



Maßnahmen zur Verbesserung der Betontechnologie in Südtirol „Zusammenfassung“ (17.04.2008)

Auftraggeber:

Abteilung 11 – Hochbau und technischer Dienst
Amt für Geologie und Baustoffprüfung
Ripartizione 11 – Edilizia e servizio tecnico
Ufficio geologia e prove materiali

Abteilung 30 - Wasserschutzbauten
Ripartizione 30 – Opere idrauliche

In Zusammenarbeit mit:



COLLEGIO DEI COSTRUTTORI EDILI
KOLLEGIUM DER BAUNTERNEHMER



ANWENDUNGSZENTRUM BAUTECHNOLOGIE GmbH

Bauen im Alpen Raum

Eine Einrichtung der Universität Innsbruck

Leiter: Univ.-Prof. Ing. Dr. Walter Lukas





Zusammenfassende Bewertung der erreichten technologischen Daten im Hinblick auf eine ausreichende Dauerhaftigkeit

Das vorliegende Forschungsprojekt zur Bewertung technologisch relevanter Einflüsse mit Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von Beton wurde in zwei Untersuchungsteilen aufgegliedert. Im Zuge des Forschungsprojektes wurden die Einflussfaktoren seitens der Zuschläge, der Bindemittel und Betonzusatzstoffe und -mittel auf die Erlangung dauerhafter Betone getestet. Weitere maßgebende Parameter, wie Verarbeitung und Nachbehandlung, und deren Einfluss auf den Beton wurden im Rahmen dieser Forschung nicht untersucht.

Teil I der Untersuchungen

Der Teil I der Untersuchungen gliederte sich in zwei Schwerpunkte, welche sich mit den maßgebenden Parametern, bezogen auf die Dauerhaftigkeit der Betone auseinandersetzen.

1. Ursachen der relativ geringen Betonfestigkeit, Ursachen der Probleme mit der Frost-Tausalz-Beständigkeit, Maßnahmen zur Verbesserung der Erkenntnisse, sowie der Dauerhaftigkeit
2. Bewertung der Einflüsse durch die phyllitischen Komponenten einiger Zuschlagvorkommen auf die Dauerhaftigkeit (insbesondere Abwitterung durch Frost-Tausalz-Angriff) mit Lösungsvorschlägen hinsichtlich dieser Problematik

Teil II der Untersuchungen

Im Teil II der Untersuchungen wurde eine Bewertung vorgenommen, wie sich der teilweise Austausch von phyllitischen Anteilen im Zuschlag, sowie der Einsatz von höherwertigen Zementen auf die Dauerhaftigkeit (Abwitterungsverhalten im Zuge eines Frost-Tausalz-Angriffes) und Festigkeit auswirken.



Zusammenfassung Teil I der Untersuchungen

Für das vorliegende Versuchsprogramm wurden von 11 Betonherstellern die im jeweiligen Betrieb verwendeten Zuschläge, Zemente, Zusatzstoffe und Zusatzmittel, zur Herstellung von Betonen mit hoher Qualität und guter Dauerhaftigkeit angeliefert. Bei den verwendeten Zementen handelte es sich nach Angaben der betonherstellenden Betriebe um CEM II A/B. Bei den Zuschlägen wurde das Material in den Korngruppen 0/4, 4/8, 8/16 und 16/32 geliefert. Von den 11 Serien wiesen fünf Gesteinskörnungen hohe phyllitische Anteile auf.

Im Zuge der Untersuchungen der Zuschläge wurde der Mürbkornanteil der einzelnen Korngruppen ermittelt und bewertet. Dabei wurde ersichtlich, dass speziell bei den Zuschlägen mit hohen Anteilen an Phyllit, Glimmerschiefer und Gneis (> 50 % in den jeweiligen Korngruppen) die Mürbkorngehalte teilweise in Bereichen von 10 bis 20 % lagen. Es ist nahe liegend, dass Zuschläge mit einer solchen Charakteristik sich als problematisch für die Herstellung von frost-tausalzbeständigen Betonen erweisen. Besonders bei der Fraktion von 0-4 mm Korndurchmesser, wirkt sich der hohe Mürbkornanteil besonders negativ aus.

Bei der Bewertung der verwendeten Zemente konnte nachgewiesen werden, dass diese zwar den Normenanforderungen der Güteklassen entsprachen, jedoch Unterschiede in der Zementqualität aufwiesen. Dies kann mit der Menge und der Qualität der Zumahlstoffe, bei der Herstellung von Zement (CEM II A/B) erklärt werden. Neben Zementen mit einem mittleren Zumahlstoffanteil (etwa 30% - geschätzt) dürften auch Zemente mit niederen Zumahlstoffanteilen (etwa 12 – 15%) verwendet worden sein. Diese unterschiedliche Zusammensetzung der Zemente wirkte sich auch auf die mechanischen Eigenschaften des Betons aus. Die Bewertung der Zemente erfolgte durch die Bestimmung der Temperaturentwicklung.

Die chemische Zusammensetzung sowie weitere technologische Kennwerte wurden nicht ermittelt.



Die Betonherstellung erfolgte für alle Serien mit einem konstantem Zementgehalt (400kg/m^3) und einem konstanten Wassergehalt (172l/m^3 , W/B-Wert 0,43). Des Weiteren wurde ein Luftporengehalt von (etwa $7 \pm 2 \%$) und ein Ausbreitmaß (von $50 \pm 3 \text{ cm}$) festgelegt. Zur Betonherstellung wurden ausschließlich, die von den Firmen zur Verfügung gestellte Komponenten verwendet.

Hervorzuheben ist, dass sich bei den jeweils verwendeten Zusatzmitteln (Fließmittel und Luftporenmittel) sehr große Unterschiede bezüglich deren Wirkung ergaben. Teilweise konnten die vorgegebenen Werte nicht erreicht werden. Dies traf insbesondere auf die Einstellung der notwendigen Feinluftkennwerte (Menge, Abstandsfaktor und Durchmesser), welche maßgebend zur Erreichung frost-tausalzbeständiger Betone sind, zu.

Die zu erreichenden Feinluftkennwerte im Festbeton stellen sich wie folgt dar:

- Feinluftgehalt von 5 bis 8 %
- Abstandsfaktor der Luftporen $\leq 0,180 \text{ mm}$
- Durchmesser der Luftporen $\leq 0,220 \text{ mm}$

Auch hinsichtlich der Wirkung einzelner Fließmittel in Verbindung mit den jeweils verwendeten Zuschlägen und Zementen ergaben sich bei einer Serie Probleme. In diesem Fall konnte die festgelegte Konsistenz, trotz hoher Fließmitteldosierung, nicht erreicht werden.

Zur Erreichung der vorgegebenen Konsistenz waren Fließmitteldosierungen von 0,35% bis 2,2% (normaler Wert um 0,8% bis 1,2%) notwendig. Diese sehr unterschiedlichen Dosiermengen lassen auf eine teilweise ungenügende Abstimmung zwischen den verwendeten Zementen, Zuschlägen und dem eingesetzten Fließmittel schließen. Da für die jeweiligen Betone verschiedene Fließmittelprodukte verwendet wurden, lässt sich keine Korrelation zwischen Zuschlagtypen und Zementen, herstellen. Dies trifft insbesondere für die Serien mit phyllitischen Anteilen zu.

Vergleichbares lässt sich bei der Verwendung von Luftporenmittel feststellen. Hier wurden Dosiermengen zwischen 0,05% und 0,50% benötigt (normaler Wert um 0,2%), um den gewünschten Effekt (Gesamtluftgehalt) zu erhalten.



Es ist keine systematische Abhängigkeit bezüglich eines erhöhten Anspruchs an Fließmittel und Luftporenmittel bei der Verwendung von Zuschlägen mit hohen phyllitischen Anteilen zu erkennen. Ein hoher phyllitischer Anteil im Zuschlag bedingt nicht immer eine hohe Fließmittel- bzw. Luftporenmitteldosierung.

Die Wirkungseffizienz der Zusatzmittel liegt in ihrer Wirkstoffmenge, sowie in der Abstimmung zu den restlichen Betonkomponenten.

Dies lässt den Schluss zu, dass in einzelnen Werken (ca. 30% bei den Fließmitteln und ca. 50% bei den Luftporenmitteln) schlecht abgestimmte Komponenten verwendet werden. Nicht bewertet wurde der Einfluss der verwendeten Zemente. Es wird empfohlen, für die jeweilige Zusammensetzung des Betons (Zement und Zuschlag) geeignete Produkte zu verwenden.

Bei der Abstimmung von Zuschlag und Zement mit den Betonzusatzmitteln sollten Verbesserungen angestrebt werden.

Die Festigkeiten lagen auf Grund der gewählten Feinluftanteile (7% im Frischbeton zur Erreichung der Frost-Tausalz-Beständigkeit) bei allen Serien um ca. 20% zu tief. Nach einem Tag wurden Werte zwischen 8 N/mm² (schlecht) und 17 N/mm² (ausreichend) erreicht. Die ungenügenden bzw. zu geringen Betonfestigkeiten sind auf die Wahl der Zemente und auf eine unzureichende Abstimmung der Zusatzmittel (Luftporenmittel – zu hohe Porosität) zurückzuführen. Dadurch können bei fast allen Serien zur Erlangung einer guten Dauerhaftigkeit Probleme auftreten. Hier müssen generell durch eine Verbesserung (z. B. Senkung des Luftporenbedarfs, Zementart) neue Wege gegangen werden.

In der Regel sind für Betone dieser Zusammensetzung Feinluftgehalte im Festbeton zwischen 5 - 6% ausreichend. Aus umfangreichen eigenen Untersuchungen hat es sich als günstig erwiesen, dass der Abstandsfaktor unter 0,18mm bzw. der Porendurchmesser unter 0,22mm liegen sollte.



Die erhaltenen „Schwindwerte“ lagen nach 90 Tagen zwischen 0,30‰ und 0,54‰. Diese Werte sind für den verwendeten W/B-Wert und dem verwendeten hohen Zementgehalt in den mittleren Bereich einzuordnen (günstiger Bereich). Das Schwinden ist nicht vom Zuschlagstyp abhängig.

Die maximale Wassereindringung lag zwischen 16 und 30 mm. Die Prüfung erfolgte nach EN 12390/8.

Die Prüfung der Frost-Tausalz-Beständigkeit erfolgte für jede Serie gemäß Ö-Norm B 3303 „Alt“ (Ausgabe 1983) bzw. „Neu“ (Ausgabe 2002). Das bedeutet, dass bei allen Serien jeweils die abgezogene Oberfläche („Alt“), sowie auch die zur Oberfläche senkrechte Schnittfläche („Neu“) bewittert bzw. belastet wurden.

Die Bewertung erfolgte über die Menge der Abwitterung nach einem vorgegeben Prüfzyklus bis 50 Frost-Tausalz-Wechsel. Der jeweilige Endwert ergibt sich durch das Summieren von 7 Einzelbestimmungen. Die zulässigen Abwitterungen wurden laut der ÖNorm B 4200 Teil 10, sowie im Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 festgelegt. Zusätzlich wurde noch eine freie, subjektive Bewertung der Summe der Abwitterungen nach 50 FTW vorgenommen.

Prüfung der abgezogenen Oberfläche nach ÖNorm B 3303 Ausgabe 1982 („Alt“)

Die Anforderung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10, bei Belastung nach alter Norm (Bewitterung der abgezogenen Oberfläche), erfüllten 6 von 11 Serien. Hinsichtlich der Bewertung nach dem Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 bestanden 9 von 11 Serien bei einer Belastung nach alter Norm (Bewitterung der Oberfläche) die Frosttausalzprüfung. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass laut dem Beschluss Nr. 30 höhere Grenzwerte festgelegt sind.

Bei Verwendung von Zuschlägen mit phyllitischen Anteilen und hohen Mürbkorngehalten ließ sich in den meisten Fällen eine erhöhte Abwitterungsrate feststellen. Dies trifft jedoch nicht auf alle Serien mit phyllitischen Zuschlägen zu, da auch die Qualität der abgezogenen Oberfläche und die des Zementes eine wesentliche Rolle spielen.



Prüfung der Schnittfläche nach ÖNorm B 3303 Ausgabe 2002 („Neu“)

Bei der Prüfung der Schnittfläche nach neuer Norm ergaben sich im Trend höher Abwitterungen gegenüber der Prüfung nach alter Norm. Bei einer Beurteilung der Abwitterung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10, konnten gegenüber der Prüfung nach alter Norm lediglich nur mehr 5 von 11 Serien die Frosttausalzprüfung bestehen. Hinsichtlich der Bewertung nach dem Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 erfüllten ebenfalls nur mehr 5 von 11 Serien die Prüfkriterien. Ein Zusammenhang zwischen hohen Abwitterungen und der Verwendung von Zuschlägen mit phyllitischen Komponenten und hohen Mürbkorngelalten ist klar festzustellen. Jedoch zeigten vermehrt auch Betone mit unproblematischen Zuschlägen bei der Prüfung der Schnittfläche starke Abwitterungen. Der Grund für eine solch hohe Abwitterung mancher Serien mit guten Zuschlägen liegt in ungeeigneter Qualität der eingeführten Feinluft (Luftporengehalt, Abstandsfaktor und Porendurchmesser).

Bedingt durch den Umstand, dass nicht nur die Qualität der Zuschläge maßgebend die Frost-Tausalzbeständigkeit beeinflusst, wurden detaillierte Untersuchungen über die Luftporenverteilung (Feinluft) in drei verschiedenen Tiefenstufen des erhärteten Betons (Würfelproben) durchgeführt. Ermittelt wurden der Gesamtluftgehalt, der Abstandsfaktor sowie der LP-Durchmesser aller Luftporen unter 400µm. Diese Methode stellt eine über die Norm gehende Bewertung dar und sollte eine Antwort über den Einfluss der Quantität (Luftporengehalt) und der Qualität (Abstandsfaktor und Porendurchmesser) der eingeführten Feinluftporen geben.

Die Auswertung ergab, dass die mittleren Luftporengehalte im Festbeton bezogen auf die gesamte Schnittfläche in den meisten Fällen im Bereich zwischen 5 bis 8 % lagen. Einige Proben wiesen, wie schon erwähnt, höher Luftporengehalte auf, was sich negativ auf die Festigkeit auswirkt. Der angestrebte Abstandsfaktor konnte bei einer Betrachtung der gesamten Schnittfläche bei 7 von 11 Serien eingehalten werden.

Bei einer separaten Betrachtung der Luftporenkennwerte des oberen, mittleren und unteren Teilbereiches waren erhebliche Schwankungen festzustellen.

Tendenziell zeigte sich eine Erhöhung des Luftporengehaltes im oberen bzw. eine Verringerung im unteren Teilbereich des Prüfkörpers. Auch der Abstandsfaktor und der Porendurchmesser zeigten in Abhängigkeit vom Luftporengehalt Veränderungen auf.



Im oberen Bereich mit erhöhtem Luftporengehalt ($> 8 \%$) waren der Abstandsfaktor und Porendurchmesser gering und entsprachen somit in den meisten Fällen den Anforderungen. Im unteren Bereich, wo im Durchschnitt geringe Luftporengehalte ($< 5 \%$) gemessen wurden, waren der Abstandsfaktor, sowie auch der Porendurchmesser in vielen Fällen zu hoch.

Eine solch inhomogene Verteilung der Luftporen erklärt, abgesehen vom Einfluss problematischer Zuschläge, die tendenziell höheren Abwitterungen der Schnittflächen im Vergleich zu den Betonen mit einer Frost-Tausalzbelastung der abgezogenen Oberflächen. Dieser Umstand deutet auf die Wahl ungeeigneter Luftporenmittel bzw. einer fehlenden Abstimmung mit dem jeweils verwendeten Zement, Zuschlag und Fließmittel hin. Dies bedeutet, dass in einigen Fällen die Luftporenmittel durch die Lieferfirmen besser auf die übrigen Betonkomponenten abgestimmt bzw. eingestellt werden müssen.

Zusammenfassung Teil II der Untersuchungen

Im Teil II der Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass durch eine Reduktion bzw. teilweisen Austausch von Korngruppen mit hohen phyllitischen Anteilen (unabhängig ob Fein- oder Grobanteil) und der Verwendung geeigneter Luftporenbildner (Feinluftverteilung) sowie den Einsatz von höherwertigen Zementen eine Verbesserung der Frosttausalzbeständigkeit der Betone erreicht werden kann. Der Nachweis kann sowohl nach Belastung an der Oberfläche („Alt“) bzw. an der geschnittenen Fläche („Neu“) geführt werden. Weiter Versuche hinsichtlich einer Optimierung, bis zu welchen Grenzen ein solcher Austausch Zuschlagsmaterial vorzunehmen ist, wurde nicht untersucht.



Resümee

Zusammenfassend können die Mängel bei einer Reihe von Betonen auf folgende Ursachenzurückgeführt werden:

- Die Ursache der generell unzureichenden Festigkeitsentwicklung, bei vielen Serien, ist auf einen zu hohen Luftgehalt im Festbeton zurückzuführen. Ebenfalls ist ein Einfluss der phyllitischen Komponenten im Zuschlag auf die Festigkeiten feststellbar.
- Die starke Abwitterung durch den Frost-Tausalzangriff bei einem Teil der Proben ist auf drei wesentliche Einflüsse rückführbar:
 - der Verwendung von problematischen Zuschlägen in hoher Konzentration
 - Nichteinhaltung der Luftporenkennwerte
 - der Verwendung nicht geeigneter Zemente für die Expositionsklasse (XF4)

Hinsichtlich einer Erreichung von frost-tausalzbeständiger Betone werden in Folge die wesentlichen Lösungsvorschläge dargestellt.

Auch bei Verwendung geeigneter Zuschläge, verbunden mit hohen Zementqualitäten, ist hinsichtlich der Erreichung frost-tausalzbeständiger Betone ein optimaler Luftporengehalt, Abstandsfaktor und Porendurchmesser zu gewährleisten. Um diese optimalen Luftporenkennwerte zu erreichen, ist eine gute Abstimmung des Luftporenmittels mit den übrigen Betonkomponenten zu gewährleisten.

Die bisherigen Ergebnisse weisen darauf hin, dass auch bei problematischen Zuschlägen mit phyllitischen Komponenten und hohem Mürbkornanteil, durch einen teilweisen Austausch durch hochwertige Zuschläge eine Frost-Tausalzbeständigkeit der Betone zu erreichen ist. Dabei sind die restlichen maßgebenden Faktoren, wie Luftporenkennwerte und Zementqualität, ebenfalls zu berücksichtigen.