Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

DOKUMENTATION

# LEISTUNGSBASIERTE AUSSCHREIBUNG VON BETON

*Ausgabe 2025 V1.00*
*ASTRA 82027*

# Impressum

**Autoren / Arbeitsgruppe**

| | |
|---|---|
| Papastergiou Dimitrios | ASTRA N-SSI, Vorsitz |
| Waldis Walter | ASTRA N-SSI |
| Volpatti Giovanni | ASTRA N-SSI |
| Hunkeler Fritz | Hunkeler Ingenieurberatung, Möriken, Auftragnehmer |


**Originalsprache**
Deutsch

**Herausgeber**
Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

**Bezugsquelle**
Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2025
Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

# Vorwort

Diese Dokumentation wurde aus mehreren Gründen erstellt:

- Heute sind auf dem Schweizer Markt Betone in den Sorten A bis G sowie P1 bis P4 gemäss SN EN 206 «Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität» [34] verfügbar. Das sind definierte Sorten mit starr vorgegeben Minimaldosierungen von Zement sowie Zementarten und Maximaldosierungen von Wasser, um in jedem Betonwerk der Schweiz mit unterschiedlichsten Gesteinskörnungen das Erreichen von Betonfestigkeitsklassen und Dauerhaftigkeitsanforderungen sicherstellen zu können.
- Eine Optimierung dieser Betone zum Beispiel für möglichst geringe Risse-Neigung, möglichst geringe Umweltbelastung oder eine genügende, aber nicht deutlich überhöhte Druck- sowie Zugfestigkeit war unter Anwendung dieser Betonnorm bis anhin ausgeschlossen.
- Mit der ASTRA Dokumentation 82024 «Neues Entwurfsverfahren für Beton - Pilotanwendung bei der Bahnhofsbrücke Tüscherz» hat das ASTRA den technischen Weg aufgezeigt für den Entwurf und das erfolgreiche Einbauen eines leistungsbezogenen Betons [37]. Dieser Typ von Beton weicht ab von den Vorgaben in der Betonnorm SN EN 206 [34]. Mit der Publikation des nationalen Anhangs ND [1] zur SN EN 206 anfangs 2025 werden leistungsbasierte Ausschreibungen für Beton innerhalb der schweizerischen Betonnorm möglich.
- Die Dokumentation soll aufzuzeigen, wie der neue Anhang ND [1] zur Betonnorm SN EN 206 [34] und das Konzept der Expositionswiderstandsklassen der neuen Norm EN 1992-1-1 [3] für Kunstbauten der Nationalstrassen des ASTRA umgesetzt werden können.

**Bundesamt für Strassen**

Dr. Dimitrios Papastergiou
Fachverantwortlicher Kunstbauten

# Inhaltsverzeichnis

**Impressum** ..... **2**
**Vorwort** ..... **3**

**1 Einleitung** ..... **7**
1.1 Zweck ..... 7
1.2 Geltungsbereich ..... 7
1.3 Adressatinnen und Adressaten ..... 7
1.4 Inkrafttreten und Änderungen ..... 7

**2 Neues Entwurfsverfahren für Beton gemäss nationalem Anhang ND zur schweizerischen Betonnorm SN EN 206** ..... **8**
2.1 Ziel ..... 8
2.2 Überblick über die heutigen Regelungen zum Beton ..... 9
2.3 Beschreibung des neuen Entwurfsverfahrens ..... 10
2.4 Zusammenfassung von (Pilot)Anwendungen ..... 11
2.4.1 Bahnhofbrücke in Tüscherz (2021) ..... 11
2.4.2 Winkelstützmauer Cupeis San Bernardino (2023-2024) ..... 13
2.4.3 Grand-Pont in La Chaux-de-Fonds (2023-2024) ..... 16

**3 Leistungsbasierte Anforderungen** ..... **18**
3.1 Grundlagen ..... 18
3.2 Einführende Erläuterungen ..... 18
3.3 Grundsätze für die Festlegung der Anforderungen ..... 19
3.4 Bewehrungsüberdeckung ..... 22
3.5 Fehlende Anforderungen, Kriterien oder Prüfnormen für eine umfassende leistungsbasierte Ausschreibung ..... 24
3.5.1 Allgemeines ..... 24
3.5.2 Robustheit von Beton ..... 24
3.5.3 Pumpbarkeit von Beton ..... 26
3.5.4 Ausreichender Korrosionsschutz ..... 26
3.5.5 Frostwiderstand ..... 26
3.5.6 Auslaugen von Beton ..... 26
3.5.7 Säurebeständigkeit von Beton ..... 27
3.5.8 Versinterung von Rohrleitungen und Drainagesystemen (Versinterungspotenzial, VP) ..... 27
3.5.9 Brandwiderstand ..... 27
3.5.10 Andere Eigenschaften ..... 28
3.6 Eignet sich das leistungsbezogene Entwurfsverfahren für alle Betone (Bauteile)? ..... 28
3.7 Prüfungen ..... 29

**4 Regelanforderungen an Beton für Bauteile im Strassenverkehr** ..... **31**
4.1 Übersicht über die betrachteten Bauteile ..... 31
4.2 Vorgehen zur Festlegung der Anforderungen bei niedriglegierten (normalen) Betonstählen ..... 33
4.3 Verwendung von nichtrostender Bewehrung ..... 35
4.4 Verwendung von nichtmetallischer Bewehrung (z.B. Basaltfaserstäbe) ..... 37
4.5 Kommentar zu einzelnen Anforderungen ..... 38
4.5.1 Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ..... 38
4.5.2 Sulfatangriff ..... 38
4.5.3 Anforderungen an die Farbe des Betons ..... 38

**5 Umweltwirkungen von Betonen** ..... **39**

**6 Ausschreibung** ..... **41**
6.1 Allgemeines ..... 41

6.2 Beispiele ..... 42
6.3 Vor- und Eignungsversuche ..... 43
6.4 Muster ..... 43
6.5 Kontroll- und Prüfplan ..... 44

**Anhänge ..... 45**

**Glossar ..... 67**
**Literaturverzeichnis ..... 69**
**Auflistung der Änderungen ..... 73**

# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck

Diese Dokumentation soll ermöglichen, den Anhang ND [1] zur Betonnorm SN EN 206 [34] für leistungsbasierte Ausschreibungen für Betone für Kunstbauten der Nationalstrassen des ASTRA in der ganzen Schweiz zu nutzen. Dabei kann auch die Nachhaltigkeit der Betone berücksichtigt werden.

Diese Dokumentation soll weiter aufzeigen, wie das Konzept der Expositionswiderstandsklassen, die mit dem neuen europäischen Norm EN 1992-1-1 [3] eingeführt werden, für Kunstbauten der Nationalstrassen des ASTRA umgesetzt werden kann.

## 1.2 Geltungsbereich

Die leistungsbasierte Ausschreibung von Beton gemäss dieser Dokumentation gilt für alle neuen Projekte für Neubau, Umbau und Instandsetzungen von Kunstbauten, inkl. Tunnelbauten

Folgende Bauteile werden in dieser Dokumentation nicht behandelt werden:

- Schlitzrinnen
- Betondecken (Betonbeläge)
- Recyclingbeton mit rezykliertem Mischgranulat (RC-M).

In dieser Dokumentation werden folgende Betonsorten nicht behandelt:

- Spritzbeton
- Faserbetone inkl. UHFB.

In dieser Dokumentation werden folgende Einwirkungen nicht behandelt:

- Korrosion von eingebettetem Metall, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser (Expositionsklasse XS).
- Mechanischer Angriff auf Beton durch Abrieb (Expositionsklasse XM). Die Norm EN 1992-1-1 [3] enthält unter der Ziffer 6.5.2.2 (6) Hinweise.

## 1.3 Adressatinnen und Adressaten

Diese Dokumentation richtet sich an alle an einem Bau beteiligten Personen, die Beton ausschreiben, bestellen, herstellen oder verarbeiten, d.h. an:

- Ingenieurinnen und Ingenieure von Bauherren/-innen und Ingenieurbüros
- Projektleiterinnen und Projektleiter, BHU und FU
- Bauunternehmungen
- Betonherstellerinnen und Betonhersteller.

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Diese Dokumentation tritt am 18.11.2025 durch Publikation in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 73 dokumentiert.

# 2 Neues Entwurfsverfahren für Beton gemäss nationalem Anhang ND zur schweizerischen Betonnorm SN EN 206

## 2.1 Ziel

Die schweizerische Betonnorm SN EN 206:2013+A2:2021 «Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität» [34] (nachfolgend mit SN EN 206 bezeichnet) wurde anfangs 2025 mit der Publikation des nationalen Anhangs ND «Regelungen für das leistungsbezogene Entwurfsverfahren» um einen wesentlichen Teil erweitert (nachfolgende mit Anhang ND [1] bezeichnet).

Der Anhang ND ist ein normativer Teil der SN EN 206 [34] und ist seit dem 01.02.2025 gültig. Der vom Autor dieses Berichtes im Jahr 2020 erarbeitete Entwurf für einen Anhang ND wird hier als Anhang ND-fh [46] bezeichnet.

Der Anhang ND [1] macht es möglich, Beton nach Eigenschaften ohne einengende Vorgaben an die Zusammensetzung auszuschreiben, herzustellen und zu verwenden. Insbesondere fallen die Vorgaben an den w/z-Wert und der k-Wert-Ansatz ganz weg, ebenso die Anforderungen an den Mindestzementgehalt.

Nach wie vor bleibt die Verwendung von Zementen und Zusatzstoffen eingeschränkt. Die heutigen Regelungen passen nicht mehr zum neuen Anhang ND und sollten in naher Zukunft angepasst werden.

Mit dem Anhang ND können folgende Ziele verfolgt werden:

- Optimierung der Bindemittelzusammensetzung (Zement und Zusatzstoffe) hinsichtlich Frisch- und Festbetoneigenschaften wie auch der Umweltauswirkungen.
- Bessere Nutzung des unterschiedlichen Verhaltens der verschiedenen Zementarten und Zusatzstoffe z.B. betreffend Karbonatisierung und Chlorideintrag.
- Beschränkung der maximalen Druckfestigkeit soll immer dort, wo dies aus technischen Gründen zweckmässig ist, genutzt werden, um das Rissrisiko im jungen Alter zu reduzieren.
- Verbesserung der Nachhaltigkeit von Beton durch Reduktion des Zement- bzw. Klinkergehaltes im Beton und dadurch Reduktion der grauen Energie und der $CO_2$-Emission der Betone.

Im Anhang ND [1], Ziffer ND.5, werden die Grundanforderungen an Betone aufgeführt:

(1) Ein Beton gemäss nationalem Anhang ND gehört einer Betonsorte gemäss den Tabellen NA.5 oder NA.8 der SN EN 206 [34] an und kann für die dort aufgeführten Expositionsklassen der jeweiligen Betonsorte eingesetzt werden.

(2) Ein Beton nach nationalem Anhang ND muss entsprechend seiner Betonsorte die Regelungen zur Leistungsfähigkeit erfüllen. Dies beinhaltet die Regelungen zur festgelegten Konsistenz gemäss SN EN 206 [34], Ziffer NA 5.4.1, und die in den Tabellen NA.5 und NA.8 aufgeführten grundlegenden Anforderungen.

(3) Der Beton muss die Vorgaben zu den schweizerischen Dauerhaftigkeitsprüfungen gemäss SN EN 206 [34], Ziffer NA.8.2.3.4 und Tabelle NA 14 erfüllen.

(4) Es gelten die Regelungen zum Wassereindringwiderstand gemäss SN EN 206 [34], Ziffer NA 5.5.3 und zum «wasserdichten Beton» (WO-Beton) Ziffer NA.8.2.3.5.

(5) Zusätzliche Anforderungen (mit entsprechenden Prüfverfahren) für Beton nach Eigenschaften gemäss SIA 262:2013 [16], Ziffer 3.1.1.2, sind zulässig und projektspezifisch zu vereinbaren.

(6) Die Regelungen gemäss SN EN 206 [34] zu Probenahme und Prüfplan, Ziffer NA 8.2.1.2, Prüfhäufigkeiten, Tabelle NA.14, und Konformität, Ziffern NA 8.2.1.3.2 und NA 8.2.3.3, sind einzuhalten.

Die Formulierungen in den Abschnitten (1) bis (3) bedeuten, dass nur die in den genannten Tabellen aufgeführten Betone (Sorte 0 und A bis G sowie P1 bis P4) gemäss diesem Anhang hergestellt werden dürften. Diese Einschränkung ist technisch unbegründet und wird mit der Einführung der ERC-Klassen obsolet. Der Grund dafür sind die unterschiedlichen Grenzwerte bei den Dauerhaftigkeitseigenschaften, da in Zukunft unterschiedliche Bewehrungsüberdeckungen möglich sein werden.

Im neuen nationalen Anhang ND [1] werde keine neuen Prüfungen eingeführt. Zudem basiert er auf den veralteten Vorgaben für die Freigabe von Zementen und Zusatzstoffen.

## 2.2 Überblick über die heutigen Regelungen zum Beton

Abb. 2.1 gibt einen Überblick über die geltenden Normen mit Anforderungen an die Zusammensetzung, Herstellung und Verarbeitung von Beton. Ergänzend dazu sind fallweise die folgenden Dokumente zu berücksichtigen:

- Merkblatt SIA 2030 Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen [14]
- Merkblatt SIA 2042 Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten [15]

Für spezifische Anwendungen gelten teilweise weitere Dokumente. Diese nehmen meist auf die SN EN 206 [34] Bezug:

<u>Pfähle und Schlitzwände</u>

- SIA 267 Geotechnik [18]

<u>Spritzbeton</u>

- SIA 198 Untertagbau – Ausführung [12]
- SN EN 14487-1 Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität [31]
- SN EN 14487-2 Spritzbeton – Teil 2: Ausführung [32]

<u>Betondecken / Betonbeläge</u>

- SN 640461 Betondecken für Verkehrsflächen – Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten [19]

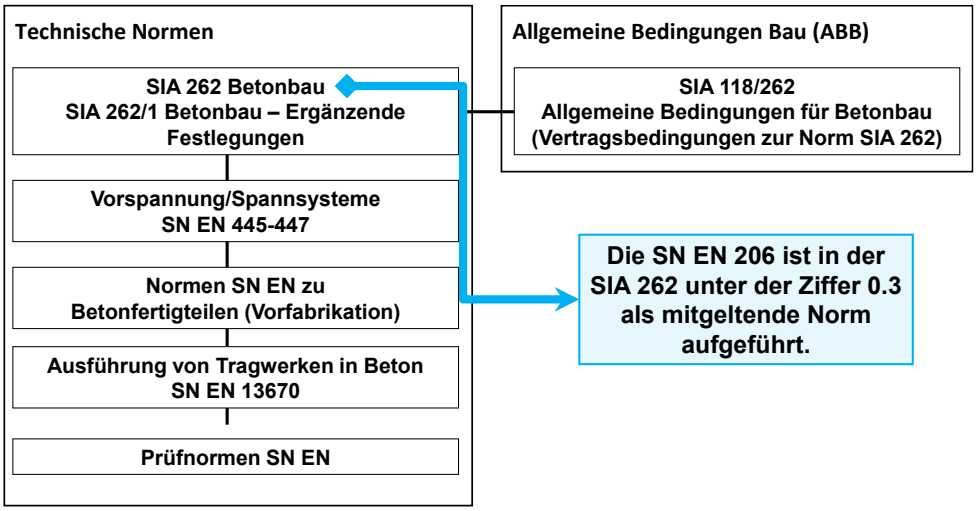


*Abb. 2.1 Überblick über die grundlegenden Normen mit Anforderungen an den Beton gemäss SN EN 13670 [30] (Nationales Vorwort, Ziffer 4). Unter der SN EN 206 wird die aktuell geltende Norm verstanden [34].*

## 2.3 Beschreibung des neuen Entwurfsverfahrens

Abb. 2.2 zeigt das Schema für die Entwicklung eines neuen Mischungsentwurfs. Ausgangspunkt ist das Hohlraumvolumen der Gesteinskörnungsmischung, die für die Betonherstellung verwendet werden soll. Dieses kann gemäss SN EN 1097-3 [20] bestimmt werden. Dann wird das Volumen der Leimzusammensetzung optimiert, um die Anforderungen an den Frisch- und Festbeton zu erfüllen. Die wichtigsten Elemente sind:

1) Das Volumen des Leims (L) eines bestimmten Betons muss so sein, dass der Leim das Hohlraumvolumen des verwendeten Gesteinskörnungsgemisches ausreichend füllt und zu robusten Frischbetoneigenschaften führt.
2) Die Zusammensetzung des Bindemittels b (Zement und mineralische Zusatzstoffe Typ I und II gemäss Anhang ND [1], Ziffer ND.3.1) und das Volumen des Leims L sowie der w/b- bzw. $w/b_{reaktiv}$-Wert (ohne Zusatzstoffe Typ I) bzw. der w/L-Wert sind so zu wählen, dass alle geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften erreicht werden und der Korrosionsschutz der Bewehrung, falls vorhanden, sichergestellt ist.

Unter dem Begriff Hohlraumvolumen (HRV) werden die (luftgefüllten) Hohlräume eines Gesteinskörnungsgemisches, das für die Herstellung des Betons verwendet wird, verstanden. Die Begriffe Hohlraumvolumen und Hohlraumgehalt sind gleichwertig.

Die Hohlraumgehalte von Gesteinskörnungsgemischen können sich um mehr als 10 Vol.-% (=100 Liter/$m^3$ Beton) unterscheiden. Damit verändert sich auch das nötige Leimvolumen. Das nötige Leimvolumen nimmt zu, je weicher die angestrebte Konsistenz eine Betons ist.

Das Verhältnis Leimvolumen zu Hohlraumgehalt (LV/HRV) kann als Leitparameter zur Optimierung der Betonzusammensetzung verwendet werden.

Weitere Details sind im [37] beschrieben.

Es ist hier zu betonen, dass es einige Betoneigenschaften gibt, für die noch keine anerkannten Prüfnormen vorliegen. Kap. 3.5 enthält dazu einige Ausführungen.

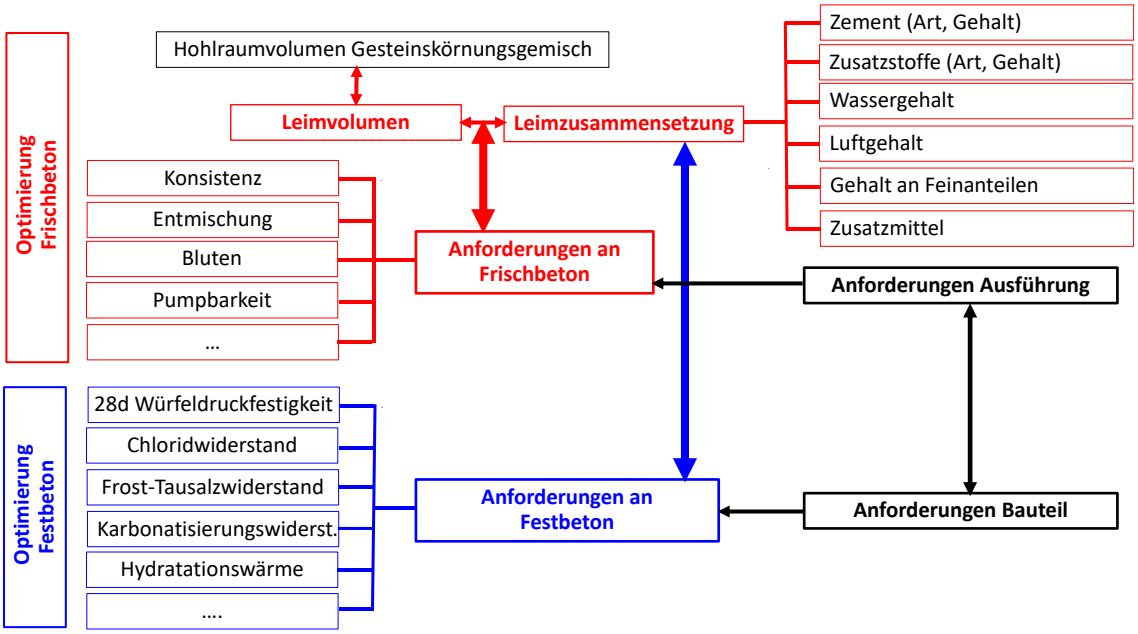


*Abb. 2.2 Schema für ein neues Entwurfsverfahren für Betone auf der Grundlage der in Anhang ND-fh [46] enthaltenen Bestimmungen [37].*

## 2.4 Zusammenfassung von (Pilot)Anwendungen

### 2.4.1 Bahnhofbrücke in Tüscherz (2021)

Im Rahmen der Pilotanwendung hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA) erstmals alternative Entwurfsverfahren für Betone, die auch Nachhaltigkeitsindikatoren berücksichtigen können, untersucht [37]. Basis dafür war der Entwurf für einen Anhang ND-fh zur SN EN 206 [46].

Die Pilotanwendung für die Umsetzung des Anhangs ND bei der Herstellung der neuen seeseitigen Brüstung als Teil des Instandsetzungsprojekts der 126 m langen Bahnhofbrücke der Nationalstrasse 05 in Tüscherz kann als gelungen bezeichnet werden (Abb. 2.3). Die Anforderungen an den Beton gehen aus Tab. 2.1 hervor. Vorgaben an den w/z-Wert und den Mindestzementgehalt gab es nicht. Die Brüstung auf der Bergseite wurde mit der konventionellen Betonsorte G hergestellt.

Die entwickelte Betonsorte G-ND (250 kg/m$^3$ CEM III/B, 25 kg/m$^3$ fein gemahlenes Kalksteinmehl, w/z um 0.60 Luftgehalt 4-6 Vol.-%) hat sich als robust erwiesen und erbrachte zufriedenstellende Ergebnisse: gute Verarbeitbarkeit, gute Oberflächenqualität, 28d-Würfeldruckfestigkeit unter dem festgelegten Maximalwert von 38 N/mm$^2$, ein tiefer E-Modul und damit eine höhere Elastizität, ein hoher Chlorid- sowie ein ausreichender Frost-Tausalz- und Karbonatisierungswiderstand. Das Hauptziel, eine dauerhafte Brüstung mit einer feinen Rissverteilung herzustellen, konnte erreicht werden, wie die visuelle Bewertung und der Vergleich mit der Betonsorte G im Mai 2025 zeigt (Abb. 2.4).

*Tab. 2.1 Anforderungen an den Beton G-ND für die seeseitige Brüstung der Bahnhofbrücke in Tüscherz.*

| **Eigenschaft** | **Anforderung an den Beton G-ND** |
|---|---|
| **Druckfestigkeitsklasse** | C20/25 |
| **Max. Druckfestigkeit** | ≤38 N/mm$^2$ nach 28 Tagen |
| **Max. E-Modul** | keine Anforderung |
| **Expositionsklassen (CH)** | XC4, XD3, XF4 |

Aus den Ergebnissen konnte gefolgert werden, dass das bei der Pilotanwendung erprobte Vorgehen bei allen verformungsbehinderten Bauteilen wie z.B. bei Wänden von Wannen, Stützmauern, Rückwänden von Galerien, Unterführungen oder Überdeckungen angewendet werden kann, um eine möglichst feine Rissverteilung zu erreichen.

Neben den technischen Vorteilen des neuen Entwurfsverfahrens für Beton gemäss Anhang ND-fh [46] sind auch die viel geringeren ökologischen Auswirkungen der neu entwickelten Betonsorte G-ND im Vergleich zur Sorte G beachtenswert. Die Reduktion des Zementgehalts um mehr als 20% und die Reduktion des Klinkergehalts um bis zu 70% (je nach verwendeter Zementart) fallen dabei stark ins Gewicht. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung der Nachhaltigkeitseigenschaften (geringerer Energieverbrauch und $CO_2$-Ausstoss und damit deutlich weniger Umweltbelastungspunkte) gegenüber konventionellen Betonsorten.

*Abb. 2.3 Ansicht der Bahnhofbrücke Tüscherz nach der Instandsetzung. Blickrichtung Biel. Foto F. Hunkeler vom 28.03.2022 [37].*

*Abb. 2.4 Bergseitige Brüstung mit Verfärbung in den Rissen (oben) und talseitige Brüstung mit wenigen, sehr feinen Rissen (unten). Fotos F. Hunkeler vom 06.05.2025.*

### 2.4.2 Winkelstützmauer Cupeis San Bernardino (2023-2024)

Die nachfolgenden Erläuterungen wurden den Berichten des Projektleiters des ASTRA [51] und vom Labor VSH [54] sowie vom Gesamtbericht [52] entnommen.

Die etwa 50-jährigen Stützmauer Cupeis in San Bernardino zeigte diverse Schäden am Beton und der Bewehrung und wurde in den Jahren 2023-2024 komplett ersetzt. Die neue Stützmauer ist rund 165 m lang und bis über 7 m hoch. Abb. 2.5 zeigt den Regelquerschnitt und Abb. 2.6 einige Fotos der Ausführung.

Für die neue Stützmauer wurde ein ähnlicher Beton eingesetzt wie in beim Pilotprojekt in Tüscherz (Tab. 2.2). Vorgaben an den w/z-Wert und den Mindestzementgehalt gab es nicht. Vorversuche im Labor haben gezeigt, dass mit einer Kombination von einem CEM III/B (Gehalt 275 kg/m$^3$) und einem Kalksteinmehl (Gehalt 75 kg/m$^3$) und einem w/z-Wert von rund 0.55 die geforderten Eigenschaften gut erreicht werden konnten. Ergebnisse der Baustellenprüfungen können dem Gesamtbericht [Stammwitz 2005b] entnommen werden.

*Tab. 2.2 Anforderungen an den Beton G-ND für die Stützmauer Cupeis, San Bernardino.*

| **Eigenschaft** | **Anforderung an den Beton G-ND** |
|---|---|
| **Druckfestigkeitsklasse** | C20/25 |
| **Max. Druckfestigkeit** | ≤38 N/mm$^2$ nach 28 Tagen |
| **Max. E-Modul** | ≤30'000 N/mm$^2$ nach 28 Tagen |
| **Expositionsklassen (CH)** | XC4, XD3, XF4 |

Am 12.06.2025 erfolgte eine Begehung der zu diesem Zeitpunkt 1 bis 1½ Jahre alten Stützmauer. Dabei wurde das Rissbild (Breite, Verteilung) systematisch erfasst. Gesamthaft präsentierte sich die neue Stützmauer in einem guten Zustand. Die Oberfläche wirkt homogen mit insgesamt wenigen Rissen (Abb. 2.7). Abgesehen von einer Ausnahme konnten keine Risse mit einer Breite grösser 0.1 mm festgestellt werden.

Bei etwa 6 von insgesamt 35 Blöcken konnten mehrere feine Risse in regelmässigen Abständen von etwa 30 bis 40 cm beobachtet werden. Bei den übrigen Blöcken konnten keine Risse gefunden werden.

Das festgestellte Rissbild lässt auf eine kontrollierte Zwangsrissbildung schliessen, wie sie bei solchen Bauwerken üblicherweise auftritt.

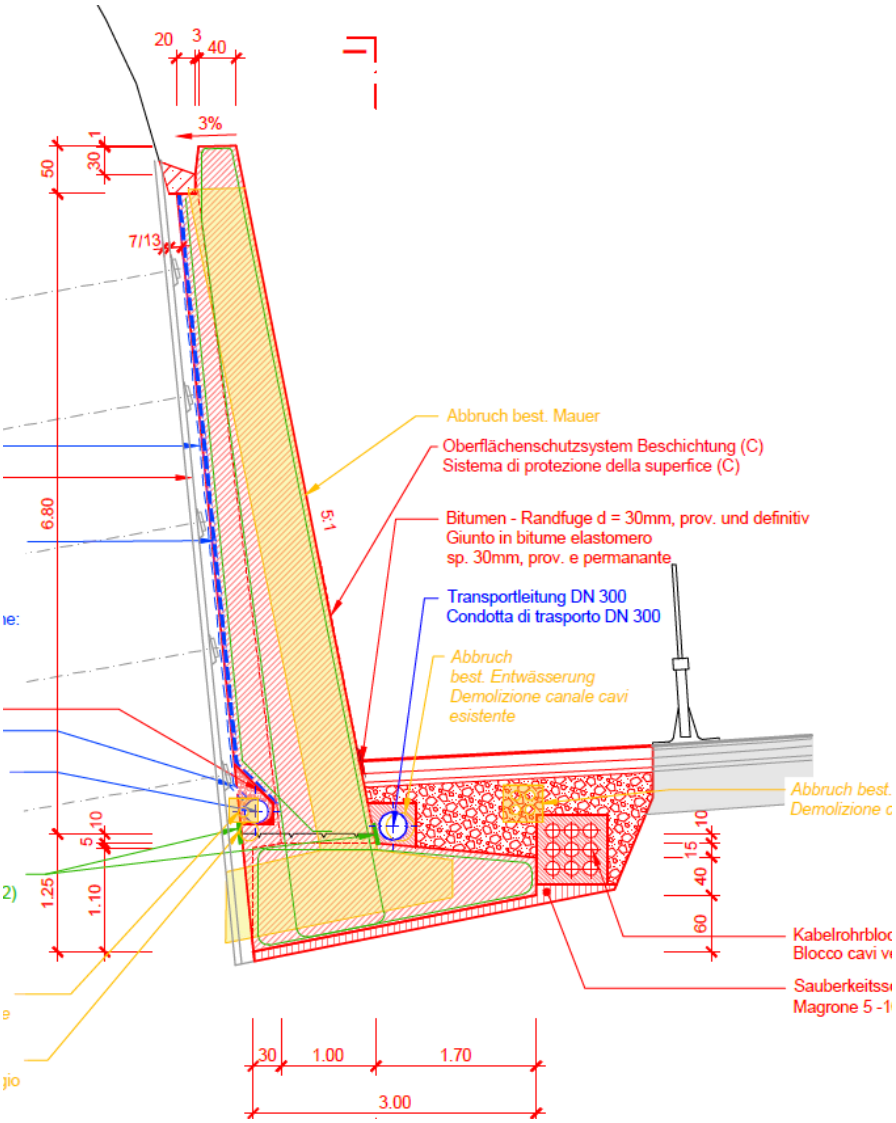


*Abb. 2.5 Regelquerschnitt der neuen Stützmauer Cupeis in San Bernardino (Schema).*

*Abb. 2.6a Fundament der neuen Stützmauer Cupeis in San Bernardino.*

*Abb. 1.6b Bauphase der neuen Stützmauer Cupeis in San Bernardino.*

*Abb. 1.6c Ansicht der fertigen Stützmauer Cupeis in San Bernardino:*

*Abb. 2.7 Foto der Oberfläche der Stützmauer Cupeis mit einem feinen Riss (<0.1 mm).*

### 2.4.3 Grand-Pont in La Chaux-de-Fonds (2023-2024)

Der Ende der 1960er Jahre erbaute Grand-Pont zeigte Schäden, die die Sicherheit des Bauwerks und der Verkehrsteilnehmenden gefährdete. Als Ersatzbrücke wurde eine Stahl-Beton-Verbundbrücke mit einer Länge von ca. 145 m und einer Breite von 20 m realisiert (Auftraggeber Kanton Neuenburg und Stadt La Chaux-de-Fonds). Die Anforderungen an den Beton gehen aus Tab. 2.3 hervor. Vorgaben an den w/z-Wert und den Mindestzementgehalt gab es nicht.

Die Arbeiten begannen Ende Februar 2023 und wurden im Oktober 2024 abgeschlossen. Abb. 2.8 zeigt den Gehweg auf der Ostseite der Brücke mit der wellenförmigen Einfassung der Tröge, der mit einem sehr ähnlichen Beton hergestellt wurde wie die seeseitige Brüstung der Brücke Tüscherz. Der w/z-Wert war im Mittel etwas tiefer und der Luftgehalt etwas höher.

*Tab. 2.3 Anforderungen an den Beton G-ND für den Grand-Pont, La Chaux-de-Fonds.*

| **Eigenschaft** | **Anforderung an den Beton G-ND** |
|---|---|
| **Druckfestigkeitsklasse** | C20/25 |
| **Max. Druckfestigkeit** | ≤38 N/mm$^2$ nach 28 Tagen |
| **Max. E-Modul** | keine Anforderung |
| **Expositionsklassen (CH)** | XC4, XD3, XF4 |

Eine Zusammenfassung der Laborresultate und der gemachten Erfahrungen steht noch aus [53]. Mit dem Gesamtergebnis waren Bauherrschaft, Planer und Bauunternehmung zufrieden.

*Abb. 2.8 Ersatzneubau des Grand-Pont in La Chaux-de-Fonds. Links: Fotomontage, https://www.ne.ch/autorites/DDTE/SPCH/ouvrages-d-art/grand-pont/Pages/Galerie-photos.aspx?LBfolder=Photomontage). Rechts: neuer Oberbau (Foto F. Hunkeler vom 06.05.2025).*

# 3 Leistungsbasierte Anforderungen

## 3.1 Grundlagen

Die Festlegung der Anforderungen an Beton basieren auf den in Abb. 2.1 aufgeführten Dokumenten. Von besonderer Bedeutung ist der seit Februar 2025 gültige Anhang ND [1] zur SN EN 206:2013+A2:2021 [34] und die neuen Prüfverfahren (Bluten, Entmischen und Pumpbarkeit); siehe dazu die Anhänge I und II dieses Dokumentes sowie [58].

Weiterhin von grundlegender Bedeutung sind die neue EN 1992-1-1 [3] und das dazugehörige, noch nicht publizierte Background-Dokument zum Kapitel 6 «Dauerhaftigkeit» [4] sowie die Berichte von Greve-Dierfeld [41, 42, 44]. Das nationale Anwendungsdokument bzw. der nationale Anhang zur EN 1992-1-1 [3] ist in Arbeit.

Daneben sind die Berichte und Publikationen zu den Pilotprojekten [37, 52] zu beachten.

## 3.2 Einführende Erläuterungen

Der neue Anhang ND [1] ermöglicht leistungsbasierte Anforderungen an Betone zu stellen, und dies ohne Vorgaben an die Zusammensetzung. Dies betrifft folgende Eigenschaften:

- Frischbeton
  - Konsistenz beim Kran- und Pumpbeton
  - Setzfliessmassklassen, ggf. Viskosität, Blockierneigung, Sedimentationsstabilität beim selbstverdichtenden Beton (SVB)
  - Pumpbarkeit beim Pumpbeton
  - Robustheit bei weichen, langsam erhärtenden oder aus anderen Gründen gefährdeten Betonen.
- Festbeton
  - mechanische Eigenschaften: Festigkeitsklasse gemäss SIA 262 [16], Festigkeitsentwicklung (schnell, mittel, langsam oder sehr langsam), maximale Druckfestigkeit nach 28 Tagen oder zu einem späteren Zeitpunkt.
  - Wasserdichtigkeit und Wasserleitfähigkeit
  - Widerstand gegen Auslaugen bzw. lösenden Angriff in natürlichen Böden oder Grundwasser, Karbonatisierung, Chlorideintrag, AAR, Sulfatangriff
  - Widerstand gegen Brandeinwirkungen.

Die Festigkeitsentwicklung ist verknüpft mit der Hydratationswärme. Je schneller die Festigkeitsentwicklung in den ersten Stunden nach dem Betonieren ist, umso höher ist auch die Hydrationswärme. Um thermisch bedingte grobe Risse zu vermeiden, kann die Festigkeitsentwicklung beschränkt werden, indem eine von der Druckfestigkeitsklasse abhängige maximale Druckfestigkeit vorgegeben wird. Dies allein ist bei massiven Bauteilen (z.B. Fundamente, Widerlager) nicht ausreichend. Ergänzend dazu sollte die Temperaturdifferenz zwischen Kern- und Oberflächenbeton beschränkt werden (Einsatz von Thermomatten, Schutz vor Kälte, Regen und Wind etc.). Mit den entsprechenden Voruntersuchungen zur Bestimmung des Reifegrades des Betons und der Messung der Betontemperatur des jungen Betons kann die Druckfestigkeitsentwicklung ab Betonierende abgeschätzt werden.

Die Anforderungen an die Festbetoneigenschaften sind abhängig von

- den Einwirkungen aus der Exposition (Dauerhaftigkeit) und im Brandfall
- der Bewehrungsüberdeckung und
- der geplanten Nutzungsdauer.

Grundsätzlich können die Betonsorten NPK A bis G und die Sorten P1 bis P4 so lange als Referenzbetone verwendet werden, wie die Bewehrungsüberdeckung nach SIA 262 [16], Tabelle 18, eingehalten werden.

Mit dem Konzept der Expositionswiderstandsklassen (ERC-Klassen) der EN 1992-1-1 [3] werden die Anforderungen an Festbeton mit der Bewehrungsüberdeckung verknüpft.

Das Konzept der ERC-Klassen der EN 1992-1-1 [3] wird in diese Dokumentation aufgenommen, wobei die heutigen Vorgaben der SIA 262 [16] und der SN EN 206 [34] für den Regelbeton (Referenzbeton) bestmöglich berücksichtigt werden.

Das Konzept der ERC-Klassen ermöglicht die projektspezifischen und örtlichen Gegebenheiten besser zu berücksichtigen. So können die Anforderungen an den Beton erhöht, aber auch reduziert werden, was mit entsprechenden Änderungen der Bewehrungsüberdeckung zur Folge hat. Damit ergeben sich variable, von der Bewehrungsüberdeckung und der Nutzungsdauer abhängige Anforderungen an den Beton.

Die Überwachungsklasse gemäss SN EN 13670 [30] für das gesamte Bauwerk oder für einzelne Bauteile wird vom Bauherrn festgelegt und ist in der Nutzungsvereinbarung festgehalten.

Die Nachbehandlungsklassen gemäss SIA 262 [16] können auch für Betone gemäss Anhang ND [1] verwendet werden.

Die Anforderungen an die Überwachungs- und Nachbehandlungsklasse gehen aus Tab. 3.1 hervor.

*Tab. 3.1 Anforderungen an die Überwachungs- und Nachbehandlungsklasse in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Risiko- bzw. Robustheitsklasse.*

| Beschreibung | Nutzungsdauer | Risiko- bzw. Robustheitsklasse | Überwachungsklasse | Nachbehandlungsklasse |
|---|---|---|---|---|
| **Temporäre Bauwerke, Bauteile** | ≤10 Jahre | 1 | 1 | 1, 2 |
| **Bauteile mit beschränkter Nutzungsdauer** | ≤50 Jahre | 1 | 2 | 3 |
| **Bauteile mit üblicher Nutzungsdauer** | ≤100 Jahre | 2 | 2 | 3, 4 |
| **Bauteile mit sehr langer Nutzungsdauer** | >100 Jahre | 3 | 3 | 4 [1)] |

*1) Zusätzliche Schutzmassnahmen sind zu prüfen. Eine Möglichkeit besteht in der Hydrophobierung der exponierten Flächen und der regelmässigen Prüfung deren Wirksamkeit und ggf. der Nachhydrophobierung.*

## 3.3 Grundsätze für die Festlegung der Anforderungen

Bei jedem neuen Projekt ändern sich die Rand- und Rahmenbedingungen der Planung und der Ausführung und damit evtl. auch die Anforderungen an einen Beton. Nachfolgend werden wichtige Grundsätze für die Festlegung der Anforderungen an den Beton aufgeführt (Liste ist nicht abschliessend):

- Für die Nutzungsdauer wird generell 100 Jahre eingesetzt (Anhang III). In Ergänzung dazu werden in den Anhängen IV und V Vorgaben für eine Nutzungsdauer von ≤50 und ≤10 Jahren gemacht.
- Bei einer Nutzungsdauer von ≤10 Jahren entfallen i.d.R. alle Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, abgesehen evtl. vom Frost-Tausalz- und Brandwiderstand.

  Hinweis: Es gibt diverse Bauteile, die kaum je nur für eine so kurze Nutzungsdauer hergestellt werden.
- Bei Bauteilen mit einer Nutzungsdauer von ≤50 Jahren werden die Anforderungen an einzelne Dauerhaftigkeitseigenschaften gegenüber von ≤100 Jahren unverändert belassen, die Anforderung an die Bewehrungsüberdeckung jedoch reduziert.
- Bei einer Nutzungsdauer von über 100 Jahren ist es zwingend, alle relevanten projektspezifischen Parameter zu identifizieren und diese besonders genau zu untersuchen

und ggf. für die spezifische Aufgabe zu modellieren (z.B. Chlorideintrag). In diesem Falle ist die AAR besonders kritisch, da es nicht gesichert ist, dass die heutigen Prüfungen, Grenzwerte und Massnahmen ausreichend sind.

- Grundsätzlich sollte jene Festigkeitsklasse gewählt werden, die auf einen optimierten Bewehrungsgehalt und eine optimierte Bewehrungsführung abgestimmt ist.
- Der E-Modul kann gemäss SIA 262 [16], Ziffer 3.1.2.3.3, abgeschätzt werden. In folgenden Fällen sind entsprechende Vorversuche und Prüfungen nötig:
  - kritische Bauteile z.B. bezüglich Deformation oder Zwängungen
  - beim Einsatz von Betonen mit Gesteinskörnungen ohne Erfahrungswerte
  - beim Einsatz von Recyclingbeton mit Betongranulat (RC-C).
- Bei massigen und länglichen Bauteilen ist immer zu prüfen, ob eine maximale Druckfestigkeitsklasse festgelegt werden soll. Als Alternative dazu kann es bei einzelnen Anwendungen angezeigt sein, Anforderungen an die Hydratationswärme des zu verwendenden Zementes zu stellen und einen Beton mit einem LH- oder VLH-Zement zu fordern.
  - Bei massigen Bauteilen sollte die Temperaturdifferenz zwischen Kern- zu Randbeton auf 15-20°C limitiert und mittels Temperaturmessung des Rand- und Kernbetons nachgewiesen werden.
  - Mit der Methode der «gewichteten Reife» kann der Einfluss unterschiedlicher Temperaturen auf die Festigkeitsentwicklung eines Betons bestimmt werden. Damit von der gewichteten Reife auf die Druckfestigkeit eines Betons geschlossen werden kann, müssen entsprechende Vorversuche für jeden einzelnen Beton durchgeführt werden.

  Hinweis: Für die genannten Messungen und Vorversuche sind separate Positionen bei der Ausschreibung zu empfehlen.

- Bei längeren, bergmännisch erstellten Strassentunnels (2 bis 4 km, abhängig von der Höhe über Meer) mit einer hohen Bewehrungsüberdeckung kann es angezeigt sein, bei den Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zwischen den Portalzonen und dem Mittelteil des Tunnels zu unterscheiden. So kann z.B. auf die Anforderung an den Frost-Tausalzwiderstand verzichtet werden, wenn die Betontemperatur im Mittelteil des Tunnels nie unter -5°C absinkt.
- Für die Betondruckfestigkeit nach 28 Tagen (andere Zeitpunkte sind grundsätzlich möglich) können projektspezifisch Höchstwerte gemäss der Tab. 3.2 gefordert werden, die nach 28 Tagen nicht überschritten werden dürfen. Die Werte in der Tab. 3.2 sind etwas strenger als jene im informativen Anhang ND.A der SN EN 206 [1], dafür ohne Unstetigkeiten.

  Die Höchstwerte in der Tab. 3.2 (Abb. 3.1) wurden nicht gemäss Anhang ND.A, sondern mit der Differenz Δ(C) zwischen $f_{ck,cube}$ und $f_{ck}$ berechnet. Diese Differenz ist abhängig von der Festigkeitsklasse C und wird zu $f_{cr}$ addiert. Damit ergibt sich folgende Gleichung

  $$f_{c,MAX} \geq f_{cr} + \Delta(C); \text{ mit } \Delta(C) = f_{ck,cube} - f_{ck} \qquad \text{Gleichung 1}$$

  Dabei sind:

  | | |
  |---|---|
  | $f_{c,MAX}$ | Höchstwert für die Würfeldruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse (= $f_{cr,cube}$ in Anhang ND) |
  | $f_{cr}$ | repräsentativer Höchstwert der Zylinderdruckfestigkeit (95% Fraktilwert) gemäss Anhang ND |
  | Δ(C) | Differenz zwischen charakteristischer Zylinder- und Würfeldruckfestigkeit |
  | $f_{ck,cube}$ | charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit |
  | $f_{ck}$ | charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit |

  Wird für einen bestimmten Beton ein projektspezifischer Höchstwert festgelegt, ist auch die zulässige Toleranz gemäss Tab. 3.2 anzugeben. Die in der Tab. 3.2 aufgeführten Werte basieren auf einer mittleren Toleranz von rund 5% vom Höchstwert.

Von den in der Tab. 3.2 angegeben Toleranzen kann abgewichen werden, wenn dies begründet werden kann (z.B. Art des Bauvorhabens, Etappierung, Festigkeitsentwicklung nach 28 Tagen, nach Betonalter bei der Belastung).

Hinweis: Mit der Vorgabe einer (tiefen) maximalen Festigkeit wird üblicherweise auch die Festigkeitsentwicklung verlangsamt. Dies kann Auswirkungen auf die Etappierung und den Baufortschritt haben.

*Tab. 3.2 Festigkeitsklassen und mögliche Höchstwerte für die Druckfestigkeit $f_{c,MAX}$ und die zugehörig zulässige Toleranz $\Delta_{fc}$ von rund 5%.*

| **Betonsorte** | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 15/20 | 16/20 | 20/25 | 25/30 | 30/37 | 35/45 | 40/50 | 45/55 | 50/60 | 55/67 | 60/75 | 70/85 | 80/95 | 90/105 |
| $f_{ck}$ in N/mm$^2$ charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| $f_{ck,cube}$ in N/mm$^2$ charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 20 | 25 | 30 | 37 | 45 | 50 | 55 | 60 | 67 | 75 | 85 | 95 | 105 |
| $f_{cm}$ in N/mm$^2$ Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 24 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 | 63 | 68 | 78 | 88 | 98 |
| $f_{cr}$ in N/mm$^2$ repräsentativer Höchstwert der Zylinderdruckfestigkeit (95% Fraktilwert) | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23 | 27 | 32 | 37 | 43 | 49 | 54 | 60 | 66 | 71 | 77 | 88 | 100 | 111 |
| $f_{c,MAX}$ *und* $\Delta_{fc}$ in N/mm$^2$ Höchstwert und Toleranz für die Würfeldruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | 31 | 37 | 42 | 50 | 59 | 64 | 70 | 76 | 83 | 92 | 103 | 115 | 126 |
| $\Delta_{fc}$ = | ±2.0 | ±2.0 | ±2.0 | ±2.0 | ±2.0 | ±3.0 | ±3.0 | ±3.0 | ±3.0 | ±4.0 | ±4.0 | ±6.0 | ±6.0 | ±6.0 |

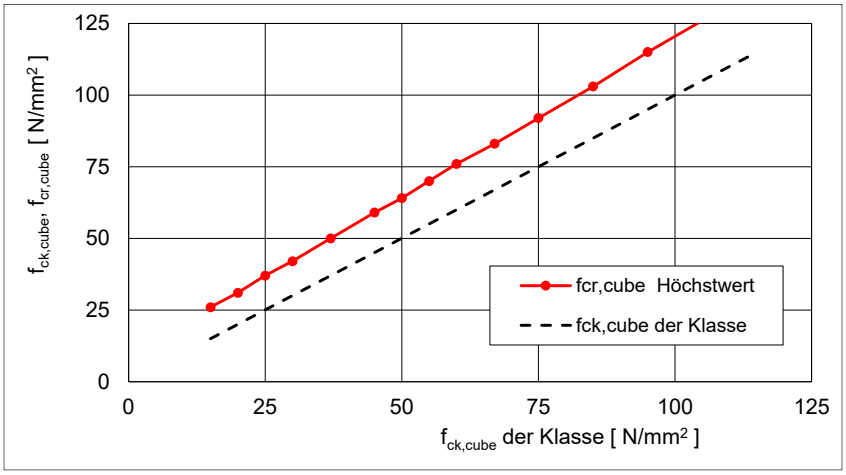


*Abb. 3.1 Graphische Darstellung der Höchstwerte in Abhängigkeit der Würfeldruckfestigkeit der Festigkeitsklasse.*

- Die Umweltwirkungen werden mit den Expositionsklassen gemäss neuer EN 1992-1-1 [3] (≠ SIA 262 [16]) beschrieben. Grundsätzlich sollten immer nur die zwingend nötigen Expositionsklassen gefordert werden.
- Für die Festlegung der Anforderungen an einen Beton hinsichtlich der Beständigkeit gegen Bewehrungskorrosion infolge von Karbonatisierung (Klasse XRC) oder infolge von Chloriden (Klasse XRDS) werden die Expositionswiderstandsklassen gemäss EN 1992-1-1 [3] verwendet. Für die konkreten Anforderungen wird auf das Kapitel 3.4 verwiesen.
- Für die Anforderungen an den mittleren und hohen Frostwiderstand gelten die Angaben im Kapitel 3.5.5.
- Für die Anforderungen an den mittleren und hohen Frost-Tausalzwiderstand gelten die Vorgaben der SN EN 206 [34].
- Die Regelungen der SIA 262 [16] für das Kriechen und Schwinden gelten auch bei Betonen nach Anhang ND [1]. Bei Betonen mit einer Zusammensetzung ohne Erfahrungen

(z.B. Beton mit einem erhöhten w/z-Wert und erhöhtem Zusatzstoffgehalt) sind im Rahmen von Vor- und Eignungsversuchen Prüfungen zur Bestimmung des Trocknungsschwindens gemäss SN EN 12390-16 [25] angezeigt.

- Um die Anforderungen an den Beton bestmöglich zu erfüllen, dürfen verschiedene Zemente und Zusatzstoffe gemischt werden.

## 3.4 Bewehrungsüberdeckung

Die allgemeinen Aspekte zur Festlegung der erforderlichen Bewehrungsüberdeckung sind in der EN 1992-1-1 [3], Ziffer 6.5.2, erläutert.

Das Nennmass der Bewehrungsüberdeckung $c_{nom}$ ist die Summe aus der Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min}$ und dem Vorhaltemass $\Delta_{cdev}$ gemäss Gleichung 2 (= Gleichung 6.1 in der EN 1992-1-1).

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \qquad \text{Gleichung 2}$$

Die Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min}$ wird gemäss Gleichung 3 (= EN 1992-1-1, Gleichung 6.2) berechnet. Der Wert muss sowohl die Verbund- als auch die Dauerhaftigkeitsanforderungen erfüllen.

$$c_{min} = max\langle c_{min,dur} + \Sigma\Delta c;\ c_{min,b}; 10\ mm\rangle \qquad \text{Gleichung 3}$$

Dabei sind:

| | |
|---|---|
| $c_{min,dur}$ | Mindestbewehrungsüberdeckung wegen der Umgebungsbedingungen |
| $\Delta\Sigma c$ | Summe der Verringerungen und Erhöhungen, gemäss EN 1992-1-1, Ziffer 6.5.2.1 |
| $c_{min,b}$ | Mindestbewehrungsüberdeckung für die Verbundanforderung. |

Abweichungen zur Tabelle 6.7 (NDP) der EN 1992-1-1 [3]:

- Die in der EN 1992-1-1, Ziffer 6.5.2.2(3), angegebenen Möglichkeiten zur Reduktion der Bewehrungsüberdeckung dürfen nicht genutzt werden. Abweichungen von dieser Regel sind in begründeten Fällen möglich.
- In der EN 1992-1, Ziffer 6.5.3 und Tabelle 6.7 (NDP), werden für das Vorhaltemass $\Delta c_{dev}$ verschiedene Werte angegeben.
  - Für Kunstbauten ohne Spannbewehrung wird das Vorhaltemass für geschalte oder abtaloschierte/abgeglättete Oberflächen mit einer 50- oder 100-jährigen Nutzungsdauer generell auf 10 mm festgelegt.
  - Projektspezifisch (z.B. bei Bauwerken mit einer kurzen oder sehr langen Nutzungsdauer) können andere Werte festgelegt werden. Bei Bauteilen mit Spannbewehrung ist $\Delta_{cmin,p}$ zu berücksichtigen.
- Bei den Fällen 7 bis 9 der Tabelle 6.7 (NDP), ist der Wert für $\Delta c_{dev}$ projektspezifisch festzulegen. Die in dieser Tabelle aufgeführten Werte sind als Richtwerte zu betrachten.

Die Tab. 3.3enthält die Werte für $c_{min,dur}$ für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren, die Tab. 3.4 die Werte für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren.

> Aus praktischen Überlegungen wurden die Anforderungen an die Expositionsklassen XC2 ohne und mit Auslaugen sowie jene bei den Expositionsklassen XC3 und XC4 zusammengefasst. Dabei wurden die strengeren Anforderungen übernommen.

Die in den Tab. 3.3 und Tab. 3.4 für XRC angegebenen Werte für die Mindestbewehrungsüberdeckung wurden mit einem Zuverlässigkeitsindex β = 1.5 berechnet.

Die in den Tab. 3.3 und Tab. 3.4 für XRDS angegebenen Werte für die Mindestbeweh-

rungsüberdeckung wurden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen mit einem Zuverlässigkeitsindex β = 0.5 berechnet.

Die bei den Expositionswiderstandsklassen XRDS reduzierte Zuverlässigkeit wird mit einer Hydrophobierung auf allen exponierten Flächen kompensiert, deren Wirkung periodisch geprüft und, wenn nötig, erneuert.

Die bei der Expositionsklasse XC2 angegebenen Überdeckungen berücksichtigen das mögliche Auslaugen durch anstehendes Wasser.

Die von den Expositionswiderstandsklassen abhängigen Grenzwerte für den Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand sind aus dem Anhang VI ersichtlich. Massgebend sind die in der SN EN 206 [34] aufgeführten Anforderungen

Der Mindestwert für $c_{nom}$ beträgt bei Kunstbauten generell 20 mm ($c_{nom} = c_{min,b} + \Delta c =$ 10 mm + 10 mm). Für Pfähle, Schlitzwände oder beim Betonieren gegen das Erdreich gelten für den Mindestwert die Vorgaben der EN 1992-1-1 [3], SN EN 1536 und 1538 sowie der SIA 267 [18].

*Tab. 3.3 Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$ für niedriglegierten Betonstahl bei der Korrosionsgefährdung durch die Karbonatisierung des Betons (XC1 bis XC4) bzw. durch den Eintrag von Chloriden in den Betons (XD1 bis XD3) in Abhängigkeit von der Bewehrungsüberdeckung für eine **Nutzungsdauer von 100 Jahren**. Bei den Expositionsklassen XC1 bis XC4 wurde mit für einen Zuverlässigkeitsindex β = 1.5 gerechnet, bei den Expositionsklassen XD1/XD2a und XD3/XD2b mit einem Wert von β = 0.5. Die Werte wurden den Arbeiten von Greve-Dierfeld entnommen [42, 43].*

| **Expositions-widerstands-klasse, XRC / XRDS** | ***Mindestbewehrungsüberdeckung* $c_{min,dur}$ [mm]** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **XC1** | **XC2** | **XC3 / XC4** | **XD1/XD2a** | **XD3/XD2b** |
| **0.5** | 10 | 10 | 10 | | |
| **1** | 10 | 10 | 15 | 20 | 30 |
| **2** | 10 | 15 | 20 | | |
| **3** | 10 | 15 | 25 | | |
| **4** | 10 | 20 | 30 | 30 | 40 |
| **5** | 10 | 20 | 35 | 30 | 45 |
| **6** | 10 | 25 | 40 | 35 | 45 |
| **7** | 10 | 25 | 45 | | |
| **8** | 10 | 30 | 50 | 35 | 50 |
| **9** | 10 | 30 | 55 | 35 | 55 |
| **10** | 10 | 35 | 60 | 35 | 55 |
| **18** | | | | 40 | 75 |
| **33** | | | | 50 | 85 |

*Tab. 3.4 Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$ für niedriglegierten Betonstahl bei der Korrosionsgefährdung durch die Karbonatisierung des Betons (XC1 bis XC4) bzw. durch den Eintrag von Chloriden in den Betons (XD1 bis XD3) in Abhängigkeit von der Bewehrungsüberdeckung für eine **Nutzungsdauer von 50 Jahren**. Bei den Expositionsklassen XC1 bis XC4 wurde mit für einen Zuverlässigkeitsindex β = 1.5 gerechnet, bei den Expositionsklassen XD1/XD2a und XD3/XD2b mit einem Wert von β = 0.5. Die Werte wurden den Arbeiten von Greve-Dierfeld entnommen [42, 43].*

| **Expositions-widerstands-klasse, XRC / XRDS** | ***Mindestbewehrungsüberdeckung* $c_{min,dur}$ [mm]** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **XC1** | **XC2** | **XC3 / XC4** | **XD1/XD2a** | **XD3/XD2b** |
| **0.5** | 10 | 10 | 10 | | |
| **1** | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 |
| **2** | 10 | 10 | 10 | | |
| **3** | 10 | 10 | 15 | | |
| **4** | 10 | 15 | 20 | 20 | 30 |
| **5** | 10 | 15 | 25 | 20 | 35 |
| **6** | 10 | 20 | 30 | 25 | 35 |
| **7** | 10 | 20 | 35 | | |
| **8** | 10 | 25 | 40 | 25 | 40 |
| **9** | 10 | 25 | 45 | 25 | 45 |
| **10** | 10 | 30 | 50 | 25 | 45 |
| **18** | | | | 30 | 65 |
| **33** | | | | 40 | 75 |

## 3.5 Fehlende Anforderungen, Kriterien oder Prüfnormen für eine umfassende leistungsbasierte Ausschreibung

### 3.5.1 Allgemeines

Für eine vollumfängliche leistungsbasierte Ausschreibung müssen sämtliche geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften durch Prüfungen und mit einem oder mehreren Leistungskriterien abgedeckt sein. Dies ist in einigen Fällen nicht oder noch nicht vorhanden oder machbar. Die nachfolgenden Erläuterungen sollen die Lücken aufzeigen, aber auch wie damit umgegangen werden könnte.

### 3.5.2 Robustheit von Beton

Schon seit längerer Zeit werden zunehmend weichere Betone nachgefragt. Diese neigen generell stärker zum Bluten und Entmischen. Mit der Umsetzung des Anhangs ND, insbesondere mit der Beschränkung der Druckfestigkeit, werden Betone mit höheren w/z-Werten zum Einsatz gelangen.

Zurzeit gibt es noch keine Standardprüfungen für den Nachweis der Robustheit eines Betons. Dies betrifft vorab das Bluten und Entmischen. Verschiedenen Arbeiten erlaubten, dafür Vorschläge zu erarbeiten [48, 49]. Ebenso fehlt eine normative Prüfung der Pumpbarkeit von Beton.

Der Leitfaden der EFFC und DFI [41] enthält eine Auswahl verschiedener Prüfungen für die Robustheit (Stabilität) von Betonen für Tiefgründungen. Diese sind teilweise aber nicht baustellentauglich oder sehr aufwändig.

Auf europäischer Ebene wurde die Arbeit an einer Prüfnorm zum Bluten aufgenommen [8]. Mit dem Dokument CEN/TC 104 N 2427 liegt ein erster Entwurf vor. Gemäss Terminplan sollte die Norm EN 12350-13 «Prüfung von Frischbeton – Teil 13: Prüfung von Frischbeton

– Bluten» Ende 2025 in die formelle Abstimmung gehen. Es sind keine Grenzwerte festgelegt.

In der prEN 206-3:2024 «Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Teil 3: Zusätzliche Anforderungen an die Festlegung und Konformität von Beton für spezielle geotechnische Arbeiten» (April 2024) [7], Anhang B, wird auf die ASTM C1610 «Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique» [2] verwiesen. Diese Prüfung ist wenig baustellentauglich. Grenzwerte sind nicht festgelegt.

Bis zum Vorliegen der europäischen Normen wird hier empfohlen, die Neigung zum Bluten und Entmischen von anfälligen Betonen gemäss den folgenden Prüfanweisungen zu prüfen:

- Anhang I: Bestimmung der Blutwassermenge von Frischbeton unter Druck
- Anhang II: Bestimmung des Entmischungsmasses von Frischbeton.

Andere Verfahren dürfen eingesetzt werden, wenn eine ausreichend genaue Korrelation nachgewiesen ist. Die Unterladen dazu sind dem Auftraggeber abzugeben.

Anfällige Betone sind [46]:

- Betone mit erhöhten w/z- bzw. w/B- bzw. $w/B_{reaktiv}$-Werten
- Betone mit (zu) tiefen Leimgehalten (hohe FM-Dosierungen)
- weiche/flüssige Betone (C3, >F4, SVB)
- LP-Betone
- Pfahlbetone (lange Pfähle ➔ hoher Frischbetondruck).

Tiefe Luft- und Frischbetontemperaturen verstärken die Tendenz zum Bluten und Entmischen (langsamere Hydratation und längere Zeit bis zum Erstarrungsbeginn).

In der folgenden Abb. 3.2 und der nachfolgenden Tab. 3.5 sind Richtwerte für die Anforderungen gezeigt.

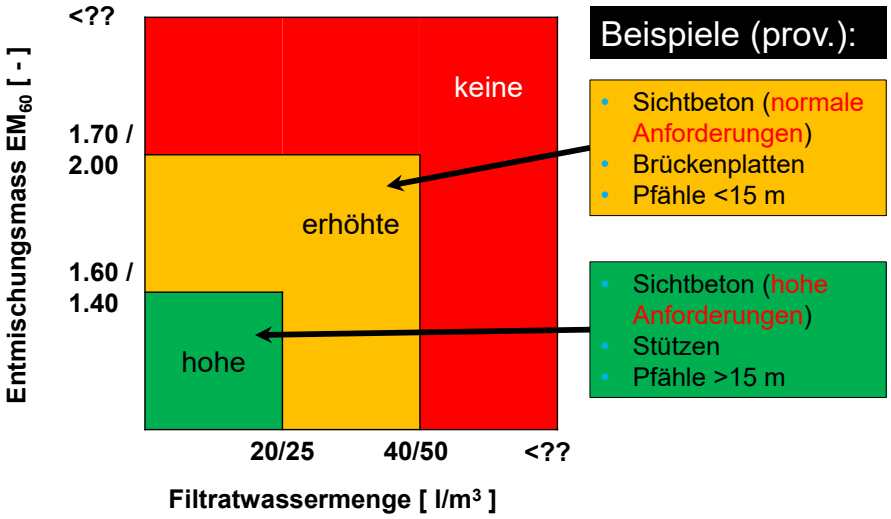


*Abb. 3.2 Graphische Darstellung der Anforderungen an das Bluten und Entmischen von Beton [46].*

*Tab. 3.5 Richtwerte für die Anforderungen an Widerstand von Frischbeton gegen das Bluten und Entmischen [46, 47].*

| Anwendung | Anforderung | Blutwasser-menge, l/m³ | Entmischungs-mass $EM_{60}$, - |
|---|---|---|---|
| **Normale Betone und übliche Anwendungen** | Keine | - | - |
| **Sichtbeton**<br>**Brückenplatten**<br>**Pfähle <15 m** | Erhöht | 40 – 50 | 1.70 – 2.00 |
| **Sichtbeton**<br>**Stützen**<br>**Pfähle >15 m** | Hoch | 20 – 25 | 1.40 – 1.60 |

### 3.5.3 Pumpbarkeit von Beton

Die Pumpbarkeit kann gemäss [58] beurteilt werden.

Andere Verfahren dürfen eingesetzt werden, wenn eine ausreichend genaue Korrelation nachgewiesen ist. Sie sind dem Auftraggeber abzugeben.

### 3.5.4 Ausreichender Korrosionsschutz

Zukünftig ist es möglich, Betone herzustellen, die keinen ausreichenden Korrosionsschutz für den üblichen, niedriglegierten Betonstahl gemäss [21] mehr bieten. Dieser Aspekt ist dann wichtig, wenn keine Anforderungen an den Auslaug- oder den Karbonatisierungswiderstand gestellt werden.

Basierend auf dem heutigen Wissen kann davon ausgegangen werden, dass der Korrosionsschutz der Bewehrung sichergestellt ist, wenn das Verhältnis $w/CaO_{reaktiv} \leq 2.0$ ist. Der Gehalte an reaktivem CaO ist bei den Lieferanten der Ausgangsstoffe nachzufragen. Der (nicht reaktive) CaO-Gehalt von Füllern oder von Zusatzstoffen Typ I (z.B. Kalksteinmehl) oder anderen Betonausgangsstoffen darf nicht berücksichtigt werden.

Ist das Verhältnis w/CaO grösser als 2.0, müssen die Anforderungen gemäss SIA 215/1 [13], Ziffer 5.3.7, erfüllt werden.

### 3.5.5 Frostwiderstand

Für heute üblichen Betone, die keiner Chloridbelastung ausgesetzt sind, wurde bis anhin angenommen, dass sie frostbeständig sind. Eine Prüfung wurde daher nicht verlangt. Mit den zu erwartenden Änderungen sollten diese Betone geprüft werden. Zurzeit gibt es keine gültige Norm dazu.

Es wird daher empfohlen die Prüfung Nr. 8 «Frostwechselverhalten» der SIA 162/1 [11] zu verwenden. Bei dieser Prüfung können Betone mit mittlerem und hohem Frostwiderstand unterschieden werden.

### 3.5.6 Auslaugen von Beton

Bei den folgenden Angriffsarten auf den Beton gibt es keine europäischen Normen oder andere allgemein anerkannte Prüfungen:

- Auslaugen durch Wasserkontakt, z.B. bei Fundamenten und Stützen in Fliessgewässern
- Chemischer Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser XA1c bis XA3c.

Für das Auslaugen kann der Karbonatisierungswiderstand als Ersatzparameter verwendet werden, da zwischen den beiden Parametern gemäss den Untersuchungen von Greve-Dierfeld eine Korrelation besteht (Abb. 3.3) [57]. Die Anforderungen an den Auslaugwiderstand decken auch die Expositionsklasse XA1c, evtl. auch XA2c, ab.

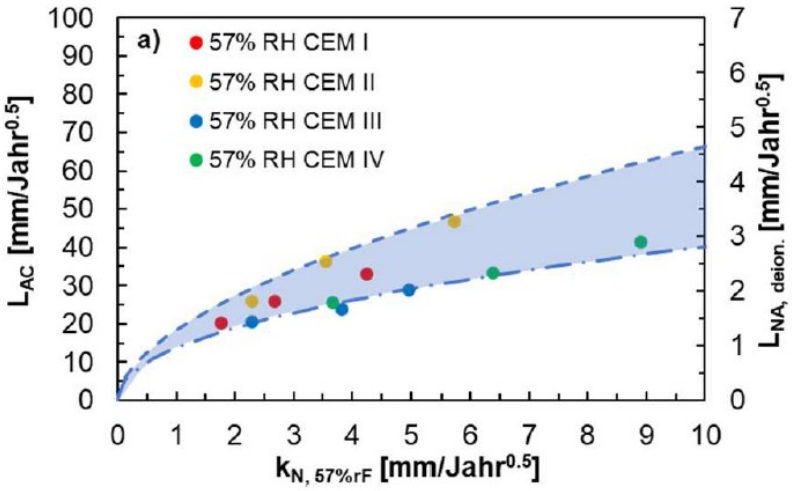


*Abb. 3.3 Korrelation zwischen den Auslaugraten verschiedener Betone unter beschleunigten Bedingungen und den Karbonatisierungsraten bei 57% relativer Luftfeuchtigkeit und 400 ppm $CO_2$. [57].*

Für die Expositionsklasse XA3c müssen Anforderungen, Prüfungen und Nachweise im Einzelfall festgelegt werden. Es wird empfohlen, hierzu eine Fachperson beizuziehen.

### 3.5.7 Säurebeständigkeit von Beton

Das Betonwiderstand gegen starke Säuren (z.B. Abwässer der chemischen Industrie) wird hier nicht berücksichtigt, da eine Säureangriff bei Strassenbauwerken, abgesehen von zeitlich beschränkten Einwirkungen bei SABAs, kaum auftreten kann.

Theoretisch ist bei einer Havarie ein solcher Angriff bei SABAs möglich. Auf Grund des geringen Risikos und des eher geringen Schadenpotenzials werden für dieses Szenario keine spezifischen Anforderungen gestellt.

### 3.5.8 Versinterung von Rohrleitungen und Drainagesystemen (Versinterungspotenzial, VP)

Die Versinterung von Rohrleitungen führt in Tunnels immer wieder für Instandhaltungsarbeiten [55]. Auch das Drainagesystem z.B. von Stützmauern oder Galerien kann wegen Versinterungen verstopfen und damit seine Funktion verlieren.

Die Hautpursache für Versinterungen ist die Zusammensetzung des Bergwassers. Abhängig von der Gegebenheit können die zementgebundenen Baustoffe (z.B. Spritzbeton, Drainagebeton) das Versinterungspotenzial wesentlich erhöhen. Beim Beton spielt die Wasserdichtigkeit bzw. die Wasserdurchlässigkeit eine wichtige Rolle.

Für die Bestimmung des Versinterungspotenzials von Betonen gibt es zurzeit keine anerkannte Prüfung. Mit der Reduktion des CaO-Gehaltes im Bindemittel kann die Versinterung wesentlich verlangsamt werden. In Österreich wurde ein Verfahren entwickelt, um das Versinterungspotenzial von Spritzbeton zu prüfen [6, 50].

### 3.5.9 Brandwiderstand

Allgemeine Regelungen zum Brandwiderstand von Bauteilen und Bauwerken sind in der EN 1992-1-2 [5] enthalten. Bei längeren Strassentunnels und Galerien werden spezifische Anforderungen an den Brandwiderstand des Betons gestellt. Hierzu können Prüfungen an kleinformatigen Prüfkörpern (Würfel, Zylinder, Platten), Brandversuche an grossformatigen Prüfkörper (z.B. mit den Abmessungen 2100 x 1900 x 300 mm) oder an Bauteilen verlangt werden. Bei Betonen mit einem hohen Zementsteingehalt (SVB) und bei hochfesten Betonen ist in aller Regel die Zugabe von Polypropylenfasern nötig, um die Brandprüfungen zu bestehen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ASTRA BGT_20_07B_1 «Verbessertes Verhalten von Beton unter Brandeinwirkung» [44] wurde ein auf der RILEM-Empfehlung [9] beruhenden Screening-Test mit kleinformatigen Prüfkörpern (500 x 500 x 260 mm) entwickelt und gezeigt, dass Betone mit nicht zu hohen Druckfestigkeiten einen hohen Brandwiderstand aufweisen können (abgesehen evtl. von Recycling- und selbstverdichtenden Betonen ohne Fasern). Dies deckt sich mit anderen Untersuchungen und der Erfahrung an Bauwerken. Die Korrelation mit Brandversuchen an grossformatigen Prüfköpern steht noch aus.

Die Ergebnisse sollten erlauben, die heutigen Regelungen in der SIA 262 [16] zu prüfen und ggf. anzupassen.

Fazit und Empfehlungen:

- Alle Betone, an die eine Anforderungen an den Brandwiderstand gestellt wird, sind mit der neuen RILEM-Prüfung [9] zu prüfen. Ist das Ergebnis auf der sicheren Seite, sind keine Brandversuche an Bauteilen nötig. Ist das Ergebnis im unsicheren Bereich oder ungenügend, sind Brandversuche an Bauteilen zu prüfen.
- Es wird empfohlen zu prüfen, ob die Vorgabe einer maximalen Druckfestigkeit nach 28 Tagen gemäss Abb. 3.2 zweckmässig ist, um den geforderten Brandwiderstand durch überhöhte Druckfestigkeiten nicht zu beeinträchtigen.

### 3.5.10 Andere Eigenschaften

Bei einzelnen Bauwerken oder Bauteilen kann es nötig sein, spezifische Frisch- oder Festbetoneigenschaften zu fordern (siehe auch SIA 262 [16], Ziffer 3.1.1.2.2):

- Rohdichte beim Leichtbeton (Zielwert oder Klasse gemäss SN EN 206 [34] oder SIA 262 [16]) oder beim Schwerbeton (≥2’600 kg/m$^3$ oder Zielwert)
- Nötige Offenzeit des Frischbetons, z.B. mind. 90 Minuten
- Zeit für das verzögerte Ansteifen
- max. Hydratationswärme
- min./max. Zugfestigkeit
- max. Schwindmass
- max. Kriechzahl.

Bei den aufgeführten, nicht üblichen Anforderungen an den Frisch- oder Festbeton wird empfohlen bereits vor der Ausschreibung die nötigen Abklärungen zu treffen, um die Anforderungen zu konkretisieren und die Details der Prüfung zu spezifizieren.

## 3.6 Eignet sich das leistungsbezogene Entwurfsverfahren für alle Betone (Bauteile)?

Im Grundsatz können die Überlegungen in dieser Dokumentation mit Anpassungen auch auf andere Arten von Betonen übertragen und angewendet werden z.B.:

- Mager- und Hinterfüllbetone
- Betondecken
- Spritzbeton
- …

In Fällen, bei denen für eine bestimmte, sehr wichtige Eigenschaft keine zweckmässigen oder akzeptierten Prüfungen zur Verfügung steht, ist zu prüfen, ob mittels Vorgabe der Betonzusammensetzung eine ausreichende Sicherheit erreicht werden kann. In derartigen Fällen spielt der Kenntnisstand der Beteiligten eine sehr wichtige Rolle. Der Beizug von Fachpersonen ist zu empfehlen.

## 3.7 Prüfungen

Die Tab. 3.6 gibt einen Überblick über die Frischbetonprüfungen, die Tab. 3.7 über die Festbetonprüfungen.

Die Wasserdichtigkeit kann mit zwei verschiedenen Prüfungen nachgewiesen werden (WD, WL). Diese sind gleichwertig. Grundsätzlich könnte auf die im Tunnelbau üblicherweise verlangte Wasserdichtigkeitsprüfung (WD) durch die Wasserleitfähigkeitsprüfung (WL) ersetzt werden.

*Tab. 3.6 Übersicht über die Frischbetonprüfungen*

| Eigenschaft | Betonart | Prüfung | Prüfnorm | Regel-anforderung |
|---|---|---|---|---|
| **Konsistenz** | Kranbeton | Ausbreitmass | 12350-5 [23] | F4 |
| **Konsistenz** | Pumpbeton | Ausbreitmass | 12350-5 [23] | F5 |
| **Konsistenz** | SVB | Setzfliessmass | 12350-8 [24] | SF1 oder SF2 |
| **Blutneigung** | Betone mit hohem w/z-Wert (≥0.60) bzw. w/B- oder w/$B_{reaktiv}$-Wert<br>Weiche Betone (F5 und höher, C3)<br>SVB (SF1 und höher) | Filterpresse nach Bauer | Anhang I | Siehe Tab. 3.5 |
| **Entmischungs-mass** | | Modifizierte EMPA-Methode | Anhang II | Siehe Tab. 3.5 |
| **Pumpbarkeit** | Pumpbeton | Sliper | [58] | Projektspezifische Vorgaben |

*Tab. 3.7 Übersicht über die Festbetonprüfungen*

| Eigenschaft | Abk. | Expositionsklasse | Prüfung | Prüfnorm | Regelanforderung |
|---|---|---|---|---|---|
| **Korrosionsschutz des niedrig-legierten Betonstahls** | aKorr | XC1 und Betone ohne Anforderungen an AW oder KW | $w/CaO_r \leq 2.0$<br>$w/CaO_r > 2.0$: Prüfung nötig | SIA 215/2 [13], Ziffer 4.4.7 | SIA 215/2 [13], Ziffer 4.4.7 |
| **Wasserdichtigkeit** | WL | XC2 | Wasserdichtigkeit | SN EN 12390-8 [35] | $e_w \leq 50$ mm |
| **Wasserleitfähigkeit** | WD | XC2 | Wasserleitfähigkeit | SIA 262/1 [17], Anhang A | $q_w \leq 10$ g/m$^2$h |
| **Auslaugwiderstand** | AW | XC2 | Karbonatisierungswiderstand (Ersatzgrösse) | SIA 262/1 [17], Anhang I | Wie KW für XC3 |
| **Karbonatisierungswiderstand** | KW | XC3, XC4 | Karbonatisierungswiderstand | SIA 262/1 [17], Anhang I | SN EN 206 [34] |
| **Chloridwiderstand** | CW | XD1, XD2, XD3 | Chloridwiderstand | SIA 262/1 [17], Anhang B | SN EN 206 [34] |
| **Frostwiderstand** | FW | XF1 | Frostwechselverhalten | SIA 162/1 [11], Prüfung Nr. 8 | SIA 162/1 [11], Prüfung Nr. 8 |
| **Frost-Tausalzwiderstand** | FTW | XF2, XF3 | Frost-Tausalzwiderstand | SIA 262/1 [17], Anhang I | SN EN 206 [34] |
| **AAR-Widerstand** | AAR | XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3 | Performance | SIA 262/1 [17], Anhang G | SIA 2042 [15] |
| **Sulfatwiderstand** | SW | XAs, $CO_2$-haltiges Grund- oder Bergwasser | Sulfatwiderstand | SIA 262/1 [17], Anhang D | SN EN 206 [34] |
| **Versinterungspotenzial** | VP | ? | Evtl. rechnerischer Nachweis | Bestimmung des $Ca(OH)_2$-Gehaltes. Nachweis [6] | offen |
| **Brandwiderstand** | BW1 | Siehe SIA 262 [16], Ziffer 4.3.10.5.2 (Recyclingbeton?) | Mittelformatige Prüfkörper | RILEM [9] | Abplatzungen: Ja/Nein |
| | BW2 | | Grossformatige Prüfkörper oder Bauteile | SN EN 1363-1 und -2 [26, 27]<br>SN EN 1365-1 und -2 [1)] [28, 29] | Bestanden / Nicht bestanden |

[1)] *Wichtige Details der Prüfung von grossformatigen Prüfkörpern (mehrere Meter breit und hoch) oder von Bauteilen ist in keiner verbindlichen nationalen oder internationalen Norm geregelt. Es gibt in Europa mehrere Anbieter mit spezifischen Vorgaben (Abmessungen u.a. abhängig von der Ofengrössen), in der Schweiz hingegen keine.*

# 4 Regelanforderungen an Beton für Bauteile im Strassenverkehr

## 4.1 Übersicht über die betrachteten Bauteile

Regelanforderungen sind Anforderungen, die in den meisten Fällen (im Regelfall) an Bauteile von Kunstbauten des Strassenverkehrs zu stellen sind. Als Einstieg für die Festlegung von Anforderungen an den Beton dient Tab. 4.1. Ausgehend von der Zuordnung bei der Chloridbelastung können aus den Anhängen III bis V die weiteren Anforderungen entnommen werden.

Bauteile ohne Bewehrung sind der Expositionsklasse X0 zuzuordnen. Bei diesen Bauteilen sind lediglich die Schädigungsmechanismen des Betons und die sich daraus ergebenden Anforderungen an den Beton von Bedeutung (AAR, SW).

Die von der Exposition und der Expositionswiderstandsklasse abhängige Bewehrungsüberdeckung wird gemäss Kapitel 3.4 berechnet.

In der SN EN 206 wird zwischen den Pfählen P1 bis P4 unterschieden. Diese Unterscheidung erübrigt sich, wenn die Anforderungen an die Pfähle mit Leistungskriterien belegt sind.

In der Regel sind mehrere Expositionsklassen wirksam und bei den Anforderungen zu berücksichtigen. Bei Bauteilen mit hoher Chloridbelastung (XD3) und erhöhter Bewehrungsüberdeckung kann bei Normalbetonen evtl. auf eine Anforderung an der Karbonatisierungswiderstand verzichtet werden. Bei der Expositionsklasse XD1 sind bei geringer Bewehrungsüberdeckung neben dem Chloridwiderstand allenfalls auch Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand zu stellen.

Der Fall, dass die Expositionsklasse XC1 (trocken) gleichzeitig auf allen Seiten eines Bauteils von Kunstbauten auftritt, ist selten. Für die Festlegung der Anforderungen ist die Bauteilseite mit der stärkeren Exposition massgebend.

Bei gewissen Bauteilen, z.B. Fundamente oder Stützen, muss mit der Expositionsklasse XC2 gerechnet werden, wenn diese im nassen Erdreich oder im Wasser stehen. In allen anderen Fällen ist die Expositionsklasse XC4 massgebend.

Bei Schlitzwänden und Pfählen muss, wenn diese teilweise oder ganz freiliegen, ggf. die Chloridbelastung und die Einwirkung von Frost in Betracht gezogen werden. Diese Einwirkungen sind gegenüber den Expositionsklassen XC2 und XC4 dominant und bestimmen die Anforderungen.

Bei Tunnelbauten kann die Belastung durch Bergwasser für die Anforderungen an den Beton massgebend sein. Dies gilt vorab für sulfathaltige Bergwässer. In diesen Fällen muss der Beton sulfatbeständig sein. Es gelten grundsätzlich die Regelungen der SN EN 206, Ziffer NA.5.3.4.9. Werden – basierend auf dem Anhang ND [1] – neue Betonsorten eingesetzt, ist der Sulfatwiderstand mit der Prüfung gemäss SIA 262/1 [17], Anhang D, nachzuweisen.

Bei den massgebenden Expositionsklassen für Zwischendecken in Tunnels ist zwischen den Portalzonen und der dazwischen liegenden Mittelzone zu unterscheiden. In den Portalzonen ist mit erhöhter Chloridbelastung durch Sprühnebel, evtl. auch durch Spritzwasser, mit Frosteinwirkung und mit erhöhter Luftfeuchtigkeit und daher mit einem erhöhten Wassereintrag in den Beton zu rechnen. Zu beachten ist, dass die Chloride von der Unterseite der Zwischendecke in Richtung Oberseite wandern können (Wassergradient von unten nach oben) und sich damit auf der Oberseite aufkonzentrieren können. Die Chloridwanderung zur Oberseite kann durch die Lüftung wesentlich verstärkt werden (Lufttemperatur

und -feuchtigkeit sowie -geschwindigkeit, Druckeinfluss der Zu- oder Abluftseite).

Die Länge der Portalzonen beträgt rund 1 bis 2.5 km, wie Messungen in mehreren Tunnels zeigen. Sie ist von mehreren Faktoren abhängig, wie z.B.

- Querschnittsprofil, Belüftungskonzept, Herkunft der Frischluft, mit/ohne Gegenverkehr (mit/ohne Kolbenwirkung)
- geografische Ausrichtung bzw. bevorzugte Windrichtung, Höhe über Meer
- Verkehrsvolumen, LKW-Anteil, Fahrgeschwindigkeit.

In der Mittelzone ist mit einer gewissen Chloridbelastung durch das Einschleppen der Chloride mit den Fahrzeugen zu rechnen. Je nach Tunnellänge und Felsüberdeckung fallen im Mittelteil die Temperaturen kaum mehr unter den Gefrierpunkt. Tendenziell steigen die Lufttemperaturen entlang der Tunnels wegen der Abgase und der Wärmeabgabe der Fahrzeuge, speziell bei der Längslüftung. Damit sinkt in der Regel auch Luftfeuchtigkeit.

Damit gelten für die Zwischendecken von kurzen Tunnels mit einer Gesamtlänge unter 2 bis 5 km, die höheren Anforderungen (XD3 und XF4). Bei längeren Tunnels können die Anforderungen für die Zwischendecke in der Mittelzone reduziert werden (XD1, XF2). Bei kurz ausfallenden Mittelzonen ist zu prüfen, ob ein Wechsel der Betonanforderungen zweckmässig und wirtschaftlich ist, dies auch unter dem Aspekt des Betriebes und Unterhaltes. Dabei ist eine allfällige temporäre oder spätere Umnutzung der einrichtigen zur gegenrichtigen Verkehrsführung zu berücksichtigen (Kolbenwirkung der Luft).

*Tab. 4.1 Übersicht über die betrachteten Bauteile mit einer Vorgabe an die maximale Druckfestigkeit und der im Regelfall möglichen Chloridbelastung. Die Chloridbelastung ist nur bei den bewehrten Bauteilen relevant. Bei den unbewehrten Bauteilen sind ggf. die AAR und der Angriff durch Kohlensäure und Sulfat zu beachten.*

| **Bauteil** | **Zusätzliche Beschreibung der Exposition** | **$f_{c,max}$ (28d)** [1)] | **Chloridbelastung** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | **ohne** | **wenig** | **erhöht** |
| | | | **Massgebende Expositionsklasse** | | |
| | | | **XC2,4** | **XD1** | **XD3** |
| **Fundamente** | Ausserhalb der Sprühnebelzone | X | X | | |
| | (Sprühnebelzone) | X | | X | |
| | (Spritz- und Kontaktwasserzone) | X | | | X |
| **Schlitzwände** | Wasser, Erdreich | X | X | | |
| **Pfähle** | Wasser, Erdreich | X | X | | |
| **Pfähle, teilweise freigelegt** | Sprühnebelzone | X | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **Brückenplatten** | | X | | X | |
| **Konsolköpfe** | Spritz- und Kontaktwasserzone | (X) | | | X |
| **Leitmauern** | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **Leitmauern** | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **SABAs** | Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **Widerlager von Brücken** | Ausserhalb der Sprühnebelzone | X | X | | |
| | Sprühnebelzone | X | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **Stützen (Galerien, Brücken)** | Ausserhalb der Sprühnebelzone | (X) | X | | |
| | Sprühnebelzone | (X) | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | (X) | | | X |

*Tab. 4.1 Fortsetzung.*

| Bauteil | Zusätzliche Beschreibung der Exposition | $f_{c,max}$ (28d) [1] | Chloridbelastung | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ohne | wenig | erhöht |
| | | | Massgebende Expositionsklasse | | |
| | | | XC2,4 | XD1 | XD3 |
| **Galerierückwände, Wände und Verkleidungselemente von Tunnels** | Sprühnebelzone | X | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |
| **Galeriedecken, Tunneldecken** | Sprühnebelzone | X | | X | |
| | (Spritz- und Kontaktwasserzone) | X | | | X |
| **Zwischendecken von Tunnels** | Portalzonen (1 – 2.5 km): Sprühnebel- und Spritzwasserzone | X | | | X |
| **Zwischendecken von Tunnels** | Mittelzone von Tunnel (Tunnellänge über 2 bis 5 km): Sprühnebelzone | X | | X | |
| **Innenring-Tübbinge (bewehrt) (Vorfabrikation)** | Bergwasser (evtl. mit $CO_2$ oder Sulfat) | (X) | X | | |
| **Sohlgewölbe (unbewehrt, abgedichtet oder nicht abgedichtet)** | Bergwasser (evtl. mit $CO_2$ oder Sulfat) | (X) | | | |
| **Sohlgewölbe (bewehrt, abgedichtet)** | Bergwasser (evtl. mit $CO_2$ oder Sulfat) | (X) | X | | |
| **Tunnelinnenschale (Ortbeton) (unbewehrt)** | Sprühnebelzone | (X) | | | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | (X) | | | |
| **Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, unbeschichtet)** | Sprühnebelzone | (X) | | X | |
| | (Spritz- und Kontaktwasserzone) | (X) | | | X |
| **Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, beschichtet)** | Sprühnebelzone | (X) | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | (X) | | X | (X) |
| **Werkleitungskanal-Elemente** | Bergwasser (evtl. mit $CO_2$ oder Sulfat) | | | | X |
| **Stützmauern, Vorbeton bei Instandsetzungen** | Ausserhalb der Sprühnebelzone | X | X | | |
| | Sprühnebelzone | X | | X | |
| | Spritz- und Kontaktwasserzone | X | | | X |

*1) Die Vorgabe eines Maximalwertes für die Druckfestigkeit nach 28 Tagen ist immer zu hinterfragen. Ggf. ist ein anderer Wert einzusetzen, ein anderes Alter zu wählen (z.B. $f_{c,max}$ (56d) oder ganz darauf zu verzichten.*

## 4.2 Vorgehen zur Festlegung der Anforderungen bei niedriglegierten (normalen) Betonstählen

Für die projektspezifischen Festlegungen der Betoneigenschaften und der Bewehrungsüberdeckung sind folgende Schritte durchzugehen (Abb. 4.1).

1. Für ein bestimmtes Bauteil sind Nutzungsart und -dauer festzulegen. Aus der Nutzungsart ergeben sich die Expositionsklassen (Tab. 4.1).
2. Bei Bemessung sind u.a. die Betonruckfestigkeit (Druckfestigkeitsklasse), die Bewehrungsüberdeckung und die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zu optimieren bzw. aufeinander abzustimmen.

   Bei chloridbelasteten Bauteilen ist zuerst die Intensität der Chloridbelastung (wenig/hoch, XD1/XD3) zu überlegen und festzulegen. Ausgehend von der gewählten Bewehrungsüberdeckung ergibt sich die XRDS-Klasse und daran anschliessend die XRC-Klasse. Für die endgültigen Festlegungen sind evtl. mehrere iterative Schritte nötig.

Die Anhänge III bis V enthalten die Anforderungen an den Regelbeton und andere Betone für eine Nutzungsdauer von 100, 50 und 10 Jahren.

3. Generell sollten möglichst tiefe Betondruckfestigkeiten angestrebt bzw. festgelegt werden. Es ist möglich, dass hohe Anforderungen an die Dauerhaftigkeit (meist in Kombination mit geringeren Bewehrungsüberdeckungen) zu höheren Betondruckfestigkeiten führen. Bei der Ausschreibung sind die lokalen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

4. Es ist zu prüfen, ob für die Betondruckfestigkeit ein Höchstwert festzulegen ist.

   Die festzulegenden Höchstwerte und zugehörigen Toleranzen sind abhängig von Festigkeitsklasse (Tab. 3.2).

5. Ggf. sind Anforderungen an weitere (mechanische) Eigenschaften an den Beton zu stellen (z.B. Anforderung an den E-Modul).

   Bei der Verwendung von nichtrostender oder nichtmetallischer Bewehrung sind die Kap. 4.3 und 4.4 zu beachten.

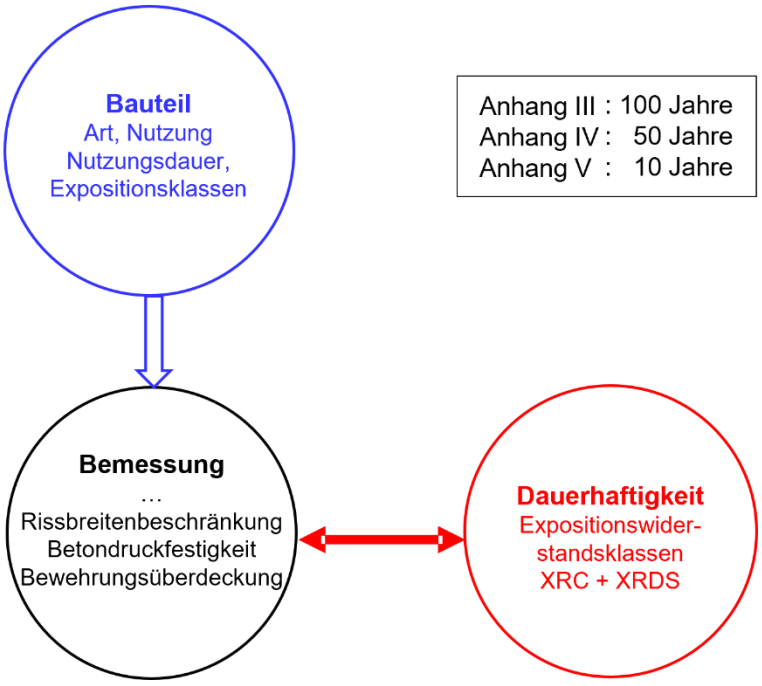


*Abb. 4.1 Vorgehen zur Festlegung der Bewehrungsüberdeckung und der Expositionswiderstandsklassen.*

## 4.3 Verwendung von nichtrostender Bewehrung

Für den Einsatz von nichtrostender Bewehrung gelten die Regelungen in der EN 1992-1-1 [3] und der normative Anhang Q. Die konkreten Anforderungen an die minimale Bewehrungsüberdecken $c_{min,dur}$ gehen aus Tab. 4.2 und Tab. 4.3 hervor. Für die Klassierung der Korrosionsbeständigkeit bzw. der Widerstandsklasse von nichtrostenden Bewehrungsstählen gilt Tab. 4.4. Die Widerstandsklasse von nichtrostendem Stahl wird mit SSRC abgekürzt (Stainless Steel Resistance Classes).

Im Fall einer kombinierten Einwirkung von Korrosion durch Karbonatisierung und Chlorideintrag sind bei den XRDS-Klassen mit sehr tiefen Chloridwiderstand Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand zu stellen [43].

Als Alternative zum Klassensystem nach Tab. 4.2 und Tab. 4.3 ist eine leistungsorientierte Bemessung der Nutzungsdauer anwendbar, falls aus den Technischen Produktspezifikationen genügend präzise Angaben zu den Eingabeparametern verfügbar sind.

Bei Bauteilen, bei denen eine nichtrostende Bewehrung eingesetzt werden soll, sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Ausgehend von der Bewehrungsüberdeckung gemäss Anhang III können die Anforderungen an den Auslaug-, Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand gemäss Tab. 4.2 und Tab. 4.3 festgelegt werden.
- Die Anforderungen an die Wasserdichtigkeit bzw. Wasserleitfähigkeit, den AAR- und Sulfatwiderstand bleiben unverändert bestehen.

Nichtrostende Stähle sind teurer als normale Betonstähle. Sie sollten daher sehr gezielt (z.B. nur die äussere Bewehrungslage in einem kritischen Bereich) eingesetzt werden. Mischbewehrungen von normalen und nichtrostenden Betonstählen sind zulässig. In Einzelfällen kann es zweckmässig sein, geringere Anforderungen an den Beton zustellen, dies aber mit dem Einsatz von nichtrostenden Stählen zu kompensieren.

*Tab. 4.2 Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$ [mm] bei den Expositionsklassen XC und XD (XS) in Abhängigkeit von der Widerstandsklasse der nichtrostenden Stahlbewehrung gemäss für eine **Nutzungsdauer von 100** Jahren. Die Anforderungen basieren auf einem Vorschlag von S. von Greve-Dierfeld [45].*

| **Expositionsklasse** | **Expositionswiderstandsklasse (ERC)** | **Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$, mm, in Abhängigkeit von der Widerstandsklasse von nichtrostendem Stahl** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **SSRC1** | **SSRC2** | **SSRC3** | **SSRC4** |
| XC1 | ≤ XRC10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| XC2 | ≤ XRC6 | 10 | 5 | 5 | 5 |
| XC2 | ≤ XRC10 | 15 | 5 | 5 | 5 |
| XC3 und XC4 | ≤ XRC 6 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | ≤ XRC10 | 20 | 10 | 10 | 10 |
| XD1/XD2a | ≤ XRDS 0.5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | ≤ XRDS 3 | 15 | 10 | 10 | 10 |
| | ≤ XRDS 4 | 20 | 15 | 10 | 10 |
| | ≤ XRDS 6 | 25 | 15 | 10 | 10 |
| | ≤ XRDS 9 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| | ≤ XRDS 18 & XRC6 | 40 | 30 | 20 | 10 |

*Tab. 4.3 Fortsetzung.*

| Expositionsklasse | Expositionswider-standsklasse (ERC) | Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$, mm, in Abhängigkeit von der Widerstandsklasse von nichtrostendem Stahl | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SSRC1 | SSRC2 | SSRC3 | SSRC4 |
| XD3/XD2b | ≤ XRDS 0.5 | 20 | 15 | 10 | 10 |
| | ≤ XRDS 3 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| | ≤ XRDS 4 | 30 | 25 | 15 | 10 |
| | ≤ XRDS 6 | 40 | 35 | 25 | 10 |
| | ≤ XRDS 9 | 50 | 40 | 30 | 15 |
| | ≤ XRDS 18 & XRC6 | 65 | 50 | 35 | 20 |

*Tab. 4.3 Mindestbewehrungsüberdeckung $_{cmin,dur}$ [mm] bei den Expositionsklassen XC und XD (XS) in Abhängigkeit von der Widerstandsklasse der nichtrostenden Stahlbewehrung für eine **Nutzungsdauer von 50** Jahren. Die Anforderungen basieren auf einem Vorschlag von S. von Greve-Dierfeld [45].*

| Expositionsklasse | Expositionswider-standsklasse (ERC) | Mindestbewehrungsüberdeckung $c_{min,dur}$, mm, in Abhängigkeit von der Widerstandsklasse von nichtrostendem Stahl | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SSRC1 | SSRC2 | SSRC3 | SSRC4 |
| XC1 | ≤ XRC10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| XC2 | ≤ XRC6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| XC2 | ≤ XRC10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| XC3 | ≤ XRC 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| XC3 | ≤ XRC 10 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| XC4 | ≤ XRC 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| XC4 | ≤ XRC10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| XD1/XD2a | ≤ XRDS 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ≤ XRDS 3 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| | ≤ XRDS 4 | 10 | 5 | 0 | 0 |
| | ≤ XRDS 6 | 15 | 5 | 0 | 0 |
| | ≤ XRDS 9 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| | ≤ XRDS 18 [1)] | 30 | 20 | 10 | 0 |
| XD3/XD2b | ≤ XRDS 0.5 | 10 | 5 | 0 | 0 |
| | ≤ XRDS 3 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| | ≤ XRDS 4 | 20 | 15 | 5 | 0 |
| | ≤ XRDS 6 | 30 | 25 | 15 | 0 |
| | ≤ XRDS 9 | 40 | 30 | 20 | 5 |
| | ≤ XRDS 18 [1)] | 55 | 40 | 25 | 10 |

*1) Zusätzliche Anforderung wegen der kombinierten Einwirkung: XCR6 [45].*

*Tab. 4.4 Klassifizierung der Korrosionsbeständigkeit bzw. der Widerstandsklasse von nichtrostendem Betonstahl in Abhängigkeit der Äquivalenzzahl der Lochfrassbeständigkeit PRE (= Tabelle Q.2 in der EN 1992-1-1 [3]).*

| Widerstandsklasse von nichtrostendem Stahl | Äquivalenzzahl der Lochfrassbeständigkeit PRE[a] | Beschreibung | Informative Beispiele nach EN 10088-1 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ferritisch | Duplex | Austenitisch |
| **SSRC0** | 0 bis 9 | Niedriglegierter Betonstahl | — | — | — |
| **SSRC1** | 10 bis 16 | Chromstahl | 1.4003 | — | — |
| **SSRC2** | 17 bis 22 | Chrom-Nickel-Stahl | — | 1.4482 | 1.4301<br>1.4307 |
| **SSRC3** | 23 bis 30 | Chrom-Nickel-Stahl mit Molybdän | — | 1.4362 | 1.4401<br>1.4404<br>1.4571 |
| **SSRC4** | ≥ 31 | Stähle mit erhöhtem Chrom- und Molybdängehalt | — | 1.4462 | 1.4529 |

[a] Berechnung der Äquivalenzzahl der Lochfrassbeständigkeit: PRE = Cr + 3,3 · Mo + *n* · N; Cr, Mo und N, in % (Massenanteil). Mit: *n* = 0 für ferritische Stähle, *n* = 16 für Duplex-Stähle und *n* = 30 für austenitische Stähle.

Die Berechnung der Äquivalenzzahl der Lochfrassbeständigkeit ist eine nützliche/praktische Angabe bei der Klassifizierung von nichtrostenden Stählen. Weitere Faktoren können die Korrosionsbeständigkeit negativ beeinflussen. Die Ergebnisse der Prüfung könnten als Eingabeparameter für die Bemessung der Nutzungsdauer verwendet werden.

## 4.4 Verwendung von nichtmetallischer Bewehrung (z.B. Basaltfaserstäbe)

In der ASTRA-Dokumentation 82023 «Basaltfaser-Bewehrung» [36] werden im Kapitel 10 unter dem Untertitel «Anwendungsempfehlungen für Basaltfaser-Bewehrung Folgendes ausgeführt (Zitat):

*Der wichtigste Vorteil von Basaltfaser-Bewehrungs- gegenüber Stahlbewehrungsstäben ist, dass sie nicht korrodiert. Somit empfiehlt sich der Einsatz von Basaltfaser-Bewehrung hauptsächlich in stark umweltbeanspruchten Bauteilen, beispielsweise als Ersatz von konventionellen Bewehrungen mit stark erhöhten Bewehrungsüberdeckungen oder Bewehrungsstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand (z.B. Top12) für:*

- *Konsolköpfe und Leitmauern bei Brücken*
- *Stützmauern, Wände, Stützen*
- *Tunnel (Wandplatten)*
- *Ölrückhaltebecken und Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA)*
- *Ortbetonschächte*
- *Durchlässe*
- *Parkhäuser*
- *Montagebewehrung mit reduzierter Bewehrungsüberdeckung für alle Bauwerksteile*
- *Bauteile von Hochenergieanlagen, Krankenhäuser, Bauteile im Bahnbereich, wo elektrisch nichtleitende Bewehrung gefordert wird. Evtl. ist diesbezüglich eine Glasfaser-Bewehrung besser.*

Zitat Ende.

Im Kapitel 10 der genannten Dokumentation wird weiter auch auf Folgendes hingewiesen:

- Basaltfaser-Bewehrungen eignen sich speziell gut für den Einsatz zusammen mit modernen Betonsorten, die aus Nachhaltigkeitsgründen (Zemente mit stark reduziertem Klinkeranteil) reduzierte pH-Werte aufweisen (keine Korrosion; je weniger Alkalien, desto bessere Dauerstand-Zugfestigkeit).

Daraus kann geschlossen werden, dass bei den Bauteilen, für die eine Basaltfaser-Bewehrung eingesetzt werden soll, folgende Anforderungen zu stellen sind:

- Tiefstmögliche Festigkeitsklasse
- Tiefstmögliche Bewehrungsüberdeckung
- Keine Anforderungen an Auslaug-, Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand
- Anforderungen an Wasserdichtigkeit und Wasserleitfähigkeit, AAR-Widerstand sowie Sulfatwiderstand bleiben unverändert bestehen.

Der Anhang ND [1] ermöglicht gezielte Betone für den Einsatz in Bauteilen mit Basaltfaser-Bewehrung zu optimieren. In Tab. 4.1 und den Anhängen III bis V fallen daher die Anforderungen an den Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand weg.

Mischbewehrung mit normalen und nichtrostenden Betonstählen ist möglich. Dies könnte neue Optimierungsmöglichkeiten ermöglichen. Im einfachsten Fall können nichtmetallische Bewehrungsstäbe als «Montageeisen» eingesetzt werden.

## 4.5 Kommentar zu einzelnen Anforderungen

### 4.5.1 Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR)

Sämtliche Betonen für Kunstbauten des ASTRA müssen AAR-beständig sein. Es gelten die Regelungen in der SIA 2042 15].

Für eine Nutzungsdauer von 50 und 100 Jahren gelten die gleichen Anforderungen, da die AAR-Prüfung gemäss SIA 262/1 [17], Anhang G, keine Differenzierung erlaubt.

Bei Betonen mit einem nachweislich tiefen bis sehr tiefen Alkaligehalt (z.B. ≤ 2 $Na_2O_{Eq}$ kg/m$^3$) kann damit gerechnet werden, dass die AAR nur in einem sehr geringen Masse oder gar nicht stattfindet. Die für die Berechnung nötigen Angaben ($K_2O$-, $Na_2O$-Gehalt) können bei den Lieferanten der einzelnen Ausgangsstoffe (z.B. Zemente und Zusatzstoffe) nachgefragt werden.

### 4.5.2 Sulfatangriff

Bei diversen Bauteilen, vorab im Tunnelbau, sind Anforderungen an den Sulfatwiderstand zu stellen. Es gelten grundsätzlich die Regelungen in [34]. Die Beständigkeit eines Betons gegen den Sulfatangriff, der nicht mir einem SR-Zement gemäss [34], sondern mit anderen Zementen und Zusatzstoffen gemäss [1] hergestellt wird, ist mit der Prüfung gemäss SIA 262/1 [17], Anhang D, nachzuweisen. Die Details sind ggf. in den besonderen Bestimmungen zu regeln.

Beim Sulfatangriff sind Anreicherungen vom Sulfatsalze am Verdunstungsort (meistens an der Oberfläche des austretenden (Berg)Wassers) zu beachten. Dies erfordert ggf., dass Anforderungen an den Sulfatwiderstand gestellt werden, obwohl der Sulfatgehalt des Wassers nicht sehr hoch bzw. noch unkritisch ist.

Für eine Nutzungsdauer von 50 und 100 Jahren gelten die gleichen Anforderungen, da die Sulfatwiderstandsprüfung gemäss SIA 262/1 [17], Anhang D, keine Differenzierung erlaubt.

### 4.5.3 Anforderungen an die Farbe des Betons

Die Farbe von Beton ist abhängig von der Art und dem Gehalt des Zementes, der Zusatzstoffe, der Gesteinskörnung und der Zusatzmittel sowie des w/z-Wertes und der Art und Dauer der Nachbehandlung. Weiterhin spielen die Wetterverhältnisse beim und in den ersten Wochen und Monaten nach dem Betonieren eine Rolle.

Es wird empfohlen, die Farbe des Betons frühzeitig zu thematisieren und ggf. in der Ausschreibung entsprechende Anforderungen zu stellen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn zur Zielerreichung Farbpigmente nötig sind. Diese sind kostenrelevant.

Zu optischen Gestaltung könne auch pigmentierte Versiegelungen (Anstriche) eingesetzt werden, ohne dass diese die Oberflächenstruktur verändern (siehe dazu Bericht Tüscherz).

# 5 Umweltwirkungen von Betonen

In der ASTRA-Dokumentation 8B002 «Lebenszykluskosten – Methode für die Erhaltung der Infrastruktur» (Ausgabe 2025 V1.00) [38] wird dargestellt, wie die Lebenszykluskosten (Erstellungs- und Folgekosten) von Strassenprojekten zu ermitteln sind und wie abzuschätzen ist, wieviel Geld pro Jahr eingesetzt werden muss, um die Funktionsfähigkeit der Strasse zu erhalten.

Die Dokumentation ASTRA 8B002 verweist im Kapitel 6.9 auf die ASTRA-Dokumentation 8B001 «Anwendung der Ökobilanz-Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen» und hält im Kapitel 6.9 fest, dass die Ökobilanzierung zu Mengenangaben zur Umweltbelastung (Tonnen $CO_2$-äquivalente Emissionen oder Umweltbelastungspunkte) eines von Infrastrukturbauten, führt.

Die Dokumentation 8B001 «Anwendung der Ökobilanz-Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen» [39] kann gemäss Kapitel 6 für folgende Fragestellungen eingesetzt werden:

- Quantifizierung der Umweltwirkung
- Planung (Portfolio, Erhaltungsmanagement, Ausbauplanung)
- Projektierung
- Variantenvergleich
- Beschaffung
- Nachhaltigkeit.

Im Anhang II «Standardwerte für Inventarobjekte» der Dokumentation 8B001 werden für diverse, mit Beton hergestellte Elemente Standardwerte für das GWP (Treibhausgasemissionen), UBP (Umweltbelastungspunkte) oder KEA (kumulierter Energieaufwand) für z.B. Betondecken, SABAs oder New-Jersey-Elemente ermittelt.

Für eine korrekte Abschätzung der Umweltwirkungen ist die Qualität der Inputgrössen sehr wichtig.

Die Dokumentation 8B002 enthält im Kapitel 6.9 den wesentlichen Hinweis, dass bei Ökobilanzierung gemäss Dokumentation 8B001 von einem längeren Betrachtungszeitraum ausgegangen wird als die Betrachtung der Lebenszykluskosten. Da die langfristige Kostenschätzung bei sehr langen Betrachtungszeiträumen die Unsicherheiten zu gross werden, kommt die Dokumentation 8B002 zum folgenden Schluss (Zitat):

*«Sehr langfristige Kostenschätzungen – die Ökobilanz geht grundsätzlich von 100 Jahren aus – liefern keine tragfähigen Kostenkennzahlen für technische oder politische Entscheide mehr; daher betrachten die im Kapitel 5 vorgeführten Beispielrechnungen maximal 50 Betriebsjahre und klammern den so gut wie nie beobachteten endgültigen Rückbau von Strassenabschnitten aus. Wenn Ökobilanz und Lebenszykluskosten vergleichbar sein sollten, muss der gleiche Betrachtungszeitraum verwendet werden.»* Zitat Ende.

Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass eine erste ökologische Optimierung bei der Gestaltung und Bemessung von Betonbauten (Abmessungen, Bewehrungsgehalt, Betonvolumen) mit Hilfe der Berechnung der $CO_2$-Emissionen oder der Umweltbelastungspunkte der Betone und der Bewehrung erfolgen kann.

Wegen der teilweise fehlenden Produkte im Betonrechner (KBOB-Rechner https://rechner.pawis.ch/) wird empfohlen, für die Ausschreibung zu verlangen, dass die $CO_2$-Emissionen für die einzusetzenden Betone basierend auf den europäischen Umweltproduktedeklarationen (EPD, Environmental Product Declaration) nach der SN EN 15804 [33] für die jeweiligen Produkte und unter Einbezug der Transportwege gemäss DEFRA [40] berechnet werden. Erläuterungen dazu sind in [39], Kap. 3.3, zu finden. Bei diesem Vorgehen

wird in Kauf genommen, dass zwischen diesen Ergebnissen und jenen des KBOB-Rechners Unterschiede auftreten können. Die Dokumentation ASTRA 82024 [37] enthält im Kapitel 7.3 dazu einige Beispiele. Vergleiche zwischen den verschiedenen Berechnungen und Erläuterungen zu den Unterschieden sind in [56] zu finden.

Der Verband Baustoff Kreislauf Schweiz (ehemals FSKB, Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie) stellt für viele Ausgangsstoffe und die NPK-Betonsorten Durchschnitts-EPDs nach SN EN 15804 [33] zur Verfügung (https://www.baustoffkreislauf.ch/dienstleistungen/publikationen).

Mit dem branchenspezifischen Ökobilanzrechner (https://oekobilanz-rechner.ch/) können die Umweltwirkungen von neuen Betonen abgeschätzt und optimiert werden.

# 6 Ausschreibung

## 6.1 Allgemeines

Der Anhang ND [1] enthält keine Informationen oder Vorgaben wie die Betone, die gemäss Anhang ND produziert und angeboten werden, zu bezeichnen sind.

Solange der NPK die Betonsorten gemäss Anhang ND noch nicht ausreichend abbildet bzw. es nicht klar ist, wie das neue Konzept umgesetzt wird, sind die Frisch- und Festbetonanforderungen an ND-Betone umfassend in R-Positionen festzuhalten.

Es ist daher zwingend, dass Betone gemäss Anhang ND immer als solche identifiziert werden können. Dies muss auch auf dem Lieferschein vermerkt sein.

Im Nationalen Anhang ND [1] fehlen spezifische Vorgaben (z.B. zu den Angaben über Art und Gehalt von Zement und Zusatzstoffen, w/z-, w/B oder $w/B_{reaktiv}$-Wert, Ergebnisse der Erstprüfungen), welche Informationen für Betone gemäss Anhang ND vom Betonhersteller an den Verwender (i.d.R. Bauunternehmung), weiterzugeben ist. Grundsätzlich gilt daher lediglich die Ziffer 7.2 der SN EN 206.

Das Fachhandbuch K enthält diverse Technische Merkblätter mit Angaben, welche Informationen der Bauherr für die Dokumentation des ausgeführtes Werkes (DAW) als wesentlich erachtet. Es sind dies:

- 22 001-20131, Angaben zum Beton für die Ausführung und für die DAW – Einleitung
- 22 001-20132, Angaben der Bauleitung zum Beton nach Eigenschaften
- 22 001-20133, Angaben der Bauleitung zum Beton nach Zusammensetzung
- 22 001-20134, Angaben des Betonherstellers zur eingebauten Betonsorte.

Einige Dinge sind bereits bei der Ausschreibung und im Werkvertrag zu berücksichtigen.

Bei der Ausschreibung von Betonen gemäss Anhang ND [1] sind sämtliche geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften aufzulisten. Als Basis hierfür dienen die Anhänge III bis V. Es muss vorläufig damit gerechnet werden, dass die meisten liefernden Betonwerke keine Erfahrungen mit der Herstellung von Beton nach Anhang ND vorweisen können. Dasselbe gilt für die Bauunternehmungen mit Baustellenanlagen.

Soll im Rahmen der Projektierung, der Ausschreibung sowie bei einem Variantenvergleich die Umweltwirkungen von Beton ermittelt werden und ggf. bei der Vergabe berücksichtigt werden, sind die Berechnungen generell mit dem Betonrechner vorzunehmen. Wenn einzelne Betonausgangsstoffe im Betonrechner nicht oder nur ungenügend erfasst sind, dafür aber eine EPD vorliegt, können aus den Angaben in der EPD und mit nachvollziehbaren und zweckmässigen Annahmen für die Transportart und -distanz zumindest die Treibhausgasemissionen geschätzt werden.

Andere Verfahren, z.B. basierend auf der Normenreihe ISO 14064 «Quantifizierung der Treibhausgasemissionen» dürfen nicht angewendet werden.

## 6.2 Beispiele

Nachfolgend sind drei konkrete Beispiele für eine leistungsbasierte Ausschreibung von Betonen gemäss Anhang ND [1] für drei verschiede Bauteile aufgeführt.

**Beispiel 1**: Beton für eine 3.5 m hohe und 150 m lange Stützmauer entlang der Autobahn (Abstand entspricht etwas mehr als die Breite des Pannenstreifens), Bewehrungsüberdeckung $c_{nom}$ = 55 mm, Nutzungsdauer von 100 Jahre

- Beton gemäss SN EN 206, Anhang ND [1]
- C25/30 mit $f_{c,max}$ ≤42 N/mm$^2$
- XC4, XD3, XF4:
  Karbonatisierungswiderstand XRC 7, Chloridwiderstand XRDS 5, Frosttausalzwiderstand hoch
- $D_{max}$ 32
- Cl 0,10
- Pumpbeton (F5). Fussnote 6) zur Tab. NA.5 ist zu beachten.
- AAR-beständig
- Hohe Robustheit des Frischbetons (= hoher Widerstand gegen Bluten und Entmischen).

Folgende ergänzende Informationen sind in die besonderen Bestimmungen aufzunehmen:

- Die Anforderungen an den Widerstand des Frischbetons gegen das Bluten und Entmischen ist gemäss Anhang I und II dieses Dokumentes zu prüfen. Die Anforderungen gemäss Tab. 3.5 sind zu erfüllen.
- Wegen der kurzen Pumpleitung muss die Pumpbarkeit des Betons nicht geprüft werden. Zeigen sich bei der Ausführung unerwarteterweise Schwierigkeiten beim Pumpen des Betons, ist die Betonrezeptur anzupassen und mit der Prüfung gemäss Anhang III dieses Dokumentes die Pumpbarkeit nachzuweisen.
- Der Maximalwert für die Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen muss mit einer Toleranz gemäss Tab. 3.5 eingehalten werden. Bei höheren Abweichungen muss die Betonzusammensetzung angepasst werden.
- Der Nachweis der Dauerhaftigkeitseigenschaften sind gemäss den Vorgaben der SN EN 206. Die geforderten Eigenschaften sind zu erfüllen.
- Die Betonzusammensetzung ist auf die maximal zulässige Druckfestigkeit und die Anforderungen an die Dauerhaftigkeitseigenschaften anzupassen.
- Nachbehandlungsklasse 3.

Unterlagen zum Angebot:

- Sämtliche Ergebnisse der Erstprüfung der einzusetzenden Betone und deren Zusammensetzung gemäss Anhang ND [1] sind dem Angebot beizulegen. Liegen für diese Betone keine Erfahrungen vor, sind das Vorgehen, Ablauf und die Prüfungen für die Bestimmung der Betonzusammensetzung darzulegen sowie der Zeitbedarf und die Kosten anzugeben.
- Die $CO_2$-Emissionen für die einzusetzenden Betone sind basierend auf den EPDs aller verwendeten Betonausgangsstoffe und unter Einbezug der Transportwege gemäss DEFRA [40] zu berechnen. Die Details der Berechnungen sind mit dem Angebot abzugeben.

**Beispiel 2**: Beton für verrohrte Bohrpfähle (∅ 80 cm) im Grundwasser, Bewehrungsüberdeckung $c_{nom}$ = 70 mm (Mindestbewehrungsüberdeckung 60 mm, Vorhaltemass 10 mm), Nutzungsdauer 100 Jahre

- Beton gemäss SN EN 206, Anhang ND [1]
- C20/25 mit $f_{c,max}$ ≤37 N/mm$^2$
- XC2, XA1c: Karbonatisierungswiderstand (Auslaugwiderstand) XRC 10
- $D_{max}$ 32
- Cl 0,10
- Pumpbeton (F5). Fussnote 6) zur Tab. NA.5 ist zu beachten.
- AAR-beständig
- Hohe Robustheit des Frischbetons (= hoher Widerstand gegen Bluten und Entmischen).

Hinsichtlich der ergänzenden Informationen und der Unterlagen zum Angebot gilt das Gleiche wie beim Beispiel 1.

**Beispiel 3**: Beton für Stützen (40 x 80 cm, Höhe 5 m) einer Überführung über die Autobahn im Spritzwasserbereich, Bewehrungsüberdeckung $c_{nom}$ = 55 mm, Nutzungsdauer 100 Jahre

- Beton gemäss SN EN 206, Anhang ND [1]
- C30/37
- XC4, XD3, XF4:
  Karbonatisierungswiderstand XRC 7, Chloridwiderstand XRDS 5, Frosttausalzwiderstand hoch
- $D_{max}$ 32
- Cl 0,10
- F4, Fussnote 6) zur Tab. NA.5 ist zu beachten.
- AAR-beständig
- Sichtbeton Typ 2 gemäss SIA 118/262 [10]
- Erhöhte Robustheit des Frischbetons (= mittlerer Widerstand gegen Bluten und Entmischen).

Hinsichtlich der ergänzenden Informationen und der Unterlagen zum Angebot gilt das Gleiche wie beim Beispiel 1.

## 6.3 Vor- und Eignungsversuche

Wenn das Betonwerk bestimmt ist, muss dieses zwingend Vorversuche für die zu liefernden Betonsorten durchführen, um nachzuweisen, dass die geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften erreicht werden können. Davon kann abgesehen werden, wenn belegt werden kann, dass diese Betone bereits mit Erfolg eingesetzt wurden.

Bei heiklen Betonieretappen (z.B. wegen der Geometrie), bei langen Pumpleitungen, bei schwierigen Betonsorten (z.B. SVB wegen dem Entmischen, verzögerte Betone) oder bei sehr hohen Wänden (Fallhöhe) oder bei dichter Bewehrung sind Eignungsversuche am realen (aber untergeordneten) Bauteil durchzuführen. Die Eignungsversuche sollen die spätere Einbausituation des Betons möglichst genau nachstellen und aufzeigen, wie sich der Beton beim Einbringen verhält, z.B. bezüglich Verdichten, Entmischen und Bluten.

## 6.4 Muster

Bei grösseren Bauprojekten oder schwierigen Einbaubedingungen wird empfohlen, Muster zu erstellen, bei denen sämtliche Parameter möglichst praxisnah nachgestellt werden. Dabei können gleichzeitig abschliessende Eignungsversuche realisiert werden.

Muster sind kleinere Betonkörper, die vom Bauwerk unabhängig hergestellt werden können, und die späteren Einbaubedingungen realistisch abbilden. Diese Muster können später entsorgt resp. recycliert werden.

## 6.5 Kontroll- und Prüfplan

Die heutigen Kontroll- und Prüfpläne müssen an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. Insbesondere sind darin sämtlich geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften einzubeziehen.

# Anhänge

**I Prüfverfahren zur «Bestimmung der Blutwassermenge von Frischbeton unter Druck» (Blutneigung) ..... 47**
I.1 Anwendungsbereich ..... 47
I.2 Normative Verweisungen ..... 47
I.3 Definitionen ..... 47
I.4 Prinzip ..... 47
I.5 Prüfeinrichtung ..... 47
I.6 Probenahme und Vorbereitung ..... 49
I.7 Durchführung ..... 49
I.8 Prüfergebnisse ..... 49
I.9 Prüfbericht ..... 50
I.10 Messunsicherheit ..... 50
I.11 Weiterführende Literatur ..... 50

**II Prüfverfahren zur «Bestimmung des Entmischungsmasses von Frischbeton» (Entmischungsneigung) ..... 51**
II.1 Anwendungsbereich ..... 51
II.2 Normative Verweisungen ..... 51
II.3 Definitionen ..... 51
II.4 Prinzip ..... 51
II.5 Prüfeinrichtung ..... 51
II.6 Probenahme und Vorbereitung ..... 52
II.7 Durchführung ..... 52
II.8 Prüfergebnisse ..... 52
II.9 Prüfbericht ..... 53
II.10 Messunsicherheit ..... 53
II.11 Weiterführende Literatur ..... 53

**III Anforderungen an die Bewehrungs-überdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren ..... 55**

**IV Anforderungen an die Bewehrungs-überdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren ..... 58**

**V Anforderungen an die Bewehrungs-überdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 10 Jahren ..... 61**

**VI Grenzwerte für den Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand in Abhängigkeit von der Expositionswiderstandsklasse ..... 65**

# I Prüfverfahren zur «Bestimmung der Blutwassermenge von Frischbeton unter Druck» (Blutneigung)

Hinweis: Die folgende Prüfanweisung basiert auf den Angaben in [48].

## I.1 Anwendungsbereich

Die nachfolgenden Ziffern legen ein Verfahren fest, mit dem die Blutwassermenge eines Betons unter Druck bestimmt wird.

Diese Prüfung kann für alle Arten von Beton angewendet werden. Sie kann im Labor und auf der Baustelle durchgeführt werden.

Diese Prüfung sollte für Mörtel nur nach entsprechenden Vorversuchen angewendet werden.

Hinweis 1: Es wird empfohlen, parallel zu dieser Prüfung eine normale Frischbetonkontrolle mit der Bestimmung des Ausbreitmasses nach SN EN 12350-5 oder des Setzfliessmasses nach SN EN 12350-8 durchzuführen.

Hinweis 2: Diese Prüfung wird in der Regel kurz nach der Herstellung durchgeführt. Sie kann ergänzend dazu zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. nach 30 oder 60 Minuten, wiederholt werden. Bei gewissen Betonen (z.B. Betone mit LP-Mittel) ist dies zu empfehlen.

## I.2 Normative Verweisungen

SN EN 12350-1
SN EN 12350-5
SN EN 12350-8

## I.3 Definitionen

- AWM Ausgepresste Wassermenge, ml
- BWM Blutwassermenge, l/m3
- $B_{Zyl}$ Betonvolumen im Zylinder vor dem Auspressen, in $cm^3$

## I.4 Prinzip

Das überschüssige Wasser im Frischbeton wird unter einem Druck von 5 bar aus einer Frischbetonprobe ausgepresst. Die Menge des ausgepressten Wassers ist ein Mass für die Blutneigung des Frischbetons bzw. dessen Wasserrückhaltevermögen.

## I.5 Prüfeinrichtung

- Filterpresse nach Bauer mit Zubehör (Filterpapier und CO2-Patronen)
- 8 mm Sieb nach ISO 3310-1
- Waage (ca. 10 kg), Ablesegenauigkeit 1 g
- Laborschaufel, Glättkelle
- Stahllineal für die Messung des Abstichs (>200 mm)
- Metallstab zum Einfüllen
- Kunststoffbehälter (ca. 10 Liter)

- Messbecher oder -zylinder (≥ 100 ml) zum Auffangen des ausgepressten Wassers, Ablesegenauigkeit 1 ml
- Stoppuhr

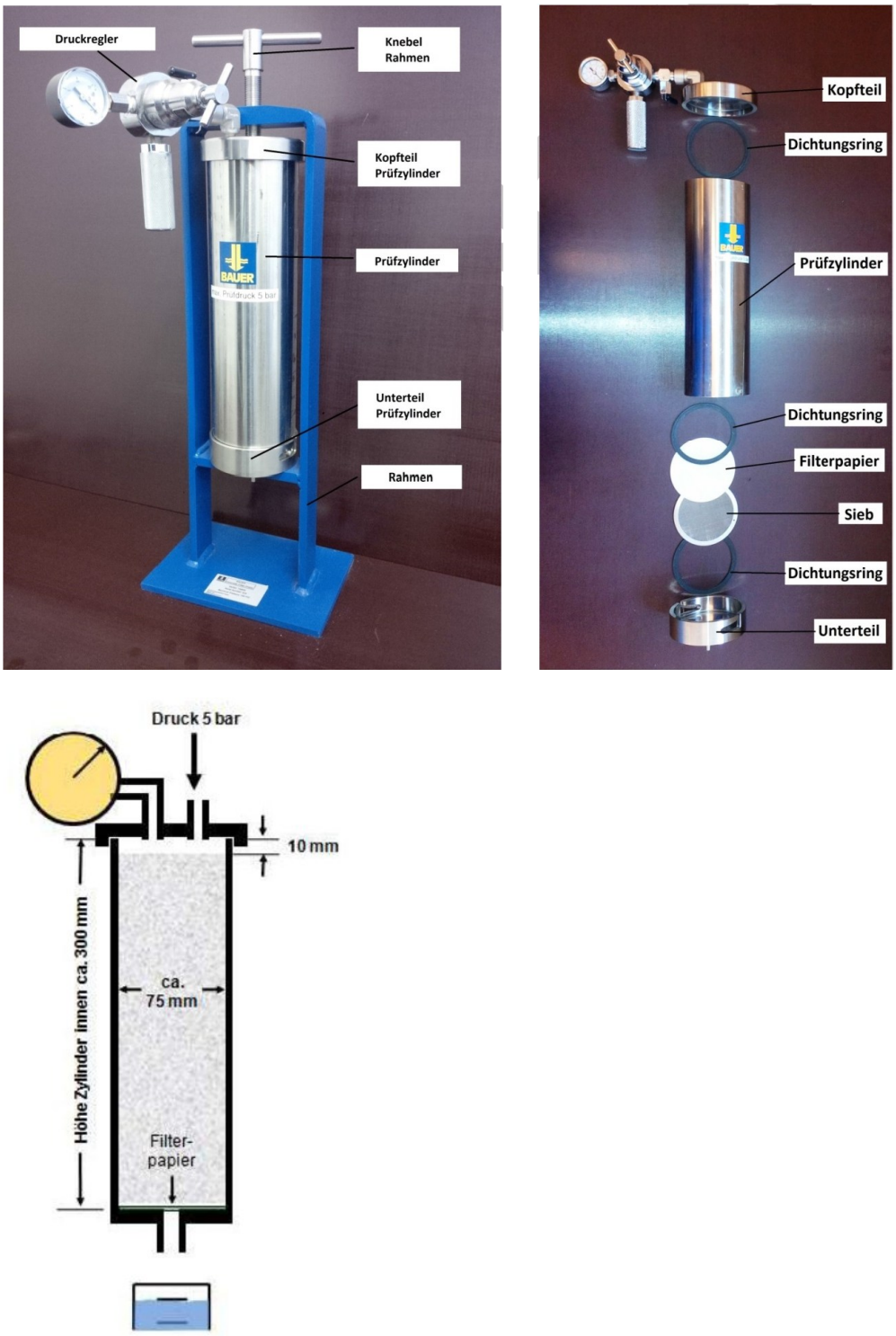


*Abb. I.1 Filterpresse nach Bauer zur Bestimmung der Blutwassermenge (siehe auch [46, 59].*

## I.6 Probenahme und Vorbereitung

- 5 Minuten nach Herstellung des Betons im Werk oder nach Lieferung auf der Baustelle wird eine repräsentative Frischbetonprobe entnommen (ca. 2 kg). Diese wird über einem 8 mm Sieb unter Verwendung der Laborschaufel ausgesiebt. Der Siebdurchgang (ca. 2 Liter) wird mit einem sauberen und trockenen Kunststoffbehälter aufgefangen.

Dabei ist darauf zu achten, dass der Siebrückstand möglichst wenig Zementleim enthält. Das Wasser, das sich während des Siebens evtl. abgesondert hat, wird ebenfalls im Behälter aufgefangen.

## I.7 Durchführung

- Filterpressenständer auf einen waagerechten und festen Untergrund aufbauen
- Dichtungsring in die Vertiefung des Unterteils der Bauerpresse einlegen, Feinsieb auflegen, Filterpapier auf Feinsieb legen, oberen Dichtungsring einsetzen, und Prüfzylinder eindrehen.
- Ausmessen des Innendurchmessers und der Höhe des Stahlzylinder auf 1 mm genau.
- Messbecher wägen oder Waage tarieren
- Den ausgesiebten Beton mit Dmax 8 mm, inkl. allfällig ausgetretenes Blutwasser mit der Kelle kurz durchmischen und in den Auspresszylinder (bis ca. 5 - 10 mm unter den oberen Rand). Beim Einfüllen wird das Füllgut mit einem Metallstab durch 5-6 Stösse entlüftet und dessen Oberfläche geglättet.
- Ohne Verzug den Messbecher zum Auffangen des Blutwassers unter dem Auslauf des Zylinders positionieren
- Messen des Abstichs vom oberen Rand bis zur Frischbetonoberkante, auf 1 mm genau.
- Aufsetzen des Deckels mit Druckeinheit und Einsetzen des Metallzylinders in die Halterung
- Aufbringen des Drucks von 5 bar ± 0.2 bar innert 10 Sekunden mit einer CO2-Patrone
- Halten dieses Drucks während 5 Minuten ± 15 s
- Nach 5 Minuten ± 15 s Messbecher wegnehmen und Druck ablassen
- Betonprobe aus dem Zylinder nehmen und Höhe des Filterkuchens auf 10 mm genau messen
- Messbecher wägen und ausgepressten Wassermenge bestimmen, auf 1 g genau.

## I.8 Prüfergebnisse

Für die ausgepresste Wassermenge gilt: 1 g = 1 ml.

Aus der ausgepressten Wassermenge wird die Blutwassermenge des Betons gemäss Gleichung I.1 berechnet:

$$BWM = AWM \cdot \frac{1000}{B_{Zyl}} \qquad \text{(I.1)}$$

- AWM Ausgepresste Wassermenge, ml
- $B_{Zyl}$ Betonvolumen im Zylinder, in $cm^3$
- BWM Blutwassermenge, $l/m^3$

$$Bzyl = \pi x \left(\frac{d}{2}\right)^2 x\, h \qquad \text{(I.2)}$$

h Höhe Prüfzylinder innen - abzüglich Abstich bis zur Betonoberfläche vor dem Auspressen
d Innendurchmesser des Prüfzylinders.

Die Ergebnisse werden mit folgenden Genauigkeiten angegeben:

- Höhe Betonzylinder: 1 mm
- Höhe Filterkuchen: 5 mm
- Ausgepresste Wassermenge: 1 g (resp. 1 ml)
- Betonvolumen: 25 $cm^3$
- Blutwassermenge: 0.05 $l/m^3$

## I.9 Prüfbericht

Folgende Angaben müssen in jedem Prüfbericht enthalten sein:

- Name und Adresse des Auftraggebers
- Name und Adresse der Prüfstelle sowie der für die Prüfung verantwortlichen Person
- Hinweis auf die vorliegende Norm sowie gegebenenfalls Abweichungen von der Norm
- Nummer des Lieferscheins
- sofern bekannt, Nummer der Betonrezeptur
- Datum und Uhrzeit der Betonherstellung
- Zusammensetzung des Betons, ggf. Hinweis auf Lieferschein oder Sortenverzeichnis. Falls dazu keine Angaben vorliegen, ist dies auf dem Prüfbericht zu vermerken
- Bezeichnung der Probe
- Zeitpunkt der Prüfung
- Alter des Frischbetons bei der Messung, in Minuten
- Luft- und Betontemperatur
- Volumen der Frischbetonprobe vor dem Auspressen des Wassers
- Höhe des Filterkuchens
- Ausgepresste Wassermenge, ml
- Blutwassermenge, l/m3

## I.10 Messunsicherheit

Zurzeit liegen keine Ergebnisse aus schweizerischen Ringversuchen vor.

## I.11 Weiterführende Literatur

Nachfolgend sind einige weiterführende Publikationen aufgeführt:


- F. Hunkeler, Weiche Betone – Rasche Prüfung der Blutneigung und des Entmischungsverhaltens, Bau und Wissen, Veranstaltung 174301 – Betontag 2017, 24.01.2017, TFB AG, Wildegg.
- R. Burg, Bauer Betonfilterpresse – internationales Standardprüfverfahren im Spezialtiefbau, ExpertenForum Beton 2016, Bayerische BauAkademie, 11.10.2016 und 25.10.2016.
- A. Hirtle, S. Müller, D. Obradovic, M. Senn, Robustheit von Frischbeton – Anforderung und Prüfung, Zertifikatsarbeit CAS Betontechnologie FHNW, Mai 2016.
- BAUER Spezialtiefbau GmbH, Bautechnik/Technical Services, Geschäftsbereich Technik/Technology Division, Betriebsanleitung zur Bauer Filterpresse, 2015.

# II Prüfverfahren zur «Bestimmung des Entmischungsmasses von Frischbeton» (Entmischungsneigung)

Hinweis: Die folgende Prüfanweisung basiert auf den Angaben in [49].

## II.1 Anwendungsbereich

Die nachfolgenden Ziffern legen ein Verfahren fest, mit dem das Entmischungsmass eines Betons bestimmt wird.

Diese Prüfung kann für alle Arten von Betonen angewendet werden. Sie kann im Labor und auf der Baustelle durchgeführt werden.

Hinweis 1: Es wird empfohlen, parallel zu dieser Prüfung eine normale Frischbetonkontrolle mit der Bestimmung des Ausbreitmasses nach SN EN 12350-5 oder des Setzfliessmasses nach SN EN 12350-8 durchzuführen.

Hinweis 2: Diese Prüfung wird in der Regel kurz nach der Herstellung durchgeführt. Sie kann ergänzend dazu zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. nach 30 oder 60 Minuten, wiederholt werden. Bei gewissen Betonen (z.B. Betone mit LP-Mittel) ist dies zu empfehlen.

## II.2 Normative Verweisungen

SN EN 12350-1
SN EN 12350-4
SN EN 12350-5
SN EN 12350-8

## II.3 Definitionen

- EM Entmischungsmass
- $m_{<2,oben}$ Feinmörtelanteil im oberen Drittel des Walztopfes
- $m_{<2,unten}$ Feinmörtelanteil im unteren Drittel des Walztopfes

## II.4 Prinzip

Nach dem Vibrieren des Frischbetons im Walztopf wird der Feinanteil des oberen und unteren Drittels des Walztopfes bestimmt. Aus dem Verhältnis des oberen und unteren Feinmörtelanteils wird das Entmischungsmass EM berechnet.

## II.5 Prüfeinrichtung

- Geräte gemäss SN EN 12350-4.
  Hinweis: Der Walztopf kann für diese Prüfung so modifiziert werden, dass der untere, ca. 80 mm hohe Teil entfernt werden kann.
- 2 mm Sieb gemäss ISO 3310-1
- Waage (ca. 30 kg), Messunsicherheit von maximal ± 3 g
- Stoppuhr
- Trockenes Tuch

## II.6 Probenahme und Vorbereitung

- Entnahme einer Frischbetonprobe gemäss SN EN 12350-1 und Vorbereitung der Prüfung gemäss SN EN 12350-4

## II.7 Durchführung

- Walztopf mit Frischbeton gemäss SN EN 12350-4 füllen
- Beton gemäss SN EN 12450-4 verdichten. Dauer der Vibrationszeit mit der Stoppuhr ± 1 s genau und Verdichtungsmass gemäss SN EN 12350-4 messen
- Beton erneut verdichten bis max. 60 s ± 1 s Abstich erneut messen
- 2 mm Sieb wägen ($M_{S1}$), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g
- ca. 7-8 kg aus dem obersten Teil des Walztopfes entnehmen und auf das 2 mm Sieb legen
- Sieb mit dem Frischbeton wägen ($M_{tot1}$), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g
- Beton auf dem 2 mm Sieb auswaschen bis das Wasser klar ist und nur noch vereinzelte Körner durchfallen
- Sieb abtropfen lassen und zusätzlich abklopfen. Wassertropfen auf der Siebunterseite mit trockenem Lappen abwischen
- Sieb mit Rückstand wägen ($M_{tot2}$), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g, Rückstand aufbewahren
- Sieb trocknen und erneut wägen ($M_{S2}$), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g
- Walztopf auf ebene Unterlage stürzen und sehr vorsichtig abheben, mit einer Glättekelle ca. 7 - 8 kg vom obersten Teil der Betonmasse nehmen und auf das 2 mm-Sieb legen
- Sieb mit Beton wägen (Mtot3), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g
- Beton auf Sieb auswaschen bis das Wasser ist und nur noch vereinzelte Körner durchfallen
- Sieb abtropfen lassen und zusätzlich abklopfen, Wassertropfen auf der Siebunterseite mit Lappen abwischen
- Sieb mit dem Rückstand wägen, ($M_{tot4}$), mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g und Rückstand aufbewahren

## II.8 Prüfergebnisse

Aus $M_{tot1}$ bis $M_{tot4}$ werden die folgenden Werte berechnet

$M_{B,oben} = M_{tot1} - M_{S1}$ (II.1)
$M_{>2,oben} = M_{tot2} - M_{S1}$ (II.2)
$M_{B,unten} = M_{tot3} - M_{S2}$ (II.3)
$M_{>2,unten} = M_{tot4} - M_{S2}$ (II.4)

$M_{B,oben}$ Masse des verdichteten Betons des oberen Drittels in (kg)
$M_{>2,oben}$ Masse des Rückstands des oberen Drittels (kg)
$M_{B,unten}$ Masse des verdichteten Betons des unteren Drittels in (kg)
$M_{>2,unten}$ Masse des Rückstands des unteren Drittels (kg)

Daraus werden die Feinmörtelanteile des oberen (m<2,oben) und unteren Drittels (m<2,unten) in kg und in % berechnet:

$$m_{<2,oben} = \frac{M_{B,oben} - M_{>2,oben}}{M_{B,oben}} \quad \text{(II.5)}$$

$$m_{<2,unten} = \frac{M_{B,unten} - M_{>2,unten}}{M_{B,unten}} \quad \text{(II.6)}$$

Aus dem Verhältnis des oberen und unteren Feinmörtelanteils wird das Entmischungsmass EM berechnet.

$$EM = \frac{m_{<2,oben}}{m_{<2,unten}} \quad \text{(II.7)}$$

Die Ergebnisse werden mit folgenden Genauigkeiten angegeben:

| | |
|---|---|
| Massen: | 0.01 kg |
| Prozentangaben: | 0.01 % |
| Entmischungsmass: | 0.05 |

## II.9 Prüfbericht

Folgende Angaben müssen in jedem Prüfbericht enthalten sein:

- Name und Adresse des Auftraggebers
- Name und Adresse der Prüfstelle sowie der für die Prüfung verantwortlichen Person
- Hinweis auf die vorliegende Norm sowie gegebenenfalls Abweichungen von der Norm
- Nummer des Lieferscheins
- Sofern bekannt, Nummer der Betonrezeptur
- Datum und Uhrzeit der Betonherstellung
- Zusammensetzung des Betons, ggf. Hinweis auf Lieferschein oder Sortenverzeichnis. Falls dazu keine Angaben vorliegen, ist dies auf dem Prüfbericht zu vermerken
- Bezeichnung der Probe
- Luft- und Betontemperatur
- Uhrzeit bei der Prüfung
- Alter des Frischbetons bei der Prüfung, in Minuten
- Verdichtungsmass gemäss SN EN 12350-4 und zugehörige Vibrierzeit
- Verdichtungsmass nach der Vibrierzeit von 60 s
- Alle gemessenen Massen: $M_S$, $M_{tot1}$ bis $M_{tot4}$, in kg
- Alle berechneten Massen: $M_{B,oben}$, $M_{>2,oben}$, $M_{B,unten}$, $M_{>2}$,unten, in kg
- Berechnete Feinmörtelanteile $m_{<2,oben}$ und $m_{<2,unten}$ in kg und in M.-% von $M_{B,oben}$ bzw. $M_{B,unten}$
- Berechnetes Entmischungsmass EM, dimensionslos

## II.10 Messunsicherheit

Zurzeit liegen keine Ergebnisse aus schweizerischen Ringversuchen vor.

## II.11 Weiterführende Literatur

Nachfolgend sind einige weiterführende Publikationen aufgeführt:


- F. Hunkeler, Weiche Betone – Rasche Prüfung der Blutneigung und des Entmischungsverhaltens, Bau und Wissen, Veranstaltung 174301 – Betontag 2017, 24.01.2017, TFB AG, Wildegg.
- N. Binz, I. Haefeli, M. Rimann, St. Rüegg, Robustheit von Frischbeton – Untersuchungen in Betonwerken, Zertifikatsarbeit CAS Schutz und Instandsetzung von Stahlbetonbauten FHNW, Dezember 2017.
- A. Hirtle, S. Müller, D. Obradovic, M. Senn, Robustheit von Frischbeton – Anforderung und Prüfung, Zertifikatsarbeit CAS Betontechnologie FHNW, Mai 2016.
- S. Jenny, H. Mahmoudian und R. Wasmer, Beurteilung des Wasserrückhaltevermögens von Frischbeton, Zertifikatsarbeit CAS Betontechnik FHNW, Dezember 2014.
- A. Leemann and F. Winnefeld, Influence of workability and admixtures on the segregation of concrete during compaction, 2nd International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering 11-13 September 2006, Quebec City, Canada.
- A. Leemann, J. Schlumpf und A. Germann, Verdichten mit Mass, Schweizer Baujournal – SBJ, 2/2006, S. 6+7.

- A. Leemann, J. Schlumpf und A. Germann, Massvolles Verdichten, der bauingenieur, 2/2006, S. 34-40.
- H. Olbrecht, Einfluss des Vibrierens auf die Festbetoneigenschaften, Schweizer Baublatt 63/64 (1997) 4-7.
- H. Olbrecht und K. Moser, Entmischung von Beton durch Überverdichtung, tec21, Heft 44, 2004, S. 13-16.

# III Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren

Grau hinterlegt: Regelanforderungen

Weiss: Andere als Regelanforderungen

Hinweis: Bei Bauteilen mit Spanngliedern kann die Vorgabe an deren Bewehrungsüberdeckung massgebend werden.

| Grundanforderungen | |
|---|---|
| **Nutzungsdauer** | **≤100 Jahre** |
| Maximalkorn | Dmax 32 mm |
| Chloridgehaltsklasse | Cl 0,10 |
| Konsistenz für übliche Einbringverfahren | |

| | |
|---|---|
| XC0 | ohne Bewehrung |
| XC1 | trocken |
| XC2 | nass |
| XC4 (inkl. XC3) | wie bisher, unverändert |
| XD1 bis XD3 | wie bisher, unverändert |
| XA1 bis XA3 | wie bisher, unverändert |

| | | | |
|---|---|---|---|
| WD/WL | Wasserdichtigkeit, -leitfähigkeit | FW | Frostwiderstand |
| AW | Auslaugwiderstand | FTW | Frosttausalzwiderstand |
| aKorr | ausreichender Korrosionsschutz (rechnerisch) | AAR | AAR-Widerstand |
| KW | Karbonatisierungswiderstand | SW | Sulfatwiderstand |
| CW | Chloridwiderstand | | |
| ERC | Expositionswiderstandsklasse | BW | Brandwiderstand |

## Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤100 Jahren

| Pos. | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Bauteil** | **Expostions-klassen** | **Betonsorte** | **Andorderungen an Festigkeit, N/mm²** | | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm** | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm** | **Anforderungen an Frischbeton** | | **Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit** | | | | | | | | **Brand-wider-stand** |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | **WD/WL** | **AW(KW)** | **aKorr** | **KW-ERC** | **CW-ERC** | **FW** | **FTW** | **AAR** | **SW** | **BW** |
| 1 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0, XF1 | 0-ND-2 | C15/20 | 26 | | | F5 | ja | | | | | | mittel | | evtl. | | |
| 2 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0 | 0-ND-0 | C15/20 | | | | F5 | ja | | | | | | | | evtl. | | |
| 3 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F2 | C20/25 | 37 | 15 | 25 | F4 | ja | | ja | | XRC3 | | mittel | | ja | | |
| 4 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F0 | C20/25 | 37 | 25 | 35 | F4 | ja | | ja | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 5 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F1 | C20/25 | 37 | 35 | 45 | F4 | ja | | ja | ja | XRC10 | | mittel | | ja | | |
| 6 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F2 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | | | | | XRC9 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 7 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F0 | C20/25 | 37 | 35 | 45 | F4 | | | | | XRC10 | XRDS9 | hoch | | ja | | |
| 8 | Fundamente wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F1 | C20/25 | 37 | 40 | 50 | F4 | ja | | ja | ja | | XRDS18 | hoch | | ja | | |
| 9 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F2 | C25/30 | 42 | 45 | 55 | F4 | | | | ja | | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 10 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F0 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | | ja | | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 11 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F1 | C25/30 | 42 | 55 | 65 | F4 | | | | ja | | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 12 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S2 | C25/30 | 42 | 45 | 55 | F4 | | evtl. | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 13 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S0 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | evtl. | | | XRC8 | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 14 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S1 | C25/30 | 42 | 55 | 65 | F4 | | evtl. | | | XRC9 | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 15 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L2 | C25/30 | 42 | 35 | 45 | F4 | | | | | XRC5 | | mittel | | ja | | |
| 16 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L0 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 17 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L1 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | | | XRC8 | | mittel | | ja | | |
| 18 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L2 | C25/30 | 42 | 30 | 40 | F4 | | | | | XRC4 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 19 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L0 | C25/30 | 42 | 35 | 45 | F4 | | | | | XRC5 | XRDS10 | hoch | | ja | | |
| 20 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L1 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS18 | hoch | | ja | | |

| Pos. | Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤100 Jahren | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
| | Bauteil | Expostions-klassen | Betonsorte | Andorderungen an Festigkeit, N/mm² | | Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm | Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm | Anforderungen an Frischbeton | | Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit | | | | | | | | Brand-wider-stand |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | WD/WL | AW(KW) | aKorr | KW-ERC | CW-ERC | FW | FTW | AAR | SW | BW |
| 21 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L2 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | | |
| 22 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L0 | C25/30 | 42 | 45 | 55 | F4 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 23 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND_L1 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | | | XRC8 | XRDS10 | | hoch | ja | | |
| 24 | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| 25 | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | |
| 26 | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| 27 | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | |
| 28 | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1c, XA2c, XA3c | TÜ-ND-1 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | | |
| 29 | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1s, XA2s, XA3s | TÜ-ND2 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | ja | |
| 30 | Sohlgewölbe (unbewehrt, nicht abgedichtet) | XC2 | SO-ND1 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| 31 | Sohlgewölbe (unbewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND2 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| 30 | Sohlgewölbe (bewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND3 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | | ja | | ja | | | | | ja | evtl. | |
| 31 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (unbewehrt) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-2 | C35/45 | 59 | | | F5 / SF2 | | | | | | | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 32 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, unbeschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-0 | C35/45 | 59 | 45 | 55 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 33 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, beschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-1 | C35/45 | 59 | 35 | 45 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 34 | Werkleitungskanal-Elemente (bewehrt) | XC2, XD3, XF2/XF4 | WE-ND-1 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | ja | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | evtl. | |
| 35 | Vorbeton ohne oder mit Chloridbelastung (Instandsetzung) | Siehe Zeilen 18 bis 29. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Beton mit nichtrostender Bewehrung | Die Vorgaben an die Überdeckung sowie die KW-ECR und CW-ECR können gemäss Kapitel 4.3 angepasst werden. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |
| 37 | Beton mit nichtmetallischer Bewehrung | Es darf die minimale Überdeckung gewählt werden. Die Anforderungen an die KW-ECR und CW-ECR entfallen. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |

# IV Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren

Grau hinterlegt: Regelanforderungen

Weiss: Andere als Regelanforderungen

Hinweis: Bei Bauteilen mit Spanngliedern kann die Vorgabe an deren Bewehrungsüberdeckung massgebend werden.

| Grundanforderungen | |
|---|---|
| **Nutzungsdauer** | **≤50 Jahre** |
| Maximalkorn | Dmax 32 mm |
| Chloridgehaltsklasse | Cl 0,10 |
| Konsistenz für übliche Einbringverfahren | |

| | |
|---|---|
| XC0 | ohne Bewehrung |
| XC1 | trocken |
| XC2 | nass |
| XC4 (inkl. XC3) | wie bisher, unverändert |
| XD1 bis XD3 | wie bisher, unverändert |
| XA1 bis XA3 | wie bisher, unverändert |

| | | | |
|---|---|---|---|
| WD/WL | Wasserdichtigkeit, -leitfähigkeit | FW | Frostwiderstand |
| AW | Auslaugwiderstand | FTW | Frosttausalzwiderstand |
| aKorr | ausreichender Korrosionsschutz (rechnerisch) | AAR | AAR-Widerstand |
| KW | Karbonatisierungswiderstand | SW | Sulfatwiderstand |
| CW | Chloridwiderstand | | |
| ERC | Expositionswiderstandsklasse | BW | Brandwiderstand |

**Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤50 Jahren**

| Pos. | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bauteil | Expostions-klassen | Betonsorte | Andorderungen an Festigkeit, N/mm² | | Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm | Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm | Anforderungen an Frischbeton | | Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit | | | | | | | | Brand-wider-stand |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | WD/WL | AW(KW) | aKorr | KW-ERC | CW-ERC | FW | FTW | AAR | SW | BW |
| 1 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0, XF1 | 0-ND-2 | C15/20 | 26 | | | F5 | ja | | | | | | mittel | | evtl. | | |
| 2 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0 | 0-ND-0 | C15/20 | | | | F5 | ja | | | | | | | | evtl. | | |
| 3 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F2 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | ja | | ja | | XRC3 | | mittel | | ja | | |
| 4 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F0 | C20/25 | 37 | 20 | 30 | F4 | ja | | ja | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 5 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F1 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | ja | | ja | ja | XRC10 | | mittel | | ja | | |
| 6 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F2 | C20/25 | 37 | 20 | 30 | F4 | | | ja | | XRC6 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 7 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F0 | C20/25 | 37 | 25 | 35 | F4 | | | ja | | XRC9 | XRDS9 | hoch | | ja | | |
| 8 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F1 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | ja | | ja | ja | XRC10 | XRDS18 | hoch | | ja | | |
| 9 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F2 | C25/30 | 42 | 35 | 45 | F4 | | | | ja | | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 10 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F0 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | ja | | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 11 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F1 | C25/30 | 42 | 45 | 55 | F4 | | | | ja | | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 12 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S2 | C25/30 | 42 | 35 | 45 | F4 | | evtl. | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 13 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S0 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | evtl. | | | XRC8 | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 14 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S1 | C25/30 | 42 | 45 | 55 | F4 | | evtl. | | | XRC9 | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 15 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L2 | C25/30 | 42 | 25 | 35 | F4 | | | | | XRC5 | | mittel | | ja | | |
| 16 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L0 | C25/30 | 42 | 30 | 40 | F4 | | | | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 17 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L1 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | | XRC8 | | mittel | | ja | | |
| 18 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L2 | C25/30 | 42 | 20 | 30 | F4 | | | | | XRC4 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 19 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L0 | C25/30 | 42 | 25 | 35 | F4 | | | | | XRC5 | XRDS10 | hoch | | ja | | |
| 20 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L1 | C25/30 | 42 | 30 | 40 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS18 | hoch | | ja | | |

| Pos. | Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤50 Jahren | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | |
| | **Bauteil** | **Expostions-klassen** | **Betonsorte** | **Andorderungen an Festigkeit, N/mm²** | | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm** | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm** | **Anforderungen an Frischbeton** | | **Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit** | | | | | | | | | **Brand-wider-stand** |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | **WD/WL** | **AW(KW)** | **aKorr** | **KW-ERC** | **CW-ERC** | **FW** | **FTW** | **AAR** | **SW** | **BW** |
| 21 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L2 | C25/30 | 42 | 30 | 40 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | | |
| 22 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L0 | C25/30 | 42 | 35 | 45 | F4 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 23 | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND_L1 | C25/30 | 42 | 40 | 50 | F4 | | | | | XRC8 | XRDS10 | | hoch | ja | | |
| 24 | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| 25 | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | |
| 26 | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| 27 | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | |
| 28 | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1c, XA2c, XA3c | TÜ-ND-1 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | | |
| 29 | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1s, XA2s, XA3s | TÜ-ND2 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | ja | |
| 30 | Sohlgewölbe (unbewehrt, nicht abgedichtet) | XC2 | SO-ND1 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| 31 | Sohlgewölbe (unbewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND2 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| 30 | Sohlgewölbe (bewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND3 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | | ja | | ja | | | | | ja | evtl. | |
| 31 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (unbewehrt) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-2 | C35/45 | 59 | | | F5 / SF2 | | | | | | | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 32 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, unbeschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-0 | C35/45 | 59 | 45 | 55 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 33 | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, beschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-1 | C35/45 | 59 | 35 | 45 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| 34 | Werkleitungskanal-Elemente (bewehrt) | XC2, XD3, XF2/XF4 | WE-ND-1 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | ja | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | evtl. | |
| 35 | Vorbeton ohne oder mit Chloridbelastung (Instandsetzung) | Siehe Zeilen 18 bis 29. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Beton mit nichtrostender Bewehrung | Die Vorgaben an die Überdeckung sowie die KW-ECR und CW-ECR können gemäss Kapitel 4.3 angepasst werden. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |
| 37 | Beton mit nichtmetallischer Bewehrung | Es darf die minimale Überdeckung gewählt werden. Die Anforderungen an die KW-ECR und CW-ECR entfallen. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |

# V Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von 10 Jahren

Grau hinterlegt: Regelanforderungen

Weiss: Andere als Regelanforderungen

Hinweis: Bei Bauteilen mit Spanngliedern kann die Vorgabe an deren Bewehrungsüberdeckung massgebend werden.

| Grundanforderungen | |
|---|---|
| **Nutzungsdauer** | **≤10 Jahre** |
| Maximalkorn | Dmax 32 mm |
| Chloridgehaltsklasse | Cl 0,10 |
| Konsistenz für übliche Einbringverfahren | |

| | |
|---|---|
| XC0 | ohne Bewehrung |
| XC1 | trocken |
| XC2 | nass |
| XC4 (inkl. XC3) | wie bisher, unverändert |
| XD1 bis XD3 | wie bisher, unverändert |
| XA1 bis XA3 | wie bisher, unverändert |

| | | | |
|---|---|---|---|
| WD/WL | Wasserdichtigkeit, -leitfähigkeit | FW | Frostwiderstand |
| AW | Auslaugwiderstand | FTW | Frosttausalzwiderstand |
| aKorr | ausreichender Korrosionsschutz (rechnerisch) | AAR | AAR-Widerstand |
| KW | Karbonatisierungswiderstand | SW | Sulfatwiderstand |
| CW | Chloridwiderstand | | |
| ERC | Expositionswiderstandsklasse | BW | Brandwiderstand |

## Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤10 Jahren

| Pos. | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Bauteil** | **Expostions-klassen** | **Betonsorte** | **Andorderungen an Festigkeit, N/mm²** | | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm** | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm** | **Anforderungen an Frischbeton** | | **Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit** | | | | | | | | **Brand-wider-stand** |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | **WD/WL** | AW(KW) | aKorr | KW-ERC | CW-ERC | FW | **FTW** | AAR | SW | **BW** |
| 1 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0, XF1 | 0-ND-2 | C15/20 | 26 | | | F5 | ja | | | | | | mittel | | evtl. | | |
| 2 | Bauteile ohne metallische Bewehrung | XC0 | 0-ND-0 | C15/20 | | | | F5 | ja | | | | | | | | evtl. | | |
| 3 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F2 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | ja | | ja | | XRC3 | | mittel | | ja | | |
| 4 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F0 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | ja | | ja | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 5 | Fundamente ohne Chloridbelastung | XC2, XF1 | A-ND-F1 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | ja | | ja | ja | XRC10 | | mittel | | ja | | |
| 6 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F2 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | | | ja | | XRC6 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 7 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F0 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | | | ja | | XRC9 | XRDS9 | hoch | | ja | | |
| 8 | Fundamente mit wenig Chloridbelastung | XC2, XD1, XD2a, XF2 | D-ND-F1 | C20/25 | 37 | 10 | 20 | F4 | ja | | ja | ja | XRC10 | XRDS18 | hoch | | ja | | |
| 9 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F2 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | ja | | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 10 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F0 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | ja | | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 11 | Fundamente mit erhöhter Chloridbelastung | XC2, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-F1 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | ja | | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 12 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S2 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | evtl. | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | | |
| 13 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S0 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | evtl. | | | XRC8 | XRDS8 | | hoch | ja | | |
| 14 | SABA | XC4, XD2b, XD3, XF4 | G-ND-S1 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | evtl. | | | XRC9 | XRDS9 | | hoch | ja | | |
| 15 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L2 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC5 | | mittel | | ja | | |
| 16 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L0 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC6 | | mittel | | ja | | |
| 17 | Luftberührte Bauteile ohne Chloridbelastung | XC4, XF1 | C-ND-L1 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC8 | | mittel | | ja | | |
| 18 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L2 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC4 | XRDS5 | hoch | | ja | | |
| 19 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L0 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC5 | XRDS10 | hoch | | ja | | |
| 20 | Luftberührte Bauteile mit wenig Chloridbelastung | XC4, XD1, XF2 | D-ND-L1 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS18 | hoch | | ja | | |

| Pos. | Anforderungen an die Bewehrungsüberdeckung und den Beton in Abhängigkeit von der Anwendung für eine Nutzungsdauer von ≤10 Jahren | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | |
| | **Bauteil** | **Expostions-klassen** | **Betonsorte** | **Andorderungen an Festigkeit, N/mm²** | | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{min}$, mm** | **Bewehrungs-überdeckung, $c_{nom}$, mm** | **Anforderungen an Frischbeton** | | **Anforderungen an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit** | | | | | | | | | **Brand-wider-stand** |
| | | | | C | $f_{c,max}$ | | | Konsistenz | Robustheit | **WD/WL** | AW(KW) | aKorr | KW-ERC | CW-ERC | FW | **FTW** | AAR | SW | **BW** |
| **21** | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L2 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | | |
| **22** | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND-L0 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | mittel | ja | | |
| **23** | Luftberührte Bauteile mit erhöhter Chloridbelastung | XC4, XD3, XF4 | G-ND_L1 | C25/30 | 42 | 10 | 20 | F4 | | | | | XRC8 | XRDS10 | | hoch | ja | | |
| **24** | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| **25** | Pfähle / Schlitzwände | P1 (trocken) | P1-ND-T1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | evtl. | | (mittel) | | ja | | |
| **26** | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W2 | C20/25 | 37 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | (evtl.) |
| **27** | Pfähle / Schlitzwände | P2 (Wasser) | P2-ND-W1 | C25/30 | 42 | 60 / 75 | 60 / 75 | F5 | ja | | evtl. | evtl. | | | (mittel) | | ja | | |
| **28** | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1c, XA2c, XA3c | TÜ-ND-1 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | | |
| **29** | Innenring-Tübbinge (Vorfabrikation) | XC2, XF3, XA1s, XA2s, XA3s | TÜ-ND2 | C35/45 | (59) | 20, im Einzelfall festzulegen | 30, im Einzelfall festzulegen | Hersteller | Hersteller | | ja | | | | mittel | | ja | ja | |
| **30** | Sohlgewölbe (unbewehrt, nicht abgedichtet) | XC2 | SO-ND1 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| **31** | Sohlgewölbe (unbewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND2 | C20/25 | 37 | | | F4 | | | | | | | | | ja | evtl. | |
| **30** | Sohlgewölbe (bewehrt, abgedichtet) | XC2 | SO-ND3 | C20/25 | 37 | 30 | 40 | F4 | | ja | | ja | | | | | ja | evtl. | |
| **31** | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (unbewehrt) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-2 | C35/45 | 59 | | | F5 / SF2 | | | | | | | | hoch | ja | evtl. | ja |
| **32** | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, unbeschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-0 | C35/45 | 59 | 45 | 55 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| **33** | Tunnelinnenschale (Ortbeton) (bewehrt, beschichtet) | XC4, XD3, XF4 | TI-ND-1 | C35/45 | 59 | 35 | 45 | F5 / SF2 | | | | | XRC7 | XRDS6 | | hoch | ja | evtl. | ja |
| **34** | Werkleitungskanal-Elemente (bewehrt) | XC2, XD3, XF2/XF4 | WE-ND-1 | C25/30 | 42 | 50 | 60 | F4 | | | ja | | XRC6 | XRDS4 | | hoch | ja | evtl. | |
| **35** | Vorbeton ohne oder mit Chloridbelastung (Instandsetzung) | Siehe Zeilen 18 bis 29. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **36** | Beton mit nichtrostender Bewehrung | Die Vorgaben an die Überdeckung sowie die KW-ECR und CW-ECR können gemäss Kapitel 4.3 angepasst werden. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |
| **37** | Beton mit nichtmetallischer Bewehrung | Es darf die minimale Überdeckung gewählt werden. Die Anforderungen an die KW-ECR und CW-ECR entfallen. | | | | | | | | | | | | | evtl. | evtl. | ja | evtl. | evtl. |

# VI Grenzwerte für den Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand in Abhängigkeit von der Expositionswiderstandsklasse

Die Grenzwerte für den Karbonatisierungs- und Chloridwiderstand sind abhängig von der Prüfung (Art, Details).

Wenn Änderungen bei den Prüfvorschriften vorgenommen werden, müssen evtl. auch die Grenzwerte angepasst werden.

Die unten aufgeführten Grenzwerte basieren auf den zum Zeitpunkt der Publikation dieser Dokumentation gültigen schweizerischen Prüfnormen gemäss SIA 262/1 [17] und auf den Arbeiten von Greve-Dierfeld [42, 43, 45].

| **Expositions-widerstands-klasse, XRC** | **Karbonatisie-rungswider-stand** |
|---|---|
| | mm/Jahr$^{1/2}$ |
| **0.5** | 0.5 |
| **1** | 1.0 |
| **2** | 2.0 |
| **3** | 3.5 |
| **4** | 4.5 |
| **5** | 5.5 |
| **6** | 6.5 |
| **7** | 7.5 |
| **8** | 9.0 |
| **9** | 10.0 |
| **10** | 11.0 |

| **Expositions-widerstands-klasse, XRDS** | **Chloridwider-stand** |
|---|---|
| | x10$^{-12}$ m$^2$/s |
| **1** | 1 |
| **4** | 4 |
| **5** | 5 |
| **6** | 6 |
| **8** | 9 |
| **9** | 10 |
| **10** | 11 |
| **18** | 20 |
| **30** | 33 |

# Glossar

### Allgemeine Begriffe

| Begriff | Bedeutung |
|---|---|
| ASTRA | Bundesamt für Strassen, Bern/Ittigen |
| Anhang ND | Anhang zur Betonnorm SN EN 206 [1] |
| Anhang ND-fh | Entwurf für den Anhang ND von F. Hunkeler [46] |
| Betonstahl | Niedriglegierter (normaler) gemäss SN EN 10080 21] und nichtrostender Betonstahl gemäss SN EN 10088-1 [22] |
| BHU | Bauherrrenunterstützerin, Bauherrrenunterstützer |
| FU | Fachunterstützerin, Fachunterstützer |
| β | Zuverlässigkeitsbeiwert |
| NPK | Normpositionenkatalog |
| EPD | Environmental Product Declaration, Umwelt-Produktdeklaration. |
| KBOB | Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren |
| UBP | Umweltbelastungspunkte |
| THG-E | Treibhausgas-Emissionen (= GWP) |
| GWP | Global Warming Potential (= THG-E) |

### Betonspezifische Begriffe und Abkürzungen

| Begriff | Bedeutung |
|---|---|
| AAR | Alkali-Aggregat-Reaktion des Betons |
| aKorr | Korrosion wegen zu tiefen pH-Wert bzw. wegen ungenügender Passivfilmbildung nach dem Betonieren |
| AW | Auslaugwiderstand |
| b | Bindemittel: Summe aus Zement und den inerten und reaktiven Zusatzstoffen (Typ I und II) gemäss Anhang ND |
| $b_{reaktiv}$ | Summe aus Zement und den reaktiven Zusatzstoffen Typ II |
| Cxx/yy | Druckfestigkeitsklasse von Normal- und Schwerbeton, z.B. C20/25 |
| BW | Brandwidersand |
| CaO | Calziumoxid |
| c | Bewehrungsüberdeckung. In der EN 1992-1-1 [3] wird der Begriff «Betondeckung» verwendet. |
| $c_{min}$ | Mindestbewehrungsüberdeckung |
| $c_{min,b}$ | Mindestbewehrungsüberdeckung für die Verbundanforderung |
| $c_{min,dur}$ | Mindestbewehrungsüberdeckung wegen der Umgebungsbedingungen |
| $c_{nom}$ | Nennmass der Bewehrungsüberdeckung |
| CW | Chloridwiderstand |
| ERC | Exposure resistance classes, Expositionswiderstandsklassen |
| $f_{c,max}$ | Maximale Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen<br>Wird ein anderes Prüfalter gewählt, z.B. 56 Tage, ist dies wie folgt anzugeben: fc,max (56d) |
| FM | Fliessmittel |
| FT | Frostwiderstand |
| FTW | Frost-Tausalzwiderstand |
| G | Betonsorte G gemäss [SN EN 206] |
| HRV | Hohlraumvolumen |
| KW | Karbonatisierungswiderstand |
| LH | Low heat-Zement mit niedriger Hydratationswärme |
| L | Leimvolumen |
| LP | Luftporen |
| $Na_2O_{Eq}$ | Natriumoxidäquivalent (= $Na_2O$ + 0.659 $K_2O$) |

| Begriff | Bedeutung |
|---|---|
| NDP | Non determined parameter. Diese Parameter können auf nationaler Ebene angepasst werden. |
| PRE | Pitting Resistance Equivalent, Lochfrass-Widerstandsäquivalent |
| RC-C | Recyclingbeton mit Betongranulat |
| RC-M | Recyclingbeton mit Mischgranulat |
| SSRC | Stainless Steel Resistance Class, Nichtrostender Stahl-Widerstandsklasse |
| SVB | Selbstverdichtender Beton (SCC) |
| SW | Sulfatwiderstand |
| UHFB | Ultrahochfester Faserbeton (). |
| VLH | Very low heat-Zement: Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme |
| VP | Versinterungspotenzial |
| w | Wasser |
| w/z | Wasser-Zement-Wert. Zement gemäss Zementnormen |
| w/B | Wasser-Bindemittel-Wert mit Zement und den inerten und reaktiven Zusatzstoffen (Typ I und II) gemäss Anhang ND |
| $w/B_{reaktiv}$ | Wasser-Bindemittel-Wert mit Zement und den reaktiven Zusatzstoffen Typ II |
| WD | Wasserdichtigkeit |
| WL | Wasserleitfähigkeit |
| XRC | Expositionswiderstandsklassen betreffend Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung des Betons |
| XRDS | Expositionswiderstandsklassen betreffend Bewehrungskorrosion infolge Salzeintrag (Streusalz oder Meersalz in den Betons |
| z | Zement |
| Δdev | Vorhaltemass |
| ΔΣc | Summe der folgenden anwendbaren Verringerungen und Erhöhungen |

# Literaturverzeichnis


**Normen**

[1] Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Nationaler Anhang ND zur SN EN 206:2013+A2:2021, SIA, 2025

[2] ASTM C1610, Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique, 2014.

[3] EN 1992-1-1: Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken - Teil 1 1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke, Nationales Anwendungsdokument in Vorbereitung.

[4] CEN/TC 250/SC 2/WG 110 N 350, Background Document for prEN1992-1-1:2020 D7 section 6 Durability, D2, Draft 2021-06-09 /MH CEN/TC 250/SC 2/WG 1/TG 10

[5] EN 1992-1-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Nationales Anwendungsdokument in Vorbereitung.

[6] Richtlinie Spritzbeton, Teil 1 – Anwendung, Teil 2 – Prüfung, Österreichischen Betonverein, ÖVB, 2009.

[7] EN 206-3, Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Teil 3: Zusätzliche Anforderungen an die Festlegung und Konformität von Beton für spezielle geotechnische Arbeiten», Entwurf vom April 2024.

[8] EN 12350-13, Prüfung von Frischbeton — Teil 13: Prüfung von Frischbeton – Bluten, Entwurf vom September 2024.

[9] Recommendation of RILEM TC 256-SPF on the method of testing concrete spalling due to fire: material screening test, RILEM, 2023

[10] SIA 118/262, Allgemeine Bedingungen für Betonbau, 2025

[11] Betonbau – Ergänzende Festlegungen, Prüfung Nr. 8 «Frostwechselverhalten» der SIA 162/1, SIA, 1989

[12] SIA 198 Untertagbau – Ausführung, SIA, 2023

[13] SIA 215/1 Anforderungen an neue Zemente, SIA, 2025

[14] Merkblatt SIA 2030, Recyclingbeton, SIA, 2021

[15] Merkblatt SIA 2042, Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten, SIA 2022

[16] Betonbau, SIA, 2013

[17] Betonbau – Ergänzende Festlegungen, SIA, 2019

[18] SIA 267 Geotechnik, SIA, 2013

[19] SN 640461 Betondecken für Verkehrsflächen – Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten, VSS, 2014

[20] SN EN 1097-3, Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt, SIA, 1998.

[21] SN EN 10080, Stahl für die Bewehrung von Beton - Schweissgeeigneter Betonstahl – Allgemeines, SIA, 2005

[22] SN EN 10088-1, Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle, 2024

[23] SN EN 12350-5: Prüfung von Frischbeton, Teil 5: Ausbreitmass, SIA, 2019

[24] SN EN 12350-8: Prüfung von Frischbeton, Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfliessversuch, SIA 2019

[25] Prüfung von Festbeton - Teil 16: Bestimmung des Schwindens von Beton, SIA, 2019

[26] SN EN 1363-1, Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, SIA, 2020

[27] SN EN 1363-2, Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren

[28] SN EN 1365-1, Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile - Teil 1: Wände, SIA, 2013.

[29] SN EN 1365-2, Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile - Teil 2: Decken und Dächer, SIA 2014.

[30] SN EN 13670, Ausführung von Tragwerken aus Beton, SIA 2009

[31] SN EN 14487-1 Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität

[32] SN EN 14487-2 Spritzbeton – Teil 2: Ausführung

[33] SN EN 15804+A2:2022, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, SIA, 2022

[34] EN 206:2013+A2:2021, Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, SIA, 2022

[35] SN EN 12390-8, Prüfung von Festbeton - Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck, SIA 2019

**ASTRA**

[36] ASTRA-Dokumentation 82023 «Basaltfaser-Bewehrung», Ausgabe 2023 V1.00, 2023. Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

[37] ASTRA-Dokumentation 82024, Neues Entwurfsverfahren für Beton – Pilotanwendung bei der Bahnhofbrücke Tüscherz, Dokumentation ASTRA 82024, V1.00, 2023. Das Dokument kann von der Webseite vom Bundesamt für Strassen ASTRA oder unter https://ingenieurberatung.ch/#publikationen heruntergeladen werden.

[38] ASTRA-Dokumentation ASTRA 8B002, Lebenszykluskosten – Methode für die Erhaltung der Infrastruktur, Ausgabe 2025, V1.00, ASTRA, Bern. Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

[39] ASTRA-Dokumentation ASTRA 8B001, Anwendung der Ökobilanz-Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen, Ausgabe 2025, V1.0, ASTRA, Bern. Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

**Publikationen**

[40] DEFRA: Category "all trucks": DEFRA: Department for Environment Food & Rural Affairs (UK). Link https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Defra.

[41] EFFC/DFI, Leitfaden Kontraktorbeton für Tiefgründungen, European Federation of Foundation Contractors EFFC und Deep Foundations Institute (DFI), 2.Ausgabe, 2018

[42] S. von Greve-Dierfeld und Ch. Paglia, Klassifizierung nachhaltiger Betone in ERC nach EC2 (EN1992-1-1) - Referenzverfahren und Korrelation mit SIA262/1, Forschungsprojekt cemsuisse Projekt Nr. 202304, 2025.

[43] S. von Greve-Dierfeld, D. Grolimund and P. Trtik, Carbonation – passivation performance and corrosion kinetic under wet-dry cycles in the presence of chlorides, Forschungsprojekt AGB 20_03A_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brücken-Geotechnik und Tunnel, 2025

[44] S. von Greve-Dierfeld und P. Bischof, Forschungsprojektes ASTRA BGT_20_07B_1 «Verbessertes Verhalten von Beton unter Brandeinwirkung». Schlussbericht in Arbeit.

[45] S. von Greve-Dierfeld, Vorschlag zu Handen der UAG ERC für die Erarbeitung des nationalen Anhangs für die SN EN 1992-1-1 [3].

[46] F. Hunkeler, Weiche Betone – Rasche Prüfung der Blutneigung und des Entmischungsverhaltens, Betontag 2017, Veranstaltung Nr. 174301, Bau und Wissen/TFB AG, Wildegg, 2017.

[47] Regelungen für das leistungsbezogene Entwurfsverfahren, Anhang ND zur SN EN 206:2013+A1:2016 (bzw. SN EN 206:2013+A2:2021) "Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität", Entwurf vom 03.08.2020. Download: https://ingenieurberatung.ch/#publikationen.

[48] F. Hunkeler, Bestimmung der Blutwassermenge von Frischbeton unter Druck, Anhang X, Prüfnorm zum Anhang ND, Entwurf vom 05.08.2020. Download: https://ingenieurberatung.ch/#publikationen.

[49] F. Hunkeler, Bestimmung des Entmischungsmasses von Frischbeton, Anhang Y, Prüfnorm zum Anhang ND, Entwurf vom 05.08.2020. Download: https://ingenieurberatung.ch/#publikationen.

[50] W. Kusterle, W. Pichler und A. Saxer, Prüfverfahren zur Bestimmung des Versinterungspotentials von Spritzbeton – Einflussfaktoren, Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011), Heft 12, S. 847 – 852.

[51] T. Stammwitz, Dokumentation zur Stützmauer Cupeis, San Bernardino, Calcestruzzo elastico, Teil 1 und 2, 2025

[52] T. Stammwitz, S. Leubner und Astrid Gruskovnjak, CO2- & Emissionsreduzierter Elastischer Beton – «CLS Elastico» -Entwicklung, Versuche und Erfahrungen am Beispiel der Stützmauer Cupeis, Bundesamt für Strassen ASTRA – Aussenstelle Thusis. 2025.

[53] M. Thomann, Bericht über den Bau des Grand-Pont in La Chaux-de-Fonds, in Arbeit.

[54] VersuchsStollen Hagerbach AG (VSH), Betonvorversuche Gei – Muro Cupeis, Bericht-Nr.: 202311147, 2025

[55] M.C. Wegmüller, Die Hauptursache von Versinterungen, tunnel 01/22.

[56] F. Robineck und D. Lachat, Vergleich der KBOB- und EPD-Bilanzierungsregeln für Bauprodukte, März 2025.

[57] S. von Greve-Dierfeld, Korrosionsrisiko in der XC2-Exposition, cemsuisse-Projekt 201903, Dezember 2022.

[58] Schleibinger, Handbuch zum SLIPER - SLIding PipE Rheometer, July 6, 2018. Download unter https://www.schleibinger.com/cmsimple/downloads/sliperman V13.pdf

[59] BAUER Spezialtiefbau GmbH, Bautechnik/Technical Services, Geschäftsbereich Technik/Technology Division, Betriebsanleitung zur Bauer Filterpresse, 2015.

# Auflistung der Änderungen

| Ausgabe | Version | Datum | Änderungen |
|---|---|---|---|
| 2025 | 1.00 | 18.11.2025 | Inkrafttreten Ausgabe 2025 |