen rechtzeitig geplant werden.

