



Einfluss der Gesteinskörnung auf den Chloridwiderstand von Beton

**Influence du granulat sur la résistance aux chlorures du
béton**

**Influence of aggregate on the chloride resistance of con-
crete**

VersuchsStollen Hagerbach AG
Roland Weiss, dipl. Bauingenieur ETH/SIA

**Forschungsprojekt VSS 2012/403 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Oktober 2015

1535

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



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

Einfluss der Gesteinskörnung auf den Chloridwiderstand von Beton

**Influence du granulat sur la résistance aux chlorures du
béton**

**Influence of aggregate on the chloride resistance of con-
crete**

VersuchsStollen Hagerbach AG
Roland Weiss, dipl. Bauingenieur ETH/SIA

**Forschungsprojekt VSS 2012/403 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Roland Weiss

Mitglieder

Reto Niederhauser

Matthias Reinhold

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Fritz Hunkeler

Mitglieder

Andreas Leemann

Mark Rohr

Jörg Steck

Martin Stolz

Daniele Stroligo

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Hintergrund	13
1.2 Projektziele	13
1.3 Projektablauf	14
1.4 Stand der Forschung	14
2 Methodik.....	15
2.1 Allgemeines	15
2.2 Herstellung des Frischbetons.....	16
2.3 Frisch- und Festbetonprüfungen	16
3 Charakterisierung der Gesteinskörnungen	19
3.1 Eigenschaften Gesteinskörnungen	19
3.2 Ausgewählte Aspekte der Gesteinskörnungen	19
3.2.1 Vergleich Schlämmanalyse-Lasergranulometrie	19
3.2.2 Schichtsilikate im Sand FGK 3.1	21
4 Versuche im Labormasstab (Phase 1)	23
4.1 Untersuchte Mischungen	23
5 Auswertung.....	25
5.1 Allgemeine Betoneigenschaften.....	25
5.2 Chloridwiderstand	27
5.3 Vergleichsversuche Chloridwiderstandsprüfung	30
6 Erkenntnisse.....	33
7 Ausblick	35
Anhänge	37
Glossar	59
Literaturverzeichnis	61
Projektabschluss	63
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	67

Zusammenfassung

Der Chloridwiderstand von Beton wird in der Schweiz mit der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang B, bestimmt. Der Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ für den Chloridmigrationskoeffizienten wurde durch Untersuchungen und Forschungen gefestigt und als Anforderung für XD2b(CH) und XD3(CH) 2013 in die nationalen Elemente der SN EN 206-1 integriert.

In der Praxis traten bei einzelnen Betonherstellern in der werkseigenen Produktionskontrolle Fälle auf, bei denen der Grenzwert des Chloridmigrationskoeffizienten überschritten wurde und die Druckfestigkeit zum Chloridmigrationskoeffizient nicht korrelierte. Abklärungen und Untersuchungen der Betonhersteller mit den bekannten Zusammenhängen (Zementart, w/z-Wert innerhalb Zementart) führten zu keinen Erkenntnissen. In diesen Fällen waren gezielte Massnahmen zur Sicherstellung eines genügenden Chloridwiderstandes unmöglich. Dies verunsicherte Betonhersteller und Anwender.

Dass trotz intensiver Bemühungen der Betonhersteller keine befriedigenden Erklärungen für die Beeinflussung des Chloridwiderstandes gefunden werden konnten, liess vermuten, dass Einflüsse aus den Gesteinskörnungen die Beziehung Druckfestigkeit-Chloridmigrationskoeffizient beeinflussen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden Betonmischungen mit unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen und CEM II/A-LL hergestellt und die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand untersucht. Der Zement CEM II/A-LL wurde gewählt, um ein möglichst empfindlich reagierendes System zu erhalten. Zudem wurden keine künstlichen Luftporen eingeführt.

Die Untersuchungen zeigen, dass auch bei unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen die Auswirkungen auf das Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand gleich sind.

Die Korngrössenverteilung und Kornform der feinen Gesteinskörnungen beeinflussen die Packungsdichte bzw. den Hohlraumgehalt der Gesteinskörnungsmischung. Bei zu geringen oder knappen Zementleimvolumen steigt das Risiko für isolierte, lokale Inhomogenitäten im Millimeterbereich, welche sich auf die Druckfestigkeit stärker als auf den Chloridwiderstand auswirken können und somit das Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand verändern.

Treten in einer Produktionskontrolle Werte des Chloridwiderstandes auf, welche der Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand nicht folgen, ist die Untersuchung des Hohlraumvolumens der gewählten Gesamtmischung der Gesteinskörnung im Beton und der Vergleich mit dem Zementleimvolumen in die weiteren Betrachtungen mit einzu beziehen.

Die Bestimmung des Hohlraumgehalts nach SN EN 1097-3 in der Gesamtmischung der Gesteinskörnungen gibt orientierende Hinweise in Bezug auf die Beurteilung des Zementleimvolumens einer Mischung.

Im vorliegenden Fall war bei einem Korngemisch 0-32 mm mit einem Hohlraumgehalt von 29 Vol.-% ein Zementleimvolumen von 300 bis 310 l/m³ zielführend, was einem Zementgehalt von 380 kg/m³ entsprach. Unter Berücksichtigung aller gestellten Anforderungen an den Beton ist im Einzelfall zu entscheiden, ob zusätzliche betontechnologische Massnahmen oder der Ersatz kritischer feiner Gesteinskörnungen sinnvoller ist.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit und die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass eine petrographische Untersuchung der Gesteinskörnungen und eine Bewertung für den Einsatz im Beton notwendig ist, insbesondere wenn diese Schichtsilikate enthalten.

Die in der SN 670 115 aktuell zulässige Höchstmenge an freien Schichtsilikaten (2 Zahl-% in der feinen Gesteinskörnung) im Sinne einer maximal zulässigen Obergrenze ist jedoch nicht mehr haltbar. Die Anforderungen sollten angepasst werden in Richtung, ab

wann die Wirkung auf die Eigenschaften des Frisch- und Festbetons im Einzelfall zu untersuchen ist. Dabei spielt nicht nur die absolute Höhe eine Rolle, sondern auch die Schwankungsbreite über die Zeit.

Im Einklang mit dem Konzept, dass in Prüfnormen die Prüfungen beschrieben werden, jedoch keine Anforderungen an die Eigenschaften der Produkte festgelegt sind, passen die Anforderungen zudem nicht in die SN 670 115. Werden die Anforderungen an die Petrographie von Gesteinskörnungen für Beton in die SN EN 12620 aufgenommen, ergeben sich Konflikte, da die EN 12620 eine harmonisierte technische Spezifikation nach Bauproduktengesetz bzw. CPR ist, aber Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften nicht kennt. Das Thema muss in das verantwortliche europäische CEN TC 154 eingebracht werden.

Eine Möglichkeit wäre in der Zwischenzeit die Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften in die nationalen Elemente der SN EN 206 „Beton Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ aufzunehmen.

Résumé

En Suisse, la résistance aux chlorures du béton est déterminée par la norme SIA 262/1, annexe B. La valeur limite de $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les coefficients de migration des chlorures a été confortée par des analyses et des recherches pour être intégrée aux éléments nationaux de la norme SN EN 206-1 en tant qu'exigence pour XD2b(CH) et XD3(CH) 2013.

Dans la pratique, lors de leur contrôle de la production à l'usine, certains producteurs de béton ont constaté des cas de dépassement de la valeur limite du coefficient de migration des chlorures lorsque que la résistance à la compression ne présentait pas la corrélation habituelle avec le coefficient de migration des chlorures. Les vérifications et investigations des producteurs de béton par rapport aux corrélations connues (type de ciment, rapport E/C pour un type de ciment) n'ont pas permis de trouver d'explications. Dans ces cas, la prise de mesures ciblées afin de garantir une résistance aux chlorures suffisante s'est avérée impossible. Ceci a troublé les producteurs de béton et les utilisateurs.

Le fait que, malgré les efforts intenses des producteurs de béton, il n'a pas été possible de trouver d'explications satisfaisantes quant aux mécanismes qui influencent la résistance aux chlorures laissait supposer que les granulats ont un impact sur la relation résistance à la compression - coefficient de migration des chlorures.

Dans l'investigation présente, des mélanges de béton avec différents sables et du CEM II/A-LL ont été gâchés et la relation entre la résistance à la compression et la résistance aux chlorures a été analysée. Le ciment CEM II/A-LL a été sélectionné afin de disposer d'un système réagissant de la manière la plus sensible possible. De plus, le béton ne contenait pas d'air entraîné artificiellement.

Les investigations montrent que même pour différents sables, les effets sur le rapport résistance à la compression - résistance aux chlorures sont les mêmes.

La granularité et la forme des grains des sables influencent la compacité, resp. la teneur en air du mélange de granulats. En cas de volumes de pâte de ciment trop faibles ou trop justes, le risque d'apparition d'inhomogénéités locales isolées à l'échelle millimétrique augmente. Ces inhomogénéités peuvent avoir des répercussions plus importantes sur la résistance à la compression que sur la résistance aux chlorures et altérer ainsi le rapport entre la résistance à la compression et la résistance aux chlorures.

Si, dans un contrôle de production, des valeurs de résistance aux chlorures n'obéissant pas à la relation de la résistance à la compression par rapport à la résistance aux chlorures apparaissent, alors il faut intégrer dans les considérations ultérieures l'analyse du volume de vides du mélange global sélectionné des granulats dans le béton et la comparaison avec le volume de pâte de ciment.

La détermination de la teneur en vides selon la norme SN EN 1097-3 d'un mélange global des granulats confère des indications d'orientation quant à l'évaluation du volume de pâte de ciment d'un mélange.

Dans le cas présent, pour une grave 0/32 avec une teneur en vides de 29 %-vol., un volume de pâte de ciment de 300 à 310 l/m³ était judicieux, ce qui correspondait à une teneur en ciment de 380 kg/m³. En prenant en compte toutes les exigences devant être remplies par le béton, il faut décider au cas par cas si des mesures en technologie du béton supplémentaires ou bien le remplacement des sables critiques est plus judicieux.

Les investigations effectuées dans le cadre de ce travail, ainsi que les expériences pratiques montrent qu'une analyse pétrographique des granulats avec évaluation pour une utilisation dans le béton est nécessaire, en particulier lorsque ces granulats contiennent des phyllosilicates.

La quantité maximale de phyllosilicates libres actuellement autorisée par la norme SN 670 115 (2 %-nombre dans les sables) dans le sens d'une limite supérieure admissible n'est plus tenable. Cette limite fixe devrait être révisée vers une évaluation du moment à partir duquel l'influence sur les propriétés de béton frais et durci est à contrôler de cas en cas. Dans ce cas, ce n'est pas seulement la teneur maximale mais aussi la fluctuation de la teneur dans le temps qui joue un rôle.

Si l'on tient compte du concept que les normes d'essai spécifient des méthodes d'essai mais pas d'exigences relatives aux propriétés des produits, ces exigences n'ont pas leur place dans la norme SN 670 115. Si les exigences pétrographiques étaient intégrées dans la SN EN 12620, des conflits apparaîtraient car la EN 12620 est une norme harmonisée selon la loi sur les produits de construction (resp. CPR) et ne connaît pas d'exigences relatives aux propriétés pétrographiques. Ce sujet doit être traité au niveau de la commission européenne responsable CEN TC 154.

En attendant, il serait possible d'intégrer les exigences pétrographiques dans les éléments nationaux de la SN EN 206 „Béton - Spécification, performances, production et conformité”.

Summary

The chloride resistance of concrete is determined in Switzerland by testing in accordance with SIA 262/1, Appendix B. The limit value of $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for the chloride migration coefficient has been consolidated through investigations and research and incorporated in 2013 in the national elements of SN EN 206-1 as a requirement for XD2b(CH) and XD3(CH).

In practice, cases occurred with some concrete producers during factory production control, where the limit value of the chloride migration coefficient was exceeded and the compressive strength did not correlate with the chloride migration coefficient. Checks and investigations by the concrete producers with the known relationships (cement type, w/c ratio within cement type) did not result in any findings. In these cases, targeted measures to ensure sufficient chloride resistance were not possible. This unsettled both concrete producers and users.

The fact that, despite intensive efforts on the part of the concrete producers, it was not possible to find any satisfying explanations for the impact on chloride resistance, seemed to suggest that effects arising from the aggregates influence the compressive strength - chloride migration coefficient relationship.

In the present investigation, concrete mixes with different fine aggregates and CEM II/A-LL were produced and the relationship between compressive strength and chloride resistance was investigated. CEM II/A-LL cement was chosen to achieve a system which reacted in the most sensitive way possible. In addition, no artificial air was introduced.

The investigations show that the effects on the relationship of compressive strength with chloride resistance are the same, even with different fine aggregates.

The particle size distribution and grain shape of fine aggregates influence the packing density or the porosity of the aggregate mix. With cement paste volumes that are too low or tight, there is an increased risk of isolated, local inhomogeneities in the millimeter range which can have a greater impact on compressive strength than on chloride resistance and thus modify the ratio of compressive strength to chloride resistance.

If chloride resistance values occur in a production control which are not in line with the relationship of compressive strength with chloride migration, investigation of the cavity volume of the chosen overall mix of the aggregate in the concrete and comparison with the cement paste volume should be included in further considerations.

The determination of porosity according to SN EN 1097-3 in the overall mix of aggregates gives preliminary indications with respect to the evaluation of the cement paste volume of a mix.

In this case, a cement paste volume between 300 and 310 l/m³ gave the desired results for a 0-32 mm aggregate mix with a porosity of 29 vol%, which corresponds to a cement content of 380 kg/m³. Taking into account all the specified requirements for concrete, it must be decided on an individual basis whether additional concrete technology measures or the replacement of critical fine aggregates makes more sense.

The investigations in this work and experience based on practice show that petrographic analysis of the aggregates with an evaluation for use in concrete are required, especially when these contain phyllosilicates.

The actual maximum value of free phyllosilicates according to SN 670 115 (2 % number in the fine aggregates) cannot be accepted as a maximum limit. The requirements shall be adjusted regarding the limiting criteria for a need of additional investigations of a possible impact on the material properties of fresh and hardened concrete. As a limiting criteria, not only the absolute amount is relevant but also the variation over time.

In line with the concept described in the test standards, where no requirements regarding product specifications are given, the specifications do not fit into the SN 670 115. However, including the requirements regarding petrography of the aggregates for concrete into SN EN 12620 will result in a conflict. The SN EN 12620 is a harmonized technical specification according to the construction products regulation (CPR) and does not include petrographic properties. The topic must be addressed at the responsible European CEN TC 154.

One possibility in the meantime would be to implement the petrographic properties into the national appendices of SN EN 206 „Concrete - Specification, performance, production and conformity”.

.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die chloridinduzierte Korrosion wurde als eine Hauptursache der Schäden von Stahlbetonbauwerken im Verkehrsbereich erkannt. In verschiedenen Forschungsvorhaben wurde anschliessend die Bestimmung des Chloridwiderstands von Beton und dessen Einflussgrössen untersucht [3].

Die Zusammenhänge zwischen Chloridwiderstand und Zementart, Art und Gehalt von Zusatzstoffen sowie dem w/z-Wert sind bestätigt [4]. In der Schweiz wurde die Prüfung SIA 262/1, Anhang B [1], zur Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton 2003 eingeführt und wird angewendet. Der Grenzwert von $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ für den Chloridmigrationskoeffizienten wurde durch Untersuchungen und Forschungen gefestigt [5] und als Anforderung für XD2b(CH) und XD3(CH) 2013 in die nationalen Elemente der SN EN 206-1 [2] integriert. Die Bestimmung der Messunsicherheit und Ringversuche der Prüfung Chloridwiderstand wurden durch den VAB (Verband akkreditierter Baustoffprüflabore) durchgeführt und Auswirkungen auf die Prüfanweisungen der Labors umgesetzt [6].

In der Praxis traten bei einzelnen Betonherstellern in der werkseigenen Produktionskontrolle Fälle auf, bei denen der Grenzwert des Chloridmigrationskoeffizienten überschritten wurde und die Druckfestigkeit zum Chloridmigrationskoeffizient nicht korrelierten [15]. Abklärungen und Untersuchungen der Betonhersteller mit den bekannten Zusammenhängen (Zementart, w/z-Wert innerhalb Zementart) führten zu keinen Erkenntnissen. In diesen Fällen waren gezielte Massnahmen zur Sicherstellung eines genügenden Chloridwiderstandes unmöglich. Dies verunsicherte Betonhersteller und Anwender.

Dass trotz intensiver Bemühungen der Betonhersteller keine befriedigenden Erklärungen für die Beeinflussung des Chloridwiderstandes gefunden werden konnten, liess vermuten, dass Einflüsse aus den Gesteinskörnungen die Beziehung Druckfestigkeit-Chloridmigrationskoeffizient beeinflussen.

1.2 Projektziele

Aus dem Umstand, dass die feine Gesteinskörnung einen wesentlichen Einfluss auf die Betoneigenschaften ausübt und dass nicht erklärbare Ausreisser beim Verhältnis Druckfestigkeit-Chloridwiderstand auftraten, konnte geschlossen werden, dass in der Produktionskontrolle nicht erfasste Eigenschaften der Gesteinskörnung einen relevanten Einfluss auch auf die Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand des Betons ausüben könnten.

Daraus wurde die zu untersuchende Hypothese abgeleitet:

Die Korngrössenverteilung, petrographische Beschaffenheit und Kornform der feinen Gesteinskörnung üben einen relevanten Einfluss auf die Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand von Beton aus.

Deshalb wurde im vorliegenden Forschungsprojekt der Einfluss der feinen Gesteinskörnung auf den Chloridwiderstand untersucht, um in Zukunft die Unsicherheit bei Abweichungen vom Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand des Betons zu reduzieren.

Ziel:

Untersuchung des Einflusses der feinen Gesteinskörnung (Korngruppe < 4 mm) auf die Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand von Beton.

Mit den Untersuchungen sollten konkret die folgenden Fragestellungen beantwortet werden:

- Welche der untersuchten Eigenschaften der feinen Gesteinskörnung sind bezüglich Chloridwiderstand des Betons wichtig und in der Produktionskontrolle der Gesteinskörnungen für Beton allenfalls detaillierter zu prüfen als bisher?
- Kann mit zusätzlichen Untersuchungen der vorhandenen Gesteinskörnungen der Chloridwiderstand sicher gesteuert werden?
- Ist ein Austausch der Gesteinskörnungen zur sicheren Erreichung des Chloridwiderstandes in der Beton-Produktion notwendig?

1.3 Projektablauf

Basierend auf den Projektzielen und um die Hypothese zu überprüfen, wurde ein zweistufiges Vorgehen festgelegt:

Phase 1: In der Phase 1 wurde die aufgestellte Hypothese mit Versuchen im Labormassstab überprüft.

Phase 2: Bei Bestätigung der Hypothese in Phase 1 wäre in Phase 2 die Umsetzung in die Praxis überprüft worden.

Die Phase 2 wurde nicht ausgelöst. Die Korngrößenverteilung, petrographische Beschaffenheit und Kornform der feinen Gesteinskörnung beeinflussen den Chloridwiderstand innerhalb der bekannten betontechnologischen Zusammenhängen. Die Steuerung des Chloridwiderstandes in Bezug auf die feinen Gesteinskörnungen kann unter einer angemessenen Berücksichtigung des Hohlraumgehalts der Gesamtmischung mit den bekannten betontechnologischen Zusammenhängen (Einfluss der Zementart auf den Chloridwiderstand, w/z-Wert innerhalb der gleichen Zementart) erfolgen.

1.4 Stand der Forschung

Zum Thema Chloridwiderstand sind zahlreiche nationale und internationale Untersuchungen vorhanden [7-9].

Dass die Gesteinskörnung, insbesondere die feine Gesteinskörnung (Sand, Korngruppe < 4 mm) einen wesentlichen Einfluss auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften ausübt, ist allgemein bekannt [18]. Insbesondere bei Mischungen SCC mit einem grossen Anteil an feiner Gesteinskörnung wie selbstverdichtende Betone (SCC) oder Mörtel wird dies in der Praxis deutlich.

Verschiedene Forschungsarbeiten und die Erfahrungen aus der Praxis belegen den Einfluss der Gesteinskörnung auf die allgemeinen Eigenschaften des Betons bzw. des Porengefüges [10-13].

Im Zusammenhang mit der Materialbewirtschaftung des Baus des Gotthard Basistunnels wurde der Einfluss von freien Schichtsilikaten in der Gesteinskörnung auf die Eigenschaften von Mörtel und Beton [14] untersucht. Mit der Ausführung des Gotthard Basistunnels wurden Erfahrungen im Umgang mit schichtsilikatreichen Gesteinskörnungen in der Betonproduktion gewonnen [17].

Gezielte Untersuchungen zum Einfluss der feinen Gesteinskörnung auf die Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand fehlten jedoch.

2 Methodik

2.1 Allgemeines

In der Phase 1 wurde die aufgestellte Hypothese mit Versuchen im Labormassstab überprüft.

Für das Projekt wurden mittels einer Recherche drei Betonproduzenten, welche auch Gesteinskörnungen für Beton herstellen (im Hinblick auf die Phase 2), ausgewählt.

Um die verschiedenen regionalen Aspekte der Gesteinskörnungen möglichst gut zu erfassen, wurden Produzenten mit Alluvialkiesvorkommen des schweizerischen Mittelandes und Produzenten mit gebrochenem kristallinem Material (Granite, Gneise) berücksichtigt (Tabelle 1).

Als grobe Gesteinskörnung (4-32 mm) wurde bei allen Mischungen derselbe Rundkies eingesetzt.

Tabelle 1 eingesetzte Gesteinskörnungen

Lieferant	Beschreibung	Korngruppe(n)	Bezeichnung
Toggenburger AG, Wil ZH	Rundkiesgemisch mit Gneisen, Quarz, harten Sandsteinen und Kalken/Kieselkalken	4/8 mm	GGK 1.4
		8/16 mm	GGK 1.5
		16/32 mm	GGK 1.6
Toggenburger AG, Wil ZH	Sandgemisch aus Gneisen, Quarz, harten Sandsteinen, Kieselkalken und Kalken	Natursand 0/4 mm	FGK 1.1
		Sand gewaschen 0/4 mm	FGK 1.2
		Brechsand	FGK 1.3
Kies und Beton AG Tardis, Landquart GR	Sandgemisch aus wenig Gneisen, Quarz, harten Sandsteinen, Kieselkalken und Kalken	0/1 mm	FGK 2.1
		1/4 mm	FGK 2.2
		0/4 mm	FGK 2.3
		Brechsand	FGK 2.4
Holcim (Schweiz) AG, Avengo TI	Sandgemisch aus muskovit- führenden Biotitgneis	Sabbia 0/4 mm	FGK 3.1

Alle Gesteinskörnungen wurden mit den folgenden Prüfungen charakterisiert.

- Petrographische Untersuchung gemäss SN 670 115
- Korngrößenverteilung – Siebverfahren gemäss SN EN 933-1
- Rohdichte und Wasseraufnahme gemäss SN EN 1097-6
- Trockenrohndichte gemäss SN EN 1097-6.

An den feinen Gesteinskörnungen wurden die folgenden Prüfungen zusätzlich durchgeführt:

- Schlämmanalyse nach der Aräometermethode gemäss SN 670 816
- Kantigkeit der feinen Gesteinskörnungen (Fließkoeffizient) gemäss SN EN 933-6
- Lasergranulometrie gemäss Holcim (Schweiz) AG, SOP 1180L, CILAS 1180 nass

Um ein möglichst empfindlich reagierendes System zu erhalten, wurde als Zement ein CEM II/A-LL 42.5 N gewählt. Zudem wurden keine künstlichen Luftporen eingeführt.

Die Mischungszusammensetzungen¹ wurden aufgrund der folgenden Randbedingungen bestimmt:

Tabelle 2 Angaben zur Mischungszusammensetzung

Zement Holcim (Schweiz) AG	CEM II/A-LL 42.5 N 300 kg/m ³
w/z-Wert	0.45/0.50/0.55
Sandreiche Mischung	Anteil feine Gesteinskörnung 40 M.-%
Zusatzmittel BASF Construction Chemicals Europe AG	Rheobuild 5500 Fließmittel zum Ausgleich Konsistenz und Wasseranspruch, kein Luftporenmittel

Die Details der Mischungszusammensetzung sind in Anhang I, Tabelle 1 aufgeführt.

2.2 Herstellung des Frischbetons

Mit den ausgewählten Ausgangsstoffen wurden 60-Liter Mischungen mit einem Zwangsmischer im Labor der Versuchsstollen Hagerbach AG in Flums Hochwiese hergestellt.



Abbildung 1 Zwangsmischer für Laborversuche

Die abgewogenen Gesteinskörnungen und der Zement wurden 30 Sekunden trocken gemischt. Nach der Trockenmischzeit wurden rund $\frac{3}{4}$ des Zugabewassers zur Mischung gegeben. Anschliessend wurde das Zusatzmittel dosiert. Nach rund 45 Sekunden Nassmischzeit wurde das restliche Wasser feindosiert. Die Nassmischzeit betrug mindestens 60 Sekunden.

2.3 Frisch- und Festbetonprüfungen

Am Frischbeton wurden die folgenden Eigenschaften bestimmt:

- Konsistenz Ausbreitmass gemäss SN EN 12350-5
- Frischbetonrohddichte gemäss SN EN 12350-6
- Luftgehalt im Frischbeton gemäss SN EN 12350-7
- Wassergehalt im Frischbeton gemäss SIA 262/1, Anhang H

¹ Von den Anforderungen an die Zusammensetzung entspricht die Mischung bei einem maximalen w/z-Wert von 0.50 einer Sorte C nach SN EN 206-1/NE:2013.

Für die folgenden Festbetonprüfungen wurden Würfel 15x15x15cm in Kunststoff-schalungen hergestellt:

- Würfeldruckfestigkeit nach 7 und 28 Tagen gemäss SN EN 12390-3
- Wasserleitfähigkeit gemäss SIA 262/1, Anhang A
- Chloridwiderstand gemäss SIA 262/1, Anhang B

Die Bohrkern für die Prüfung der Wasserleitfähigkeit bzw. des Chloridwiderstandes wurden jeweils aus zwei Würfel gewonnen.



Abbildung 2 Würfelherstellung

3 Charakterisierung der Gesteinskörnungen

3.1 Eigenschaften Gesteinskörnungen

Die ausgewählten Gesteinskörnungen wurden in Bezug auf deren Auswahl und zur Dokumentation der Grundlagen untersucht. Die bei der Auswahl ausgesuchten Kriterien in Bezug auf die petrographische Zusammensetzung und die Korngrössenverteilung wurden bestätigt. Verschiedene feine Gesteinskörnungen mit unterschiedlichen petrographischen Zusammensetzungen und unterschiedlichen Gehalten an Feinanteilen waren für die Versuche vorhanden.

Die folgenden zwei Tabellen fassen die Messwerte zusammen.

Tabelle 3 Resultate Charakterisierung feine Gesteinskörnungen Teil 1

Material- Bezeichnung	Korngrössenverteilung [M.-%]			Wasseraufnahme WA ₂₄ [M.-%]	Rohdichte ofen- trocken ρ_{rd} [kg/m ³]
	< 0.02 mm	< 0.063 mm	< 0.125 mm		
FGK 1.1	0.3	2.4	6.5	1.1	2647
FGK 1.2	1.3	4.7	8.5	1.1	2665
FGK 1.3	5.7	10.6	14.1	1.4	2585
FGK 2.1	4.3	8.1	16.0	1.0	2627
FGK 2.2	1.3	2.4	2.8	0.9	2643
FGK 2.3	3.5	5.6	8.5	0.8	2642
FGK 2.4	9.4	14.9	19.6	1.0	2658
FGK 3.1	1.9	6.5	15.6	1.0	2675

Tabelle 4 Resultate Charakterisierung feine Gesteinskörnungen Teil 2

Material- Bezeichnung	Fliesskoeffizient/Kantigkeit [s]		Anteil unge- eignete [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%] in	
	Trichter 12 mm	Trichter 16 mm		0.25/0.5 mm	0/4 mm
FGK 1.1	-	12	0	0	-
FGK 1.2	-	14	0	0	-
FGK 1.3	-	23	0	0	-
FGK 2.1	29	-	4	4	-
FGK 2.2	-	19	1	0	-
FGK 2.3	-	17	2	2	-
FGK 2.4	-	17	4	0	-
FGK 3.1	-	15	20	22	20

Im Anhang I.2 sind alle Messwerte der Charakterisierung der Gesteinskörnungen aufgeführt.

3.2 Ausgewählte Aspekte der Gesteinskörnungen

3.2.1 Vergleich Schlämmanalyse-Lasergranulometrie

Nach der Bestimmung der Schlämmanalyse mit der Aräometermethode gemäss SN 670 816 der Sande wurde das Prüfmaterial getrocknet und daraus anschliessend eine Probe für die Prüfung mittels Lasergranulometrie entnommen. Die Lasergranulometrie wurde im Labor der Holcim (Schweiz) AG in Würenlingen durchgeführt. Die Prüfung wurde durch Holcim (Schweiz) AG gemäss der SOP 1180L, CILAS 1180 nass, durchgeführt.

Die Messwerte der Lasergranulometrie sind in Anhang I.2, Tabelle 7, zusammengestellt.

Der Vergleich der Messwerte der beiden Prüfmethoden ergab bei den meisten Proben eine gute Übereinstimmung trotz der beiden unterschiedlichen Prüfverfahren.

Die Vergleiche zwischen der Schlämmanalyse und der Lasergranulometrie sind in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt.

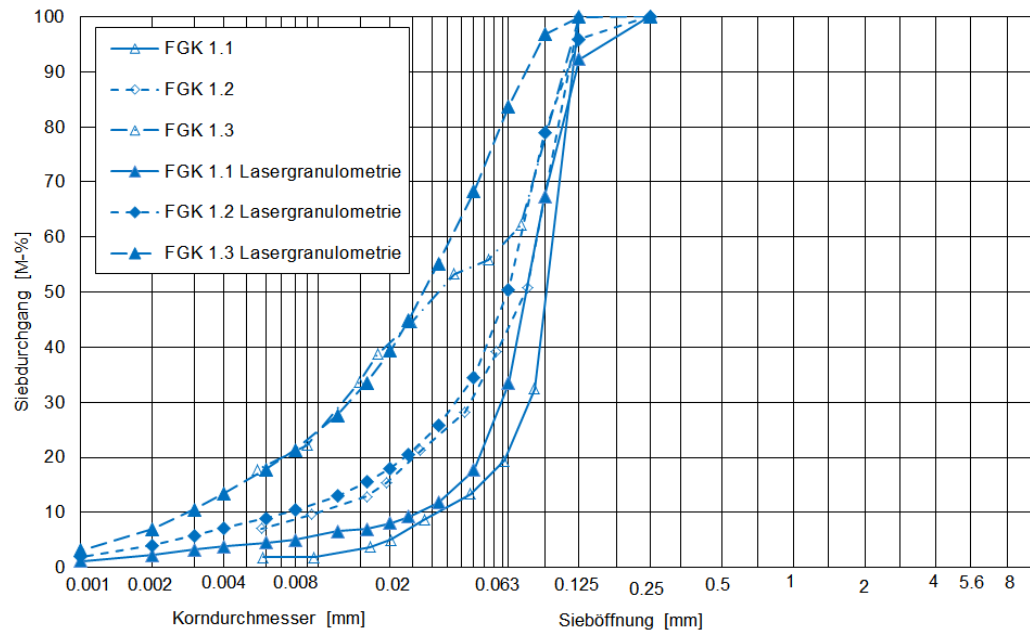


Abbildung 3 Vergleich Schlämmanalyse – Lasergranulometrie Material FGK 1

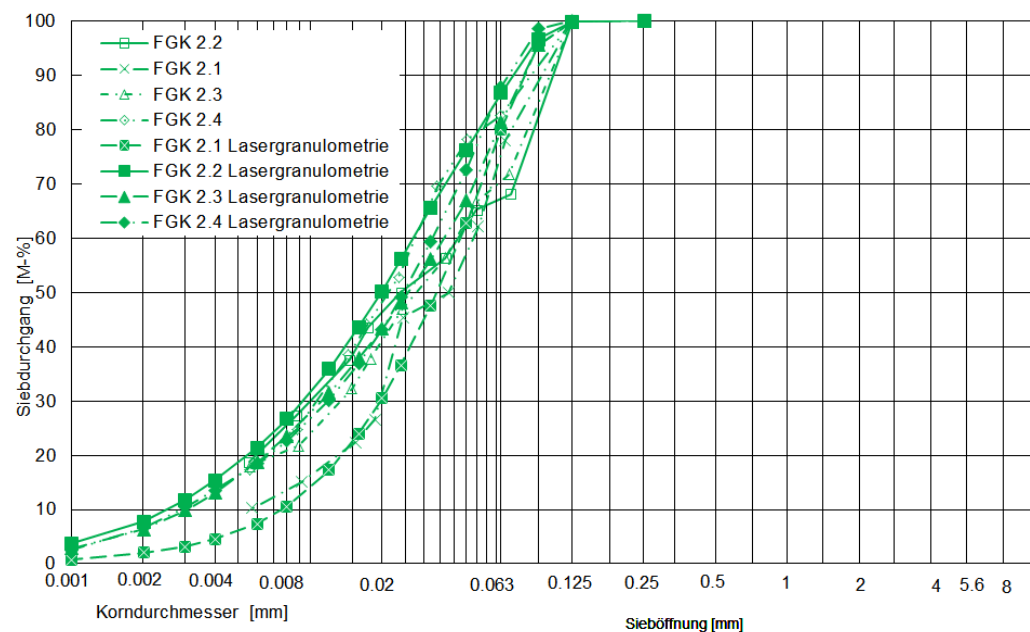


Abbildung 4 Vergleich Schlämmanalyse – Lasergranulometrie Material FGK 2

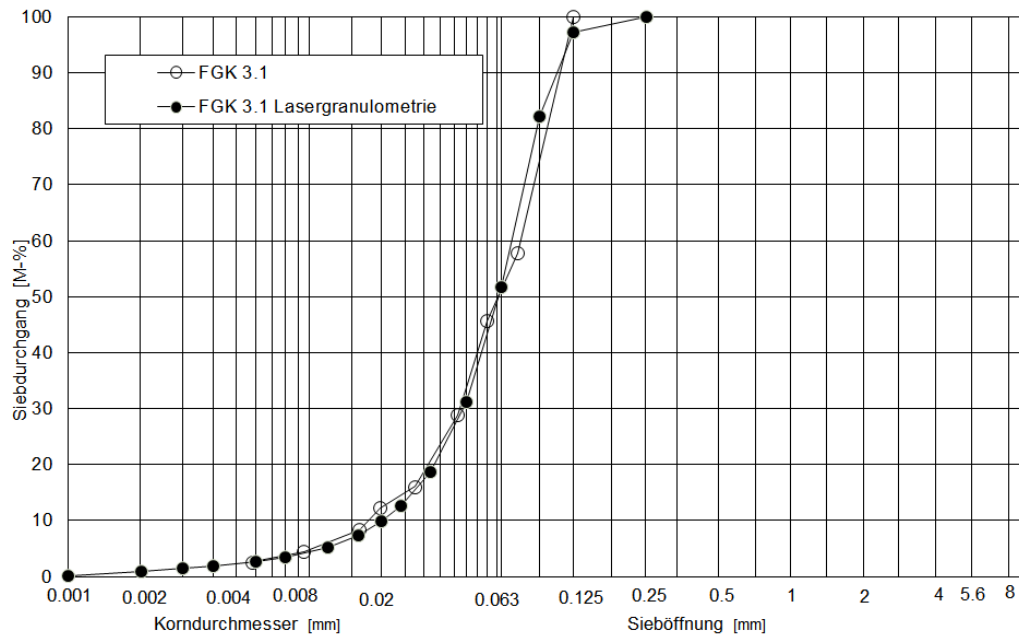


Abbildung 5 Vergleich Schlämmanalyse – Lasergranulometrie Material FGK 3

3.2.2 Schichtsilikate im Sand FGK 3.1

Der Sand FGK 3.1 wurde aufgrund des erfahrungsgemäss hohen Gehaltes an Schichtsilikaten (Glimmer) ausgewählt.

Bei der petrographischen Untersuchung wurde der Sand FGK 3.1 in Bezug auf die Schichtsilikate detailliert untersucht, d.h. die Schichtsilikate wurden in allen einzelnen Fraktionen ausgezählt.

Die restlichen Sande erschienen homogen mit geringen Gehalten an Schichtsilikaten. Bei diesen wurde die Bestimmung der Schichtsilikate nur an der Fraktion 0.25/0.5 mm durchgeführt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 5 Schichtsilikate in den einzelnen Fraktionen des Sandes FGK 3.1

Korngruppe [mm]	0.063/0.125	0.125/0.25	0.25/0.5	0.5/1	1/4	Summe
Anteil am Korn-gemisch 0/4 mm [M.-%]	15.6	16.1	23.0	17.6	27.7	100.0
Freie Schichtsilikate in Korngruppe [Zahl-%]	¹⁾	25	22	11	5	
Freie Schichtsilikate im Korngemisch [Zahl-%]	¹⁾	4	5	2	1	20 ¹⁾

¹⁾ nicht bestimmbar

Kommentar zur Fussnote ¹⁾

Der Anteil in der Korngruppe 0.063/0.125 mm war nicht bestimmbar. Erfahrungen bei der Untersuchung von feinen Gesteinskörnungen mit hohen Anteilen an Schichtsilikaten ergeben eine deutliche Zunahme (bis zur Verdoppelung) je feiner die Korngruppe ist. Im vorliegenden Fall wird der Anteil in der Korngruppe 0.063/0.125 mm mit 50 Zahl-% angenommen.

4 Versuche im Labormasstab (Phase 1)

4.1 Untersuchte Mischungen

Die Mischungsbezeichnung ist nach folgendem System aufgebaut:

MX.Y

X ist eine Variable für den Typ der feinen Gesteinskörnung (M1 bis M3 siehe Tabelle 6).

Y ist eine Variable für die Siebkurve des Anteils 0/4 mm in der Mischung

Die verschiedenen Mischungen enthalten die folgenden feinen Gesteinskörnungen:

Tabelle 6 eingesetzte feine Gesteinskörnungen in den Mischungen

Mischung	Beschreibung der feinen Gesteinskörnungen
M1	Sandgemisch aus Gneisen, Quarz, harten Sandsteinen, Kieselkalken und Kalken
M2	Sandgemisch aus wenig Gneisen, Quarz, harten Sandsteinen, Kieselkalken und Kalken
M3	Sandgemisch aus muskovitführenden Biotitgneis

In den beiden folgenden Tabellen sind die verschiedenen, untersuchten Mischungen und Variablen aufgeführt:

Tabelle 7 Übersicht untersuchte Mischungen und Variablen: Gesteinskörnung

Bezeichnung	Im Anteil 0/4 mm		Im Korngemisch 0/32 mm [M.-%]	
	<0.063 mm [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	<0.063 mm	<0.125 mm
M1.3	2.7	0	1.1	2.8
M1.2	4.4	0	1.8	3.4
M1.4	9.9	0	4.0	5.4
M2.3	3.1	1	1.3	1.9
M2.2	5.7	2	2.3	4.2
M2.4	11.4	1	5.2	7.0
M3.2	3.3	16	1.4	3.9
M3.3	3.2	18	1.4	3.9
M3.1	6.5	20	2.2	6.7

Tabelle 8 Übersicht untersuchte Mischungen und Variablen: Brechsand und Beton

Bezeichnung	Brechsand	Zementgehalt [kg/m³]			w/z [-]		
		300	340	380	<0.46	0.48-0.53	>0.56
M1.3	nein	X			X	X	
M1.2	nein	X			X		
M1.4	ja	X				X	
M2.3	nein	X			X		
M2.2	nein	X				X	
M2.4	ja	X			X		
M3.2	ja	X	Y		X	X, Y	
M3.3	ja	X				X	X
M3.1	ja	X	Y	Z		Z, Y	X

Die Bandbreite der untersuchten feinen Gesteinskörnungen 0/4 mm deckt bei der Korngrösse 0.063 mm die Bandbreite von 3 bis 11 M.-% ab (siehe Tabelle 7). In der Schweiz wird ein Feinanteil bis 3 M.-% in den feinen Gesteinskörnungen als nicht schädlich beurteilt.

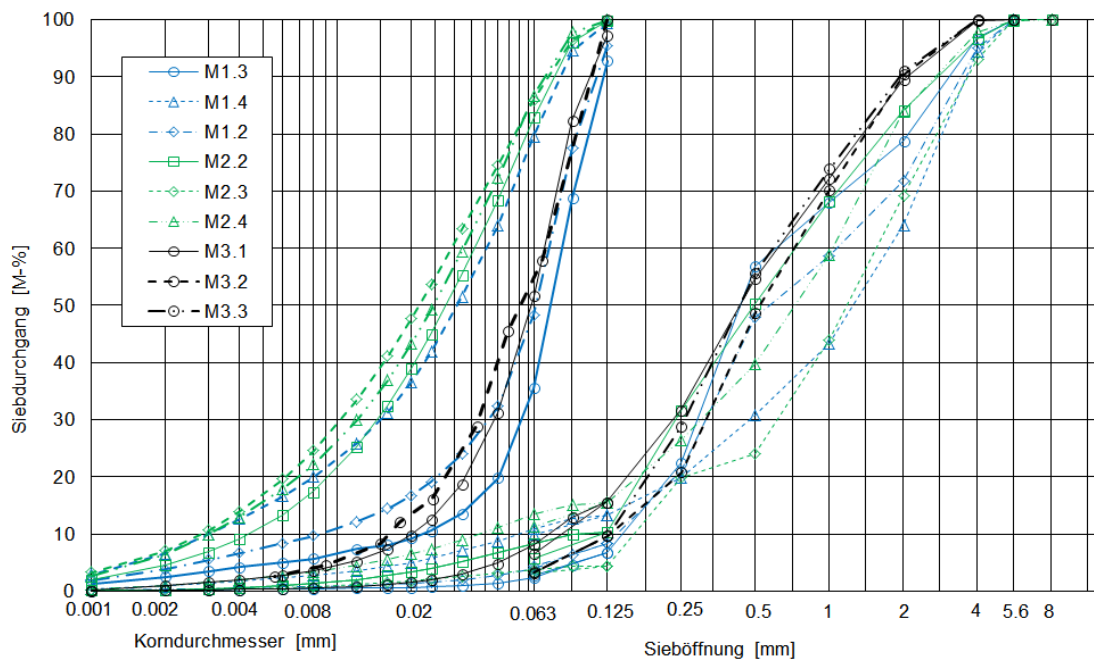


Abbildung 6 Bandbreite der eingesetzten feinen Gesteinskörnungen 0/4 mm

In den Korngemischen 0/32 mm wird eine Bandbreite von 1 bis 5 M.-% Durchgang bei der Korngrösse 0.063 mm abgedeckt.

5 Auswertung

5.1 Allgemeine Betoneigenschaften

Eine Zusammenfassung der Messresultate der Frischbetonprüfungen, der Druckfestigkeiten, Wasserleitfähigkeiten und des Chloridwiderstandes ist im Anhang I.3 zu finden.

Angestrebt wurde ein weicher Beton mit einer Konsistenz gemessen mit dem Ausbreitmass von über 500 mm. Bei den Mischungen M1 und M2 konnte eine Konsistenz von über 500 mm durch die Anpassung der Dosierung des Fließmittels im w/z-Wert Bereich von 0.45 bis 0.50 erreicht werden. Bei den Mischungen M3.1 mit 300 kg/m³ war eine Konsistenz von 500 mm auch mit erhöhten Fließmitteleinsatz nicht erreichbar. Erst durch Erhöhung des Wassergehaltes auf w/z-Werte von über 0.55 konnte die angestrebte Konsistenz eingestellt werden. Durch eine Erhöhung des Zementgehaltes bei Mischungen von M3 auf 340 kg/m³ konnte auch bei einem w/z-Wert von 0.50 die Konsistenz erreicht werden.

Die Druckfestigkeit der hergestellten Mischungen M1 und M2 nahmen mit steigendem w/z-Wert ab. Bei den Mischungen M3 war trotz unterschiedlichen w/z-Werte kein relevanter Unterschied bei den Druckfestigkeiten erkennbar (siehe Abbildung 7).

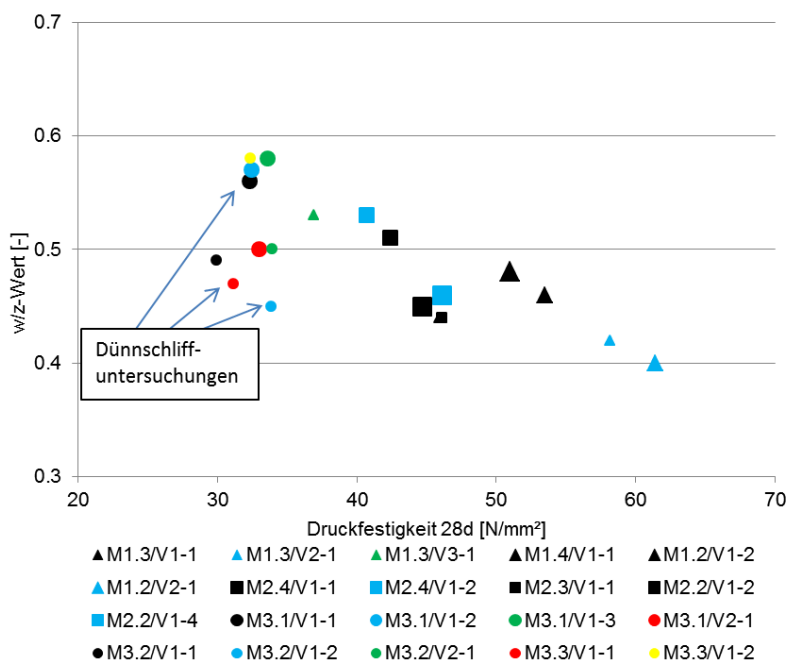


Abbildung 7: Vergleich w/z-Wert zu Druckfestigkeit am Würfel nach 28 Tagen

Von den drei Mischungen M3.1/V1-1, M3.2/V1-2 und M3.3/V1.1 mit Druckfestigkeiten um 30 N/mm² und w/z-Werten von 0.45 bis 0.56 wurden Dünnschliffe an der EMPA untersucht (EMPA Bericht Nr. 5214006022, siehe Anhang II). In den Dünnschliffen wurden Entmischungen im Millimeterbereich gefunden, welche mechanische Schwachstellen für die Druckfestigkeit darstellten und auf ein korngestütztes Gefüge hinwiesen (weitere Details siehe Kapitel 5.2). Nach der Erhöhung des Zementgehalts auf 380 kg/m³ (M3.1/V3-1 bis M3.1/V5-1) mit Zementleimvolumen von 300 bis 310 l/m³ wurden auch beim Verhältnis Druckfestigkeit zu w/z-Wert die bekannten Abhängigkeiten erkennbar (Abbildung 8).

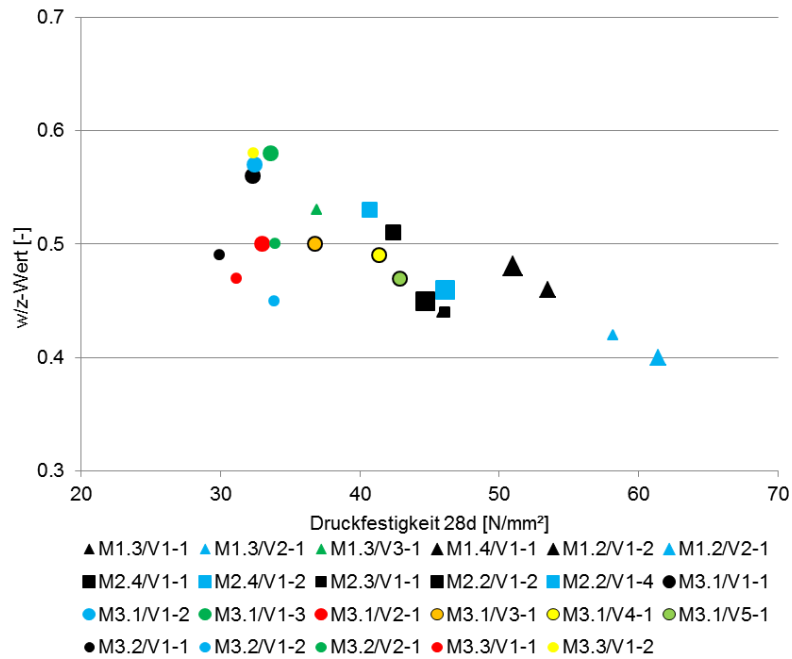


Abbildung 8: Vergleich w/z-Wert zu Druckfestigkeit am Würfel nach 28 Tagen inklusive Mischungen M3.1 mit 380 kg/m³ Zement (Kreise mit schwarzer Umrandung)

Mit steigender Gesamtporosität (Abbildung 9) nimmt die Druckfestigkeit erwartungsgemäss ab. Die Wolkenbildung bei den Mischungen M3 konnte durch Erhöhung des Zementgehaltes auf 380 kg/m³ ebenfalls in eine plausible Abhängigkeit gebracht werden.

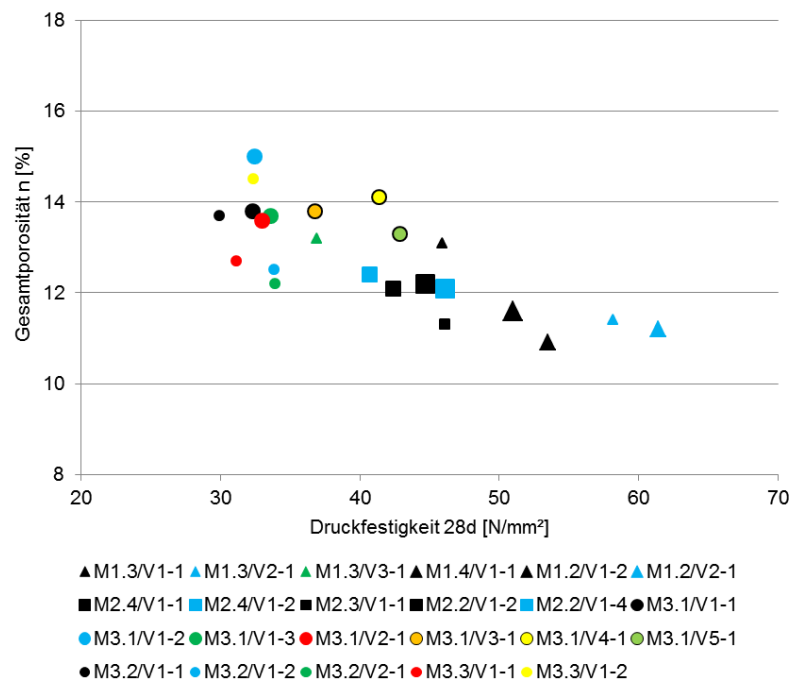


Abbildung 9: Vergleich Gesamtporosität n zu Druckfestigkeit am Würfel nach 28 Tagen

5.2 Chloridwiderstand

Bei der Korrelation der Druckfestigkeit zum Chloridwiderstand fiel auf, dass bei den Mischungen M3 mit dem stark schichtsilikathaltigen Sand keine Abhängigkeit Druckfestigkeit-Chloridwiderstand gefunden wurde (Abbildung 10).

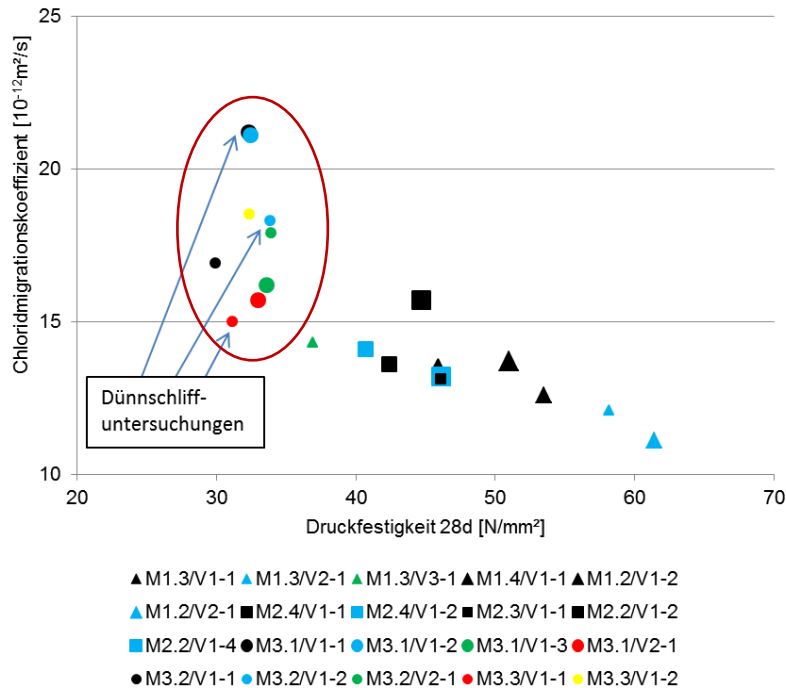


Abbildung 10: Vergleich Chloridwiderstand zu Druckfestigkeit am Würfel nach 28 Tagen

Von drei Mischungen mit ähnlicher Druckfestigkeit und verschiedenen Chloridmigrationskoeffizienten wurden Dünnschliffanalysen zur Klärung der Ursachen an der EMPA (EMPA Bericht Nr. 5214006022, Anhang II) durchgeführt.

Die Untersuchungen ergaben, dass der relativ hohe Anteil an Schichtsilikaten in allen drei Mischungen zu hoher Porosität im Zementstein in der Kontaktzone mit den Gesteinskörnung führte. Die Mischung M3.1/V1.1 wies für einen Beton mit einem relativ hohen w/z-Wert von 0.56 ein übliches Gefüge auf. Die Gefüge der Mischungen M3.2/V1-2 und M3.3/V1-1 wiesen auf eine starke Übervibration hin. Allerdings kam es nur zu Entmischungen im Millimeterbereich und nicht im Zentimeter- bis Dezimeterbereich wie sonst bei Übervibration üblich. Dies wies darauf hin, dass ein korngestütztes Gefüge (durch die Gesteinskörnung) vorhanden war. Dies ist bei Betonen der Fall, bei denen das Zementleimvolumen nicht ausreicht, um den Hohlraumgehalt zwischen den Gesteinskörnern zu füllen.

Die Ursache für die unterschiedlichen Chloridwiderstände bei vergleichbaren Druckfestigkeiten wird somit in den zahlreichen isolierten, lokalen Inhomogenitäten im Zementstein im Millimeterbereich vermutet. Die Inhomogenitäten im Millimeterbereich der Mischungen M3.2/V1-2 und M3.3/V1-1 dürften sich auf die Druckfestigkeiten als mechanische Schwachstellen ausgewirkt haben. Die isolierten, lokalen Inhomogenitäten wirkten sich jedoch offenbar weniger auf den Chloridwiderstand aus. Die Zonen mit Inhomogenitäten wiesen eine erhöhte Porosität auf. Weil die Zonen aber im Millimeterbereich vorlagen und kaum ein zusammenhängendes Netz bilden dürften, mussten die Chloridionen auch wieder durch Bereiche mit höherer Kapillarporosität migrieren.

Bei den Mischungen M3.1 wurde ein Hohlraumgehalt nach SN EN 1097-3 von 29 Vol.-% bestimmt. Das Zementleimvolumen (Volumen von Zement und Wasser) von 260-270 l/m³ bei den Mischungen M3.1/V1-1 bis M3.1/V1-3 mit 300 kg/m³ Zement bzw. mit 280 l/m³ bei M3.1/V2-1 mit 340 kg/m³ war nicht ausreichend. Nach der Erhöhung des Zement-

gehalts auf 380 kg/m^3 (M3.1/V3-1 bis M3.1/V5-1) mit Zementleimvolumen von 300 bis 310 l/m^3 konnte die bekannte Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand aufgezeigt werden.

Der Einfluss der isolierten, lokalen Inhomogenitäten im Millimeterbereich auf die Druckfestigkeit ist ausgeprägter als beim Chloridwiderstand. Die scheinbar fehlende Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand konnte im vorliegenden Fall auf den Einfluss der isolierten, lokalen Inhomogenitäten im Millimeterbereich auf die Druckfestigkeit zurück geführt werden.

Werden die Mischungen M3.2/V1-2 und M3.3/V1-1 mit den starken Inhomogenitäten im Millimeterbereich ausgeschieden, ergibt sich auch bei den Mischungen M3 ein Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand (Abbildung 11).

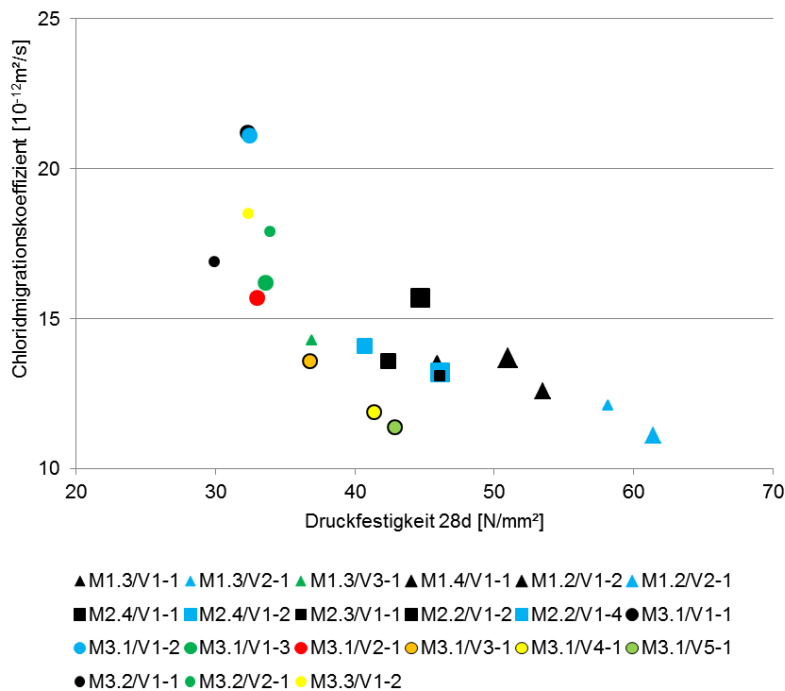


Abbildung 11: Vergleich Chloridwiderstand zu Druckfestigkeit am Würfel nach 28 Tagen ohne die Mischungen M3.2/V1-2 und M3.3/V1-1

Die in dieser Untersuchung erhaltenen Daten korrespondieren mit Daten aus früheren Untersuchungen mit verschiedenen Zementen und Zusammensetzungen. In Abbildung 13 ist erkennbar, dass die erhaltenen Daten der vorliegenden Arbeit mit CEM II/A-LL (rot eingefärbte Fläche) im Vergleich zur Druckfestigkeit eher ungünstige Chloridmigrationskoeffizienten ausweisen und im Bereich über $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ liegen. Dies wurde jedoch durch die Mischungszusammensetzung bewusst gewählt, um ein möglichst empfindlich reagierendes System zu erhalten und allfällige Einflüsse besser erkennen zu können.

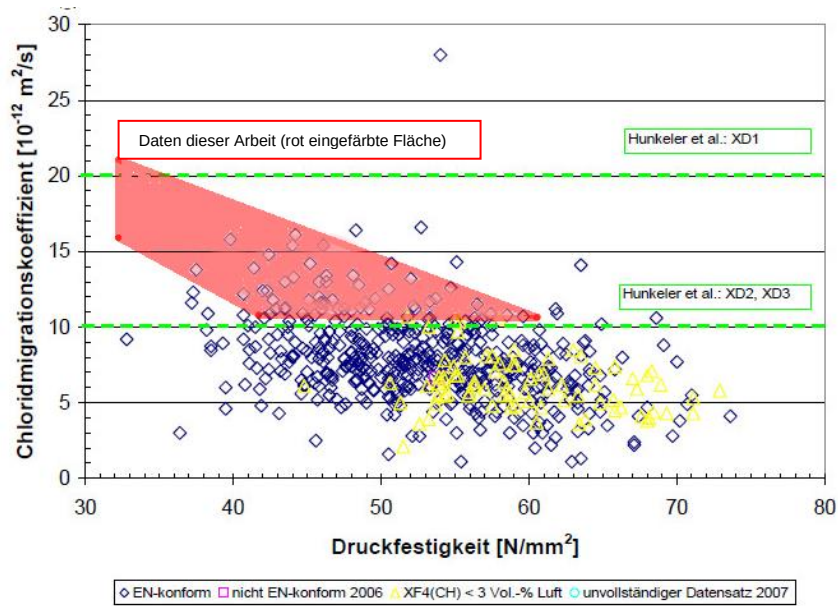


Abbildung 12: Vergleich der Daten dieser Arbeit (rot eingefärbte Fläche) mit Daten verschiedener Zemente und Zusammensetzungen aus früheren Untersuchungen (Abbildung 8 aus [5])

Auch beim Vergleich w/z- Wert mit dem Chloridwiderstand zeigten sich die bekannten betontechnologischen Zusammenhänge (Abbildung 13).

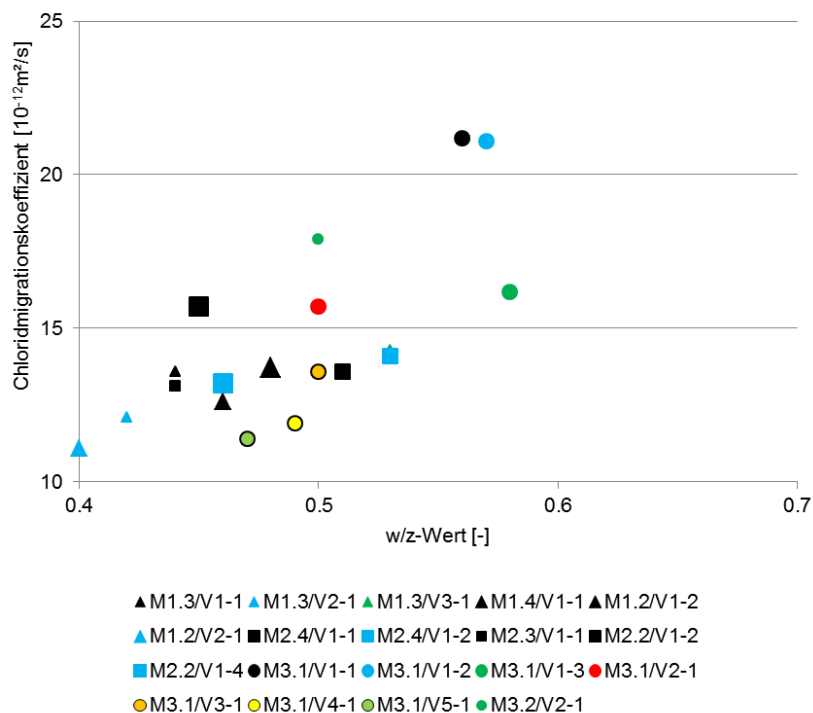


Abbildung 13: Vergleich w/z-Wert mit Chloridwiderstand ohne die Mischungen M3.2/V1-2 und M3.3/V1-1

5.3 Vergleichsversuche Chloridwiderstandsprüfung

Mit den Mischungen M2.2 und M3.3 wurde ein Vergleichsversuch für die Bestimmung des Chloridwiderstands zwischen 5 Labors durchgeführt. Die Mischungen M2.2 und M3.3 wurden nach den Erfahrungen aus den ersten Versuchen ausgewählt, so dass eine Mischung einen tieferen und eine Mischung einen für diese Versuche höheren Chloridwiderstand erwarten liessen.

Die beiden Mischungen M2.2 und M3.3 wurden am 24.03.2014 hergestellt. Für die Vergleichsversuche wurden zusätzlich 3 Würfel hergestellt. Aus diesen 3 Würfeln wurden die Bohrkerne für die Chloridwiderstandsprüfungen der 5 teilnehmenden Labore sowie die Prüfkörper für eine Wasserleitfähigkeitsprüfung gewonnen.

Die Prüfkörper wurden nach der Probenahme so aufgeteilt, dass jede Prüfung (5 Chloridwiderstandsprüfungen und 1 Wasserleitfähigkeitsprüfung) aus Prüfkörpern aus allen 3 Würfeln bestand. Nach der Prüfkörpergewinnung wurden die Bohrkerne in Säcken luftdicht abgepackt und den teilnehmenden Labors versandt. Bis zum Prüfbeginn wurden die Prüfkörper im Sack belassen.

Die von den Labors erhalten Prüfwerte wurden wie folgt ausgewertet:

- Ausreisser innerhalb eines Labors: Ausreisser-Test von Grubs für einen und zwei Ausreisser
- Vergleich der Varianzen zwischen den Labors: Mandel's k-Statistik und Cochran-Test
- Test auf Mittelwertunterschiede zwischen den Labors: Mandel's h-Statistik
- Vergleich der Rohdichten und Chloridwiderstände bezogen auf einzelne Würfel

Die Prüfung der Daten mit oben aufgeführten Tests ergab keine Ausreisser.

Die Analyse der Werte zeigte zudem, dass die Unterschiede zwischen den Labors nicht auf eine Materialstreuung zwischen den drei Würfeln für die Probeentnahme zurück zu führen ist.

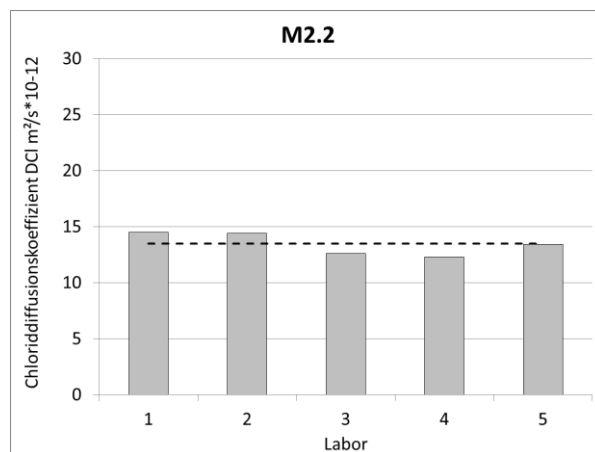


Abbildung 14: Mischung M2.2, Mittelwert $13.5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

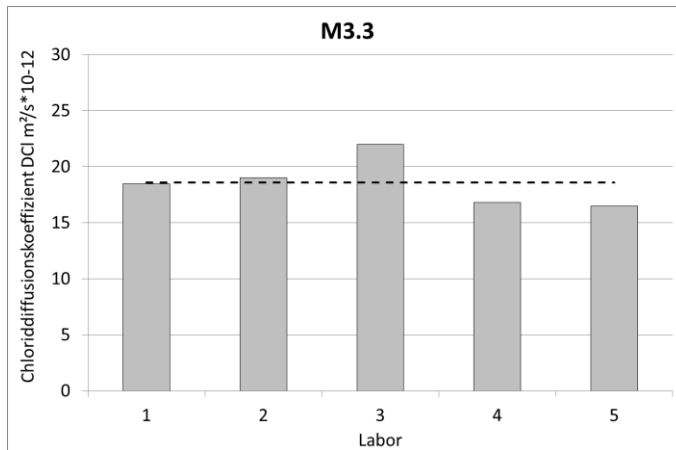


Abbildung 15: Mischung M3.3, Mittelwert $18.6 \cdot 10^{-12} m^2/s$

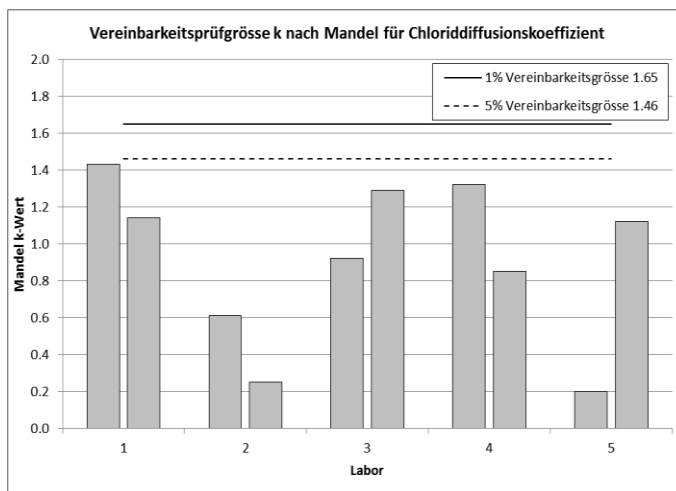


Abbildung 16: Mischungen M2.2 und M3.3 Mandel k-Statistik

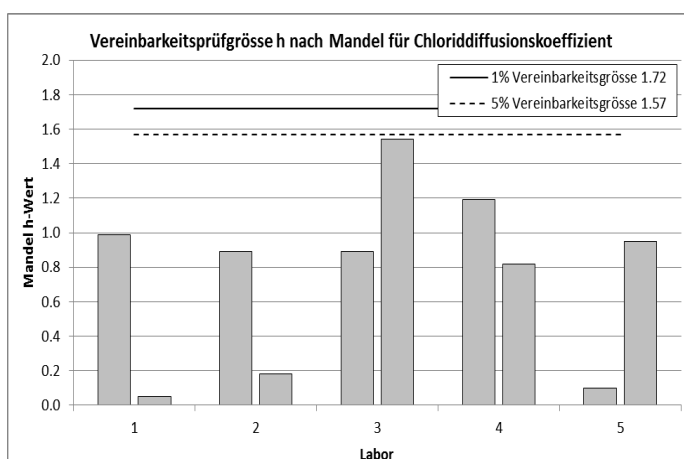


Abbildung 17: Mischungen M2.2 und M3.3 Mandel h-Statistik

Die Auswertung der Vergleichsprüfung ergab die folgenden Werte (Tabelle 9):

Tabelle 9 Resultate der Vergleichsprüfung Chloridwiderstand

Mischung	Anzahl Labors	Mittelwert Chlorid-widerstand [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Wiederhol-stand-abweichung S_r [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Vergleichs-stand-abweichung S_R [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Wiederhol-barkeit r [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Vergleich-barkeit R [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]
M2.2	5	13.5	2.0	2.0	3.9	4.1
M3.3	5	18.6	2.8	3.4	8.1	11.3

In der SIA 262/1:2013 [1] werden die folgenden Messunsicherheiten (basierend auf dem Ringversuch der Vereinigung Akkreditierter Baustoffprüflabors VAB/ALA 2010) ausgewiesen (Tabelle 10):

Tabelle 10 Messunsicherheiten für Mittelwerte aus [1]

	Chloridmig-rations-koeffizient [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Wiederhol-stand-abweichung S_r [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Vergleichs-stand-abweichung S_R [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Wiederhol-barkeit r [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Vergleich-barkeit R [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]
	2.1	0.7	1.6	1.8	4.6
	7.2	0.8	1.7	2.3	4.8
	15.0	1.3	3.1	3.8	8.4

6 Erkenntnisse

In der Praxis traten bei einzelnen Betonherstellern in der werkseigenen Produktionskontrolle Fälle auf, bei denen der Grenzwert des Chloridmigrationskoeffizienten überschritten wurde und das Beziehungsverhältnis Druckfestigkeit zu Chloridmigrationskoeffizient nicht passte. Abklärungen und Untersuchungen der Betonhersteller mit den bekannten Zusammenhängen (Zementart, w/z-Wert innerhalb Zementart) führten zu keinen Erkenntnissen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden Betonmischungen mit unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen (Sande) hergestellt und in Bezug auf die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand ausgewertet.

Die Untersuchungen zeigen, dass auch bei unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen die Auswirkungen auf das Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand gleich sind.

Die eingangs gestellten Fragestellungen können wie folgt beantwortet werden:

Welche der untersuchten Eigenschaften der feinen Gesteinskörnung sind bezüglich Chloridwiderstand des Betons wichtig und in der Produktionskontrolle der Gesteinskörnungen für Beton allenfalls detaillierter zu prüfen als bisher?

- Bei der Bestimmung der ungeeigneten Anteile in den feinen Gesteinskörnungen ist der Anteil der freien Schichtsilikate relevant.
- Die Korngrößenverteilung und Kornform der feinen Gesteinskörnungen beeinflussen die Packungsdichte bzw. den Hohlraumgehalt der Gesteinskörnungsmischung [16]. Bei zu geringen oder knappen Zementleimvolumen steigt das Risiko für isolierte, lokale Inhomogenitäten im Millimeterbereich, welche sich auf die Druckfestigkeit stärker als auf den Chloridwiderstand auswirken können und somit das Verhältnis zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand verändern.
- Die Steuerung bzw. Beeinflussung des Chloridwiderstandes kann unabhängig von der feinen Gesteinskörnung über die bekannten betontechnologischen Zusammenhänge (Einfluss der Zementart auf den Chloridwiderstand, w/z-Wert innerhalb der gleichen Zementart) mit Berücksichtigung des Hohlraumgehalts in der Gesamtmischung erfolgen.
- Die Bestimmung des Hohlraumgehalts nach SN EN 1097-3 in der Gesamtmischung der Gesteinskörnungen gibt orientierende Hinweise in Bezug auf die Beurteilung des Zementleimvolumens einer Mischung.

Kann mit zusätzlichen Untersuchungen mit den vorhandenen Gesteinskörnungen der Chloridwiderstand sicher gesteuert werden?

- Treten bei einer Produktionskontrolle Werte für den Chloridwiderstand auf, die der Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand nicht folgen, ist die Untersuchung des Hohlraumvolumens der gewählten Gesteinskörnung und der Vergleich mit dem Zementleimvolumen in die weitere Betrachtung mit einzubeziehen.

Ist ein Austausch der Gesteinskörnungen zur sicheren Erreichung des Chloridwiderstandes in der Beton-Produktion notwendig?

- Bei feinen Gesteinskörnungen mit hohen Anteilen an freien Schichtsilikaten kann der Einfluss sehr gross werden. Die zu ergreifenden betontechnologischen Massnahmen sind im Einzelfall zu untersuchen und abzuwägen.
- Unter Berücksichtigung aller gestellten Anforderungen an den Beton, der Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe und den ökonomischen Auswirkungen ist über den Austausch der feinen Gesteinskörnung zu entscheiden.

Die Ursachen der Schwierigkeiten beim Sand FGK 3.1 lagen im hohen Anteil an freien Schichtsilikaten und den dadurch erhöhten Hohlraumgehalt in den Gesteinskörnungsgemischen mit FGK 3.1. Dieser erhöhte Hohlraumgehalt bedingt mehr Zementleim, um die Hohlräume zu füllen. Ein zu geringes Zementleimvolumen kann zu einem korngestützten Gefüge und beim Verdichten zu isolierten, lokalen Inhomogenitäten im Beton führen.

In der Praxis wird zwischenzeitlich dieser Sand nicht mehr in der Betonproduktion für Betone mit erhöhten Anforderungen eingesetzt.

7 Ausblick

Qualität und Gleichmässigkeit der feinen Gesteinskörnung beeinflussen den Chloridwiderstand des Betons.

Die Schädlichkeit der Feinanteile in der feinen Gesteinskörnung für Beton wird in der aktuellen europäischen Norm für Gesteinskörnungen für Beton SN 670 102b EN 12620:2002/A1:2008 gemäss Anhang D Verfahren a) und d) beurteilt. Wird die Qualität gemäss Abschnitt a) beurteilt, gilt der Grenzwert 3 M.-% für den Gesamtgehalt an Feinanteilen, welche als nicht-schädlich zu betrachten sind.

Nach der schweizerischen Norm „Gesteinskörnungen, qualitative und quantitative Mineralogie und Petrographie“ SN 670 115 sind die freien Schichtsilikate in den feinen Gesteinskörnungen zu bestimmen. Die zulässige Höchstmenge an freien Schichtsilikaten in feinen Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel beträgt nach dieser Norm 2 Zahl-% (bzw. 2 M.-%).

Die Untersuchungen in dieser Arbeit und die Erfahrungen aus der Praxis [17] zeigen, dass eine petrographische Untersuchung der Gesteinskörnungen und eine Bewertung für den Einsatz im Beton notwendig ist, insbesondere wenn diese Schichtsilikate enthalten.

Die in der SN 670 115 aktuell zulässige Höchstmenge an freien Schichtsilikaten (2 Zahl-% in der feinen Gesteinskörnung) im Sinne einer maximal zulässigen Obergrenze ist jedoch nicht mehr haltbar. Die Anforderungen sollten angepasst werden in Richtung, ab wann die Wirkung auf die Eigenschaften des Frisch- und Festbetons im Einzelfall zu untersuchen ist. Dabei spielt nicht nur die absolute Höhe eine Rolle, sondern auch die Schwankungsbreite über die Zeit.

Im Einklang mit dem Konzept, dass in Prüfnormen die Prüfungen beschrieben werden, jedoch keine Anforderungen an die Eigenschaften der Produkte festgelegt sind, passen die Anforderungen zudem nicht in die SN 670 115. Werden die Anforderungen an die Petrographie von Gesteinskörnungen für Beton in die SN EN 12620 aufgenommen, ergeben sich Konflikte, da die EN 12620 eine harmonisierte technische Spezifikation nach Bauproduktengesetz bzw. CPR ist, aber Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften nicht kennt. Das Thema muss in das verantwortliche europäische CEN TC 154 eingebracht werden.

Eine Möglichkeit wäre in der Zwischenzeit die Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften in die nationalen Elemente der SN EN 206 Beton Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität aufzunehmen.

In Fällen ohne klare Korrelation zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand im Beton ist die Bestimmung des Hohlraumgehaltes der Gesteinskörnungsmischung zweckmässig. Gegebenenfalls ist das Zementleimvolumen an die erhöhten Hohlraumgehalte anzupassen.

Anhänge

I	Mischungszusammensetzung und Messwerte	39
I.1	Mischungszusammensetzungen	39
I.2	Gesteinskörnungen	40
I.3	Betonprüfungen	43
I.3.1	Mischungen M1	43
I.3.2	Mischungen M2	45
I.3.3	Mischungen M3	47
II	Dünnschliff-Analyse EMPA Bericht NR. 5214006022	51

I Mischungszusammensetzung und Messwerte

I.1 Mischungszusammensetzungen

Tabelle 1 Mischungsentwürfe mit CEM II/A-LL und 40 M.-% Sandanteil in der Gesteinskörnung

Bezeichnung	Zement [kg/m³]	Fließmittel [kg/m³]	Wasser [kg/m³]	Total Gesteinskörnung trocken [kg/m³]	Anteile feine Gesteinskörnung trocken Material-Bezeichnung / Menge [kg/m³]		
M1.3/V1-1	300	2.4	150	1992	FGK 1.1 / 697	FGK 1.2 / 100	
M1.3/V2-1	300	3.9	136	2028	FGK 1.1 / 709	FGK 1.2 / 101	
M1.3/V3.1	300	3.0	180	1910	FGK 1.1 / 668	FGK 1.2 / 95	
M1.4/V1-1	300	4.5	150	1987	FGK 1.2 / 99	FGK 1.3 / 696	
M1.2/V1-2	300	3.6	150	1989	FGK 1.1 / 99	FGK 1.2 / 696	
M1.2/V2-1	300	6.0	136	2022	FGK 1.1 / 101	FGK 1.2 / 708	
M2.4/V1-1	300	5.1	150	1987	FGK 2.1 / 99	FGK 2.2 / 199	FGK 2.4 / 596
M2.4/V1-2	300	6.0	150	1999	FGK 2.1 / 100	FGK 2.2 / 200	FGK 2.4 / 600
M2.3/V1-1	300	2.4	150	1989	FGK 2.1 / 99	FGK 2.2 / 696	
M2.2/V1-2	300	7.8	150	1971	FGK 2.1 / 453	FGK 2.2 / 335	
M2.2/V1-4	300	3.6	180	1904	FGK 2.1 / 438	FGK 2.2 / 324	
M3.1/V1-1	300	7.8	150	1980	FGK 3.1 / 792		
M3.1/V1-2	300	8.4	150	1978	FGK 3.1 / 791		
M3.1/V1-3	300	9.9	150	1975	FGK 3.1 / 790		
M3.2/V1-1	300	7.5	150	1980	FGK 3.1 / 396	FGK 3.2 / 396	
M3.2/V1-2	300	9.0	150	1977	FGK 3.1 / 395	FGK 3.2 / 395	
M3.3/V1-1	300	9.6	150	1976	FGK 3.1 / 395	FGK 3.2 / 296	FGK 3.3 / 99
M3.3/V1-2	300	4.5	180	1906	FGK 3.1 / 381	FGK 3.2 / 286	FGK 3.3 / 95
M3.1/V2-1	340	8.5	184	1852	FGK 3.1 / 741		
M3.2/V2-1	340	8.5	184	1852	FGK 3.1 / 370	FGK 3.2 / 370	
M3.1/V3-1	380	7.6	202	1771	FGK 3.1 / 709		
M3.1/V4-1	380	5.7	240	1676	FGK 3.1 / 670		
M3.1/V5-1	380	5.7	185	1821	FGK 3.1 / 729		

FGK 3.2 ist der abgesiebte Anteil 0.25 bis 4 mm von FGK 3.1
 FGK 3.3 ist der abgesiebte Anteil 0.25-0.125 mm von FGK 3.1

I.2 Gesteinskörnungen

Tabelle 2 Messwerte Charakterisierung feine Gesteinskörnungen Teil 1

Material- Bezeichnung	Korngrössenverteilung: Durchgang [M.-%] bei Sieböffnung mm									Wassergehalt	Wasseraufnahme	Rohdichte offen-
	<0.02	<0.063	<0.125	<0.25	<0.5	<1	<2	<4	<5.6	[M.-%]	WA ₂₄ [M.-%]	trocken ρ_{rd} [kg/m³]
FGK 1.1	0.3	2.4	6.5	22.6	58.5	69.6	79.9	97	100.0	2.2	1.1	2647
FGK 1.2	1.3	4.7	8.5	20.9	46.3	57.1	70.5	94.8	100.0	3.5	1.1	2665
FGK 1.3	5.7	10.6	14.1	19.7	28.6	41.4	63.2	94.4	100.0	1.4	1.4	2585
FGK 2.1	4.3	8.1	16.0	42.8	75.1	91.2	98.1	100.0		5.9	1.0	2627
FGK 2.2	1.3	2.4	2.8		16.7	37.1		92.1	100.0	0.7	0.9	2643
FGK 2.3	3.5	5.6	8.5	16.0	31.1	49.7	71.8	94.3	99.7	4.5	0.8	2642
FGK 2.4	9.4	14.9	19.6	27.1	41.5	60.7	87.7	99.3	99.7	0.9	1.0	2658
FGK 3.1	1.9	6.5	15.6	31.7	54.7	72.3	89.5	99.8	100.0	6.4	1.0	2675

Messwert <0.02 mm aus Schlämmanalyse Aräometermethode

Tabelle 3 Messwerte Charakterisierung feine Gesteinskörnungen Teil 2

Material- Bezeichnung	Fließkoeffizient/ Kantigkeit [s]	
	Trichter 12 mm	Trichter 16 mm
FGK 1.1	-	12
FGK 1.2	-	14
FGK 1.3	-	23
FGK 2.1	29	-
FGK 2.2	-	19
FGK 2.3	-	17
FGK 2.4	-	17
FGK 3.1	-	15

Tabelle 4 Messwerte Charakterisierung feine Gesteinskörnungen Teil 3

Material- Bezeichnung	Anteil unge- eignete [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%] in		Anteile petrographischer Typen [M.-%]					Schiefer, Schichtsilikate	grobspätiger Calcit
		0.25/0.5 mm	0/4 mm	Gneise, Quarz	Harte Sandsteine	Kieselkalke	Kalke			
FGK 1.1	0	0	-	13	15	30	43			
FGK 1.2	0	0	-	14	16	33	37			
FGK 1.3	0	0	-	10	13	27	50			
FGK 2.1	4	4	-	32	6	33	27	4		
FGK 2.2	1	0	-	4	12	33	50			1
FGK 2.3	2	2	-	4	23	31	40	2		
FGK 2.4	4	0	-	15	1	36	45			4
FGK 3.1	20	22	20	80					20	

Tabelle 5 Messwerte Charakterisierung grobe Gesteinskörnungen Teil 1

Material- Bezeichnung	Korngrößenverteilung: Durchgang [M.-%] bei Sieböffnung mm								Wassergehalt [M.-%]	Wasseraufnahme WA ₂₄ [M.-%]	Rohdichte offen- trocken ρ_{rd} [kg/m ³]
	<0.063	<4	<5.6	<8	<11.2	<16	<22.4	<32			
GGK 1.4	0.2	4.4		94.5	100.0				0.8	0.7	2681
FGK 1.2	0.0	0.3		6.5		90.1	100.0		0.6	0.6	2696
FGK 1.3	0.2			0.3		5.6		99.0	100.0	0.5	2716

Tabelle 6 Messwerte Charakterisierung grobe Gesteinskörnungen Teil 2

Material- Bezeichnung	Anteil unge- eignete [M.-%]	Anteile petrographischer Typen [M.-%]				
		Gneise, Quarz	Harte Sandsteine	Kieselkalke, Kalke	Radiolarit, Chert	Weiche Körner
GGK 1.4	2	13	18	65	2	2
GGK 1.5	1	15	18	66		1
GGK 1.6	0	3	22	73	2	

Tabelle 7 Messwerte Lasergranulometrie feine Gesteinskörnungen

Material- Bezeichnung	Kumulierte Werte in Volumen-Durchgang in % bei mm								
	<0.002	<0.004	<0.008	<0.020	<0.032	<0.063	<0.090	<0.125	<0.250
FGK 1.1	2.3	3.78	5.06	8.03	11.83	33.44	67.38	93.32	100.00
FGK 1.2	4.02	7.11	10.39	18.01	25.78	50.43	79.04	95.94	100.00
FGK 1.3	6.97	13.42	21.37	39.34	55.20	83.76	96.82	99.91	100.00
FGK 2.1	2.05	4.50	10.55	30.48	47.63	80.03	95.49	99.83	100.00
FGK 2.2	7.82	15.33	26.64	50.25	65.61	86.76	96.63	99.84	100.00
FGK 2.3	6.38	13.10	23.55	43.31	56.14	81.36	95.57	99.81	100.00
FGK 2.4	6.66	13.53	22.71	43.18	59.42	87.81	98.56	100.00	100.00
FGK 3.1	0.91	1.94	3.49	9.84	18.77	51.67	82.26	97.24	100.00

I.3 Betonprüfungen

I.3.1 Mischungen M1

Tabelle 8 Frischbetonwerte Mischungen M1

Bezeichnung	Herstell- datum	Informationen zu Korngemisch 0/32 mm					Frischbetondaten					
		<0.063 [M.-%]	<0.125 [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	Brechsand	Ausbreitmass [mm]	Rohdichte [kg/m³]	LP-Gehalt [Vol-%]	W ₀ [kg/m³]	WA ₂₄ [kg/m³]	w ₀ /z [-]	w/z [-]
M1.3/V1-1	06.02.14	1.1	2.8	0	Nein	510	2418	3.0	148	15.6	0.49	0.44
M1.3/V2-1	04.06.14	1.1	2.8	0	Nein	350	2473	1.9	143	15.9	0.48	0.42
M1.3/V3-1	04.06.14	1.1	2.8	0	Nein	580	2448	0.8	175	15.0	0.58	0.53
M1.4/V1-1	06.02.14	4.0	5.4	0	Ja	530	2465	0.9	161	17.6	0.54	0.48
M1.2/V1-2	06.02.14	1.8	3.4	0	Nein	590	2472	0.9	154	15.6	0.51	0.46
M1.2/V2-1	04.05.14	1.8	3.4	0	Nein	530	2445	2.7	136	15.8	0.45	0.40

Tabelle 9 Allgemeine Festbetonwerte Mischungen M1

Bezeichnung	Herstell- datum	Druckfestigkeit 28d				Wasserleitfähigkeit				
		Rohdichte		U _B	U _E	n	LP	ρ _{R110°C}	ρ _{110°C}	q _{w,d 200 mm}
		[kg/m³]	[N/mm²]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[kg/m³]	[kg/m³]	[g/m²h]
M1.3/V1-1	06.02.14	2402	45.9	5.0	10.3	13.1	2.9	2357	2713	4
M1.3/V2-1	04.06.14	2492	58.2	5.5	10.3	11.4	1.1	2399	2708	5
M1.3/V3-1	04.06.14	2427	36.9	5.1	12	13.2	1.2	2356	2713	8
M1.4/V1-1	06.02.14	2446	51.0	5.4	10.6	11.6	1.0	2418	2735	5
M1.2/V1-2	06.02.14	2460	53.5	5.1	9.9	10.9	1.0	2424	2719	6
M1.2/V2-1	04.05.14	2492	61.4	4.9	9.4	11.2	1.9	2392	2695	4

Tabelle 10 Chloridwiderstandsprüfung SIA 262/1, Anhang B der Mischungen M1

Bezeichnung Serie	Prüfbeginn	Proben- alter [Tage]	PK1	PK2	PK3	PK4 Rohdichte nass [kg/m³]	PK5 Chloridmigrationskoeffizient $D_{cl}10^{-12}$ [m²/s]	Mittelwert	Standardabweichung
M1.3/V1-1			10.2 ¹⁾	13.3	13.3	13.7	14.3	13.0	1.6
Serie 1	06.03.14	28	2425	2409	2339	2442	2457	2414	46
M1.3/V1-1			11.9	12.7	13.2	14.5	14.8	13.4	1.2
Serie 2	06.03.14	28	2447	2479	2476	2416	2383	2440	41
M1.3/V2-1			11.1	11.2	12.1	12.7	13.6	12.1	1.1
Serie 1	02.07.14	28	2490	2493	2501	2510	2467	2493	17
M1.3/V3-1			11.4	13.4	14.2	14.7	17.6	14.3	2.3
Serie 1	03.07.14	29	2485	2460	2449	2514	2470	2476	25
M1.4/V1-1			10.4	10.6	11.3	11.8	12.0	11.2	0.7
Serie 1	11.03.14	33	2467	2458	2482	2508	2476	2478	18
M1.4/V1-1			13.9	16.2	16.6	17.1	17.3	16.2	1.4
Serie 2	14.03.14	36	2510	2491	2502	2499	2495	2499	7
M1.2/V1-2			8.8	9.4	11.2	13.0	14.7	11.4	2.5
Serie 1	12.03.14	34	2508	2522	2513	2450	2512	2501	29
M1.2/V1-2			12.8	13.8	13.8	13.8	14.5	13.7	0.6
Serie 2	13.03.14	35	2427	2479	2489	2503	2502	2480	31
M1.2/V2-1			8.1	10.0	11.4	12.9	13.0	11.1	2.1
Serie 1	02.07.14	28	2444	2466	2531	2499	2455	2479	36

¹⁾ Ausreisser im Mittelwert nicht berücksichtigt

I.3.2 Mischungen M2

Tabelle 11 Frischbetonwerte Mischungen M2

Bezeichnung	Herstell- datum	Informationen zu Korngemisch 0/32 mm					Frischbetondaten					
		<0.063 [M.-%]	<0.125 [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	Brechsand	Ausbreitmass [mm]	Rohdichte [kg/m³]	LP-Gehalt [Vol-%]	W ₀ [kg/m³]	WA ₂₄ [kg/m³]	w ₀ /z [-]	w/z [-]
M2.4/V1-1	13.02.14	5.2	7.0	0.5	ja	400	2437	1.7	150	15.6	0.50	0.45
M2.4/V1-2	13.02.14	5.2	7.0	0.5	ja	570	2464	1.1	153	15.6	0.51	0.46
M2.3/V1-1	13.02.14	1.3	1.9	0.5	nein	540	2464	1.1	147	14.1	0.49	0.44
M2.2/V1-2	24.03.14	2.3	4.2	2.3	nein	590	2459	0.9	166	13.8	0.55	0.51
M2.2/V1-4	24.03.14	2.3	4.2	2.3	nein	560	2433	1.1	173	13.8	0.58	0.53

Tabelle 12 Allgemeine Festbetonwerte Mischungen M2

Bezeichnung	Herstell- datum	Druckfestigkeit 28d		Wasserleitfähigkeit						
		Rohdichte [kg/m³]	U _B [N/mm²]	U _E [Vol-%]	n [Vol-%]	LP [Vol-%]	ρ _{R110°C} [kg/m³]	ρ _{110°C} [kg/m³]	q _{w,d 200 mm} [g/m²h]	
M2.4/V1-1	13.02.14	2447	44.7	5.3	10.8	12.2	1.4	2382	2714	5
M2.4/V1-2	13.02.14	2494	46.1	5.3	10.9	12.1	1.2	2387	2716	6
M2.3/V1-1	13.02.14	2471	46.1	5.2	10.3	11.3	1.0	2414	2722	5
M2.2/V1-2	24.03.14	2466	42.4	5.4	10.9	12.1	1.2	2393	2723	5
M2.2/V1-4	24.03.14	2440	40.7	4.7	11.2	12.4	1.3	2386	2724	6

Tabelle 13 Chloridwiderstandsprüfung SIA 262/1, Anhang B der Mischungen M2

Bezeichnung Serie	Prüfbeginn	Proben- alter [Tage]	PK1	PK2	PK3	PK4 Rohdichte nass [kg/m³]	PK5 Chloridmigrationskoeffizient $D_{cl}10^{-12}$ [m²/s]	Mittelwert	Standardabweichung
M2.4/V1-1			2473	2443	2465	2483	2493	2471	19
Serie 1	17.03.14	32	14.8	15.0	15.2	16.2	17.1	15.7	1.0
M2.4/V1-2			2478	2501	2448	2474	2512	2483	25
Serie 1	20.03.14	35	10.7	13.1	13.1	14.1	15.0	13.2	1.6
M2.3/V1-1			2544	2513	2520	2527	2522	2525	12
Serie 1	18.03.14	33	12.8	13.4	14.4	15.6	16.7	14.6	1.6
M2.3/V1-1			2507	2484	2508	2506	2495	2500	10
Serie 2	18.03.14	33	10.3	11.1	11.8	12.1	12.5	11.6	0.9
M2.2/V1-2			2536	2421	2447	2421	2481	2461	49
Serie 1	28.04.14	35	11.9	12.2	13.7	16.8	18.1	14.5	2.8
M2.2/V1-2			2487	2431	2468	2469	2438	2459	23
Serie 2	28.04.14	35	9.3	10.4	14.0	14.2	15.6	12.7	2.7
M2.2/V1-4			2508	2471	2479	2465	2477	2480	17
Serie 1	23.04.14	30	10.7	11.9	14.6	14.9	17.8	14.0	2.8
M2.2/V1-4			2480	2456	2462	2438	2528	2473	34
Serie 2	24.04.14	31	11.7	13.1	14.4	15.4	15.7	14.1	1.7

I.3.3 Mischungen M3

Tabelle 14 Frischbetonwerte Mischungen M3 mit 300 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Informationen zu Korngemisch 0/32 mm						Frischbetondaten				
		<0.063 [M.-%]	<0.125 [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	Brechsand	Ausbreitmass [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	LP-Gehalt [Vol-%]	W ₀ [kg/m ³]	WA ₂₄ [kg/m ³]	w ₀ /z [-]	w/z [-]
M3.1/V1-1	20.02.14	2.2	6.7	12.0	ja	550	2399	2.1	182	14.8	0.61	0.56
M3.1/V1-2	20.02.14	2.2	6.7	12.0	ja	510	2418	1.2	185	14.7	0.62	0.57
M3.1/V1-3	20.02.14	2.2	6.7	12.0	ja	450	2446	1.0	188	14.7	0.63	0.58
M3.2/V1-1	13.03.14	1.4	3.9	12.0	ja	460	2375	2.7	163	14.7	0.54	0.49
M3.2/V1-2	13.03.14	1.4	3.9	12.0	ja	430	2432	1.6	151	14.7	0.50	0.45
M3.3/V1-1	13.03.14	1.4	3.9	14.0	ja	420	2414	1.6	156	14.7	0.52	0.47
M3.3/V1-2	24.03.14	1.4	3.9	14.0	ja	550	2414	1.2	188	14.1	0.63	0.58

Tabelle 15 Frischbetonwerte Mischungen M3 mit 340 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Informationen zu Korngemisch 0/32 mm						Frischbetondaten				
		<0.063 [M.-%]	<0.125 [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	Brechsand	Ausbreitmass [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	LP-Gehalt [Vol-%]	W ₀ [kg/m ³]	WA ₂₄ [kg/m ³]	w ₀ /z [-]	w/z [-]
M3.1/V2-1	23.05.14	2.2	6.7	12.0	ja	570	2410	1.8	183	13.8	0.54	0.50
M3.2/V2-1	23.05.14	1.4	3.9	12.0	ja	590	2423	1.1	184	13.8	0.54	0.50

Tabelle 16 Frischbetonwerte Mischungen M3 mit 380 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Informationen zu Korngemisch 0/32 mm						Frischbetondaten				
		<0.063 [M.-%]	<0.125 [M.-%]	Schichtsilikate [Zahl-%]	Brechsand	Ausbreitmass [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	LP-Gehalt [Vol-%]	W ₀ [kg/m ³]	WA ₂₄ [kg/m ³]	w ₀ /z [-]	w/z [-]
M3.1/V3-1	10.02.15	2.2	6.7	12.0	ja	650	2397	1.2	202	13.2	0.53	0.50
M3.1/V4-1	10.02.15	2.2	6.7	12.0	ja	650	2399	0.8	200	12.4	0.53	0.49
M3.1/V5-1	10.02.15	2.2	6.7	12.0	ja	590	2436	0.8	190	13.5	0.50	0.47

Tabelle 17 Allgemeine Festbetonwerte Mischungen M3 mit 300 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Druckfestigkeit 28d				Wasserleitfähigkeit				
		Rohdichte		U _B	U _E	n	LP	ρ _{R110°C}	ρ _{110°C}	q _{w,d} 200 mm
		[kg/m ³]	[N/mm ²]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[g/m ² h]
M3.1/V1-1	20.02.14	2429	32.3	5.0	11.8	13.8	2.0	2345	2720	5
M3.1/V1-2	20.02.14	2446	32.5	5.6	13.3	15.0	1.7	2319	2727	6
M3.1/V1-3	20.02.14	2445	33.6	5.6	12.3	13.7	1.4	2350	2723	6
M3.2/V1-1	13.03.14	2401	30.0	4.1	10.1	13.7	3.7	2354	2729	6
M3.2/V1-2	13.03.14	2449	33.8	5.0	10.7	12.5	1.8	2384	2725	7
M3.3/V1-1	13.03.14	2449	31.1	4.9	10.8	12.7	1.9	2384	2730	6
M3.3/V1-2	24.03.14	2426	32.4	5.4	12.9	14.5	1.7	2323	2718	5

Tabelle 18 Allgemeine Festbetonwerte Mischungen M3 mit 340 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Druckfestigkeit 28d				Wasserleitfähigkeit				
		Rohdichte		U _B	U _E	n	LP	ρ _{R110°C}	ρ _{110°C}	q _{w,d} 200 mm
		[kg/m ³]	[N/mm ²]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[g/m ² h]
M3.1/V2-1	23.05.14	2412	33.0	5.0	11.8	13.6	1.8	2356	2728	6
M3.2/V2-1	23.05.14	2440	33.9	4.6	10.6	12.2	1.6	2396	2729	8

Tabelle 19 Allgemeine Festbetonwerte Mischungen M3 mit 380 kg/m³ Zement

Bezeichnung	Herstell- datum	Druckfestigkeit 28d				Wasserleitfähigkeit				
		Rohdichte		U _B	U _E	n	LP	ρ _{R110°C}	ρ _{110°C}	q _{w,d} 200 mm
		[kg/m ³]	[N/mm ²]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[Vol-%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[g/m ² h]
M3.1/V3-1	10.02.15	2426	36.8	4.5	12.2	13.8	1.6	2360	2735	6
M3.1/V4-1	10.02.15	2434	41.4	5.3	12.8	14.1	1.4	2348	2733	6
M3.1/V5-1	10.02.15	2437	42.9	4.8	12.2	13.3	1.2	2369	2733	7

Tabelle 20 Chloridwiderstandsprüfung SIA 262/1, Anhang B der Mischungen M3 mit 300 kg/m³ Zement

Bezeichnung Serie	Prüfbeginn	Proben- alter [Tage]	PK1	PK2	PK3	PK4 Rohdichte nass [kg/m³]	PK5 Rohdichte nass [kg/m³]	Mittelwert	Standardabweichung
Chloridmigrationskoeffizient $D_{cl}10^{-12}$ [m²/s]									
M3.1/V1-1			2476	2353	2408	2446	2455	2428	48
Serie 1	24.03.14	32	20.7	21.2	21.2	21.5	21.5	21.2	0.3
M3.1/V1-2			2401	2437	2409	2426	2396	2414	17
Serie 1	25.03.14	33	17.8	20.3	21.4	21.8	21.9	20.6	1.7
M3.1/V1-2			2405	2452	2510	2381	2447	2439	50
Serie 2	25.03.14	33	19.7	20.6	21.5	22.1	24.1	21.6	1.7
M3.1/V1-3			2478	2471	2383	2432	2501	2453	46
Serie 1	26.03.14	34	14.3 ¹⁾	14.4 ¹⁾	15.4	15.5	15.5	15.5	0.1
M3.1/V1-3			2445	2441	2480	2490	2455	2462	22
Serie 2	27.03.14	35	13.3	16.9	17.3	17.5	19.2	16.8	2.2
M3.2/V1-1			2426	2420	2405	2419	2419	2418	8
Serie 1	10.04.14	28	16.5	16.6	17.0	17.3	17.3	16.9	0.4
M3.2/V1-2			2434	2431	2461	2452	2433	2442	14
Serie 1	14.04.14	32	17.5	17.7	18.6	18.7	19.0	18.3	0.7
M3.3/V1-1			2437	2412	2464	2430	2494	2447	32
Serie 1	15.04.14	33	13.4	14.3	14.9	15.2	17.2	15.0	1.4
M3.3/V1-2			2451	2463	2445	2385	2390	2427	37
Serie 1	29.04.14	36	14.5	16.5	19.3	19.3	23.1	18.5	3.3

¹⁾ Ausreisser im Mittelwert nicht berücksichtigt**Tabelle 21** Chloridwiderstandsprüfung SIA 262/1, Anhang B der Mischungen M3 mit 340 kg/m³ Zement

Bezeichnung Serie	Prüfbeginn	Proben- alter [Tage]	PK1	PK2	PK3	PK4 Rohdichte nass [kg/m³]	PK5 Rohdichte nass [kg/m³]	Mittelwert	Standardabweichung
Chloridmigrationskoeffizient $D_{cl}10^{-12}$ [m²/s]									
M3.1/V2-1			2414	2524	2384	2405	2499	2445	62
Serie 1	24.06.14	32	13.4	13.5	15.1	17.6	18.9	15.7	2.5
M3.2/V2-1			2471	2475	2512	2476	2489	2485	17
Serie 1	24.06.14	32	14.4	15.9	16.9	20.9	21.4	17.9	3.1

Tabelle 22 Chloridwiderstandsprüfung SIA 262/1, Anhang B der Mischungen M3 mit 380 kg/m³ Zement

Bezeichnung Serie	Prüfbeginn	Proben- alter [Tage]	PK1	PK2	PK3	PK4 Rohdichte nass [kg/m ³]	PK5 Rohdichte nass [kg/m ³]	Mittelwert	Standardabweichung
			Chloridmigrationskoeffizient $D_{cl} \cdot 10^{-12}$ [m ² /s]						
M3.1/V3-1			2408	2446	2393	2415	2471	2427	32
Serie 1	10.03.15	28	14.1	15.7	13.2	13.0	13.9	14.0	1.1
M3.1/V3-1			2320	2368	2494	2323	2377	2376	71
Serie 2	10.03.15	28	13.7	9.0 ¹⁾	13.0	13.5	12.5	13.2	0.5
M3.1/V4-1			2464	2513	2408	2422	2417	2445	44
Serie 1	11.03.15	29	12.8	12.8	13.2	11.7	13.3	12.7	0.6
M3.1/V4-1			2355	2405	2389	2458	2406	2402	37
Serie 2	16.03.15	34	12.9	9.0	12.4	9.1	11.4	11.0	1.8
M3.1/V5-1			2426	2514	2448	2472	2405	2453	42
Serie 1	12.03.15	30	15.6	11.9	10.8	12.3	9.2	12.0	2.4
M3.1/V5-1			2438	2443	2430	2408	2468	2468	22
Serie 2	12.03.15	30	11.2	10.8	9.4	11.1	11.2	10.7	0.8

¹⁾ Ausreisser im Mittelwert nicht berücksichtigt

II Dünnschliff-Analyse

EMPA Bericht NR. 5214006022

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 44 823 55 11
F +41 44 823 40 35
www.empa.ch/abt135



VSH Prüftechnik
Trockenloostr. 21
8105 Regensdorf-Watt

Bericht Nr. 5214006022

Auftrag: Dünnschliff-Analyse
Objekt(e): 3 Betonwürfel
Eingangs-Nr.: 9308
Auftragserteilung: 19.05.2014 / R. Weiss
Eingang Objekt(e): 19.05.2014
Probenahme durch: Auftraggeber
Anzahl Seiten Bericht: 6
Beilage(n): -

Inhalt

1. Auftrag.....	2
2. Probenbeschreibung.....	2
3. Untersuchungen und Resultate.....	3
4. Beurteilung.....	6

G:\Andreas\Aufträge\5214006022\5214006022.docx

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Beton & Bauchemie
Dübendorf, 24. Juni 2014

Prüfleiter / Prüfleiterin: Gruppenleiter Betontechnologie:
Dr. Andreas Leemann

Andreas Leemann

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Angaben zur Aussagekraft der Verfahren erfolgen auf Anfrage. Berichte und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert. Ohne besondere Angaben oder Gegenbericht des Auftraggebers werden intakte Prüfobjekte nach 10 Monaten ab Berichtsdatum entsorgt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosse Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der EMPA.

1. Auftrag

Von der VSH AG wird ein ASTRA-Forschungsprojekt durchgeführt, in dem der Einfluss des Sandes auf den Chloridwiderstand von Beton untersucht wird. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden Betonwürfel von drei Betonmischungen untersucht. Dabei geht es darum, allfällige Gefügestörungen, die auf die Verwendung des spezifischen Sandes zurückgeführt werden können, zu identifizieren.

2. Probenbeschreibung

Die drei angelieferten Würfel (Eingangs-Nr. 9308) sind wie folgt bezeichnet:

- M3.1 V1-1, Probennummer 5493, vom 20.02.2014
- M3.2 V1-2, Probennummer 6015, vom 13.03.2014
- M3.3 V1-1, Probennummer 6005, vom 13.03.2014

Alle drei Betone wurden mit einem glimmerhaltigen Sand aus dem Tessin (GK3) hergestellt. Alle weisen eine praktisch identische Druckfestigkeit auf, aber einen unterschiedlichen Chloridwiderstand. Die Betone weisen einen w/z-Wert von 0.56 (M3.1 V1-1), 0.45 (M3.2 V1-2) und 0.47 (M3.3 V1-1) nach Abzug der Kernfeuchte auf (Information Auftraggeber).

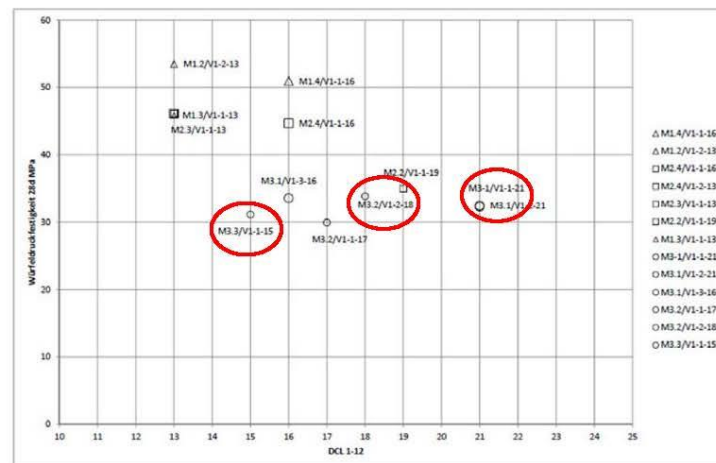


Abbildung 1: Würfeldruckfestigkeit als Funktion des Chloridwiderstandes. Rot eingekreist sind die für die Dünnschliffuntersuchung ausgewählten Betone.

Empa, Abteilung Beton & Bauchemie

Auftraggeber: VSH Prüftechnik, CH-8105 Regensdorf-Watt

Bericht Nr. 5214006022

3. Untersuchungen und Resultate

Probenbezeichnung	M 3.1, V1.1	M 3.2, V1-2	M 3.3, V1-1
Alter	·3 Monate	·2 Monate	·2 Monate
Hydratationsgrad des Zementsteines	> 85%	> 85%	> 85%
Bindemittel	·CEM II/A-LL	·CEM II/A-LL	·CEM II/A-LL
Kapillarität des Zementsteines	·hoch, w/z 0.55-0.65 ·relativ homogen	·hoch, w/z 0.50-0.60 ·extrem inhomogen	·hoch, w/z 0.50-0.60 ·stark inhomogen
Makroporosität (> 1 µm)	·Luftporengehalt 2-3%, Ansammlungen von LP vorhanden ·vereinzelte Verdichtungs-poren	·Luftporengehalt ~1% ·viele Verdichtungs- und Wasserporen im Interface zu Gesteinskörnungen	·Luftporengehalt 1-2% ·vereinzelte Verdichtungs- und Wasserporen im Interface zu Gesteinskörnungen
Haftung Zementstein/Zuschlagstoffe	·oft erhöhte Porosität unter Gesteinskörnern	·oft stark erhöhte Porosität unter Gesteinskörnern	·oft erhöhte Porosität unter Gesteinskörnern
Gesteinskörnung	·Alluvialkies mit glimmerhaltigem Brechsand	·Alluvialkies mit glimmerhaltigem Brechsand	·Alluvialkies mit glimmerhaltigem Brechsand
Risse - Rissbreite > 5 µm - Rissbreite < 5 µm	·vereinzelte Mikrorisse < 5 µm	·vereinzelte Mikrorisse < 5 µm	·vereinzelte Mikrorisse < 5 µm
Kristallbildung	·regelmässig Portlanditbildungen in LP	·vereinzelte Bildung von Portlandit und Ettringit in LP	·vereinzelte Bildung von Portlandit in LP
Zusammenfassung	Der Beton M 3.1 weist die höchste Kapillarporosität auf aber den geringsten Anteil an Gefügestörungen. Die Kapillarporosität der Betone M 3.2 und M 3.3 ist tiefer als beim Beton M 3.1. Allerdings ist der Anteil an Gefügestörungen in beiden Betonen deutlich höher. Im Beton 3.2 muss sie mit extrem hoch bezeichnet werden.		

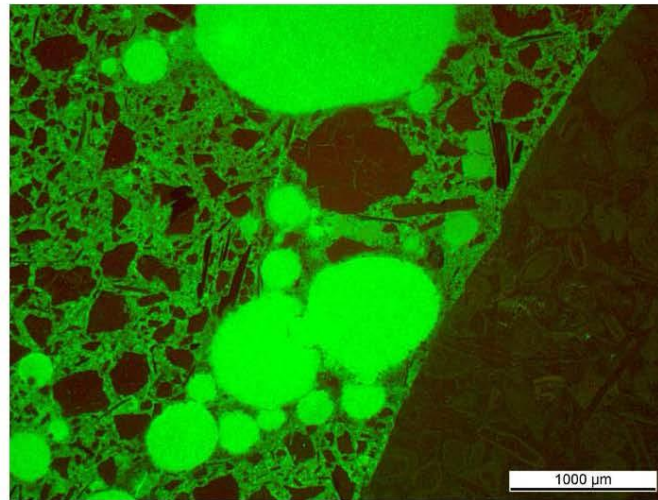


Abbildung 1: Ansammlung von Luftporen im Beton 3.1. Fluoreszierendes Auflicht.

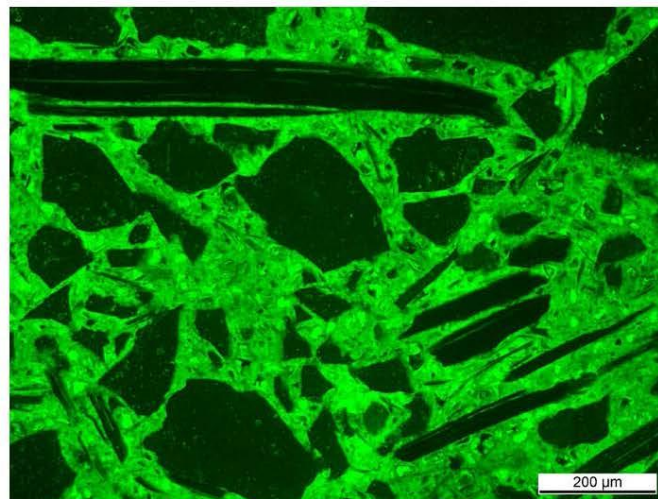


Abbildung 2: Schichtsilikate im Beton 3.1. Fluoreszierendes Auflicht.

Empa, Abteilung Beton & Bauchemie

Auftraggeber: VSH Prüftechnik, CH-8105 Regensdorf-Watt

Bericht Nr. 5214006022

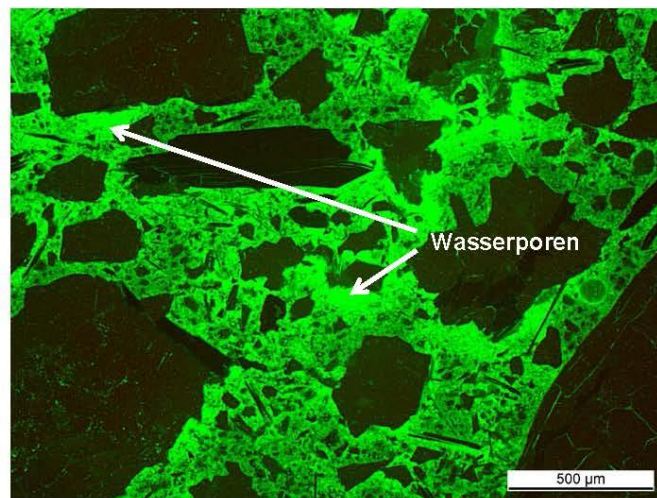


Abbildung 3: Extrem inhomogene Kapillarporosität mit der Bildung von Wasserporen im Beton 3.2. Fluoreszierendes Auflicht.

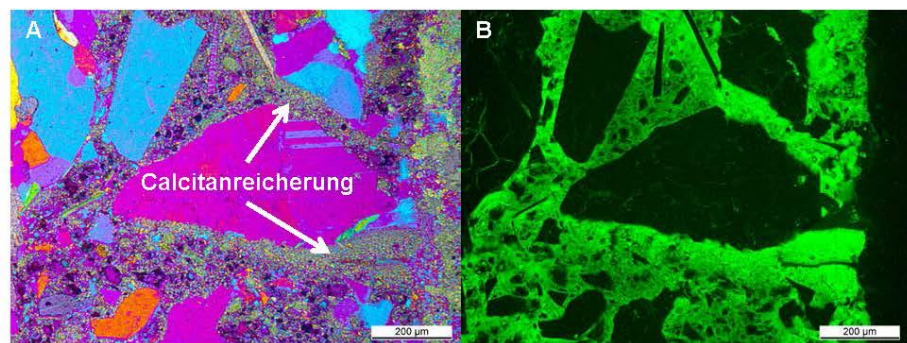


Abbildung 4: Entmischungen im Mikro- und Millimeterbereich des Zementsteins mit einer Anreicherung des im CEM II/A-LL enthaltenen Kalksteinmehls (Calcit) im Beton M3.2. Erhöhte Porosität im Bereich des angereicherten Kalksteinmehls. Doppelt polarisiertes Durchlicht mit eingeschobener Gipsplatte (A), fluoreszierendes Auflicht (B).

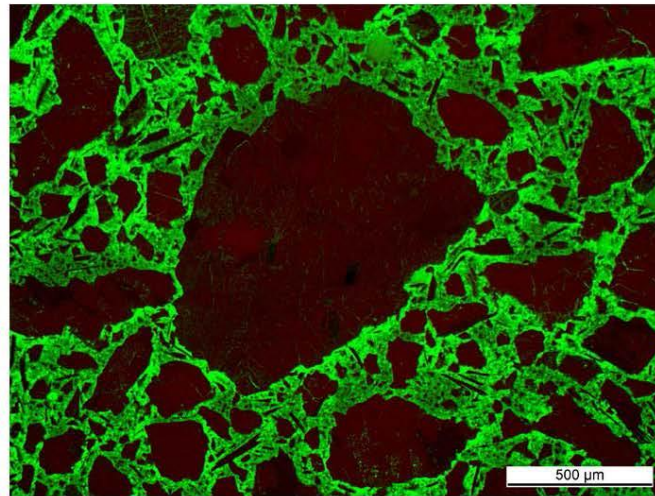


Abbildung 5: Stark inhomogene Kapillarporosität im Beton M 3.3. Fluoreszierendes Auflcht.

4. Beurteilung

Der relativ hohe Anteil an Schichtsilikaten in allen drei Betonen führt dazu, dass viele Kontaktzonen hoher Porosität im Zementstein ausgebildet werden. Sonst weist der Beton M 3.1 ein für einen Beton mit relativ hohem w/z -Wert übliches Gefüge auf. Das Gefüge der Betone M 3.2 und M 3.3 weist auf eine starke Übervibration hin. Allerdings kam es nur zu Entmischungen im Millimeterbereich und nicht wie sonst bei Übervibration üblich im Zentimeter- bis Dezimeterbereich. Dies weist darauf hin, dass im Beton ein korngestütztes Gefüge (durch die Gesteinskörnung) vorhanden war. Dies ist nur bei Betonen der Fall, bei denen das Zementleimvolumen nicht ausreicht, um den Hohlraumgehalt zwischen den Gesteinskörnern zu füllen.

Das Gefüge gibt Hinweise darauf, weshalb sich die Druckfestigkeit der drei Betone praktisch identisch ist, der Chloridwiderstand aber variiert. Die Betone M 3.2 und M 3.3 weisen zwar einen tieferen w/z -Wert auf als der Beton M 3.1, aber zum frühen Bruch der Prüfkörper dürfte es wegen der zahlreichen Inhomogenitäten im Zementstein kommen. Sie sind mechanische Schwachstellen. Die Inhomogenitäten wirken sich auf den Chloridwiderstand offenbar weniger aus. Zwar bilden die Zonen erhöhter Porosität wenig Widerstand. Weil die Zonen aber im Millimeterbereich vorliegen und kaum ein zusammenhängendes Netz bilden dürften, müssen die Chloridionen auch wieder durch Bereiche tiefer Kapillarporosität migrieren.

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EN	Europäische Norm
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
w/z	Massenverhältnis von wirksamen Wasser zu Zement
w ₀ /z	Massenverhältnis vom Gesamtwasser zu Zement
VSH	VersuchsStollen Hagerbach AG
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
U _B	Kapillarporosität nach 50°C-Trocknung in der Wasserleitfähigkeitsprüfung
U _E	Kapillarporosität am Ende des Aufsaugens in der Wasserleitfähigkeitsprüfung
n	Gesamtporosität in der Wasserleitfähigkeitsprüfung
LP	Luftporen
ρ _{R110°C}	Rohdichte nach Trocknung 110°C
ρ _{110°C}	Dichte nach Trocknung 110°C
q _{w,d 200 mm}	Wasserleitfähigkeit bei einer Bauteildicke von 200 mm
D _{cl} 10 ⁻¹²	Chloridmigrationskoeffizient
CEM II/A-LL 42,5 N	Portlandkalksteinzement nach SN EN 197-1

Literaturverzeichnis

Normen

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2013), „**Betonbau – Ergänzende Festlegungen**“, Norm SIA 262/1
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2013), „**Beton-Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität-Nationale Elemente NE zur Norm SN EN 206-1:2000**“, Norm SN EN 206-1/NE:2013

Dokumentationen

- [3] Hunkeler, F., Ungricht, H., Merz, CH. (2002), „**Vergleichende Untersuchungen zum Chloridwiderstand von Beton**“, ASTRA Forschungsbericht 568
- [4] Loser R., Lothenbach B., Leemann A., Tuchschnid M. (2009), „**Chloride resistance of concrete and its binding capacity – Comparison between experimental results and thermodynamic modelling**“, Cement & Concrete Composites
- [5] Jacobs, F., Leemann, A. (2007), „**Betoneigenschaften nach SN EN 206-1**“, ASTRA Forschungsbericht 615
- [6] Bernhard, A., Niederhauser, R. (2007), „**VAB Ringversuche und Bestimmung der Messunsicherheit Chloridwiderstand**“, SAS Forum N°02/2007, Seiten 17-19
- [7] Ungricht, H., Hunkeler, F. (2008), „**Massnahmen gegen chloridinduzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit**“, ASTRA Forschungsbericht 628
- [8] Loser, R., Leemann, A. (2007), „**Chloride resistance of conventionally vibrated concrete and self-compacting concrete**“, 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Ghent, Belgium, September 3-5, 747-752
- [9] Xiao Mei Wan, F.H. Wittmann, Tie Jun Zhao, Fu Xiang Jiang (2008), „**Chloride Penetration into Concrete**“, Key Engineering Materials, Volumes 400 - 402
- [10] Pereira, C., Castro-Gomes, J.; de Oliveira, L. (2009), „**Influence of natural coarse aggregate size, mineralogy and water content on the permeability of structural concrete**“, Construction and Building Materials, February 2000
- [11] Winslow, D.N., Cohen, M.D., Bentz, K.A., Snyder, K.A., Garboczi, E.J. (1994), „**Percolation and pore structure in mortars and concrete**“, Cement and Concrete Research 24, 25-37
- [12] Halamickova, P., Detwiler, R.J., Bentz, D.P., Garboczi, E.J. (1995), „**Water-permeability and Chloride Ion Diffusion in Portland Cement Mortars: Relation-ship to Sand Content and Critical Pore Diameter**“, Cement and Concrete Research, Vol. 25, No 4
- [13] Donza, H., Cabrera, O., Irassar, E.F. (2002), „**High-strength concrete with different fine aggregate**“, Cement and Concrete Research, Vol. 32, Issue 11, November 2002
- [14] Leemann, A., Thalman, C., Kruse, M. (1999), „**Gebrochene Zuschlagstoffe – Ergänzende Prüfungen zu den bestehenden Beton-Nomren – Erfahrungen bei AlpTransit Gotthard**“, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 24, Seiten 532-536.
- [15] Holcim (Schweiz) AG (2010), „**Prüfresultate Chloridwiderstand aus Betonproduktion Tessin 2008-2010**“, unveröffentlichte Daten
- [16] Stark, U., Müller, A. (2006), „**Korngrösse und Kornform von Gesteinskörnungen und ihr Potential für die Betonforschung**“, beton 9/2006, Seiten 390-397
- [17] Schaab, A., „**Bau der Teilabschnitte Bodio und Faido des Gotthard-Basis-Tunnels**“, beton 5/2012, Seiten 172-179
- [18] Huß, A. (2010), „**Mischungsentwurf und Fließeigenschaften von Selbstverdichtendem Beton (SVB) vom Mehlkorntyp unter Berücksichtigung der granulometrischen Eigenschaften der Gesteinskörnung**“, Dissertation, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 27.07.2015/30.09.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: 2012/403
Projekttitel: Einfluss der Gesteinskörnung auf den Chloridwiderstand von Beton
Enddatum: 31.07.2015

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Der Chloridwiderstand von Beton wird in der Schweiz mit der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang B, bestimmt. Der Grenzwert von $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ für den Chloridmigrationskoeffizienten wurde durch Untersuchungen und Forschungen gefestigt und als Anforderung für XD2b(CH) und XD3(CH) 2013 in die nationalen Elemente der SN EN 206-1 integriert. In der Praxis traten bei einzelnen Betonherstellern in der werkseigenen Produktionskontrolle Fälle auf, bei denen der Grenzwert des Chloridmigrationskoeffizienten überschritten wurde und dieser nicht mit der Druckfestigkeit korrelierte. Abklärungen und Untersuchungen der Betonhersteller zu den bekannten Zusammenhängen (Zementart, w/z-Wert innerhalb Zementart) führten zu keinen Erkenntnissen. In diesen Fällen waren gezielte Massnahmen zur Sicherstellung eines genügenden Widerstandes unmöglich. Dies verunsicherte Betonhersteller und Anwender.

Trotz intensiver Bemühungen fanden die betroffenen Betonhersteller keine befriedigenden Erklärungen für die Beeinflussung des Chloridwiderstandes. Es wurde vermutet, dass noch nicht erkannte Einflüsse, vorab der feinen Gesteinskörnungen, die Beziehung Druckfestigkeit-Chloridmigrationskoeffizient beeinflussen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden deshalb Betonmischungen mit unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen und CEM II/A-LL hergestellt und die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand untersucht. Der Zement CEM II/A-LL wurde gewählt, um ein möglichst empfindlich reagierendes System zu erhalten. Zudem wurden keine künstlichen Luftporen eingeführt.

Die Untersuchungen zeigen, dass auch bei unterschiedlichen feinen Gesteinskörnungen die Auswirkungen auf das Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand gleich sind. Treten in einer Produktionskontrolle Werte für den Chloridwiderstand auf, die nicht der üblichen Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand folgen, ist dies eventuell durch die Anwesenheit von freien Schichtsilikaten verursacht. In diesen Fällen ist das Hohlraumvolumen der gewählten Gesamtmischung der Gesteinskörnung im Beton zu ermitteln und mit dem Zementleimvolumen zu vergleichen. Gegebenenfalls ist das Zementleimvolumen anzupassen.

Die Korngrößenverteilung und Kornform der feinen Gesteinskörnungen beeinflussen die Packungsdichte bzw. den Hohlraumgehalt der Gesteinskörnungsmischung. Bei einem zu geringen oder knappen Zementleimvolumen steigt das Risiko für isolierte, lokale Inhomogenitäten im Millimeterbereich, welche sich auf die Druckfestigkeit stärker als auf den Chloridwiderstand auswirken können und somit das Verhältnis Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand verändern. Die Bestimmung des Hohlraumgehalts nach SN EN 1097-3 in der Gesamtmischung der Gesteinskörnungen gibt orientierende Hinweise in Bezug auf die Beurteilung des Zementleimvolumens einer Mischung.

Im untersuchten Fall war bei einem Korngemisch 0-32 mm mit einem Hohlraumgehalt von 29 Vol.-% ein Zementleimvolumen von 310 l/m^3 zielführend, was einem Zementgehalt von 380 kg/m^3 entsprach. Unter Berücksichtigung aller gestellten Anforderungen an den Beton ist im Einzelfall zu entscheiden, ob zusätzliche betontechnologische Massnahmen oder der Ersatz der kritischen feinen Gesteinskörnungen technisch, ökologisch und wirtschaftlich sinnvoller sind.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die ursprüngliche Hypothese "Die Korngrössenverteilung, petrographische Beschaffenheit und Kornform der feinen Gesteinskörnung üben einen relevanten Einfluss auf die Beziehung Druckfestigkeit zu Chloridwiderstand von Beton aus" konnte in den Laborversuchen nicht bestätigt werden. Die Phase 2 wurde deshalb nicht ausgelöst.

Mit den Untersuchungen konnte aber gezeigt werden, dass die Korngrössenverteilung, petrographische Beschaffenheit und Kornform der feinen Gesteinskörnung den Chloridwiderstand innerhalb der bekannten betontechnologischen Zusammenhängen beeinflusst.

Das Ziel, die Unsicherheit bei fehlender Korrelation zwischen Druckfestigkeit und Chloridwiderstand vom Beton zu reduzieren, konnte erreicht werden. Die Steuerung des Chloridwiderstandes in Bezug auf die feinen Gesteinskörnungen kann unter einer angemessenen Berücksichtigung des Hohlraumgehaltes der Gesamtmischung mit den bekannten betontechnologischen Zusammenhängen erfolgen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Untersuchungen in dieser Arbeit und die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass eine petrographische Untersuchung der Gesteinskörnungen und eine Bewertung für den Einsatz im Beton notwendig ist, insbesondere wenn diese Schichtsilikate enthalten. Die in der SN 670 115 aktuell zulässige Höchstmenge an freien Schichtsilikaten (2 Zahl-% in der feinen Gesteinskörnung) im Sinne einer maximal zulässigen Obergrenze ist jedoch nicht mehr haltbar. Die Anforderungen sollten ersetzt werden durch eine Angabe, ab wann die Wirkung auf die Eigenschaften des Frisch- und Festbetons im Einzelfall zu untersuchen ist. Dabei spielt nicht nur die absolute Höhe eine Rolle, sondern auch die Schwankungsbreite über die Zeit. Gemäss dem Konzept, dass in Prüfnormen die Prüfungen beschrieben werden, jedoch keine Anforderungen an die Eigenschaften der Produkte festgelegt sind, passen die Anforderungen zudem nicht in die SN 670 115. Werden die Anforderungen an die Petrographie von Gesteinskörnungen für Beton in die SN EN 12620 aufgenommen, ergeben sich Konflikte, da die EN 12620 eine harmonisierte technische Spezifikation nach Bauproduktengesetz bzw. CPR ist, aber Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften nicht kennt. Das Thema muss in das verantwortliche europäische CEN TC 154 eingebracht werden.

Eine Möglichkeit wäre, in der Zwischenzeit die Anforderungen an die petrographischen Eigenschaften in die nationalen Elemente der SN EN 206 Beton Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität aufzunehmen.

Publikationen:

-

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Weiss

Vorname: Roland

Amt, Firma, Institut: VersuchsStollen Hagerbach AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Der Chloridwiderstand von Beton ist eine massgebende Eigenschaft für die Dauerhaftigkeit von Verkehrsinfrastrukturbauten aus Stahlbeton. Die Prüfung wurde 2003 mit der damals neuen Betonnorm SN EN 206-1:2000 in der Schweiz eingeführt. Auslöser für diese Prüfung waren Schäden an vielen Bauwerken des Strassennetzes infolge der chloridinduzierten Bewehrungskorrosion. Anforderungen an den Chloridwiderstand von Betonen wurden 2008 festgelegt. Es zeigte sich seither, dass einzelne Betonhersteller trotz grosser Anstrengungen Mühe haben, den Grenzwert einzuhalten. Mit dem vorliegenden Projekt konnten die Ursachen dieser Schwierigkeiten geklärt (zu tiefes Zementleimvolumen) und Gegenmassnahmen vorgeschlagen werden (höherer Zementgehalt). Die Ursache für das erhöhte nötige Zementleimvolumen ist auf den erhöhten Gehalt an freien Schichtsilikaten in der Gesteinskörnung zurückzuführen.

Das Forschungsziel konnte erreicht werden.

Umsetzung:

Betonhersteller: Wenn Probleme mit dem Chloridwiderstand auftreten, ist neben der petrografischen Analyse der Gesteinskörnungen (inkl. Bestimmung des Gehalts an freien Schichtsilikaten in den feinen Gesteinskörnungen) auch der Hohlraumgehalt eines Gesteinskörnungsgemisches bzw. das erforderliche Zementleimvolumen zu ermitteln. Ggf. ist z.B. der Zementgehalt zu erhöhen, um ein dichtes Betongefüge zu erreichen. Dabei sind die ggf. ungünstigen Auswirkungen eines erhöhten Zementgehaltes ebenfalls zu betrachten (z.B. höhere Mindestbewehrung bei Zwängungsbeanspruchung, etc.).

Normen: siehe unten.

weitergehender Forschungsbedarf:

Kein

Einfluss auf Normenwerk:

In den Normen ist zu fordern, dass der Gehalt an freien Schichtsilikaten in den Gesteinskörnungen zu ermitteln ist. Es ist weiter ein Grenzwert festzulegen, ab dem Abklärungen zum Einfluss der Schichtsilikate durchzuführen sind. Diese Anforderungen sind über das CEN TC 154 in die europäische Norm EN 12620 einzubringen. In der Zwischenzeit kann die Anforderung in den nationalen Elementen der EN 206 behandelt werden.

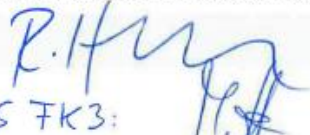
Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hunkeler

Vorname: Fritz

Amt, Firma, Institut: TFB AG, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:


VSS FK3:

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.04.2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflasterungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgerät für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffbarkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfornormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des ponts dalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009