



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Betoneigenschaften nach SN EN 206-1

Propriétés de béton selon SN EN 206-1

Concrete properties according to SN EN 206-1

**TFB, Technische Forschung und Beratung für
Zement und Beton, Wildegg
Frank Jacobs, Dr. sc. techn., Dipl.-Geol. BDG/SIA**

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

**Forschungsauftrag [AGB 2002/004] auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Betoneigenschaften nach SN EN 206-1

Propriétés de béton selon SN EN 206-1

Concrete properties according to SN EN 206-1

**TFB, Technische Forschung und Beratung für
Zement und Beton, Wildegg
Frank Jacobs, Dr. sc. techn., Dipl.-Geol. BDG/SIA**

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

**Forschungsauftrag [AGB 2002/004] auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)**

Vorwort

Bei der Einführung der europäischen Betonnorm EN 206-1 im Jahr 2003 in der Schweiz wurde vom SIA die Empfehlung herausgegeben, im Regelfall "Beton nach Eigenschaften" und nicht "Beton nach Zusammensetzung" auszuschreiben (SIA 262, Absatz 3.1.1.1). Die Eigenschaften von "Beton nach Eigenschaften" können über "Grenzwerte der Zusammensetzung" (Abschnitt 5.3.2 in der EN 206-1) oder mit dem "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" (5.3.3) festgelegt werden. Seitens SIA wurde entschieden, dass in der ab 2003 gültigen Fassung der SN EN 206-1

- "Beton nach Eigenschaften" mit "Grenzwerten der Zusammensetzung" definiert wird
- Prüfungen von den Betonwerken bei ausgewählten Expositionsklassen durchzuführen sind, um Daten für das TFB/EMPA-Projekt zu erhalten. In diesem Projekt soll ermittelt werden, ob "Beton nach Eigenschaften" zukünftig mit dem "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" statt mit "Grenzwerten der Zusammensetzung" in der SN EN 206-1 festgelegt werden könnte.

Ein Teil der Ergebnisse der Prüfungen von den Betonwerken wurde TFB/EMPA zur Verfügung gestellt, um diese im Rahmen des vorliegenden Projektes auszuwerten und die Möglichkeiten zur Einführung des "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahrens" zu prüfen.

Der vorliegende Bericht wurde auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung im Rahmen des Forschungsauftrags AGB 2002/004 des Bundesamts für Strassen ausgearbeitet. Die Begleitkommission A (BK A) der Arbeitsgruppe Brückenforschung (Mitglieder: Michel Donzel, Dr. Martin Käser, bis Ende 2005: Prof. Dr. F.H. Wittmann, ab Anfang 2006: Willi Schuler, Dr. Fritz Hunkeler) unter der Leitung von Paul Wüst (bis Ende 2005) bzw. Dr. Martin Käser (ab 2006) begleitete die Arbeiten. Daneben unterstützten folgende Verbände das Projekt finanziell und engagierten sich deren Vertreter dankenswerterweise fachlich im Rahmen von regelmässigen Besprechungen:

- cemsuisse: Verband der schweizerischen Cementindustrie
- EMPA: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
- FSHBZ: Fachverband der schweizerischen Hersteller von Betonzusatzmitteln
- FSKB: Fachverband Sand Kies und Beton
- SBV: Schweizerischer Baumeisterverband
- SIA: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

Die Autoren bedanken sich bei den o.g. Personen und Verbänden, ihren Vertretern sowie den Betonwerken und weiteren Personen, die zum Gelingen dieses Projektes beitrugen.

Wildegg/Dübendorf, im Dezember 2007

Die Autoren

Vorwort
 Inhaltsverzeichnis
 Begriffe

Zusammenfassung
 Résumé
 Summary

1	EINLEITUNG	1
1.1	EUROPÄISCHE AUSGANGSLAGE.....	1
1.2	SCHWEIZER SITUATION	1
2	ZIEL DES PROJEKTES UND VORGEHEN.....	5
2.1	ZIEL.....	5
2.2	VORGEHEN	5
3	ERGEBNISSE	6
3.1	ALLGEMEINES ZU DEN DATEN	6
3.2	WASSERLEITFÄHIGKEIT	7
3.2.1	<i>Prüfvorschrift</i>	7
3.2.2	<i>Daten</i>	8
3.2.3	<i>Mögliche Grenzwerte</i>	9
3.2.4	<i>Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift</i>	9
3.3	CHLORIDWIDERSTAND.....	10
3.3.1	<i>Prüfvorschrift</i>	10
3.3.2	<i>Daten</i>	10
3.3.3	<i>Mögliche Grenzwerte</i>	13
3.3.4	<i>Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift</i>	17
3.4	FROST-TAUSALZWIDERSTAND	17
3.4.1	<i>Prüfvorschrift</i>	18
3.4.2	<i>Daten</i>	18
3.4.3	<i>Mögliche Grenzwerte</i>	23
3.4.4	<i>Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift</i>	24
4	FOLGERUNGEN.....	25
4.1	MÖGLICHE GRENZWERTE FÜR DIE UNTERSUCHTEN EXPOSITIONSKLASSEN	25
4.2	BETONFAMILIEN.....	26
4.3	WEITERE ANFORDERUNGEN AN BETON FÜR DIE UNTERSUCHTEN EXPOSITIONSKLASSEN	26
4.4	KONFORMITÄTSNACHWEIS	27
4.5	EUROPÄISCHE PRÜFUNGEN	27
5	LITERATUR.....	28
6	DANKSAGUNG	28

Anhang A: Abbildungen und Tabelle für ausgewählte Datensätze

Anhang B: Fragebogen zur Datenerhebung

Begriffe

Bindemittel: Zemente und Zusatzstoffe des Typs II.

Bindemittelgehalt: Summe aus Zement- und Zusatzstoffgehalt; Einheit [kg/m³].

Chloridmigrationskoeffizient: Widerstand von Beton gegenüber eindringenden Chloriden, bestimmt nach Norm SIA 262/1, Anhang B; Einheit: [10⁻¹² m²/s] (Definition in Anlehnung an SIA 262/1).

Frosttausalz widerstand: Widerstand von Beton gegenüber Frosteinwirkungen mit und ohne Tausalzen; Einheit [g/m² bzw. hoch, mittel, tief] (Definition in Anlehnung an SIA 262/1).

Leistungsbezogenes Entwurfsverfahren: Nachweis der Dauerhaftigkeitsanforderungen für Expositionsklassen durch leistungsbezogene Parameter, z. B. Abblättern von Beton in einer Prüfung mit Frosttauwechseln (Definition in Anlehnung an SN EN 206-1).

Standardabweichung: Die Standardabweichung ist ein Mass für die Streuung der Ergebnisse von einer Reihe von Messungen derselben Messgrösse um den arithmetischen Mittelwert; Einheit wie Messgrösse (Definition in Anlehnung an SAS).

w/z-Wert: Massenverhältnis Wasser zu Zement; gemäss SN EN 206-1 wird der w/z-Wert aus dem Chargenprotokoll ermittelt; Einheit: [-] (Definition in Anlehnung an SN EN 206-1).

w/z_{eq}-Wert: Massenverhältnis Wasser zu Zement, wobei zum Zementgehalt noch reaktive Zusatzstoffe mit dem k-Wert-Ansatz gemäss SN EN 206-1 angerechnet werden; gemäss SN EN 206-1 wird der w/z_{eq}-Wert aus dem Chargenprotokoll ermittelt; Einheit: [-] (Definition in Anlehnung an SN EN 206-1).

Variationskoeffizient: Standardabweichung geteilt durch Mittelwert; Einheit [%] (Definition in Anlehnung an SAS).

Vergleichbarkeit (Reproduzierbarkeit): Ausmass der Annäherung (im Allgemeinen als Standardabweichung ausgedrückt) zwischen den Ergebnissen von Messungen derselben Messgrösse, ausgeführt mit dem gleichem Messverfahren unter unterschiedlichen Messbedingungen (d.h. Prüfer, Apparate, Referenzmaterial, Ort, Bedingungen, Datum, quantitative Interpretation des Resultats); Einheit [wie Messgrösse] (Definition in Anlehnung an SAS).

Wasserleitfähigkeit: Mass für die Aufnahme von Wasser in Beton, ausgedrückt als Wasseraufnahme über die benetzte Fläche pro Zeiteinheit, bestimmt nach Norm SIA 262/1, Anhang A; Einheit [g/(m² h);] (Definition in Anlehnung an SIA 262/1).

Wiederholbarkeit: Ausmass der Annäherung (im Allgemeinen als Standardabweichung ausgedrückt) zwischen den Ergebnissen aufeinander folgender Messungen derselben Messgrösse, ausgeführt unter gleichen Messbedingungen (Verfahren, Prüfer, Geräte, Bedingungen, Ort, Zeit, quantitative Interpretation des Resultats); Einheit [wie Messgrösse] (Definition in Anlehnung an SAS).

Zusatzmittel: Stoff, der während des Mischvorgangs des Betons in kleinen Mengen, bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben wird, um die Eigenschaften des Frischbetons oder Festbetons zu verändern. Beispiele sind Fliessmittel oder Luftporenbildner; (Definition nach SN EN 206-1).

Zusatzstoff: fein verteilter Stoff, der im Beton verwendet wird, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um bestimmte Eigenschaften zu erreichen (Definition in Anlehnung an SN EN 206-1). In der SN EN 206-1 werden zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen erwähnt:

- nahezu inerte Zusatzstoffe (Typ I) wie z.B. Gesteinsmehl
- puzzolanische oder latenthydraulische Zusatzstoffe (Typ II) wie z.B. Flugasche (FA) oder Silikastaub (SS).

Zusammenfassung

Bei der Einführung der SN EN 206-1 wurde vereinbart, dass "Beton nach Eigenschaften" mit "Grenzwerten der Zusammensetzung" definiert wird. Hierzu enthält der Nationale Anhang der SN EN 206-1 u.a. die Tabelle NA.3. Gleichzeitig wurde vereinbart, dass mit einem von der TFB und EMPA durchzuführendem Projekt überprüft werden soll, ob es zukünftig möglich ist "Beton nach Eigenschaften" mit dem "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" zu definieren. Beim "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" würden Prüfungen und Grenzwerte für die Expositionsklassen vorgegeben.

Gemäss Tabelle NA.3 des "Nationalen Anhangs" der SN EN 206-1 sind die Betonproduzenten verpflichtet, bei Beton für die Expositionsklassen

- XC4(CH) und XD1(CH) - XD3(CH) die Wasserleitfähigkeit
- XD2(CH) und XD3(CH) den Chloridwiderstand
- XF2(CH) - XF4(CH) den Frosttausalz widerstand

nach SIA 262/1 zu bestimmen. Die Ergebnisse der Prüfungen von den Betonwerken sollten der TFB und EMPA zur Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Zwischen 2004 und Mitte 2007 trafen von ca. 80 - 100 Betonwerken Daten zu etwa 1500 Betonmischungen ein, die überwiegend den Anforderungen der SN EN 206-1 entsprachen. Diese Daten stammen aus den meisten Teilen der Schweiz.

Gemäss der vorliegenden Auswertung dieser Daten und von Dritten publizierten Vorschlägen für Grenzwerte in Abhängigkeit von den Expositionsklassen ist es möglich, mit dem "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" Anforderungen an Beton bei den Expositionsklassen XC4(CH), XD1(CH) - XD3(CH) und XF2(CH) - XF4(CH) zu definieren (siehe nachfolgende Tabelle).

Tabelle: Vorgeschlagene Prüfungen und Grenzwerte in Abhängigkeit von den untersuchten Expositionsklassen.

Expositionsklasse		XC(CH)				XD(CH)			XF(CH)			
		1*	2*	3*	4	1	2	3	1*	2	3	4
Serienmittelwert der Wasserleitfähigkeit nach SIA 262/1, Anhang A	[g/m ² h]	-	-	-	10	10	-	-	-	-	-	-
Serienmittelwert des Chloridwiderstandes nach SIA 262/1, Anhang B	[10 ⁻¹² m ² /s]	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-
Serienmittelwert des Frosttausalzwiderstandes nach SIA 262/1, Anhang C	[g/m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	1200		200/600

*nicht untersuchte Expositionsklassen

Für eine zukünftige Umsetzung des "Leistungsbezogenen Entwurfsverfahren" in der SN EN 206-1 für die betrachteten Expositionsklassen wird empfohlen, dass

- die Expositionsklassen zu Gruppen, wie z.B. den NPK-Betonen, zusammengefasst und für diese Gruppen die Prüfhäufigkeiten und der Konformitätsnachweis über das Konzept der Betonfamilien festgelegt werden.
- Regelungen zum Schutz des eingebetteten Stahls gegen Korrosion aufgenommen werden.

Es werden auch Hinweise gegeben, welche (geringen) Anpassungen bei den betrachteten Prüfnormen vorgenommen werden sollten.

Résumé

Lors de l'introduction, de la norme SN EN 206-1 il a été décidé que le «béton à propriétés spécifiées» sera défini par des «valeurs limites de la composition». A cet effet, l'annexe nationale de la norme SN EN 206-1 contient entre autres le tableau NA.3. En même temps, il a été décidé que le TFB et l'EMPA étudient, dans le cadre d'un projet commun, les possibilités de définir à l'avenir un „béton à propriétés spécifiées“ avec la „méthode de formulation basée sur les performances“. Celle-ci préconiserait des essais et valeurs limites pour les classes d'exposition.

Selon le tableau NA. 3 de „l'annexe nationale“ de la SN EN 206-1 les producteurs de béton s'engagent à tester selon SIA 262/1 les propriétés suivantes du béton pour les classes d'exposition:

- XC4(CH) et XD1(CH) - XD3(CH): perméabilité à l'eau
- XD2(CH) et XD3(CH): résistance aux chlorures
- XF2(CH) - XF4(CH): résistance au gel en présence de sels de déverglaçage

Les centrales à béton devaient mettre les résultats des essais à disposition du TFB et de l'EMPA pour une évaluation. Entre 2004 et la mi-année 2007, les données d'environ 1500 mélanges de béton provenant de 80 à 100 centrales de la plupart des régions de la Suisse ont été fournies. Les bétons correspondaient dans la majorité des cas aux exigences de la norme SN EN 206-1.

Sur la base de l'évaluation des résultats obtenus et des propositions publiées par des tiers concernant des valeurs limites en fonction des classes d'exposition, il s'est avéré possible de définir les exigences des classes d'expositions XC4(CH), XD1(CH) - XD3(CH) et XF2(CH) - XF4(CH) avec la „méthode de formulation basée sur les performances“ (voir tableau ci-dessous).

Tableau: Essais et valeurs limites proposés en fonction des classes d'exposition étudiées.

Classe d'exposition		XC(CH)				XD(CH)			XF(CH)			
		1*	2*	3*	4	1	2	3	1*	2	3	4
Valeur moyenne d'une série de la perméabilité à l'eau selon SIA 262/1, annexe A	[g/m ² h]	-	-	-	10	10	-	-	-	-	-	-
Valeur moyenne d'une série résistance aux chlorures selon SIA 262/1, annexe B	[10 ⁻¹² m ² /s]	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-
Valeur moyenne d'une série de la résistance au gel en présence de sels de déverglaçage selon SIA 262/1, annexe C	[g/m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	1200	-	200/ 600

*classes d'exposition non étudiées

Pour l'application future de la „méthode de formulation basée sur les performances“ de la SN EN 206-1 aux classes d'expositions considérées, il est recommandé de

- Regrouper les classes d'exposition comme p.ex. pour les béton CAN et de définir pour ces groupes la fréquence des essais et la preuve de conformité selon le concept des familles de béton.
- Adopter des règles afin de garantir la protection contre la corrosion des pièces en acier noyées dans le béton.

Des modifications mineures des normes d'essais concernées sont également discutées dans le rapport.

Summary

For the introduction of SN EN 206-1 it was agreed that "designed concrete" with "limiting values for concrete composition" should be defined. Therefore, the national annex of SN EN 206-1 contains, beside others, table NA.3. At the same time it was agreed that TFB and EMPA should carry out a project to examine whether it is possible to define in the future "designed concrete" based on "performance-related design methods". In the "performance-related design methods" testing standards and limiting values have to be specified for the exposure classes.

According to table NA.3 of the "national annex" of SN EN 206-1 concrete producers are obliged to determine according to SIA 262/1 for "designed concrete" in the exposure classes

- XC4(CH) and XD1(CH) - XD3(CH) the capillary suction
- XD2(CH) and XD3(CH) the chloride resistance
- XF2(CH) - XF4(CH) the freeze-thaw resistance with de-icing salt.

For evaluation purpose the test result should be provided by the concrete producers to TFB and EMPA. Between 2004 and mid of 2007 data from approximately 80 - 100 concrete plants around 1500 concrete mixtures were obtained. The concrete mixtures are mainly in accordance with the requirements of SN EN 206-1 and cover most parts of Switzerland.

Based on the present evaluation of the data and limiting values as a function of the exposure classes which were proposed by third parties, it is possible to define requirements for concrete to be used in the exposure classes XC4(CH), XD1(CH) - XD3(CH) und XF2(CH) - XF4(CH), with "performance-related design methods" (see following table).

Table: Proposed tests and limiting values as a function of the investigated exposure classes.

Exposure class		XC(CH)				XD(CH)			XF(CH)			
		1*	2*	3*	4	1	2	3	1*	2	3	4
Mean value of capillary suction according to SIA 262/1, annex A	[g/m ² h]	-	-	-	10	10	-	-	-	-	-	-
Mean value of chloride resistance according to SIA 262/1, annex B	[10 ⁻¹² m ² /s]	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-
Mean value of freeze-thaw resistance with de-icing salt according to SIA 262/1, annex C	[g/m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	1200		200/ 600

*not investigated exposure classes

For a future implementation of the "performance-related design methods" in the SN EN 206-1 it is recommended for the considered exposure classes to

- establish groups of exposure classes like the Swiss "NPK-concretes" and to determine for these groups the testing frequency and the conformity control with the concept of concrete families.
- include regulations for the protection of embedded steel against corrosion.

Additionally information is given, which (minor) adjustments should be made for the examined testing standards.

1 Einleitung

1.1 Europäische Ausgangslage

Im Rahmen der über 20 Jahre dauernden Arbeit für die Ausarbeitung der europäischen Betonnorm EN 206-1 hat man sich geeinigt, die wichtigsten Einwirkungen der Umgebung auf Beton mit Expositionsklassen zu beschreiben. In Tabelle 1 der EN 206-1 sind Expositionsklassen für folgende Einwirkungen definiert:

- X0 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
- XC Korrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung
- XD Korrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser
- XS Korrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser
- XF Frostangriff mit oder ohne Taumittel
- XA Chemischer Angriff

Diese Expositionsklassen sind in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen in bis zu vier Unterklassen (z.B. XC1, XC2, XC3, XC4) unterteilt. Beton kann mehr als nur einer der o.g. Expositionsklassen ausgesetzt sein. Dies zeigt sich beispielsweise bei einem Frosttausalzangriff, bei dem neben Frost (XF) auch Chloride (XD) sowie die Karbonatisierung (XC) auf den Beton einwirken.

Auf europäischer Ebene konnte man sich nicht einigen, welche Eigenschaften oder Zusammensetzung ein Beton aufweisen muss, um für die angenommene Nutzungsdauer von 50 Jahren (Ziffer 5.3.2 der SN EN 206-1) einer bestimmten Exposition zu widerstehen. Im informativen (nicht normativen) Anhang F der EN 206-1 sind Anforderungen an die Betonzusammensetzung aufgeführt, bei denen ein ausreichender Betonwiderstand erwartet werden könnte. In der Schweiz, wie auch weiteren Ländern, wurden im Nationalen Anhang der SN EN 206-1 (Tabelle NA.3; siehe **Tabelle 1** auf S. 3) die Anforderungen an Beton in Abhängigkeit von der Expositionsklasse festgelegt. Es ist das Ziel des europäischen Komitees, das für die Betonnorm zuständig ist (CEN TC 104), bei der Revisionen der EN 206-1 das leistungsbezogene Entwurfsverfahren für Dauerhaftigkeitsaspekte (heutiger, informativer Anhang J in EN 206-1) als Standardverfahren zu etablieren und zugehörige Prüfungen vorzugeben (siehe z.B. Meyer). Dieses Verfahren bedeutet, dass jeder für die Nutzungsdauer massgebende Zerstörungsmechanismus quantitativ zu berücksichtigen ist.

1.2 Schweizer Situation

Nach intensiven Diskussionen, die im Rahmen der Ausarbeitung des Nationalen Vorwortes und Anhangs zur schweizerischen Betonnorm SN EN 206-1 geführt wurden, besteht heute in der Schweiz ein Konsens, dass Beton für den Betonbau nach Norm SIA 262 im Normalfall als „Beton nach Eigenschaft“ und nicht als „Beton nach Zusammensetzung“ ausgeschrieben werden soll. Bei der Ausarbeitung des Nationalen Anhangs zur SN EN 206-1 konnte man sich bei den Expositionsklassen nicht auf die für das leistungsbezogene Entwurfsverfahren relevanten Prüfungen und zugehörigen Grenzwerte einigen und legte deshalb "Grenzwerte für die Betonzusammensetzung" für „Beton nach Eigenschaft“ fest. Im heute gültigen Nationalen Anhang zur SN EN 206-1 (gültig ab 1.1.2003) ist festgelegt, dass von den Betonwerken Prüfungen durchzuführen sind; nur deren Durchführung und nicht deren Ergebnisse werden zum Nachweis der Normkonformität herangezogen. Die Durchführung der Prüfungen ist in der Norm SIA 262/1 beschrieben.

Folgende Prüfungen sind von den Betonwerken zur Konformitätskontrolle bei den angegebenen Expositionsklassen¹ durchzuführen (**Tabelle 1**):

- XC4(CH), XD1(CH) - XD3(CH): Wasserleitfähigkeit nach Norm SIA 262/1, Anhang A

¹ Um bei Expositionsklassen auf schweizerische Regelungen hinzuweisen, wird hinter der Expositionsklasse noch (CH) angegeben.

- XD2(CH), XD3(CH): Chloridwiderstand nach Norm SIA 262/1, Anhang B
- XF2(CH) - XF4(CH): Frostauszawiderstand nach Norm SIA 262/1, Anhang C.

Gemäss Angaben vom FSKB betrug in den letzten Jahren bei den NPK²-Betonen, die etwa 75 - 80 % des Gesamtausstosses der Betonwerke ausmachen, die Anteile von

- NPK A [XC1(CH), XC2(CH)]: ca. 50 %
- NPK B [XC3(CH)]: ca. 10 %
- NPK C [XC4(CH), XF1(CH), XD1(CH), XD2(CH)]: ca. 35 %
- NPK D und E [XD1(CH), XD2(CH), XF2(CH), XF3(CH)]: ca. 1 %
- NPK F und G [XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH)]: ca. 4 %.

Im Rahmen dieses Projektes wurde Beton für die Expositionsclassen XC4(CH) sowie XD(CH) und XF(CH) betrachtet, was etwa 40 % des Ausstosses von NPK-Betonen entspricht.

In **Abbildung 1** ist ersichtlich, dass sich die verwendeten Zementarten im Verlaufe der letzten Jahre stark änderten: Wurde Mitte der 1990er Jahre noch nahezu ausschliesslich Portlandzement (CEM I) verwendet, nahm seither der Anteil an CEM II-Zementen deutlich zu, wobei der Anteil von Portlandkalksteinzement (CEM II/A-LL) davon mehr als 90 % des CEM II-Zements beträgt.

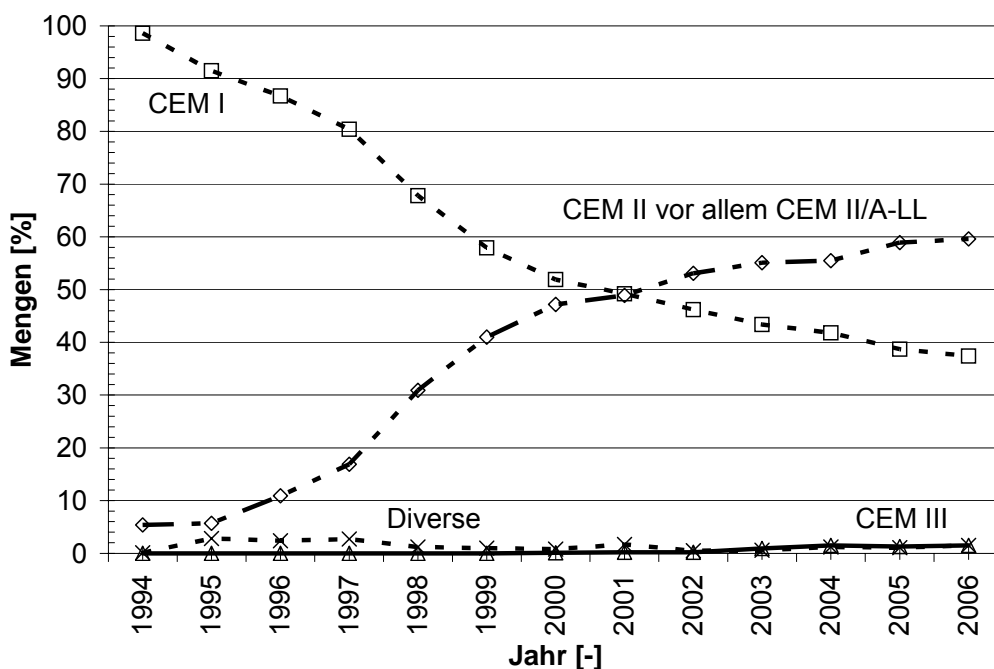


Abbildung 1: Verbrauch von verschiedenen Zementarten in der Schweiz über die Zeit.

Durch die Zulassung neuer Zementarten wurde **Tabelle 1** bereits mehrfach überarbeitet und wird auch zukünftig einem Überarbeitungsbedarf unterliegen. Zudem müssen die Vorgaben beispielsweise zum minimalen Zementgehalt oder maximalen w/z-Wert so weit auf der sicheren Seite liegen, dass bei Einhaltung aller in der Norm SN EN 206-1 erwähnten Möglichkeiten (u.a. auch Dosiergenauigkeit) und den lokal vorhandenen Betonausgangsstoffen dennoch immer eine ausreichende Dauerhaftigkeit gegeben ist.

² Betonsorten, die im Normenpositionskatalog 241 "Ortbetonbau" definiert sind.

Tabelle 1: Tabelle NA.3 der SN EN 206-1, Ausgabe vom 12.9.2006.

Tabelle NA.3: Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Beton mit einem Grösstkorn der Gesteinskörnung von 32 mm
Aktualisierung: 12. September 2006

Anforderungen an	Expositionsklassen											
	XO	Durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				Durch nicht aus Meerwasser stammenden Chloride verursachte Korrosion			Frostangriff			
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
Maximaler w/z-Wert [-]		0,65	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45
Mindestzementgehalt ^{a)} [kg/m ³]		280	280	280	300	300	300	320	300	300	300	340
Mindestluftgehalt [Vol.-%]											3,0 ^{b)}	
Prüfungen						SIA 262/1, Anhang A: Wasserleitfähigkeit				SIA 262/1, Anhang C: Frost-Tausalz-Widerstand		
							SIA 262/1, Anhang B: Chloridwiderstand					
Andere Anforderungen									SN EN 12620:2002 enthält Anforderungen an die Gesteinskörnungen			
Zulässige Zementarten ^{c)}	CEM I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-LL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (D-LL)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-LL ^{d)}	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	CEM II/A-D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM III/A	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
	CEM III/B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (V-LL) ¹⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-M (V-LL) ¹⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-T ²⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

- a) Ohne Anrechnung von Zusatzstoffen.
- b) Wird vom Ausschreibenden Beton ohne oder mit weniger künstlich eingeführten Luftporen bestellt, gelten bis auf den Mindestluftgehalt alle Anforderungen an die Zusammensetzung des Betons für die Expositionsklasse XF 4.
- c) „+“ bedeutet Verwendung zulässig, „-“ bedeutet Verwendung nicht zugelassen.
- d) Die Mindestzementgehalte sind um 20 kg/m³ zu erhöhen.
- 1) Hersteller: Holcim (Schweiz) AG, gemäss Entscheid der S-Cert AG, Schweizerische Zertifizierungsstelle für Bauprodukte, vom 7.10.2005.
- 2) Hersteller: Holcim (Baden-Württemberg) GmbH, gemäss Entscheid der S-Cert AG, Schweizerische Zertifizierungsstelle für Bauprodukte, vom 7.10.2005.

Durch den Einsatz von CEM II- und CEM III-Zementen sowie Zusatzstoffen des Typs II (z.B. Flugasche und Silikastaub) kommen dem minimalen Zementgehalt und dem maximalen w/z-Wert weniger Bedeutung bei der Bestimmung der Betoneigenschaften zu. Dies auch aus dem Grunde, dass die Anrechnung von Zusatzstoffen des Typs II über den k-Wert erfolgt, der auf der Druckfestigkeit, als Leitgrösse für die Festigkeit und eher untergeordnet der Dauerhaftigkeit, beruht (Wesche et al., Schiessl & Härdtl). Im schweizerischen Nationalen Anhang NC ist die "Anwendung des k-Wertansatzes gemäss dem Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit" für die Zementart CEM II/A-LL und Zusatzstoffe des Typs II geregelt. Hierbei wird sich auf die Druckfestigkeit und als Kenngrösse für die Dauerhaftigkeit nur die Wasserleitfähigkeit abgestützt.

In **Abbildung 2** ist beispielhaft für den Chloridmigrationskoeffizienten gezeigt, welchen Stellenwert der w/z- bzw. w/B-Wert³ (Bindemittel = Zement- + Zusatzstoffgehalt) aufweist. Je nach betrachtetem Bindemittel zeigt sich ein unterschiedlich grosser Einfluss des w/z- bzw. w/B-Wertes. Insgesamt kann der Einfluss der Bindemittelart grösser als der des w/z-Wertes sein: Ein Beton mit einem w/B-Wert von 0.50 mit Portlandzement und Silikastaub kann einen geringeren Chloridmigrationskoeffizienten als Beton nur mit Portlandzement und einem w/z-Wert von 0.40 aufweisen. Wegen diesem Sachverhalt stützen sich auch die Modelle zur Bemessung der Dauerhaftigkeit (z.B. Gehlen) auf die am Beton bestimmten Eigenschaften und nicht auf in den Normen zulässige Zusammensetzung (Grenzwerte) ab.

³ Die Verwendung des w/B-Wertes ist heute nicht zulässig. In der Norm SN EN 206-1 werden reaktive Zusatzstoffe mit dem k-Wert-Ansatz beim äquivalenten Wasserzementwert (w/z_{eq}) berücksichtigt.

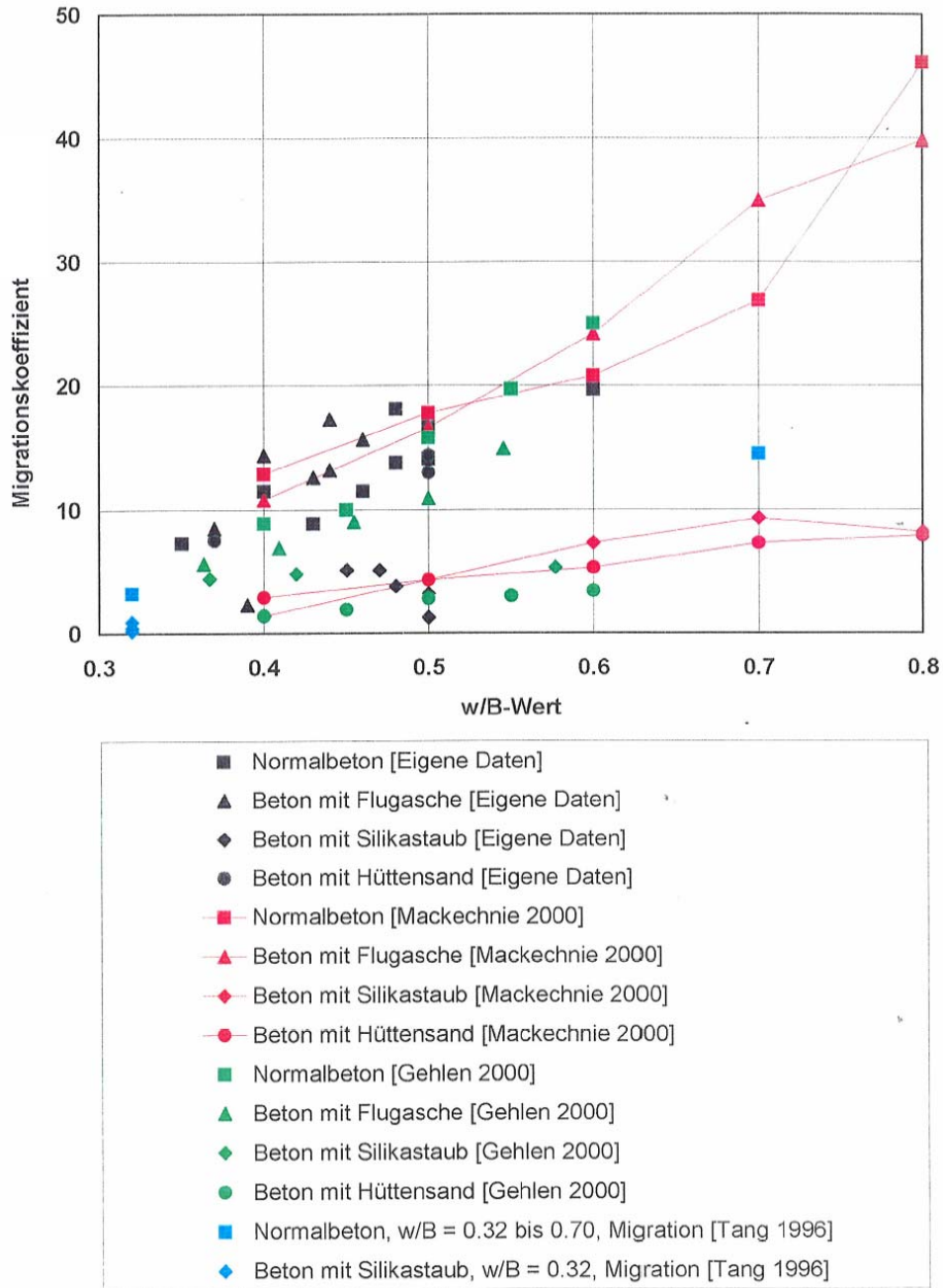


Abbildung 2: Chloridmigrationskoeffizient [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] von Beton in Abhängigkeit vom w/B-Wert [-] (B = Zement- + ggf. Zusatzstoffgehalt), aus Hunkeler et al. (2002).

2 Ziel des Projektes und Vorgehen

2.1 Ziel

Mit dem vorliegenden Projekt wurden eine vertiefte Auswertung und eine Bewertung der bei den Betonproduzenten anfallenden Ergebnisse der Dauerhaftigkeitsprüfungen vorgenommen. Damit konnten Angaben zu nachfolgenden Punkten gegeben werden:

- Hinweise zu Prüfmethode für die Expositionsklassen
- Grenzwerte für die genannten Prüfmethode in Abhängigkeit von den Expositionsklassen
- Anpassungsbedarf bei Prüfvorschriften
- Bildung von Betonfamilien (Gruppe ähnlicher Betonsorten, für die ein gemeinsames Konzept zur Prüfung und dem Konformitätsnachweis angewendet werden kann).

2.2 Vorgehen

An der Sitzung der Normenkommission SIA 162 am 20.6.2002 wurde der Projektantrag unterstützt und als notwendig für die geplante Umsetzung der SN EN 206-1 mit dem leistungsbezogenen Prüfverfahren beurteilt.

Zur Erhebung der Daten in den Betonwerken wurde ein Fragebogen (Anhang B) ausgearbeitet und mit der Begleitgruppe besprochen. Die Begleitgruppe bestand neben den Projektnehmern aus Vertretern der finanzierenden Verbände (ASTRA, cemsuisse, FSHBZ, FSKB, SBV, SIA). Im März 2004 fand die erste, im Januar 2005 die zweite, im Januar 2006 die dritte und im Frühjahr (bis einschliesslich Mai) 2007 die vierte und letzte Datenerhebung statt. Die Daten wurden von den Betonwerken direkt der EMPA zugestellt, dort anonymisiert und anschliessend der TFB und EMPA zur weiteren Auswertung gegeben. Der Fortgang des Projektes und die Auswertung der Daten wurde an fünf Sitzungen (2003 - 2007) mit der o.g. Begleitgruppe und seit Projektbeginn in einem halbjährlichen Turnus mit der Begleitgruppe BK A vom ASTRA besprochen.

Die TFB leitete das Projekt insgesamt und führte die Auswertung bei den Expositionsklassen XC4(CH) und XD2(CH), XD3(CH) durch. Die EMPA erhielt die Daten, anonymisierte diese, leitete sie an die TFB weiter und wertete die Daten zu den Expositionsklassen XF2(CH) - XF4(CH) aus. Der Abschlussbericht wurde gemeinsam verfasst.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeines zu den Daten

Insgesamt wurden der EMPA 1555 Datensätze zugestellt (**Tabelle 2**). Die Daten stammen ausschliesslich von Betonwerken aus den Jahren 2004 bis Mitte 2007. Da teilweise die Daten von einer Betonwerkgruppe zusammen abgegeben wurden, kann nicht ausgesagt werden, von wie vielen Betonwerken und aus welchen Regionen die Daten stammen. Es wird geschätzt, dass die Daten von 80 - 100 Betonwerken stammen. Die Daten decken sehr wahrscheinlich weite Teile der Schweiz ab; wie viele Daten aus dem Tessin und Graubünden vorliegen, kann nicht beurteilt werden. Es konnte mit den Daten nicht beurteilt werden, ob ein Einfluss des Prüflabors oder des Betonwerks auf die Ergebnisse der Prüfungen in der Form vorliegt, dass beispielsweise die Ergebnisse eines Labors/Betonwerks auffallen.

Tabelle 2: Überblick über die zur Verfügung gestellten Daten.

Datensätze mit Angaben	Anzahl [-]
- zum Zementgehalt	1555
- zum w/z-Wert	1545
- zur Druckfestigkeit	1499
- zur Wasserleitfähigkeit	1349
- zum Chloridwiderstand	605
- zum Frosttausalz-widerstand	459

Bei vielen Datensätzen ist ein w/z-Wert angegeben, der bei der Frischbetonkontrolle bestimmt wurde. Gemäss SN EN 206-1 ist der w/z-Wert aus dem Chargenprotokoll zu bestimmen. Da zwischen beiden Arten der w/z-Wertbestimmung kein grundsätzlicher Unterschied bestehen sollte, wurde der angegebene w/z-Wert verwendet.

Manche Daten entsprechen auf Grund der Angaben zur Betonzusammensetzung nicht der angegebenen Expositions-kategorie. Diese Daten werden in manchen Abbildungen als "nicht EN konform" separat ausgewiesen. In **Abbildung 3** fällt auf, dass nicht wenige Werte dieser Daten im Vergleich zu den w/z-Werten relativ hohe Druckfestigkeiten aufweisen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die w/z-Wertangabe in den Daten nicht immer korrekt ist. Da jedoch nicht alle Angaben zur Nachrechnung des w/z- bzw. w/z_{eq} -Wertes vorlagen, können die Werte nicht überprüft werden. Bei manchen Datensätzen wurde versuchsweise angenommen, dass nicht der w/z_{eq} sondern der w/z-Wert angegeben wurde. Wurden die teilweise angegebenen Zusatzstoffgehalte bei der Berechnung berücksichtigt, waren die w/z_{eq} -Werte konform mit den Anforderungen der Expositions-kategorie. D.h. es bestehen Hinweise auf mögliche Fehlangaben bzw. Missverständnisse. Mit dem leistungsbezogenem Entwurfsverfahren wären auch Betonzusammensetzungen zugelassen, die heute gemäss Tabelle NA.3 nicht zulässig wären. Auch deshalb wurden diese eventuell „nicht EN konformen“ Daten bei der weiteren Auswertung berücksichtigt.

Ein weiterer, so genannter "unvollständiger Datensatz", wurde separat ausgewiesen. Hier fehlen immer die Angaben zur Expositions-kategorie. Zu diesen Daten liegen zumeist Ergebnisse von Wasserleitfähigkeitsprüfungen vor und wurden bei der Auswertung berücksichtigt.

Bei den Ergebnissen zur Wasserleitfähigkeit fällt ein Beton mit einer Wasserleitfähigkeit von $17 \text{ g/m}^2 \text{ h}$ auf. Dieser Beton zeichnet sich auch beim Chloridwiderstand mit einem hohen Wert von $15.5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ aus. Ein weiterer Beton fällt mit einem sehr hohen Chloridwiderstand von $28 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ auf. Diese Betone wurden bei den nachfolgenden Abbildungen nicht berücksichtigt.

Bei zukünftigen Datenerhebungen mit ähnlicher Fragestellung sollte angegeben werden, von welchem Betonwerk die Daten und ggf. Prüflabor stammen. Auch sollten so viele Daten pro

Beton erhoben werden, dass nachträglich überprüft werden kann, ob die Betone z.B. normkonform sind oder damit Ausreisser bei Prüfergebnissen erklärt werden können.

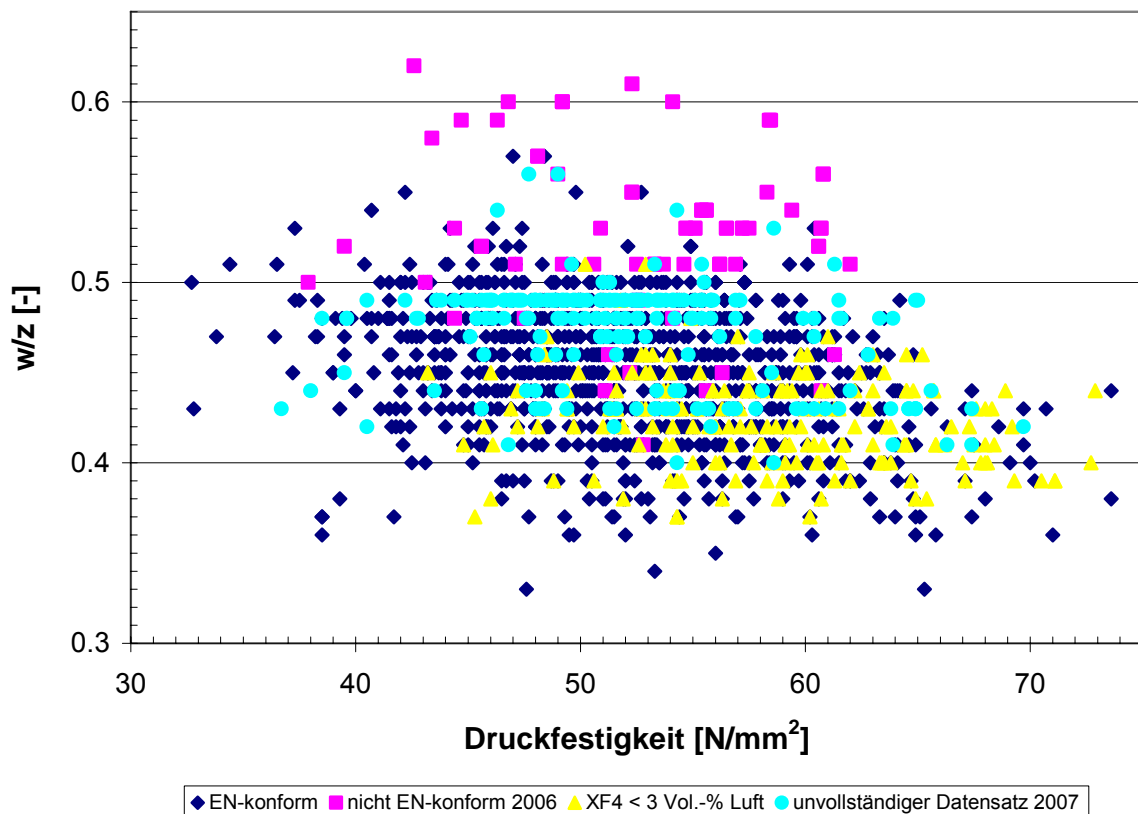


Abbildung 3: Druckfestigkeit und w/z - bzw. w/z_{eq} -Werte gemäss Angaben der Betonwerke.

3.2 Wasserleitfähigkeit

3.2.1 Prüfvorschrift

Die Prüfung, die aus der Bestimmung der Wasserleitfähigkeit und Porosität besteht, ist in Anhang A der Norm SIA 262/1 beschrieben. Die Prüfung war bereits, jedoch sehr rudimentär beschrieben, in der Norm SIA 162/1 von 1989 als Nr. 5 (Wasserleitfähigkeit) und Nr. 7 (Porosität) enthalten. Im Jahr 2000 wurden auf Grund eines Ringversuchs vom VPL (Schweizerische Vereinigung Privater Labors für Baustoffprüfung und Forschung; heute: VAB, Verband Akkreditierter Baustoffprüflabors) Änderungen am Prüfverfahren beschlossen, und von den Mitgliedern des VPL umgesetzt. 2003 erschien die Norm SIA 262/1, die sich auch auf die Erkenntnisse des VPL-Ringversuchs von 2000 abstützte. Mit Datum vom 30.5.2005 wurde eine kleine Korrektur bei der Prüfung nach Norm SIA 262/1, Anhang A, in der letzten Formel auf S. 19 publiziert. Die Prüfung beginnt 28 Tage nach der Betonherstellung und dauert 16 Tage (ohne Auswertung). Gemäss der Norm SIA 262/1 betragen die Wiederholstandardabweichung $0.5 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ und die Vergleichsstandardabweichung $1.5 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$.

In Tabelle 6 der Norm SIA 262/1 ist unter Anhaltspunkt zur Beurteilung der Prüfergebnisse Folgendes festgehalten:

- In der Regel gewährleistet ein Beton mit $q_w \leq 10 \text{ g/(m}^2 \text{ h)}$ bei nicht drückendem Wasser und einer Lufttemperatur im Raum von mindestens $15 \text{ }^\circ\text{C}$ trockene Innenwände und wird als wasserdicht beurteilt.

3.2.2 Daten

In **Abbildung 4** ist für 1349 Betone die Wasserleitfähigkeit gegenüber dem w/z - bzw. w/z_{eq} -Wert aufgetragen. Dabei zeigt sich kein klarer Zusammenhang.

Die 81 Datensätze "nicht EN-konform" fallen teilweise bei den w/z -Werten (da teilweise w/z -Werte > 0.50), jedoch nicht bei den Wasserleitfähigkeiten, auf. Diverse der "nicht EN-konformen" Betone mit w/z -Werten > 0.50 enthalten Flugasche (**Abbildung A- 1** im Anhang A) und im Vergleich zu **Tabelle 1** zu niedrige Zementgehalte (**Abbildung A- 2**). Dies deutet darauf hin, dass eventuell teilweise bei der w/z_{eq} -Wertberechnung der Gehalt an Flugasche nicht berücksichtigt wurde.

Die 151 Datensätze "XF4(CH) < 3 Vol.-% Luftgehalt" wiesen tendenziell leicht geringere Wasserleitfähigkeiten als die übrigen Datensätze auf.

Fast alle Wasserleitfähigkeiten (> 99 %) liegen unterhalb von $10 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ (Anhaltswert in Norm SIA 262/1).

Zwischen der Bindemittelart (Zementart mit/ohne Zusatzstoffe) und der Wasserleitfähigkeit (**Abbildung A- 1**, **Tabelle-A 1**), dem Zementgehalt (**Abbildung A- 2**) oder dem Luftgehalt (**Abbildung A- 3**) zeigten sich bei den betrachteten Betonen keine klaren Zusammenhänge.

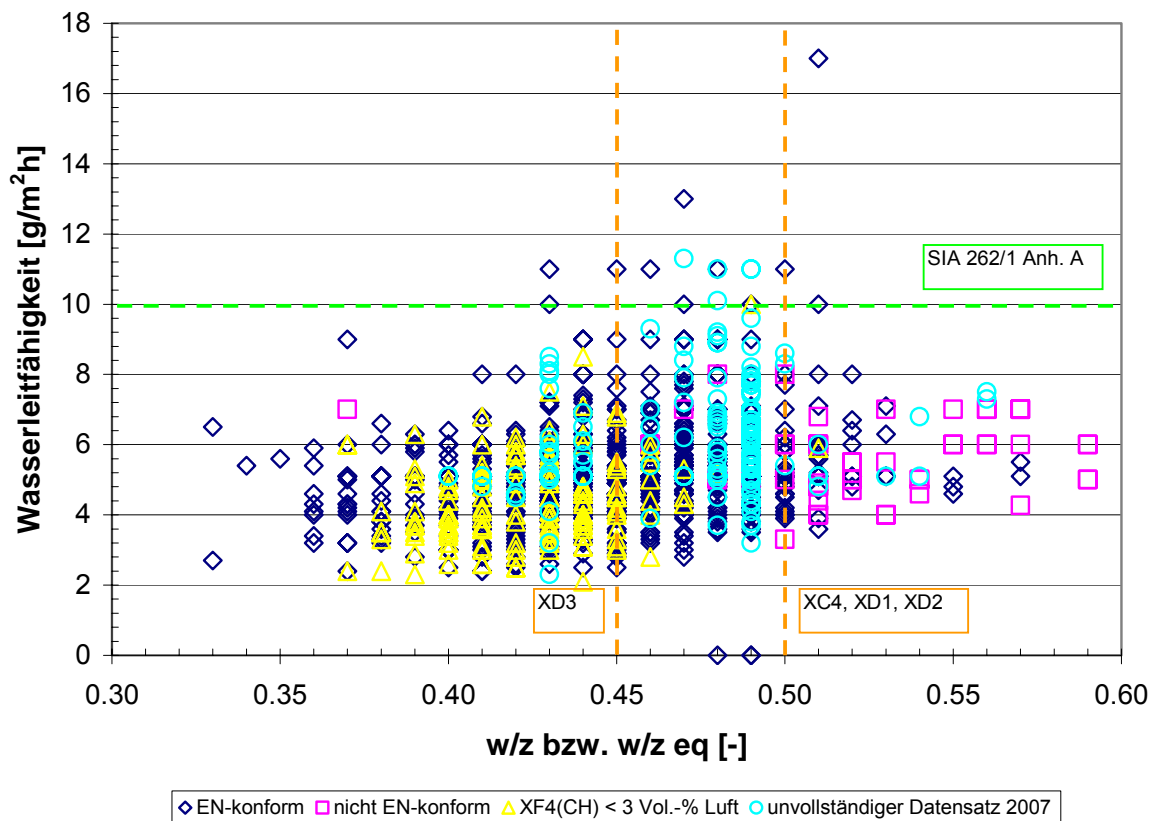


Abbildung 4: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom w/z - bzw. w/z_{eq} -Wert; zusätzlich sind mit Linien die maximalen w/z - bzw. w/z_{eq} -Werte für die untersuchten Expositionsklassen gemäss SN EN 206-1 sowie der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 für die Wasserleitfähigkeit eingetragen.

Zwischen der Wasserleitfähigkeit und der 28-Tage-Druckfestigkeit zeigt sich bei den analysierten Daten kein klarer Zusammenhang (**Abbildung 5**). Somit kann die Bestimmung der Druckfestigkeit nicht als Alternative zur Wasserleitfähigkeitsbestimmung erfolgen.

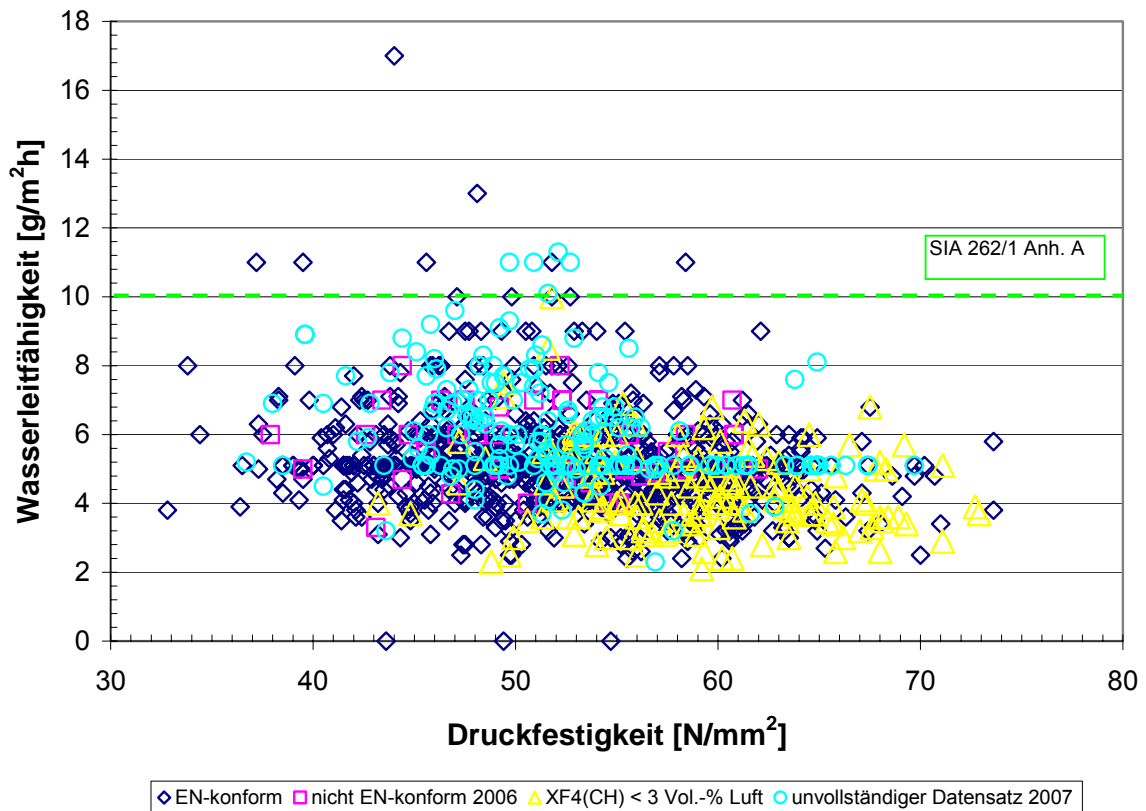


Abbildung 5: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit von der 28-Tage-Druckfestigkeit; zusätzlich ist der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 für die Wasserleitfähigkeit eingetragen.

3.2.3 Mögliche Grenzwerte

Es wird empfohlen den in der SIA 262/1 angegebenen Beurteilungswert von $10 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ für die Expositionsklassen XC4(CH) und XD1(CH) beizubehalten, da einerseits die untersuchten und heute zugelassenen Betone diesen Wert nahezu immer einhalten und andererseits keine Hinweise aus der Praxis vorliegen, dass dieser Wert zu korrigieren wäre. Um den Grenzwert von $10 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ in Anbetracht der Prüfstreuung (Vergleichsstandardabweichung von $1.5 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$) mit hoher Wahrscheinlichkeit einzuhalten, ist bei der Prüfung eine Wasserleitfähigkeit von maximal $8.5 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ anzustreben, was von ca. 97 % der untersuchten Betone erreicht wird (**Tabelle-A 1**).

Bei den Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) könnte auf die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit verzichtet werden (vgl. Abschnitt 3.3.2 auf S. 10ff).

3.2.4 Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift

Die Prüfung gibt einen Hinweis auf die Dichtigkeit von Beton bei nicht drückendem Wasser. Da die Dichtigkeit von Beton einen wesentlichen Einfluss auf den Eintrag an Schadstoffen wie Kohlendioxid und Tausalze in Beton hat, wird empfohlen die Prüfung bei Beton für die Expositionsklassen XC4(CH) und XD1(CH) durchzuführen.

Die Prüfung könnte in die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit und der Porosität aufgeteilt werden. Würde nur die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit vorgenommen, würde dies die Prüfdauer um etwa 5 Tage und die Kosten ebenfalls reduzieren.

3.3 Chloridwiderstand

3.3.1 Prüfvorschrift

Die Prüfvorschrift beruht auf umfangreichen Erfahrungen im Ausland und einem Forschungsprojekt im Inland (Hunkeler et al. 2002). Die Prüfung ist im Anhang B der Norm SIA 262/1 beschrieben und wurde 2003 publiziert. Sie wurde in der Schweiz vor 2004 nur vereinzelt angewandt. Es sind drei bis fünf Prüfkörper (je nach Grösstkorn im Beton) zu prüfen und die Einzelwerte und der Mittelwert sind im Prüfbericht anzugeben. Mit Datum vom 30.5.2005 wurden zwei kleine Korrekturen zur Norm SIA 262/1 publiziert. Die Prüfung beginnt 28 Tage nach der Betonherstellung und dauert 2 Tage (ohne Auswertung).

In Tabelle 6 der Norm SIA 262/1 sind keine Anhaltspunkte zur Beurteilung der Prüfergebnisse enthalten. In Hunkeler et al. (2002) sind folgende Empfehlungen enthalten:

- XD1(CH) (chloridhaltiger Sprühnebel):
 - Überdeckung 40 - 50 mm: $\leq 20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Überdeckung 70 - 80 mm: keine Anforderung ($\leq 40 - 60 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)
- XD2(CH) (dauernder Kontakt mit chloridhaltigem Wasser):
 - keine Angaben wegen mangelnder Erfahrung (Empfehlung wie XD3)
- XD3 (chloridhaltiges Spritzwasser oder Kontaktwasser (wechselnd)):
 - Überdeckung 40 - 50 mm: $\leq 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Überdeckung 70 - 80 mm: $\leq 20 - 30 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

In der Norm SIA 262 ist für die Expositionsklasse XD1(CH) eine Bewehrungsüberdeckung von 40 mm und für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) eine von 55 mm gefordert. D.h. die von Hunkeler et al. (2002) angegebenen Überdeckungen (Vorgaben ASTRA) weichen teilweise von der später (2003) publizierten Norm SIA 262 ab.

3.3.2 Daten

Zu 605 Betonen lagen Datensätze mit einem Chloridmigrationskoeffizient vor; 84 davon wiesen einen Luftgehalt von weniger als 3 Vol.-% auf, 7 waren wegen dem Zementgehalt und/oder dem w/z- bzw. w/z_{eq}-Wert "nicht EN konform". Von den Betonwerken wurden nur die mittleren Chloridmigrationskoeffizienten angegeben. In den nachfolgenden Abbildungen werden deshalb nur diese Mittelwerte und keine Einzelwerte verwendet.

In **Abbildung 6** ist der Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit vom w/z- bzw. w/z_{eq}-Wert und dem Bindemittel dargestellt. In **Abbildung A- 5** im Anhang ist **Abbildung 6**, getrennt nach Beton mit Zement CEM I und CEM II, dargestellt. Es zeigt sich kein ausgeprägter Zusammenhang zwischen dem Chloridmigrationskoeffizienten und dem w/z-Wert, jedoch einer mit dem Bindemittel.

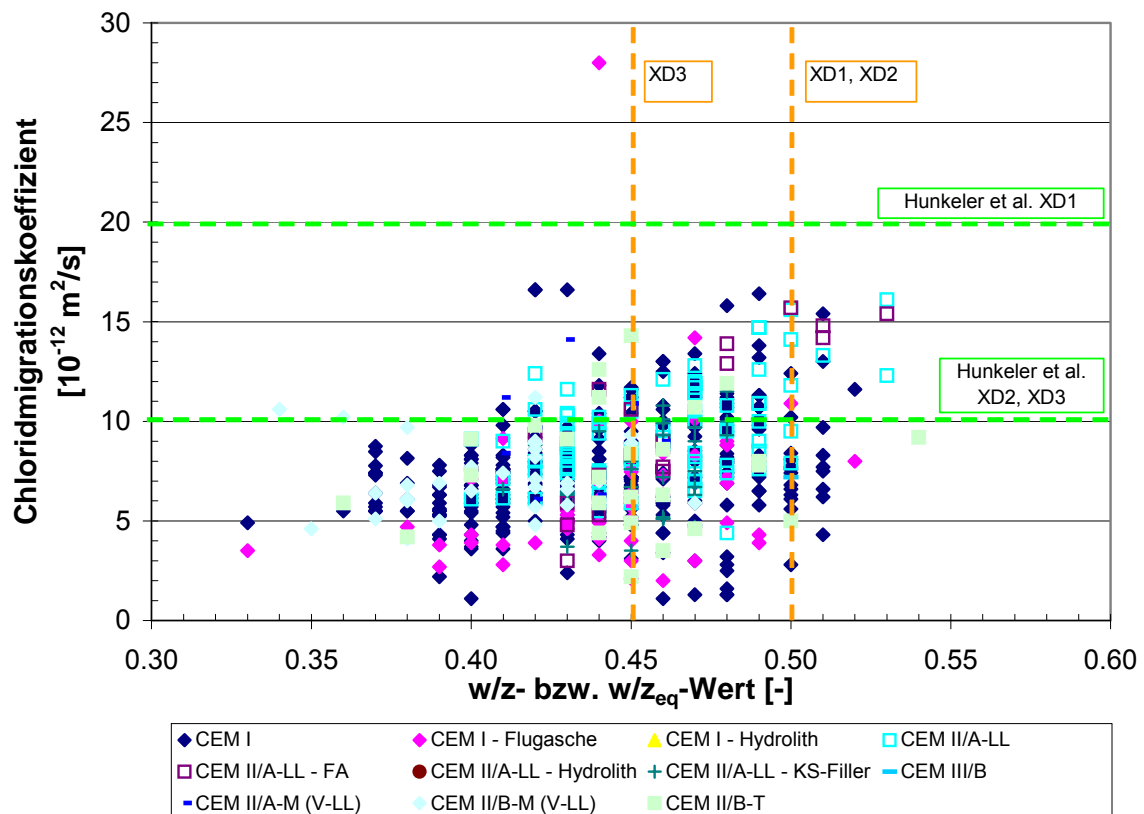


Abbildung 6: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit vom w/z - bzw. w/z_{eq} -Wert und dem Bindemittel; zusätzlich sind mit Linien die gemäss SN EN 206-1 maximal zulässigen w/z - bzw. w/z_{eq} -Werte für die untersuchten Expositionsklassen sowie von Hunkeler et al. (2002) empfohlene Werte für Einzelwerte eingetragen.

Um den Einfluss des Bindemittels auf den Chloridmigrationskoeffizienten genauer abzuklären, wurde eine weitergehende Auswertung vorgenommen, sofern mindestens 5 Ergebnisse pro Bindemittel vorlagen. Hierzu wurden die Datensätze zuerst den Expositionsklassen XD2(CH) oder XD3(CH) zugeordnet. Lag zu einem Datensatz ein Chloridmigrationskoeffizient jedoch keine Angabe einer Expositionsklasse vor, wurden dieser Datensatz aufgrund des w/z - bzw. w/z_{eq} -Wertes einer Expositionsklasse zugeordnet [w/z bzw. $w/z_{eq} \leq 0.45 \rightarrow$ XD3(CH); $0.46 \leq w/z$ bzw. $w/z_{eq} \leq 0.50 \rightarrow$ XD2(CH)]. 589 Betone wurden insgesamt näher ausgewertet, was fast 97 % der Betone entspricht, zu denen der Chloridmigrationskoeffizient angegeben wurde (Abbildung A- 7, Abbildung A- 8). Bei Beton für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) zeigt sich, dass

- an mehr Betonen ohne Angabe der Expositionsklasse XD2(CH) oder XD3(CH) als bei Betonen mit Angabe der Expositionsklasse XD2(CH) oder XD3(CH) der Chloridwiderstand bestimmt wurde.
- bei Betonen, die gemäss Betonwerk der Expositionsklasse XD3(CH) entsprechen, alle gemessenen Chloridmigrationskoeffizienten unterhalb von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ liegen.
- bei Betonen, die gemäss Betonwerk der Expositionsklasse XD2(CH) oder XD3(CH) entsprechen, weniger Bindemittelarten (nur jeweils drei: CEM I, CEM I + FA, CEM II/A-LL) bei der Herstellung verwendet wurden als bei Betonen, an denen der Chloridwiderstand ermittelt wurde, die jedoch nicht als XD2(CH)- oder XD3(CH)-Beton bezeichnet wurden.
- Betone nur mit CEM I zumeist niedrigere Chloridmigrationskoeffizienten als Betone nur mit CEM II/A-LL aufweisen. Untersuchungen von Lay (2006) und der TFB kamen zu vergleichbaren Ergebnissen.

- bei den Betonen für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) Flugasche keinen klaren Einfluss auf den Chloridmigrationskoeffizienten hatte.
- bei Betonen für die Expositionsklasse XD2(CH), auch bei gleichem Bindemittel, mehr Grenzwertüberschreitungen als bei Beton für die Expositionsklasse XD3(CH) auftreten. Dies kann auf den tieferen w/z-Wert der Betone für die Expositionsklasse XD3(CH) zurückgeführt werden.

Weder der Zementgehalt (im Bereich von ca. 300 - 450 kg/m³) noch der Luftgehalt (im Bereich von ca. 0.5 - 7 Vol.-%) haben bei den untersuchten Daten einen Einfluss auf den Chloridmigrationskoeffizienten (**Abbildung A- 4, Abbildung A- 6**).

Zwischen der Wasserleitfähigkeit und dem Chloridmigrationskoeffizienten zeigt sich kein Zusammenhang (**Abbildung 7**). Dies bedeutet, dass die Prüfung des Chloridwiderstandes nicht durch die Wasserleitfähigkeitsprüfung ersetzt werden kann. Da Beton mit einem Chloridmigrationskoeffizienten von maximal $10 \cdot 10^{-12}$ m²/s fast immer (3 Messpunkte bei 11 g/m² h) eine Wasserleitfähigkeit von weniger als 10 g/m² h aufweist, könnte gemäss diesen Daten auf die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit bei Beton für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) verzichtet werden, wenn der Grenzwert für den Chloridmigrationskoeffizienten maximal $10 \cdot 10^{-12}$ m²/s beträgt.

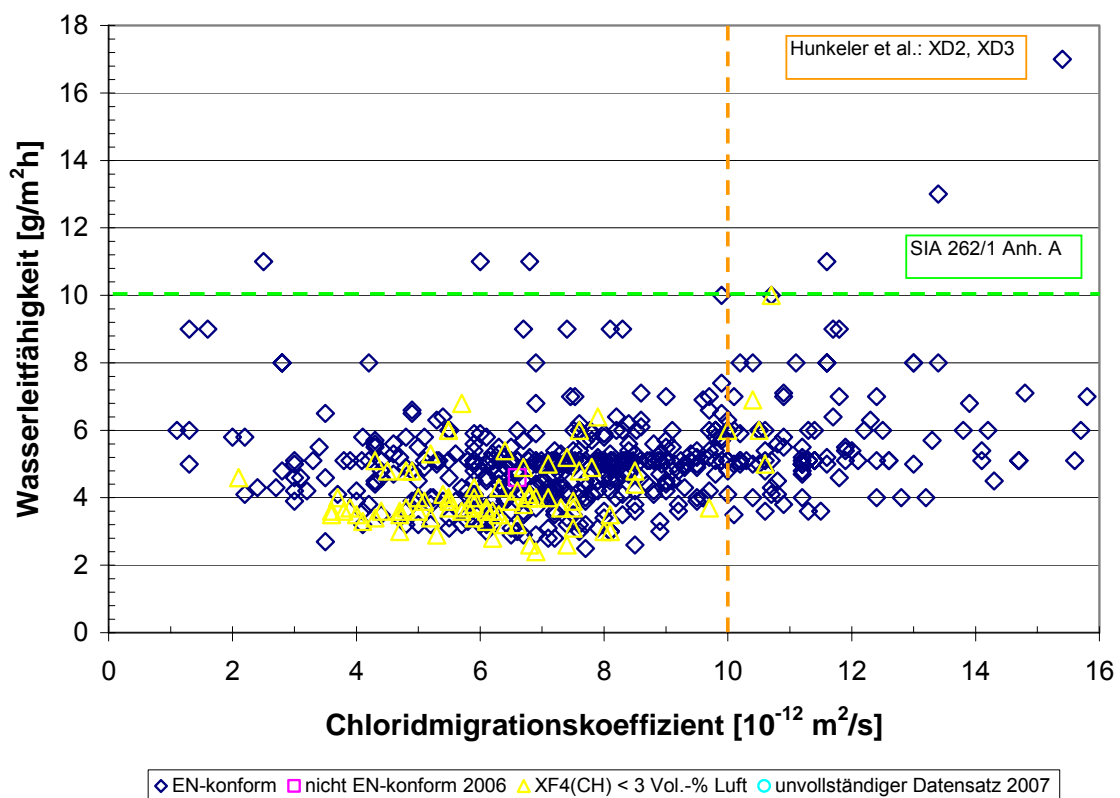


Abbildung 7: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit von der Wasserleitfähigkeit; zusätzlich sind für die Wasserleitfähigkeit Beurteilungswerte aus der Norm SIA 262/1 und von Hunkeler et al. (2002) für Einzelwerte des Chloridmigrationskoeffizienten eingetragen.

Zwischen dem Chloridmigrationskoeffizienten und der 28-Tage-Druckfestigkeit zeigt sich ein geringer Zusammenhang (**Abbildung 8**) in der Form, dass mit zunehmender Festigkeit der Chloridmigrationskoeffizient tendenziell abnimmt. Um einen Chloridmigrationskoeffizienten von beispielsweise $10 \cdot 10^{-12}$ m²/s sicher zu gewährleisten, müsste die mittlere Druckfestigkeit bei mindestens 60 N/mm² liegen.

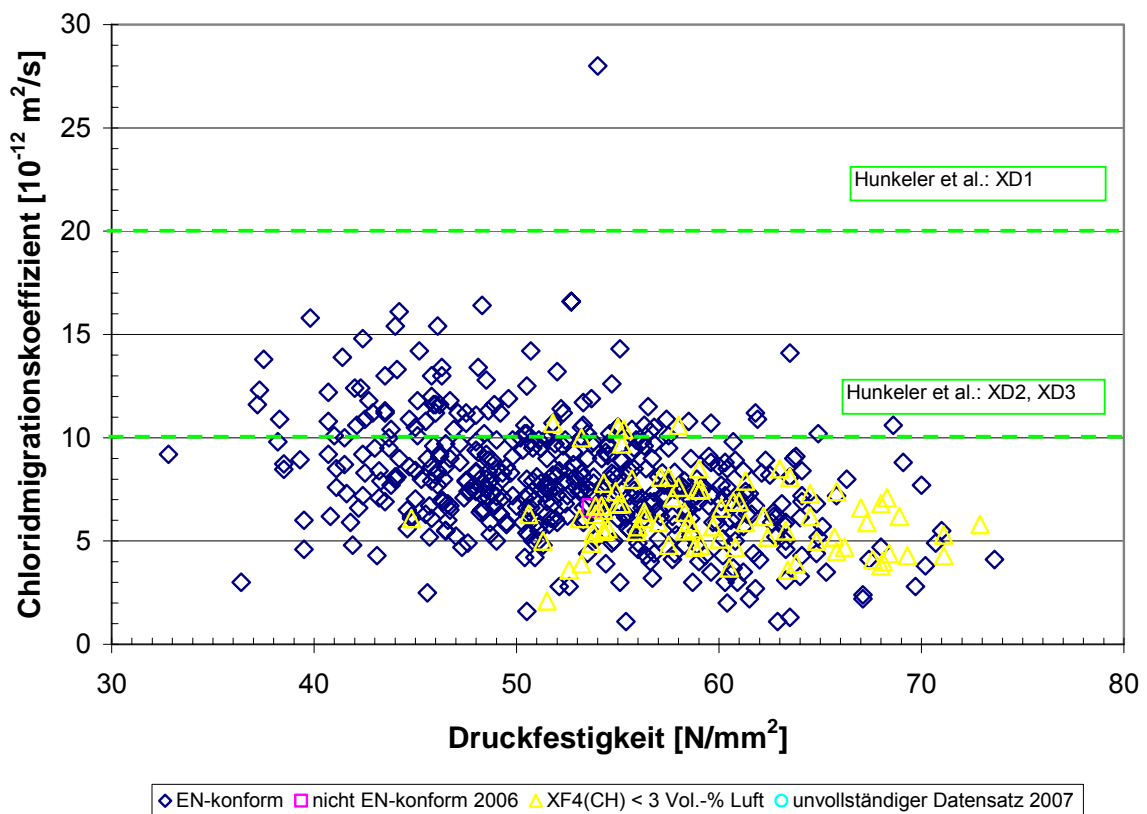


Abbildung 8: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit von der 28-Tage-Druckfestigkeit; zusätzlich sind mit Linien empfohlene Werte für Einzelwerte aus Hunkeler et al. (2002) eingetragen.

3.3.3 Mögliche Grenzwerte

Mögliche Grenzwerte für den Chloridmigrationskoeffizient und die betrachteten Expositionsklassen sind gemäss Hunkeler et al. (2002):

- XD1(CH): alle Einzelwerte einer Serie gemäss Norm SIA 262/1 $\leq 20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- XD2(CH): alle Einzelwerte einer Serie gemäss Norm SIA 262/1 $\leq 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- XD3(CH): alle Einzelwerte einer Serie gemäss Norm SIA 262/1 $\leq 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Bei den in **Tabelle 1** aufgeführten Anforderungen an die Betonzusammensetzung werden für die Expositionsklassen XD1(CH) und XD2(CH) die gleichen und für XD3(CH) höhere Anforderungen gestellt (z.B. höhere Zementgehalte, niedrigere w/z-Werte). Im Gegensatz dazu werden in Hunkeler et al. (2002) für den Chloridmigrationskoeffizienten und in der Norm SIA 262 für die Bewehrungsüberdeckung für XD2(CH) und XD3(CH) gleiche und für XD1(CH) geringere Anforderungen gestellt.

Da die Beurteilungswerte von Hunkeler et al. (2002) für den Einzelwert und nicht für den Mittelwert gelten, galt es abzuschätzen, wie gross die Mittelwerte sein dürfen, wenn ein Einzelwert den Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ einhalten soll. Wird von einer Normalverteilung ausgegangen, liegen

- im Bereich Mittelwert ± 1 Standardabweichung etwa 68 % aller Werte
- oberhalb des Bereichs Mittelwert + 1 Standardabweichung etwa 16 % aller Werte
- im Bereich Mittelwert ± 2 Standardabweichungen etwa 95.5 % aller Werte
- oberhalb des Bereichs Mittelwert + 2 Standardabweichung etwa 2.25 % aller Werte

Gemäss verschiedener Untersuchungen (Abschnitt 3.3.4) beträgt bei der Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten nach Norm SIA 262/1 die Vergleichbarkeit etwa 35 %. **Tabelle 3** enthält für Mittelwerte von 7 bis $11 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ die Werte, die sich aus dem Mittelwert plus eine bzw. zwei Standardabweichungen ergeben. Bei einem angenommenen Mittelwert von etwa $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ beträgt die Standardabweichung $2.5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$; 16 % aller Werte liegen oberhalb des Bereichs Mittelwert + 1 Standardabweichung, d.h. höher als $9.5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Um mit hoher Wahrscheinlichkeit (84 %) den Grenzwert für den Einzelwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ einzuhalten, müsste somit der Mittelwert bei maximal etwa $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ liegen.

Tabelle 3: Bereiche für verschiedene mittlere Chloridmigrationskoeffizienten bei konstanter Vergleichbarkeit bei einer angenommenen Normalverteilung.

Mittelwert m [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Vergleichbarkeit [%]	Standardabweichung σ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	m + 1 σ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	m + 2 σ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]
7	35	2.5	9.5	11.9
8		2.8	10.8	13.6
9		3.2	12.2	15.3
10		3.5	13.5	17.0
11		3.9	14.9	18.7

In Hansen et al. (2006) werden für Betone, die Meerwasser ausgesetzt werden können (entspricht der Expositionsklasse XS), notwendige Mittelwerte für der Chloridmigrationskoeffizienten angegeben. Danach ergab sich folgende Klassifikation:

- nicht akzeptabel: $> 16 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- akzeptabel: $8 - 16 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- gut: $2 - 8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- sehr gut: $< 2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Die von Hansen et al. (2006) betrachteten Expositionsbedingungen entsprechen ungefähr der Expositionsklasse XD. "Akzeptable" Chloridmigrationskoeffizienten (für den Mittelwert) liegen ungefähr bei den von Hunkeler et al. (2002) vorgeschlagenen Werten (Mittelwerte abgeleitet aus den Einzelwerten) für die Expositionsklasse XD1(CH) und "gute" Chloridmigrationskoeffizienten entsprechen ungefähr den Werten für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH). Somit stimmen die Aussagen der Autoren beider Quellen im Wesentlichen überein.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat das Merkblatt "Chlorideindringwiderstand von Beton" herausgegeben. Darin wird eine zur Norm SIA 262/1, Anhang B, analoge Prüfung beschrieben. Die Prüfung dient dem Nachweis, dass auch von den Vorgaben der BAW abweichende Zementarten bzw. Bindemittelkombinationen in den betrachteten Expositionsklassen verwendet werden können. Folgende Chloridmigrationskoeffizienten werden in Abhängigkeit von den Expositionsklassen⁴ gefordert:

- XD1(D), XS1(D): Mittelwert $\leq 10.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$; grösster Einzelwert $\leq 12.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- XD2(D), XS2(D): Mittelwert $\leq 10.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$; grösster Einzelwert $\leq 12.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- XD3(D), XS3(D): Mittelwert $\leq 5.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$; grösster Einzelwert $\leq 7.0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

Die BAW schreibt somit im Vergleich zu Hunkeler et al. (2002) und Hansen et al. (2006) strengere Anforderungen an den Chloridmigrationskoeffizienten bei den Expositionsklassen XD1 - 3 vor. Untersuchungen von Ungricht (2004) deuten ebenfalls darauf hin, dass die von Hunkeler et al. (2002) vorgeschlagenen Werte für XD3(CH) auf keinen Fall erhöht, sondern allenfalls zu tieferen Werten zu korrigieren wären.

⁴ Da es sich um deutsche Regelungen zur EN 206-1 handelt, ist bei den Expositionsklassen ein (D) angegeben.

Gemäss der o.g. Fachliteratur wären für die Expositionsclassen XD1(CH), XD2(CH) und XD3(CH) Grenzwerte für den Mittelwert bei etwa 7 bis $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ festzulegen. **Tabelle 4** enthält eine Zusammenstellung dieser möglichen Grenzwerte (des Mittelwertes) für die Betone, aufgeschlüsselt nach Expositionsklasse und Bindemittel. Danach wird beispielsweise der potentielle Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ für Beton für die Expositionsclassen XD3(CH) bei 91 % und XD2(CH) bei 68 % aller Mittelwerte eingehalten. Werden nur die Datensätze betrachtet, bei denen die Betonwerke die Expositionsclassen angaben, halten

- alle Betone für XD3(CH) und
- etwa 95 % der Betone für XD2(CH) den potentiellen Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ein.

Tabelle 4: Einfluss des Bindemittels auf die Einhaltung der potentiellen Grenzwerte (Mittelwerte) von $7 - 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$; es werden nur Bindemittel dargestellt, zu denen mindestens 5 Ergebnisse vorlagen; FA = Flugasche; KS = Kalksteinmehl.

Expositions- klasse	Bindemittel	Anzahl Datensätze				
		insge- samt [-]	potent. Grenzwert [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]			
			10	9	8	7
mit Überschreitung [-]						
XD2(CH)	CEM I*	21	5	8	13	17
	CEM I ($0.46 \leq w/z \leq 0.50$)**	105	31	43	52	69
	CEM I + FA*	18	5	5	9	12
	CEM I + FA ($0.46 \leq w/z \leq 0.50$)**	11	3	3	5	6
	CEM III/A-LL*,***	17	13	13	13	15
	CEM III/A-LL ($0.46 \leq w/z \leq 0.50$)**	30	10	17	22	26
	CEM III/A-LL + KS ($0.46 \leq w/z \leq 0.50$)**	17	3	8	9	11
	CEM III/A-LL + FA ($0.46 \leq w/z \leq 0.50$)**	9	5	5	6	9
	CEM III/B-T*	10	2	3	4	6
	Alle oben genannten Bindemittel	238	32 %	44 %	56 %	72 %
XD3(CH)	CEM I*	33	0	0	9	17
	CEM I ($w/z \leq 0.45$)**	171	16	25	42	78
	CEM I + FA*	10	0	5	5	7
	CEM I + FA ($w/z \leq 0.45$)**	29	1	2	3	5
	CEM III/A-LL*	7	0	1	4	6
	CEM III/A-LL ($w/z \leq 0.45$)**	27	5	9	16	21
	CEM III/A-LL + FA ($w/z \leq 0.45$)**	8	2	3	3	4
	CEM III/A-LL + KS ($w/z \leq 0.45$)**	13	0	1	3	6
	CEM III/A-M (V-LL) ($w/z \leq 0.45$)**	5	0	0	0	0
	CEM III/B-M (V-LL) ($w/z \leq 0.45$)**	32	3	5	10	13
	CEM III/B-T ($w/z \leq 0.45$)**	16	3	6	7	9
Alle oben genannten Bindemittel	351	9 %	16 %	29 %	47 %	

*Expositionsklasse gemäss Angabe Betonwerk; z.T. war bei XD2(CH) w/z-Wert < 0.46

**keine Angabe der Expositionsklasse XD(CH) in den Datensätzen; Expositionsklasse aus w/z-Wert abgeleitet.

***Die Daten stammen überwiegend von zwei Betonwerken bzw. Betonwerksgruppen. Die für die Betone angegebenen Daten zeigen keine Auffälligkeiten, mit denen die hohen Chloridmigrationskoeffizienten erklärbar wären.

Tabelle 5 fasst empfohlene Grenzwerte für die Expositionsklassen XD1(CH) - XD3(CH) zusammen. Dabei liegt zugrunde, dass die in der SIA 262 geforderte Bewehrungsüberdeckung eingehalten wird und auch sonst der Einbau und die Nachbehandlung normkonform erfolgen. Alle Grenzwerte beziehen sich auf den Mittelwert einer nach SIA 262/1 zu prüfenden Serie von Prüfkörpern. Für die Expositionsklasse

- XD1(CH) sollte gemäss Hunkeler et al. (2002), Hansen et al. (2006) und BAW der Grenzwert bei ca. $15 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ liegen. Da einerseits bei dieser Expositionsklasse der Eintrag von nennenswerten Mengen an Chloriden und somit das tausalzinduzierte Risiko der Bewehrungskorrosion als gering erachtet wird und andererseits die Prüfung des Chloridwiderstandes nicht geringe Kosten verursacht, wird vorgeschlagen auf die Bestimmung des Chloridwiderstandes bei dieser Expositionsklasse zu verzichten. Bei der Expositionsklasse XD1(CH) soll jedoch die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit erfolgen, um einen ausreichend dichten Beton zu erhalten.
- XD2(CH) wird ein Grenzwert für den Mittelwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ vorgeschlagen. Dieser Grenzwert entspricht ungefähr (da keine Anforderung an den Einzelwert) dem Grenzwert der BAW und ist höher als der von Hunkeler et al. vorgeschlagene Wert für XD3(CH) von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ für jeden Einzelwert. Dies erscheint gerechtfertigt, da bei der Expositionsklasse XD2(CH) die Wahrscheinlichkeit eines Chlorideintrags in Beton im Vergleich zur Expositionsklasse XD3(CH) als geringer beurteilt wird und somit ein höherer (weniger strenger) Grenzwert, als von Hunkeler et al. (2002) vorgeschlagen wurde, akzeptabel erscheint. Gemäss den Angaben in **Tabelle 4** wird der Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ von 68 % aller Betone für XD2(CH) (bzw. ca. 95 % der als XD2(CH)-spezifizierten Betone) eingehalten. Somit bedeutet dies eine gewisse Verschärfung der heutigen Anforderungen.
- XD3(CH) müsste gemäss Hunkeler et al. (2002), Hansen et al. (2006) und BAW ein Grenzwert im Bereich von ca. 5-bis $8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ vorgeschlagen werden. In Abweichung davon wird für den Mittelwert ein Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ vorgeschlagen, da
 - ein niedrigerer Grenzwert nur von Beton erreicht werden kann, der eine sehr spezielle Zusammensetzung aufweist und somit in der Praxis nicht überall hergestellt werden könnte.
 - dieser Grenzwert von 91 % aller Betone bzw. 100 % aller für XD3(CH) spezifizierten Betone eingehalten wird.
 - auch dieser Grenzwert eine (geringe) Verschärfung der heutigen Anforderungen bedeutet.

Bei der Festlegung der Grenzwerte für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) wurde besonders auf eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton geachtet. Die vorgeschlagenen Grenzwerte sollen eine gute Verarbeitbarkeit des Betons auf der Baustelle gewährleisten, d.h. es sollte zu weniger Fehlstellen in Betonbauteilen führen. Die in **Tabelle 5** aufgeführten Grenzwerte würden zu einer Verbesserung der heutigen Situation führen, wenn zukünftig alle Betone für XD2(CH) und XD3(CH) die vorgeschlagenen Grenzwerte einhalten müssten. Demgegenüber ist klar, dass die vorgeschlagenen Grenzwerte eher höher als die in der Fachliteratur genannten Grenzwerte sind und deshalb Instandsetzungen vor Ablauf der geplanten Nutzungsdauer von 50 Jahren zumindest teilweise notwendig sein werden.

Auf die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit kann bei den Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) verzichtet werden, da gemäss **Abbildung 7** die untersuchten Betone in 99 % der Fälle (5 von 605) eine Wasserleitfähigkeit von nicht mehr als $10 \text{ g}/\text{m}^2\text{h}$ aufwiesen.

Tabelle 5: Vorgeschlagene Prüfungen und Grenzwerte für die Expositionsklassen XD1(CH) - XD3(CH).

Expositions- klasse	Prüfung nach SIA 262/1	Grenzwert für Mittelwerte einer Serie gemäss Norm SIA 262/1
XD1(CH)	Wasserleitfähigkeit	10 g/m ² ·h
XD2(CH)	Chloridwiderstand	10·10 ⁻¹² m ² /s
XD3(CH)		10·10 ⁻¹² m ² /s

3.3.4 Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift

Die Prüfung zeigt den deutlichen Einfluss des Bindemittels auf den Chloridwiderstand auf. Der Chloridwiderstand ist eine wesentliche Einflussgrösse für den Chlorideintrag und somit die Bewehrungskorrosion bei Beton. Deshalb wird empfohlen diese Prüfung an Beton für die Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) durchzuführen.

Zur Genauigkeit der Prüfung liegen in der Norm SIA 262/1 keine Angaben vor. In Castellote & Andrade (2006) sind folgende Angaben enthalten:

- Wiederholbarkeit: 13 - 20 %
- Vergleichbarkeit: 34 - 37 %

Im VAB-Ringversuch 2004 und Hunkeler et al. (2002) wurden ähnliche Genauigkeiten ermittelt.

In Abschnitt B.6 der Norm SIA 262, 1, Anhang B, sollte Folgendes präzisiert bzw. ergänzt werden:

- Die Prüffläche muss eine Schnittfläche sein.
- Nach der Prüfkörpervorbereitung (Bohren, Sägen) kann auf die 24-stündige Lagerung der halb eingetauchten Prüfkörper verzichtet werden, sofern während der Prüfkörpervorbereitung die Probe bzw. der Prüfkörper maximal 1 Stunde ausserhalb von Wasser lagerte.

Bei der Verwendung langsam reagierender Bindemittel (Zement, Zusatzstoffe des Typs II) ist zu prüfen, ob ein höheres Prüfalter als 28 Tage in Ausnahmefällen akzeptabel wäre.

Es liegt ein Entwurf einer europäischen Vorschrift für diese Prüfung vor (EU-Projekt Chlortest). In diesem Entwurf sind abweichend zur Norm SIA 262/1 folgende Punkte aufgeführt:

- Die Proben werden vakuumgesättigt (statt Lagerung unter Wasser).
- Es wird eine Spannung von 30 V (statt 20 V) angelegt. Direkt anschliessend wird der Stromfluss durch jede Probe gemessen. Aus einer Tabelle kann abgelesen werden, ob eventuell die Spannung zu erhöhen oder erniedrigen wäre, damit der Versuch zumeist nach 24 Stunden beendet werden kann.

Es wird empfohlen, die Einstellung der Spannung vom EU-Projekt zu übernehmen. Es ist abzuklären, ob und ggf. wann eine europäische Prüfvorschrift herausgegeben wird.

3.4 Frost-Tausalz widerstand

3.4.1 Prüfvorschrift

Die Prüfung war bereits, jedoch nur mit rudimentärer Beschreibung, Bestandteil der Norm SIA 162/1 von 1989 (Prüfung Nr. 9). Im Jahr 1998 wurden auf Grund eines Ringversuchs vom VPL (Schweizerische Vereinigung Privater Labors für Baustoffprüfung und Forschung; heute: VAB, Verband Akkreditierter Baustoffprüflabors) Änderungen am Prüfverfahren beschlossen und von den Mitgliedern umgesetzt. Die Prüfung ist im Anhang C der 2003 publizierten Norm SIA 262/1 beschrieben. Mit Datum vom 30.5.2005 wurden zwei kleine Korrekturen zur Norm SIA 262/1, Anhang C, publiziert. Die Prüfung beginnt 28 Tage nach der Betonherstellung und dauert 14 Tage (ohne Auswertung).

In Tabelle 6 der Norm SIA 262/1 ist unter Anhaltspunkt zur Beurteilung der Prüfergebnisse für die Serienmittelwerte von Beton Folgendes festgehalten:

- hoher Frost- und Frost-Tausalzwiderstand: $m \leq 200 \text{ g/m}^2$ oder $m \leq 600 \text{ g/m}^2$ und $\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$
- tiefer Frost- und Frost-Tausalzwiderstand: $m \geq 3800 \text{ g/m}^2$

Diese Beurteilungskriterien basieren auf der Norm SIA 162/1.

Zur Genauigkeit der Prüfung sind in der Norm SIA 262/1, Anhang C, Angaben enthalten. Die Wiederholbarkeit wird mit $\pm 90 \text{ g/m}^2$ und die Vergleichbarkeit mit $\pm 170 \text{ g/m}^2$ angegeben. Ein 2006 durchgeführter Ringversuch (VAB) hat bei drei verschiedenen Betonsorten die in **Tabelle 6** angegebenen Wiederholbarkeiten und Vergleichbarkeiten ergeben. Bei Beton mit einem hohen Frost-Tausalzwiderstand (429 g/m^2) sind die Angaben in **Tabelle 6** und der Norm SIA 262/1 vergleichbar. Bei einem mittleren und tiefen Frost-Tausalzwiderstand sind die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit in **Tabelle 6** höher als in der Norm SIA 262/1.

Tabelle 6: Resultate eines Ringversuchs zur Genauigkeit der Prüfung des Frost-Tausalzwiderstandes nach SIA 262/1, Anhang C, aus VAB.

Betonmischung	M1	M2	M3
	Ablösemenge [g/m^2]		
Mittelwerte (ca. 11 Labors)	4098	927	429
Wiederholbarkeit	236	64	34
Vergleichbarkeit	520	290	195

3.4.2 Daten

Für die Auswertung standen 256 Betonmischungen zur Verfügung, die nach der Norm SN EN 206-1 respektive nach Tabelle NA.3 (**Tabelle 1**) produziert wurden (in den folgende Abbildungen mit "EN konform" bezeichnet). Zusätzlich standen Daten von 203 Betonmischungen zur Verfügung, die als "nicht EN konform" bezeichnet werden. Der grösste Teil dieser Betonmischungen (184) hatte einen Luftgehalt von weniger als 3 Vol.-%; 145 der 184 Betonmischungen wiesen einen Zementgehalt von mindestens 340 kg/m^3 auf. D. h. die Bezeichnung "nicht EN konform" steht für die 145 Betonmischungen im Widerspruch zur SN EN 206-1, da Luftgehalte $< 3 \text{ Vol.-%}$ zulässig wären; dennoch wurde die Bezeichnung so belassen, da dies bei der Auswertung für die Expositionsklasse XF(CH) hilfreich war. Von den 18 tatsächlich "nicht EN konformen" Betonmischungen mit einem Luftgehalt $\geq 3 \%$ wurden 16 für die Expositionsklasse XF4(CH) hergestellt und erfüllen die entsprechenden Anforderungen an den Zementgehalt oder w/z-Wert nicht. Sie würden allerdings den Anforderungen der Expositionsklassen XF2(CH) und XF3(CH) genügen.

Bei den 256 "EN konformen" Betonmischungen wurden nur vier nicht mit Zement CEM I hergestellt (entspricht 1.5 % der Gesamtmenge). Bei den 203 Betonmischungen "nicht EN konform" betrifft dies 17 Betonmischungen (entspricht 8.5 % der Gesamtmenge). Ihre Ablösemengen liegen im Bereich der mit Zement CEM I hergestellten Betonmischungen, weshalb sie in der Auswertung nicht speziell berücksichtigt werden. Die Anzahl der ausgewerteten Betonmischungen und die kategorisierten Prüfergebnisse sind in **Tabelle 7** aufgeführt. In der folgenden Auswertung soll gezeigt werden, mit welchen Parametern die Prüfergebnisse einen Zusammenhang aufweisen.

Tabelle 7: Ausgewertete Betonmischungen und Häufigkeit der Ablösemengen.

Klassifikation	Anzahl [-]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
		$\leq 200 \text{ g/m}^2$	200 - 600 g/m^2	$> 600 \text{ g/m}^2$
Beton "EN konform"	256	94	2	4
Beton "nicht EN konform"	203	63	18	19
Summe	459	79	10	11

Da in den Datensätzen nur die abgewitterte Menge angegeben wurde, kann nicht beurteilt werden, ob bei einer Ablösemenge von 200 – 600 g/m^2 ein hoher oder mittlerer Frosttausalzwiderstand vorliegt (siehe Abschnitt 3.4.1). Deshalb wird die Kategorie 200 – 600 g/m^2 separat aufgeführt. In den Abbildungen sind jeweils drei horizontale Linien eingezeichnet. Sie markieren Ablösemengen von 200, 600 (gestrichelt) und 3800 g/m^2 .

Zwischen dem Frost-Tausalz-Widerstand (nachfolgend immer als Ablösemenge angegeben) und der 28-Tage-Druckfestigkeit (**Abbildung 9**), der Wasserleitfähigkeit (**Abbildung A- 9**) oder dem Chloridwiderstand (**Abbildung A- 10**) zeigen sich keine engen Zusammenhänge. Die Betone weisen zumeist (> 99 %) eine Wasserleitfähigkeit von weniger als 10 $\text{g/m}^2\text{h}$ auf. Der Chloridwiderstand der "nicht EN konformen" Betone, d.h. der Betone mit zumeist weniger als 3 Vol.-% Luft, liegt bis auf 4 Betone (2 %) unterhalb von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Bei den Betonen mit mindestens 3 Vol.-% Luft weisen ebenfalls die meisten (93 %) einen Chloridmigrationskoeffizienten von weniger als $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ auf. D.h. die Betone, bei denen der Frost-Tausalzwiderstand bestimmt wurde, ist, unabhängig ob dieser hoch oder tief ist, die Wasserleitfähigkeit gering und der Chloridwiderstand hoch. Dies war auch auf Grund der Anforderungen der SN EN 206-1 zu erwarten.

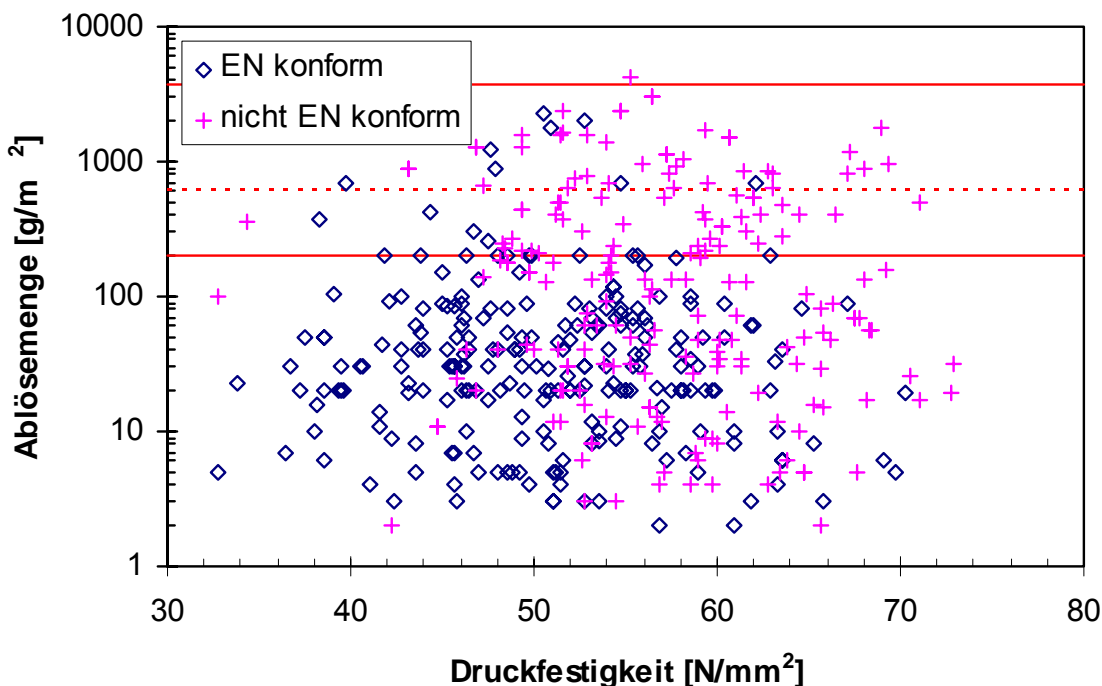


Abbildung 9: Ablösemenge in Abhängigkeit von der 28-Tage-Druckfestigkeit; die roten Linien stellen die Beurteilungswerte für die Ablösemenge nach Norm SIA 262/1 dar.

Der prozentuale Anteil der Betonmischungen "EN konform" mit Ablösemengen $\leq 200 \text{ g/m}^2$ und $200 - 600$ sowie $> 600 \text{ g/m}^2$ ist bei einem w/z-Wert ≤ 0.45 und einem w/z-Wert von $0.46 - 0.50$ praktisch identisch (Tabelle 8, Abbildung 10). Bei den "nicht EN konformen" Betonmischungen trifft dies ebenfalls zu. Allerdings ist der prozentuale Anteil der Betonmischungen mit einer Ablösemenge $\leq 200 \text{ g/m}^2$ kleiner (62 %) als bei den "EN konformen" Betonmischungen (92 – 95 %).

Tabelle 8: Prozentuale Anteil der Betonmischungen mit Ablösemengen $\leq 200 \text{ g/m}^2$, $200 - 600 \text{ g/m}^2$ und $> 600 \text{ g/m}^2$ in Abhängigkeit von „EN konform“, „nicht EN konform“ und vom w/z-Wert entsprechend XF4(CH) respektive XF1-3(CH).

Beton	w/z [-]	Anforderung [-]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
			$\leq 200 \text{ g/m}^2$	$200 - 600 \text{ g/m}^2$	$> 600 \text{ g/m}^2$
"EN konform"	≤ 0.45	XF4(CH)	95	2	3
"EN konform"	$0.46 - 0.50$	XF1 - 3(CH)	92	2	6
"nicht EN konform"	≤ 0.45	XF4(CH)	62	18	20
"nicht EN konform"	$0.46 - 0.50$	XF1 - 3(CH)	62	18	20

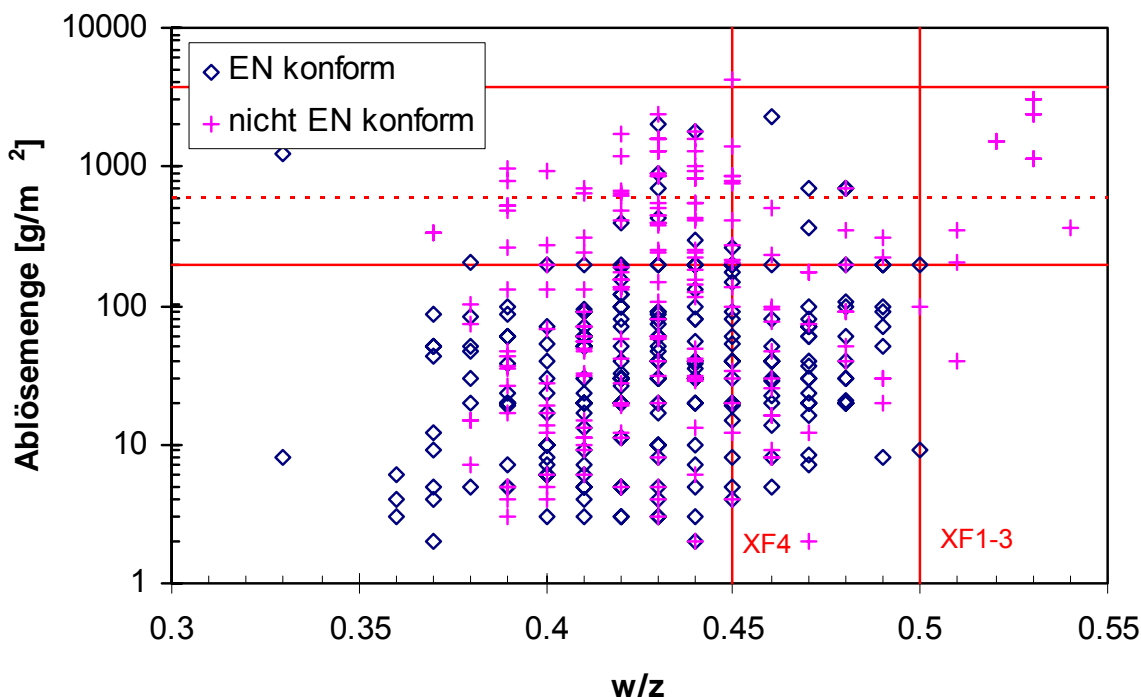


Abbildung 10: Ablösemenge in Abhängigkeit des w/z-Wertes; die Linien stellen die Anforderungen der Norm SN EN 206-1 an den w/z- bzw. w/z_{eq}-Wert und die Beurteilungswerte für die Ablösemenge nach Norm SIA 262/1 dar.

Bei den "EN konformen" Betonmischungen zeigt sich nur ein geringer Unterschied beim prozentualen Anteil mit Ablösemengen von $\leq 200 \text{ g/m}^2$ und $200 - 600 \text{ g/m}^2$ zwischen einem Zementgehalt von $\geq 340 \text{ kg/m}^3$ und $300 - 339 \text{ kg/m}^3$ (Tabelle 9, Abbildung 11). Dasselbe gilt für die "nicht EN konformen" Betonmischungen. Nur drei Betone wiesen einen Zementgehalt von unter 300 kg/m^3 auf, weshalb diese nicht näher betrachtet wurden (Abbildung 11).

Tabelle 9: Prozentualer Anteil der Betonmischungen mit Ablösemengen $\leq 200 \text{ g/m}^2$, $200 - 600 \text{ g/m}^2$ und $> 600 \text{ g/m}^2$ in Abhängigkeit von „EN konform“, „nicht EN konform“ und vom Zementgehalt entsprechend XF4(CH) respektive XF1-3(CH).

Beton	Zementgehalt [kg/m ³]	Anforderung [-]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
			$\leq 200 \text{ g/m}^2$	$200 - 600 \text{ g/m}^2$	$> 600 \text{ g/m}^2$
"EN konform"	≥ 340	XF4(CH)	93	1	6
"EN konform"	300 - 339	XF1 - 3(CH)	93	3	4
"nicht EN konform"	≥ 340	XF4(CH)	66	17	17
"nicht EN konform"	300 - 339	XF1 - 3(CH)	64	16	20

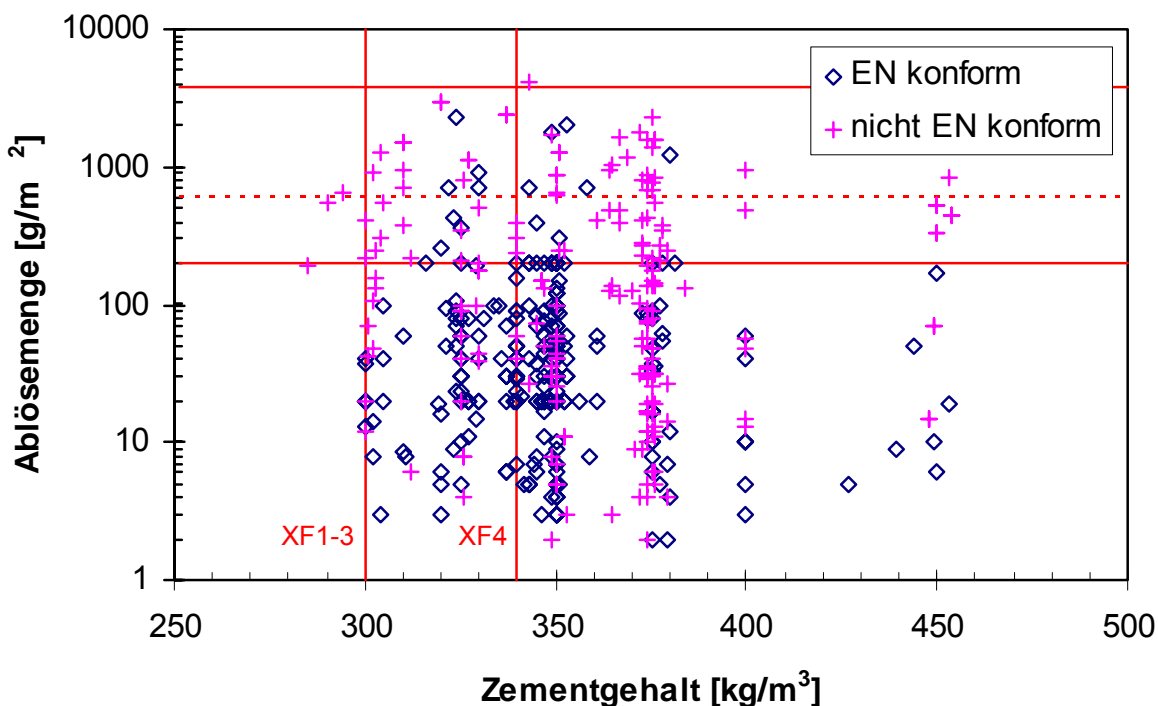


Abbildung 11: Ablösemengen in Abhängigkeit vom Zementgehalt; die Linien stellen die Anforderungen der Norm SN EN 206-1 an den Zementgehalt und die Beurteilungswerte für die Ablösemenge nach Norm SIA 262/1 dar.

Die "EN konformen" Betonmischungen zeigen keinen wesentlichen Unterschied bezüglich der Ablösemengen im Vergleich zu den Betonmischungen "nicht EN konform", wenn deren Luftgehalt $\geq 3\%$ ist (Tabelle 10, Abbildung 12). Liegt bei den "nicht EN konformen" Betonmischungen der Luftgehalt bei $< 3.0\%$, nimmt der prozentuale Anteil der Mischungen mit $\leq 200\text{ g/m}^2$ Ablösemengen deutlich ab.

Tabelle 10: Prozentualer Anteil der Betonmischungen mit Ablösemengen $\leq 200\text{ g/m}^2$, $200 - 600\text{ g/m}^2$ und $> 600\text{ g/m}^2$ in Abhängigkeit vom Luftgehalt ≥ 3 und $< 3\%$.

Beton	Luftgehalt [%]	Anforderung [-]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
			$\leq 200\text{ g/m}^2$	$200 - 600\text{ g/m}^2$	$> 600\text{ g/m}^2$
"EN konform"	≥ 3.0	XF4(CH)	95	2	3
"EN konform"	≥ 3.0	XF2 - XF3(CH)	92	2	6
"nicht EN konform"	≥ 3.0	XF2 - XF4(CH)	83	17	-
"nicht EN konform"	< 3.0	XF4(CH)	58	20	22

Die 184 "nicht EN konformen" Betonmischungen mit einem Luftgehalt $< 3\%$ können bezüglich des Einflusses des Zementgehalts und des w/z-Wertes weiter ausgewertet werden. Die Betonmischungen mit einem Zementgehalt $\geq 340\text{ kg/m}^3$ (145 Resultate) weisen einen höheren prozentualen Anteil (62 %) mit Ablösemengen $\leq 200\text{ g/m}^2$ auf als die Betonmischungen mit einem Zementgehalt $< 340\text{ kg/m}^3$ (41 % bzw. 39 Resultate, Tabelle 11). Bei einem w/z-Wert ≤ 0.45 (155 Resultate) respektive > 0.45 (29 Resultate) sind keine grossen Unterschiede bei den drei Kategorien der Ablösemengen zu verzeichnen (Tabelle 12).

Tabelle 11: Prozentualer Anteil der "nicht EN konformen" Betonmischungen (Luftgehalt < 3.0 %) mit Ablösemengen ≤ 200 g/m², 200 - 600 g/m² und > 600 g/m² in Abhängigkeit vom Zementgehalt.

Beton	Luftgehalt [%]	Zementgehalt [kg/m ³]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
			≤ 200 g/m ²	200 - 600 g/m ²	> 600 g/m ²
"nicht EN konform"	< 3.0	≥ 340	62	19	19
"nicht EN konform"	< 3.0	< 340	41	23	36

Tabelle 12: Prozentualer Anteil der "nicht EN konformen" Betonmischungen (Luftgehalt < 3.0 %) mit Ablösemengen ≤ 200 g/m², 200 - 600 g/m² und > 600 g/m² in Abhängigkeit vom w/z-Wert.

Beton	Luftgehalt [%]	w/z-Wert [-]	Häufigkeit der Ablösemengen [%]		
			≤ 200 g/m ²	200 - 600 g/m ²	> 600 g/m ²
"nicht EN konform"	< 3.0	≤ 0.45	59	20	21
"nicht EN konform"	< 3.0	> 0.45	52	17	31

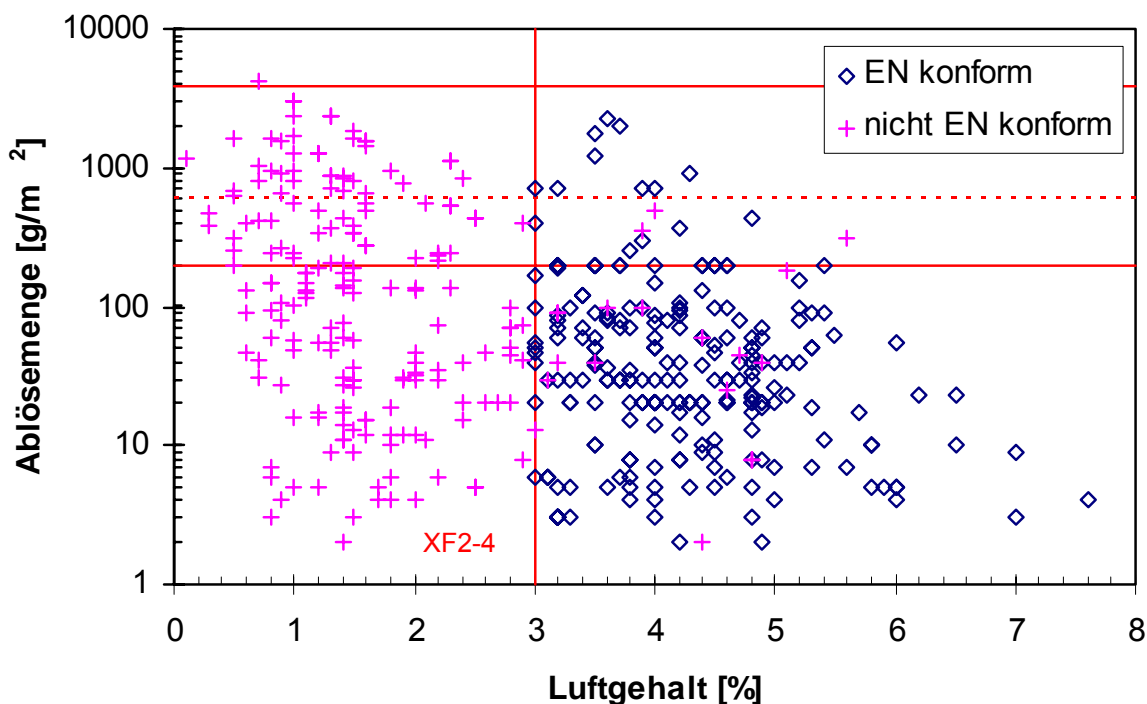


Abbildung 12: Ablösemenge in Abhängigkeit vom Luftgehalt; die Linien stellen die Anforderungen der Norm SN EN 206-1 an den Luftgehalt und die Beurteilungswerte für die Ablösemenge nach Norm SIA 262/1 dar.

3.4.3 Mögliche Grenzwerte

79 % von 459 Betonen für XF2(CH) bis XF4(CH) weisen sicher einen hohen Frost-Tausalz widerstand auf (**Tabelle 7**). Würden noch alle Betone mit einer Abwitterung von 200 – 600 g/m² zu denen mit einem hohen Frost-Tausalz widerstand gerechnet werden, würden 89 % aller Betone einen hohen Frost-Tausalz widerstand aufweisen. Wie z.B. in **Abbildung 11** gezeigt, weisen die restlichen 11 % bzw. 49 der Betone einen mittleren Frost-Tausalz widerstand auf.

Bei den "EN konformen" als auch "nicht EN konformen" Betonmischungen zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede bei den Ablösemengen zwischen einem Beton mit einem w/z-Wert⁵ ≤ 0.45 und $0.46 - 0.50$. (**Tabelle 8, Abbildung 10**). Ein Unterschied beim Zementgehalt von $\geq 340 \text{ kg/m}^3$ zu $300 - 339 \text{ kg/m}^3$ wirkt sich bei diesen Betonmischungen ebenfalls nicht wesentlich auf die Ablösemengen aus (**Tabelle 9, Abbildung 11**). Einzig wenn der Luftgehalt von 3 % bei den "nicht EN konformen" Betonmischungen unterschritten wird, nimmt die Ablösemenge deutlich zu (**Tabelle 10, Abbildung 12**). Dies zeigt, dass der Luftgehalt bezüglich der Ablösemengen der einflussreichste der drei betrachteten Faktoren ist.

Auch wenn die Wahrscheinlichkeit für Ablösemengen $\leq 200 \text{ g/m}^2$ bzw. $\leq 600 \text{ g/m}^2$ bei einem Beton mit einem Luftgehalt $\geq 3 \%$ am Grössten ist (**Abbildung 10**), kann dieses Prüfergebnis auch durch Beton mit einem tieferen Luftgehalt erreicht werden (58 % mit Ablösemenge $\leq 200 \text{ g/m}^2$ bzw. 78 % mit Ablösemenge $\leq 600 \text{ g/m}^2$ der "nicht EN konformen" Betonmischungen).

Unter der Annahme, dass es sich bei den ausgewerteten Betonmischungen um einen repräsentativen Querschnitt der Schweizer Betonproduktion handelt, können die folgenden Grenzwerte vorgeschlagen werden:

- XF4(CH): $\leq 200 \text{ g/m}^2$ oder $m \leq 600 \text{ g/m}^2$ und $\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$
- XF2(CH), XF3(CH): $\leq 1200 \text{ g/m}^2$

Für die Expositionsklassen XF2(CH) und XF3(CH) wird der Grenzwert mit 1200 g/m^2 vorgeschlagen, da

- wegen der Prüfstreuung (signifikante Unterscheidung) ein deutlicher Abstand zum Grenzwert bei XF4(CH) mit degressiver Ablösemenge von 600 g/m^2 bestehen muss und
- die untersuchten Betone diesen Wert zumeist einhalten

Auf Grund der Prüfstreuung ist bei Beton für die Expositionsklasse

- XF4(CH) eine maximale Abwitterung von ca. 50 bzw. ca. 400 g/m^2 einzuhalten, um mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Ablösemenge von maximal 200 g/m^2 bzw. 600 g/m^2 zu haben.
- XF2(CH) und XF3(CH) eine maximale Abwitterung von ca. 900 g/m^2 einzuhalten, um mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Ablösemenge von maximal 1200 g/m^2 zu haben.

3.4.4 Ergänzungs-, Änderungsbedarf an Prüfvorschrift

Zu der Prüfung des Frost-Tausalz widerstandes nach Norm SIA 262/1, Anhang C, liegen langjährige Erfahrungen vor. Vor Einführung der Norm SIA 262 wurde nur mit dieser Prüfung beurteilt, ob Beton einen ausreichenden Frost-Tausalz widerstand aufweist. Wie u. a. in **Abbildung 12** gezeigt ist, können mit dieser Prüfung - im Gegensatz zu anderen - auch Betone mit Luftgehalten unter 3 % einen hohen Frost-Tausalz widerstand aufweisen. Es liegen keine Hinweise vor, dass Betone mit einem hohen Frost-Tausalz widerstand einen ungenügenden Frost-Tausalz widerstand in der Praxis aufwiesen. Somit wird empfohlen mit dieser Prüfung auch zukünftig den Frost-Tau- und Frost-Tausalz widerstand zu bestimmen. Die neueren Angaben zur Genauigkeit der Methode (VAB) sollten bei einer Überarbeitung der Norm einfließen.

Die Tätigkeiten im CEN sind zu verfolgen (vgl. Abschnitt 4.5 auf S. 27).

⁵ sehr wenige Betone (8 gemäss Abbildung 10) hatten einen höheren w/z-Wert als 0.50

4 Folgerungen

4.1 Mögliche Grenzwerte für die untersuchten Expositionsklassen

In **Tabelle 13** sind die in Kapitel 3 angegebenen Vorschläge für Grenzwerte zusammengefasst. Es wird empfohlen die Prüfung der Wasserleitfähigkeit bei den Expositionsklassen XD2(CH) und XD3(CH) wegzulassen, da eine ausreichende Dichtheit gewährleistet ist, wenn die Betone die Anforderungen an den Chloridwiderstand einhalten.

Tabelle 13: Vorgeschlagene Prüfungen und Grenzwerte in Abhängigkeit von den Expositionsklassen.

Expositionsklasse	XC(CH)				XD(CH)			XFCH)			
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
Serienmittelwert der Wasserleitfähigkeit [$\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]	-	-	-	10	10	x	x	-	-	-	-
Serienmittelwert des Chloridwiderstandes [$10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$]	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-
Serienmittelwert des Frosttausalz widerstandes [g/m^2]	-	-	-	-	-	-	-	-	1200		200/ 600

^xHier wird die Bestimmung der Wasserleitfähigkeit nicht mehr gefordert.

Da die zur Verfügung gestellten Daten überwiegend von Betonen stammen, die den Anforderungen der SN EN 206-1 entsprechen, kann mit diesen Daten nicht beurteilt werden, ob das "Leistungsbezogene Entwurfsverfahren" (die vorgeschlagenen Prüfungen und Grenzwerte) auch für hiervon stark abweichende Betonzusammensetzungen geeignet wäre.

Die Prüfungen zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit sind gemäss Nationalem Anhang in der SN EN 206-1 wie folgt durchzuführen:

zu 8.2.3.2 Konformitätskriterien für andere Eigenschaften als die Festigkeit

Die in der Tabelle NA.3 aufgeführten Prüfungen sind 4 mal jährlich oder alle 500 m³ sowohl bei der Erstherstellung als auch bei der stetigen Produktion durchzuführen. Die Regelung, welche die höhere Anzahl Prüfungen ergibt, ist anzuwenden.

Es wird empfohlen

- diese Regelung beizubehalten bis die definitiven Anforderungen an Beton in Abhängigkeit von der Expositionsklasse feststehen.
- zukünftig statt den bisherigen einzelnen Regelungen pro Expositionsklasse neu Gruppen von Expositionsklassen (z.B. analog SIA 118/262, NPK) zu bilden und für die Gruppen die Anforderungen (Zusammensetzung, Prüfungen, Prüfhäufigkeit, Grenzwerte, ...) zu definieren. Dadurch könnten die notwendigen Anforderungen an Beton in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet gezielter abgedeckt werden.

4.2 Betonfamilien

Zur Reduktion der Anzahl der drei Dauerhaftigkeitsprüfungen durch die Bildung von Betonfamilien wurde vom SIA am 7.7.2006 eine Mitteilung herausgegeben. Darin heisst es:

2 Beschluss zur Bildung von Betonfamilien bei den schweizerischen Betonprüfungen	
2.1 Vorgaben für die Bildung von Betonfamilien	
Die Bildung von Betonfamilien (BF) ist grundsätzlich zulässig. Sie muss sich nach den Vorgaben in der Tabelle 1 richten. Betonsorten der Betonfamilien BF 1 und BF 2 können mit der Betonfamilie BF 3 bzw. BF 4 kombiniert werden, vorausgesetzt, alle Betone einer Kombination weisen den gleichen w/z-Wert auf.	
Prüfung	Betonfamilie (BF)
Wasserleitfähigkeit und Chloridwiderstand	BF 1: w/z ≤ 0.50
	BF 2: w/z ≤ 0.45
Frost-Tausalzwiderstand	BF 3: Beton ohne künstlich eingeführte Luftporen
	BF 4: Beton mit künstlich eingeführten Luftporen
Tabelle 1: Vorgaben für die Bildung von Betonfamilien.	
2.2 Häufigkeit der Prüfungen	
Die Regelung der Prüfhäufigkeit im Nationalen Anhang zur SN EN 206-1:2000, Ziffer 8.2.3.2, gilt grundsätzlich für jede Prüfung und jede zu prüfende Betonsorte. Werden verschiedene Betonsorten zu Betonfamilien gemäss Tabelle 1 zusammengefasst, gilt diese Regelung für die einzelne Betonfamilie.	
Jedes Mitglied einer Betonfamilie muss periodisch geprüft werden.	

Es wird empfohlen dieses Vorgehen beizubehalten bis feststeht, wie die zukünftigen Regelungen für die Anforderungen an die Betonzusammensetzung und die Prüfungen lauten. Sobald die zukünftigen Anforderungen an die Expositionsklassen bzw. Gruppen von Expositionsklassen feststehen, ist das Betonfamilienkonzept festzulegen.

4.3 Weitere Anforderungen an Beton für die untersuchten Expositionsklassen

Ziel des Projektes war die Abklärung, ob für die betrachteten Expositionsklassen Prüfungen mit zugehörigen Grenzwerten eingeführt werden können. Wie in **Tabelle 13** in Abschnitt 4.1 gezeigt, erscheint dies möglich. Jedoch können mit den Prüfungen und den bei der Bestellung anzugebenden Eigenschaften⁶ nicht alle notwendigen Betoneigenschaften wie beispielsweise Schutz der Bewehrung vor Korrosion abgedeckt werden. Auf diesen Punkt wird auch in Abschnitt 5.2.1 der EN 206-1 verwiesen:

Die Betonzusammensetzung und die Ausgangsstoffe für Beton nach Eigenschaften oder Beton nach Zusammensetzung müssen so ausgewählt werden (siehe 6.1), dass unter Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens und des gewählten Ausführungsverfahrens für die Betonarbeiten die festgelegten Anforderungen für Frischbeton und Festbeton, einschließlich Konsistenz, Rohdichte, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Schutz des eingebetteten Stahls gegen Korrosion, erfüllt werden. Sofern in den Festlegungen keine Einzelheiten angegeben sind, muss der Hersteller Art und Klasse der Ausgangsstoffe mit nachgewiesener Eignung für die festgelegten Umweltbedingungen auswählen.

ANMERKUNG 1 Sofern nicht anders festgelegt, sollte der Beton so entworfen werden, dass Entmischen und Bluten des Frischbetons möglichst gering gehalten werden.

⁶ Druckfestigkeit, Grösstkorn, Konsistenz, Chloridgehalt, Expositionsklasse(n)

Eine Schnellkarbonatisierungsprüfung könnte geeignet sein, um bei Beton dessen Karbonatisierungswiderstand (Alkalität) zu bestimmen. Es liegen bisher jedoch zu wenige Informationen zu Betonen und entsprechenden Prüfungen vor, um eine Prüfung vorzuschlagen. Um den Korrosionsschutz der Bewehrung dauerhaft sicherzustellen, wird deshalb Folgendes empfohlen:

- Einhaltung der Bewehrungsüberdeckung gemäss Norm SIA 262
- Festlegung von Mindestzementgehalten in Abhängigkeit von den Expositionsklassen;
 - Da mit den drei Dauerhaftigkeitsprüfungen und der bei der Bestellung zu fordernden Druckfestigkeit die Gefügedichtheit gewährleistet sein sollte, könnten beispielsweise die Mindestzementgehalte nach **Tabelle 1** abgemindert werden. Weitere Hinweise hierzu können z.B. auch der Zusammenstellung der Nationalen Anhänge der CEN-Länder zur EN 206-1 (CEN) entnommen werden.
- Festlegung der maximal verwendbaren Mengen an Zusatzstoffen des Typs II (reaktive Zusatzstoffe wie beispielsweise Flugasche) in Abhängigkeit von z.B. der Zementart. Die Regelungen könnten auf denen der SN EN 206-1 sowie des Nationalen Anhangs NC beruhen. Zudem könnte das Vorgehen in benachbarten Ländern betrachtet werden.

4.4 Konformitätsnachweis

Der Konformitätsnachweis wäre zukünftig wie folgt zu führen:

- Durchführung der in den entsprechenden Expositionsklassen erwähnten Prüfungen
- Einhaltung der Grenzwerte bei jeder Prüfung
- Konformitätsnachweis für weitere Eigenschaften des Betons

4.5 Europäische Prüfungen

Zur "Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme" von Beton liegt die Norm EN 13057 vor. Die Norm wurde für Instandsetzungsprodukte eingeführt. Der Durchmesser der Prüfkörper muss 100 mm betragen und die Höhe mindestens dem Dreifachen des Grösstkorns bzw. 20 mm entsprechen. Für Instandsetzungsprodukte sind im Normentwurf EN 1504-3 Anforderungen ($< 0.5 \text{ kgm}^2\text{h}^{0.5}$) zu der Prüfung EN 13057 enthalten. Es sind im Moment keine Aktivitäten seitens CEN bekannt, um die Prüfung für Beton nach SN EN 206-1 einzuführen. Als Alternative zur Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme wurde von CEN die Prüfung der Wassereindringtiefe (SN EN 12390-8: Wassereindringtiefe unter Druck) herausgegeben. Zu dieser Prüfung liegen seitens CEN keine Anforderungen vor bzw. sind in Ausarbeitung. Folglich ist nicht damit zu rechnen, dass seitens CEN in nächster Zeit eine alternative Prüfung zur Norm SIA 262/1, Anhang A, eingeführt werden wird.

Ob und wann vom CEN die Prüfung des Chloridwiderstandes eingeführt wird, ist unklar. Da die Vorschrift nach Norm SIA 262/1 weitestgehend deckungsgleich mit dem europäischen Entwurf ist, ist hierzu in der Schweiz kein grundsätzlicher Handlungsbedarf, sondern ggf. nur ein sehr geringer Überarbeitungsbedarf gegeben.

Seitens CEN wurden Prüfungen zur Bestimmung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes (TS 12390-9) eingeführt. Da bisher keine allgemein akzeptierten Grenzwerte vorliegen, ist nicht mit einer Anwendung dieser Prüfungen, d.h. einem Ersatz der schweizerischen Prüfung, in nächster Zeit zu rechnen.

5 Literatur

- BAW (2004): Chlorideindringwiderstand von Beton.- BAW-Merkblatt, Bundesanstalt für Wasserbau, Deutschland
- Castellote, M. & C. Andrade (2006): Round-Robin Test on methods for determining chloride transport parameters in concrete.- *Materials & Structures*, 39, S. 955 - 990
- CEN (2006): CEN TC 104/SC1 Survey of national requirements used in conjunction with EN 2063-1: 2000 - Draft.- Dokument CEN TC 104/SC 1 N 482
- Gehlen, Ch. (2001): Lebensdauerbemessung - Zuverlässigkeitsberechnungen zur wirksamen Vermeidung von verschiedenartig induzierter Bewehrungskorrosion.- *Beton- und Stahlbetonbau*, 96, Heft 7, 478 - 487.
- Hansen, T.B., E.P. Nielsen & D.H. Bager (2006): Aalborg White - sulphate resistant white Portland Cement.- in: Tagungsband Nr. 2. zur 16. ibausil, S. 02-539 - 02-545
- Hunkeler, F., H. Ungricht & Ch. Merz (2002): Vergleichende Untersuchungen zum Chloridwiderstand von Betonen.- ASTRA-Bericht Nr. 568, VSS, Zürich.
- Meyer, H.G. (2001): Konzept der neuen europäischen Betonnorm EN 206-1.- *Betonwerk + Fertigteiltechnik*, 10, S. 20 - 30
- Lay, S. (2006): Abschätzung der Wahrscheinlichkeit tausalzinduzierter Bewehrungskorrosion.- Dissertation TU München
- SAS (2004): Leitfaden zur Validierung von Prüfmethoden und Bestimmung der Messunsicherheit für Laboratorien im Bauwesen.- Schweizerische Akkreditierungsstelle (SAS), Dokument Nr. 326.dw
- Schiessl, P. & R. Hårdtl (1993): Steinkohlenflugasche im Beton.- *beton*, 11, S. 576 - 580
- Ungricht, H. (2004): Wasserhaushalt und Chlorideintrag in Beton - Einfluss der Exposition und der Betonzusammensetzung.- Dissertation ETH Zürich, Nr. 15758, 187 S.
- VAB (2006): Vergleichsprüfung Frost-Tausalz-widerstand nach SIA 262/1, Anhang C.- Vereinigung akkreditierter Baustoffprüflabors (VAB), Dokument 2-1-026-06.06a, 15 S.
- Wesche, K., P. Schubert & J. W. Weber (1984): Zur Festigkeit und Dauerhaftigkeit von Beton bei Zusatz von Steinkohlenflugasche.- *Betonwerk und Fertigteil-Technik*, 6, S. 367 - 374

6 Danksagung

Die Autoren möchten sich herzlich für die finanzielle Unterstützung durch die Verbände und das ASTRA sowie die konstruktiven Diskussionen in den beiden Begleitgruppen bedanken.

Anhang

Anhang A: Abbildungen und Tabelle für ausgewählte Datensätze

Anhang B: Fragebogen zur Datenerhebung

Anhang A: Abbildungen und Tabelle für ausgewählte Datensätze

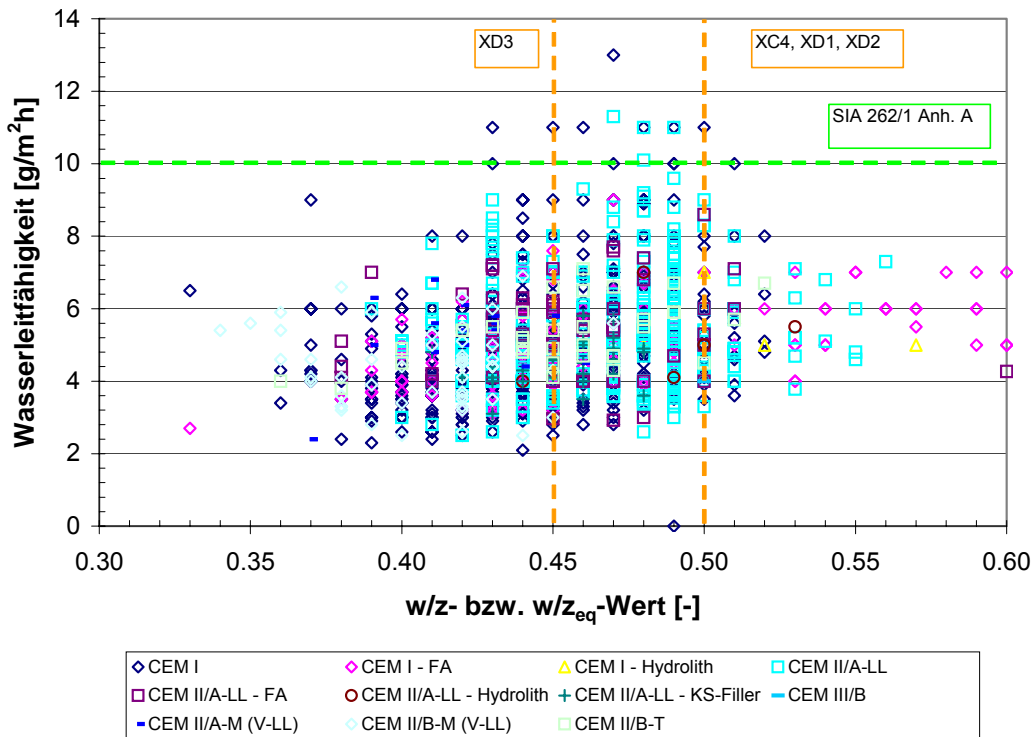


Abbildung A- 1: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom w/z- bzw. w/z_{eq}-Wert und der Bindemittelart; zusätzlich sind mit Linien die maximalen w/z- bzw. w/z_{eq}-Werte gemäss SN EN 206-1 für die untersuchten Expositionsklassen sowie der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 für die Wasserleitfähigkeit eingetragen.

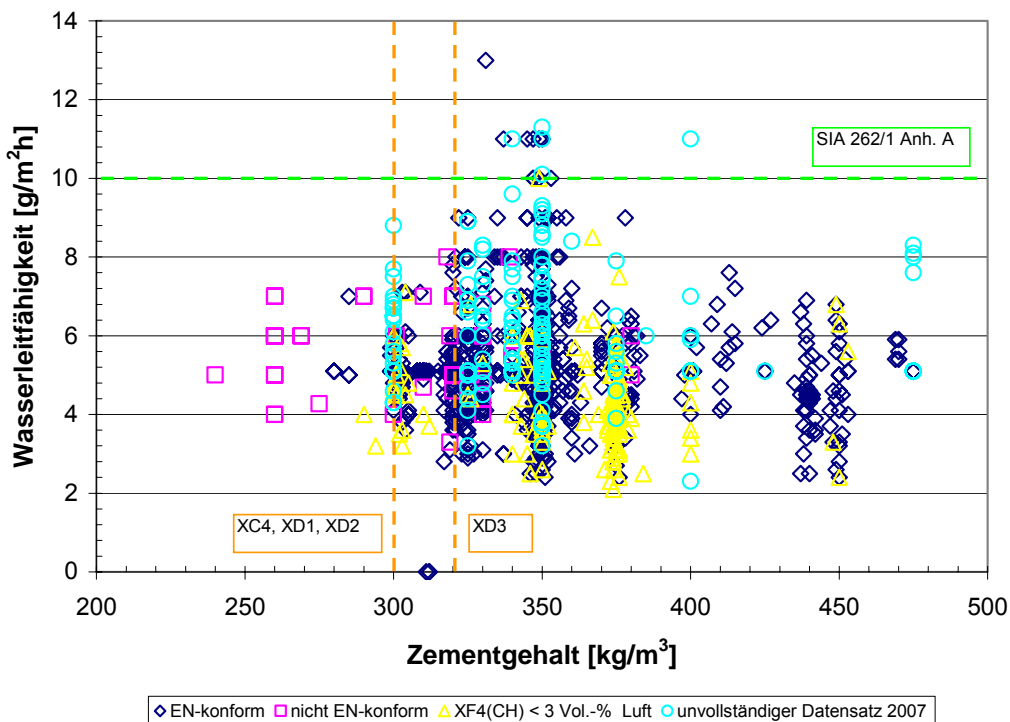


Abbildung A- 2: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Zementgehalt; zusätzlich sind mit gestrichelten Linien die minimalen Zementgehalte gemäss SN EN 206-1 für die untersuchten Expositionsklassen sowie der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 für die Wasserleitfähigkeit eingetragen.

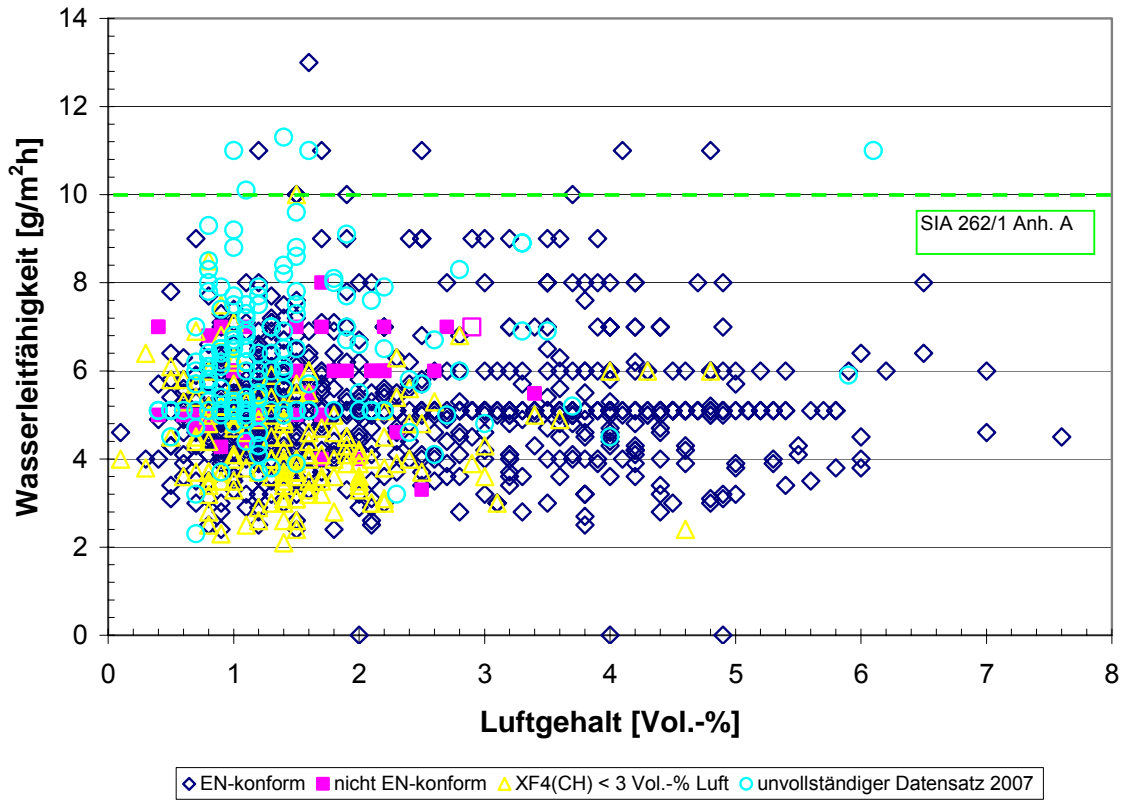


Abbildung A- 3: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Luftgehalt; zusätzlich ist der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 eingetragen.

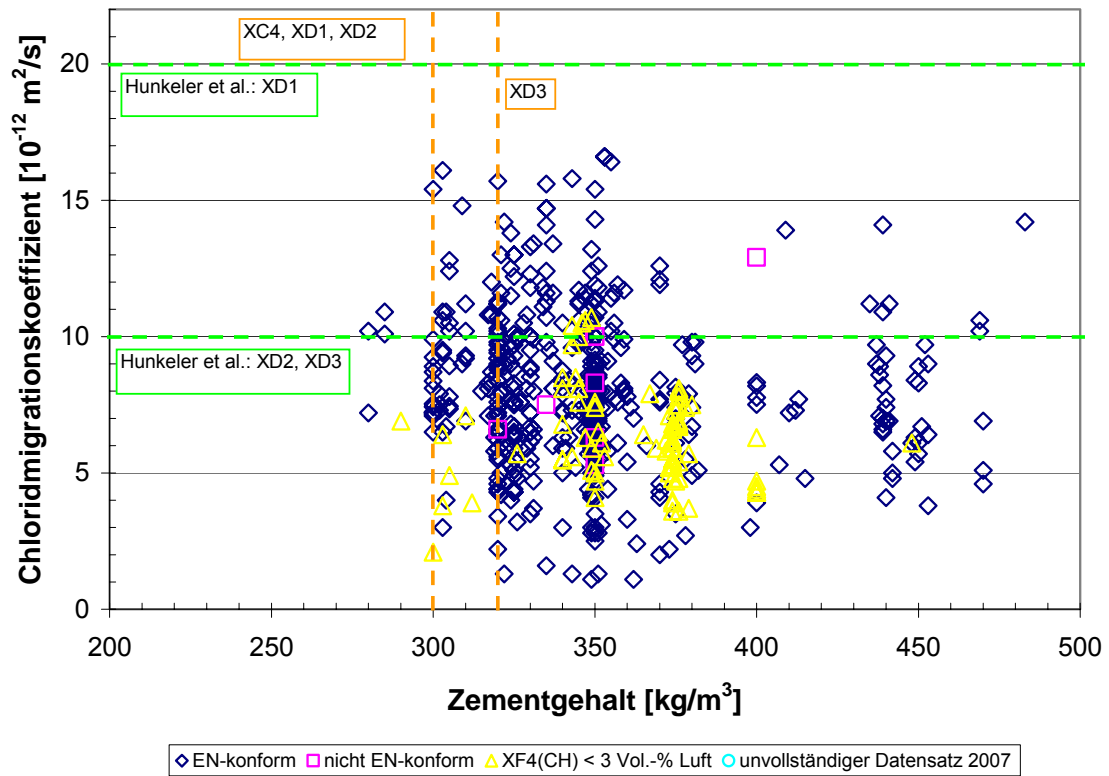


Abbildung A- 4: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit vom Zementgehalt; zusätzlich sind die minimalen Zementgehalte für die untersuchten Expositionsklassen gemäss SN EN 206-1 und für den Chloridmigrationskoeffizienten empfohlene Werte für Einzelwerte aus Hunkeler et al. (2002) eingetragen.

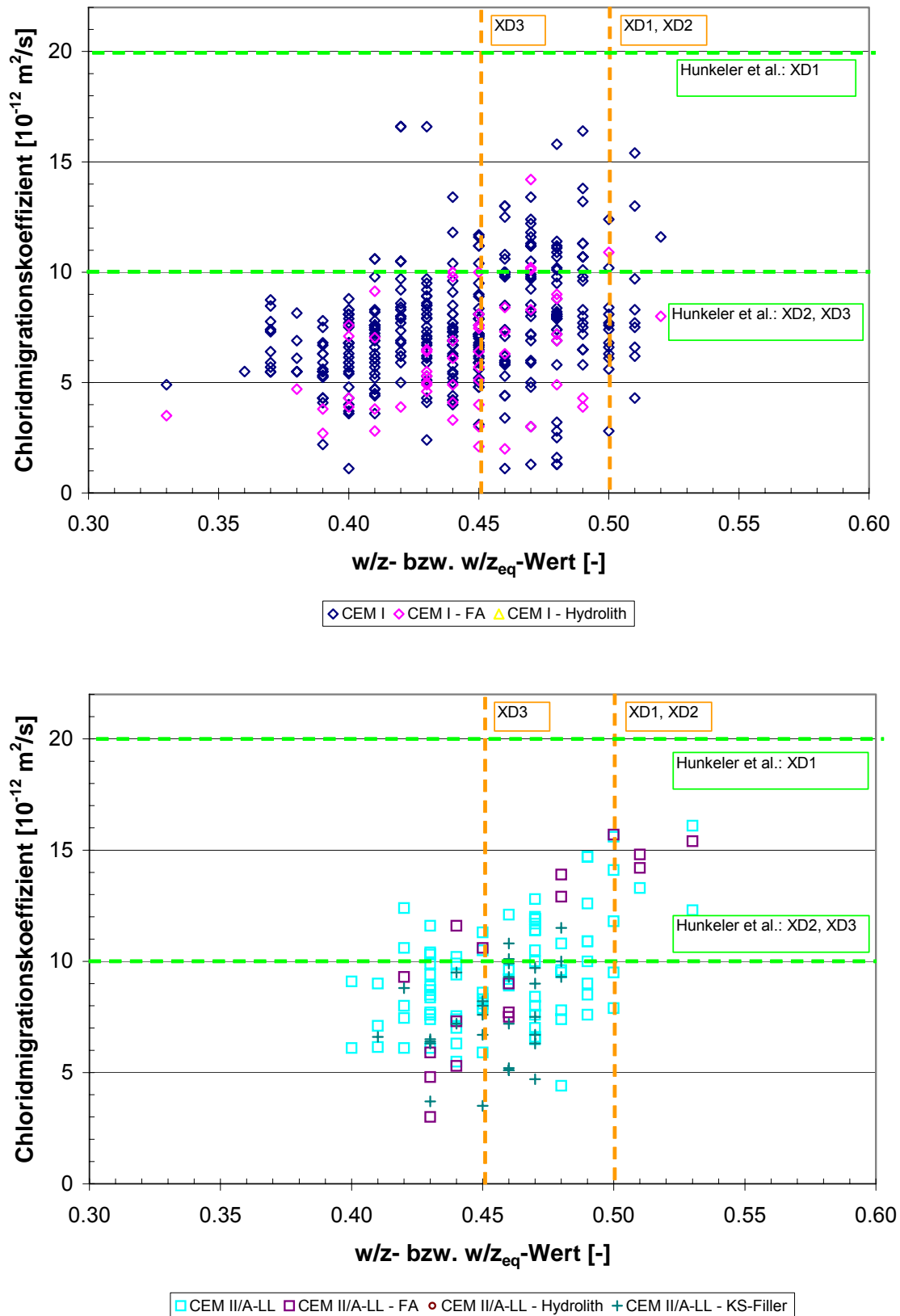


Abbildung A- 5: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit vom w/z- bzw. w/z_{eq}-Wert und dem Bindemittel (oben: Betone mit CEM I-Zementen; unten: Betone mit CEM II-Zementen); zusätzlich sind mit Linien die maximalen w/z- bzw. w/z_{eq}-Werte für die untersuchten Expositionsklassen gemäss SN EN 206-1 sowie von Hunkeler et al. (2002) empfohlene Werte für Einzelwerte des Chloridmigrationskoeffizienten eingetragen.

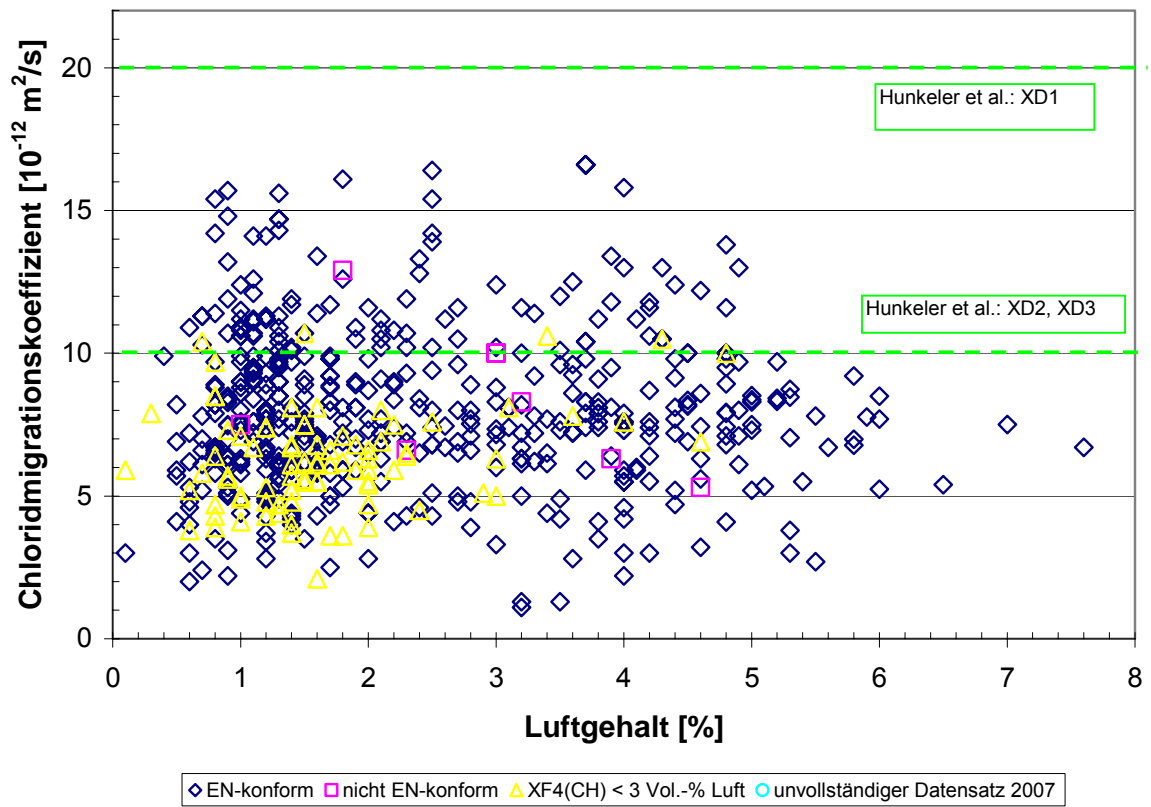


Abbildung A- 6: Chloridmigrationskoeffizient in Abhängigkeit vom Luftgehalt; zusätzlich sind mit Linien empfohlene Werte für Einzelwerte aus Hunkeler et al. (2002) eingetragen.

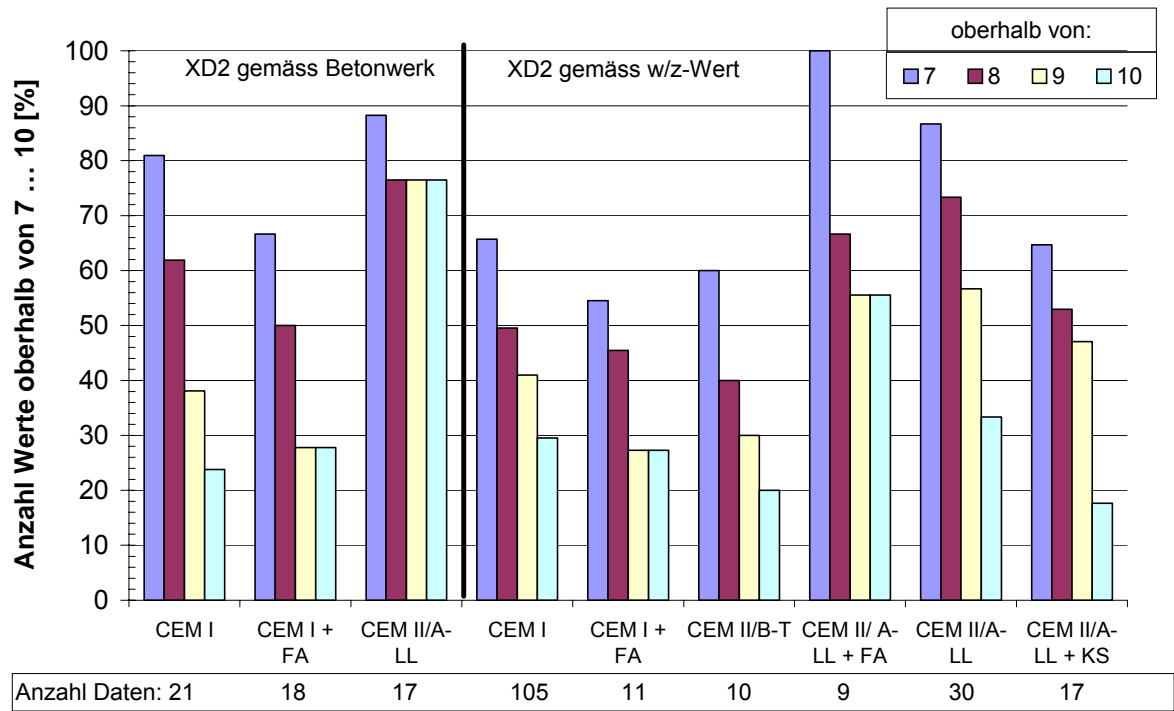


Abbildung A- 7: Anzahl Werte oberhalb von 7 bis $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ bei der Expositionsklasse XD2(CH) in Abhängigkeit vom verwendeten Bindemittel; zusätzlich ist die Anzahl der Betone pro Bindemittel angegeben.

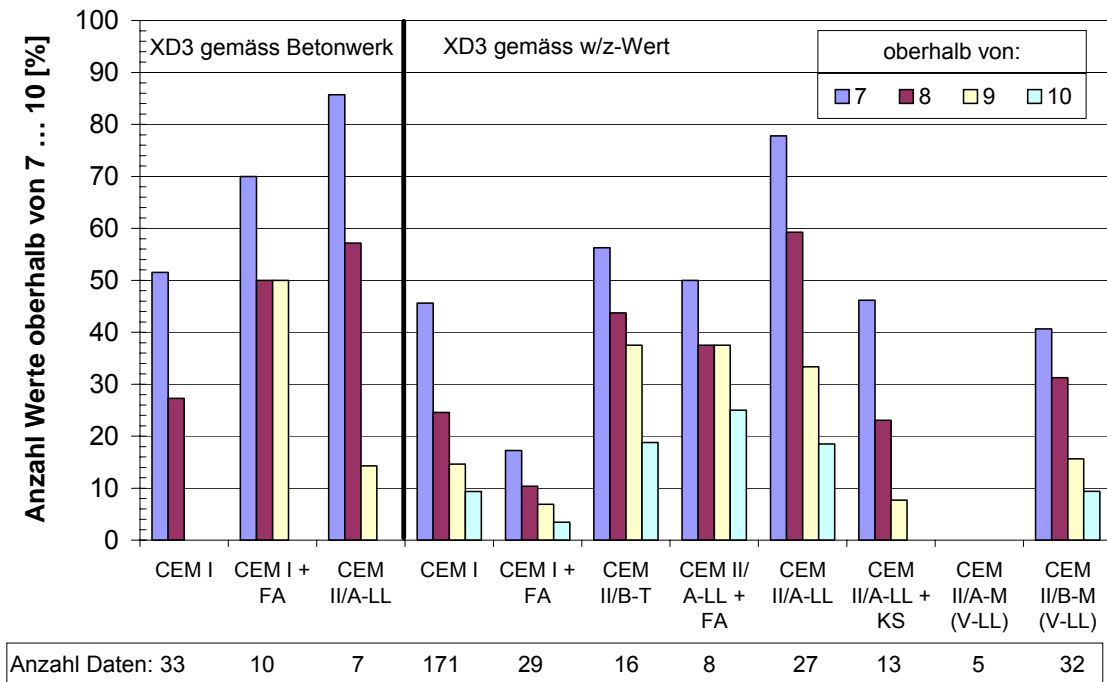


Abbildung A- 8: Anzahl Werte oberhalb von 7 bis $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ bei der Expositionsklasse XD3(CH) in Abhängigkeit vom verwendeten Bindemittel; zusätzlich ist die Anzahl der Betone pro Bindemittel angegeben.

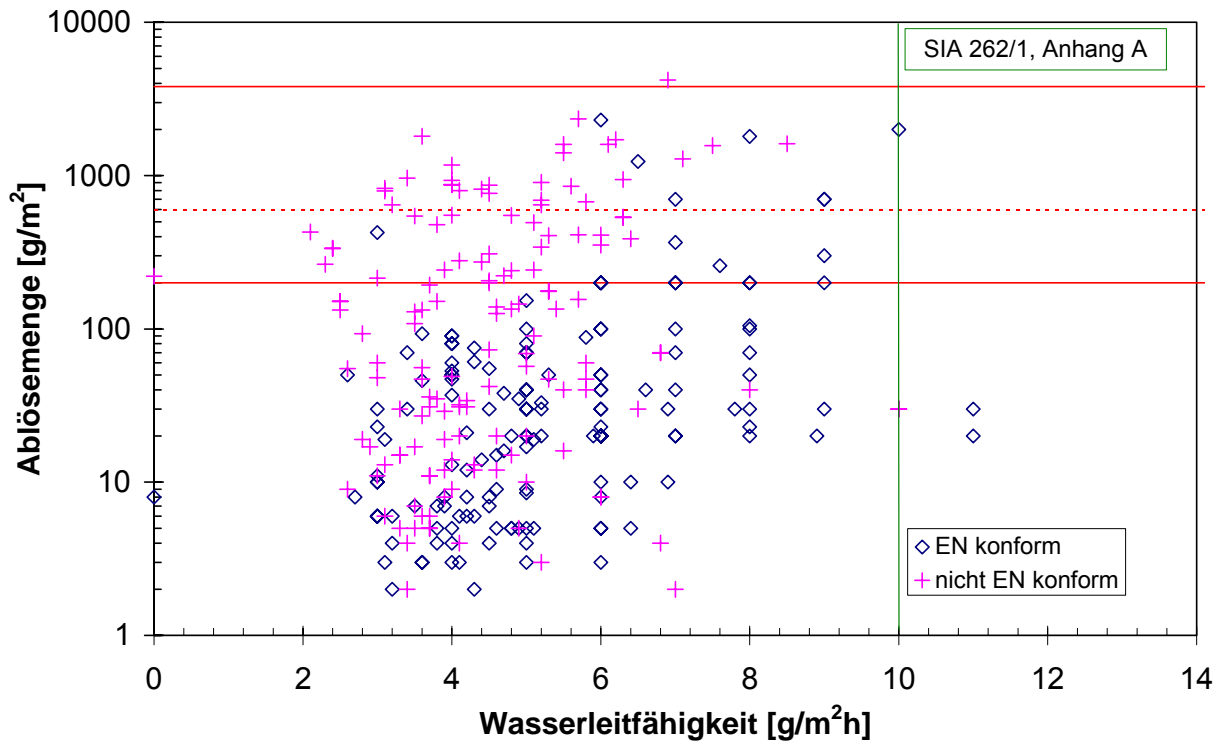


Abbildung A- 9: Abblösemenge in Abhängigkeit von der Wasserleitfähigkeit; zusätzlich sind für die Abblösemenge die Beurteilungswerte nach SIA 262/1 sowie für die Wasserleitfähigkeit der Beurteilungswert der Norm SIA 262/1 eingetragen.

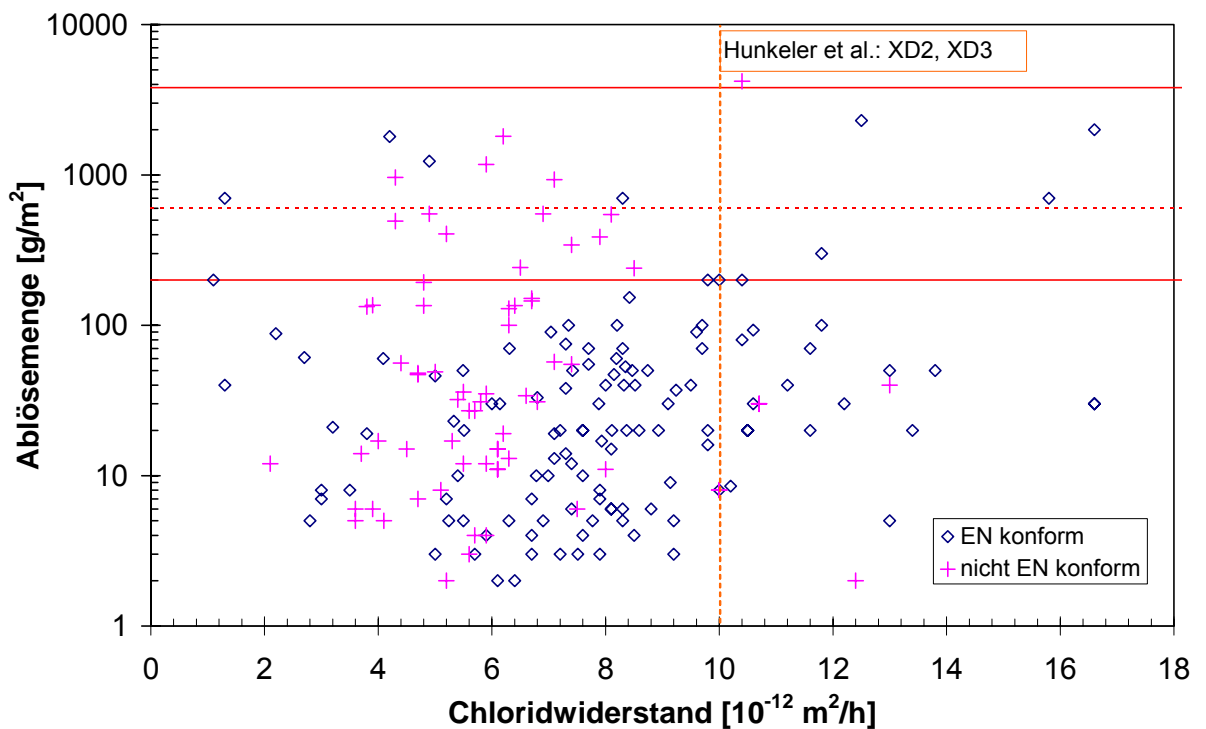


Abbildung A- 10: Abblösemenge in Abhängigkeit vom Chloridmigrationskoeffizient; zusätzlich sind für die Abblösemenge die Beurteilungswerte (200 und 3800 g/m²) nach SIA 262/1 sowie für den Chloridmigrationskoeffizienten empfohlene Werte von Hunkeler et al. für den Einzelwert eingetragen.

Tabelle-A 1: Einfluss des Bindemittels auf die Wasserleitfähigkeit; FA: Flugasche, KS: Kalksteinfüller

	Wasserleitfähigkeit					
	Anzahl	Mittelwert [g/m ² h]	Anzahl Werte > 8.5		Anzahl Werte > 10	
	[-]	[-]	[-]	[%]	[-]	[%]
CEM I	543	5.2	26	5	8	1
CEM I + FA	115	5.2	1	1	0	0
CEM II/B-T	33	5.3	0	0	0	0
CEM II/A-LL + FA	67	5.3	1	1	0	0
CEM II/A-LL	461	5.4	15	3	4	1
CEM II/A-LL + KS	29	4.5	0	0	0	0
CEM II/A-M (V-LL)	14	5.2	0	0	0	0
CEM II/B-M (V-LL)	52	4.4	0	0	0	0
Summe	1314		43	3	12	1

Anhang B: Fragebogen zur Datenerhebung

Bei zukünftigen Datenerhebungen mit ähnlicher Fragestellung sollte angegeben werden, von welchem Betonwerk die Daten und ggf. Prüflabor stammen. Auch sollten so viele Daten pro Beton erhoben werden, dass nachträglich überprüft werden kann, ob die Betone z.B. normkonform sind oder damit Ausreisser bei Prüfergebnissen erklärt werden können.

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XC4
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) ../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert (gerechnet)	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			EMPA
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			EMPA
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			EMPA
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabweich.	[g/m ² h]			10 / 2

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XD1
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) ../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert (gerechnet)	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			TFB
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			TFB
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			TFB
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabweich.	[g/m ² h]			10 / 2

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XD2
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, geb. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) .../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			EMPA
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			EMPA
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			EMPA
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabwei.	[g/m ² h]			10 / 2
	Chloridwiderstand SIA 262/1 B	Prüflabor			TFB
	Anzahl Prüfkörper				5
	Nassrohddichten ρ_{nr}	[kg/m ³]			... / ... / ... / ... / ...
	mittlere Chlorideindringtiefen x_d	[mm]			... / ... / ... / ... / ...
	maximale Chlorideindringtiefen x_{max}	[mm]			... / ... / ... / ... / ...
	Chloridmigrationskoeffizient, Mittel	[m ² /s]			1.5 10⁻¹²
	Chloridmigrationskoeffizient, Standardabw.	[m ² /s]			0.2 10⁻¹²

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XD3
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, geb. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) .../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			TFB
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z_{eq}-Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			TFB
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			TFB
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / <i>Standardabweich.</i>	[g/m ² h]			10 / 2
	Chloridwiderstand SIA 262/1 B	Prüflabor			TFB
	Anzahl Prüfkörper				5
	Nassrohddichten ρ_{nr}	[kg/m ³]			... / ... / ... / ... / ...
	mittlere Chlorideindringtiefen x_d	[mm]			... / ... / ... / ... / ...
	maximale Chlorideindringtiefen x_{max}	[mm]			... / ... / ... / ... / ...
	Chloridmigrationskoeffizient, Mittel	[m ² /s]			1.5 10⁻¹²
	Chloridmigrationskoeffizient, Standardabw.	[m ² /s]			0.2 10⁻¹²

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XF1
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) ../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				FA / Safament
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP / FroV5
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM/Sikament V10+
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			EMPA
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			EMPA
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			EMPA
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabweich.	[g/m ² h]			10 / 2

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XF2
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) ../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			TFB
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			TFB
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			TFB
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabweich.	[g/m ² h]			10 / 2
61	Frost-Tausalz-Widerstand SIA 262/1 C	Prüflabor			TFB
62	Ablösung Dm6 + Δm_{14}	[g/m ²]			150 / 104 / 58
63	Ablösung Δm_{28}	[g/m ²]			40 / 118 / 79
64	Ablösung total m / Standardabweichung	[g/m ²]			235 / 50
65	Bemerkungen				

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XF3
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) .../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[--]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[--]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			EMPA
38	Rohdichte ρ	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[--]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[--]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[--]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			EMPA
49	Würfeldruckfestigkeit $f_{cm, cube}$ (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm, cyl}$ (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			EMPA
53	Wasseraufnahme M_{24}	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ_{110}	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit $q_w / s(q_w)$	[g/m ² h]			10 / 2
61	Frost-Tausalz-Widerstand SIA 262/1 C	Prüflabor			EMPA
62	Ablösung Dm6 + Δm_{14}	[g/m ²]			150 / 104 / 58
63	Ablösung Δm_{28}	[g/m ²]			40 / 118 / 79
64	Ablösung total m / Standardabweichung	[g/m ²]			235 / 50
65	Bemerkungen				

1	Datenerfassung nach der EN 206-1		01.07.2003 - 31.12.2003		XF4
3	Betonwerk:			Telefon:	
4	Adresse:			Fax:	
5	Kontaktperson:			e-mail	
7	Beton für Frostangriff				(Muster)
8	Expositionsklasse nach EN 206-1		XF 2	XF 2	XF 2
9	Betonzusammensetzung (Rezept)				
10	Druckfestigkeitsklasse EN 206-1:2000	C../..			C30/37
11	Rezeptbezeichnung				235FT
12	Datum der Herstellung	xx.xx.xx			02.08.2003
13	Lieferscheinnummer				123456-7
14	Gesteinskörnung GK (Zuschlag):				KS 3201
15	Grösstkorn	[mm]			32
16	Dosierung	[kg/m ³]			1965
17	rund r, gebr. g, recycling rc / Herkunft	[kg/m ³]			0/4 r/Gebenstorf
18	Wasseraufnahme (Kernfeuchte) .../...mm	[kg/m ³]			--
19	Bemerkungen				4/32 r/Weiach
21	Zementart	CEM			CEM I 42.5N
22	Zementgehalt	[kg/m ³]			300
23	Zusatzstoff 1: Art / Bezeichnung				Flugasche
24	Dosierung	[kg/m ³]			30
25	Zusatzmittel 1: Art / Bezeichnung				LP
26	Dosierung	[kg/m ³]			0.66
27	Zusatzmittel 2: Art / Bezeichnung				FM
28	Dosierung	[kg/m ³]			2.6
29	Weitere:				--
30		[kg/m ³]			
31	Gesamtwassergehalt	[kg/m ³]			144
32	Rohdichte (gerechnet)	[kg/m ³]			2378
33	w/z-Wert (gerechnet)	[-]			0.48
34	w/z _{eq} -Wert	[-]			0.46
35	Bemerkungen				
37	Frischbetonwerte	Prüflabor			EMPA
38	Rohdichte p	[kg/m ³]			2390
39	Luftgehalt LP	[Vol.-%]			4.1
40	Ausbreitmass AM	[mm]			420
41	Verdichtungsmass VM	[-]			1.11
42	Wassergehalt (Darren nach SIA 262/1 H)	[kg/m ³]			148
43	Frischbetontemperatur	[°C]			15
44	w/z-Wert	[-]			0.49
45	w/z _{eq} -Wert (z _{eq} angeben)	[-]			0.47
46	Bemerkungen				
48	Festbetonprüfungen	Prüflabor			EMPA
49	Würfeldruckfestigkeit f_{cm, cube} (28)	[N/mm ²]			46.2
50	Zylinderdruckfestigkeit f_{cm, cyl} (28)	[N/mm ²]			--
52	Wasserleitfähigkeit SIA 262/1 A	Prüflabor			EMPA
53	Wasseraufnahme M₂₄	[g/m ²]			3000
54	Gehalt an Hydratations- und Gelporen U_E	[Vol.-%]			12.4
55	Gesamtporosität n	[Vol.-%]			15.3
56	Trockenrohddichte ρ_{R110}	[kg/m ³]			2308
57	Dichte ρ₁₁₀	[kg/m ³]			2724
58	Wassergehalt nach Trocknung 50°C U_B	[Vol.-%]			4.1
59	Wasserleitfähigkeit q_w / Standardabweich.	[g/m ² h]			10 / 2
61	Frost-Tausalz-Widerstand SIA 262/1 C	Prüflabor			EMPA
62	Ablösung Dm6 + Δm₁₄	[g/m ²]			150 / 104 / 58
63	Ablösung Δm₂₈	[g/m ²]			40 / 118 / 79
64	Ablösung total m / Standardabweichung	[g/m ²]			235 / 50
65	Bemerkungen				

