



Maßnahmen zur Verbesserung der Betontechnologie in Südtirol Ausgabe - März 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 BAUUNTERNEHMER



ANWENDUNGSZENTRUM BAUTECHNOLOGIE GmbH

Bauen im Alpenen Raum Eine Einrichtung der Universität Innsbruck

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



INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG.....	1
1.1 VERSUCHSABSCHNITT I: FROST-TAUSALZ-BESTÄNDIGKEIT VON BETONEN MIT UNTERSCHIEDLICHEN AUSGANGSSTOFFEN	2
1.2 VERSUCHSABSCHNITT II: UNTERSUCHUNGEN BEZÜGLICH DER EINFLUSSFAKTOREN ZUSCHLAG, BINDEMittel, ZUSATZMITTEL UND VERARBEITUNG AUSGEWÄHLTER REZEPTUREN	2
1.3 ALLGEMEINES	3
1.4 ERLÄUTERUNG ZUR PROBENBEZEICHNUNG	3
2. ZUSAMMENSETZUNG DER VERSUCHSBETONE	4
2.1 BEWERTUNG DER VERWENDETEN GESTEINSKÖRNUNGEN	4
2.2 BEWERTUNG DER VERWENDETEN ZEMENTE	7
3. BETONTECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	9
3.1 FRISCHBETONWERTE.....	9
3.2 FESTIGKEITSENTWICKLUNG	12
3.3 LUFTPorenGEHALT IM FESTBETON	13
3.4 SCHWINDVERHALTEN	17
3.5 WASSEREINDRINGUNG.....	19
3.6 BESTIMMUNG DER FROSTBESTÄNDIGKEIT	20
3.7 UNTERSUCHUNG DER FROST- TAUSALZBESTÄNDIGKEIT AUF GRUND DER ABWITTERUNG	20
4. ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG.....	27
5. EINFLUSS DER UNTERSCHIEDLICHEN PHYLLITISCHEN KOMPONENTEN AUF DIE DRUCKFESTIGKEIT UND ABWITTERUNG SOWIE EINFLUSS DURCH VERWENDUNG VERSCHIEDENER ZEMENTE	33
5.1 UNTERSUCHUNG SERIE 110 BEI VARIATION VON BINDEMittel UND ZUSCHLAG	34
5.2 UNTERSUCHUNG SERIE 190 BEI VARIATION VON BINDEMittel UND ZUSCHLAG	42
5.3 ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG	51
6. EINFLUSS UNTERSCHIEDLICHER FEINLUFTGEHALTE AUF DIE DRUCKFESTIGKEITSENTWICKLUNG UND FEINLUFTVERTEILUNG IM FESTBETON	54

7. ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	59
7.1 FRISCHBETONEIGENSCHAFTEN.....	60
7.2 FESTBETONEIGENSCHAFTEN	60
7.3 ZUSAMMENFASSEND KÖNNEN DIE MÄNGEL EINER REIHE VON BETONEN AUF FOLGENDE URSACHEN ZURÜCKGEFÜHRT WERDEN:	61
8. ANHANG	62
8.1 BETONZUSAMMENSETZUNGEN.....	62
8.2 TEMPERATURENTWICKLUNG.....	75
8.3 WASSERUNDURCHLÄSSIGKEITSPRÜFUNG (NACH ÖNORM EN 12390-8)	80
8.4 BESTIMMUNG DES LUFTPORENGEHALTS UND DES ABSTANDFAKTORS.....	85
8.5 ABBILDUNGEN DER PROBEN	86
8.6 MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	93
8.7 PETROGRAPHISCHE BEWERTUNG DER VERWENDETEN ZUSCHLAGTYPEN.....	98

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Das ABT wurde von der Südtiroler Landesregierung beauftragt, im Zuge eines gemeinsamen Forschungsprogramms, Möglichkeiten zur Verbesserung der momentanen betontechnologischen Situation in Südtirol vorzunehmen. Im Zuge dieses Projektes sollten Ursachen unterschiedlicher betontechnologischer Probleme – insbesondere die Frost-Tausalz-Beständigkeit – systematisch untersucht werden, und in Folge Lösungswege und Verbesserungen gefunden bzw. vorgeschlagen werden. Eine Verbesserung der Betonqualitäten hat positive Auswirkungen auf eine Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken, was volkswirtschaftlich einen wichtigen Aspekt darstellt.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei den in Folge angeführten technischen Fragestellungen, die im Zuge des Forschungsprogramms analysiert und gelöst werden sollten. Die Untersuchungen wurden hierfür in zwei Versuchsabschnitte unterteilt. Thematisch wurden folgende Schwerpunkte genauer ins Visier genommen:

- Ursache der relativ geringen Betonfestigkeiten - Ursachen hinsichtlich der Problematik der Frost-Tausalz-Beständigkeit - Maßnahmen zur Verbesserung der betontechnologischen Grundlagen, sowie der Dauerhaftigkeit
- Bewertung der Einflüsse phyllitischer Komponenten einiger Zuschlagsvorkommen, hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Betone (insbesondere Abwitterung durch FT- Angriff) - Erarbeitung von Lösungsvorschlägen

Hinsichtlich der Durchführung und Bewertung der betontechnologischen Versuche wurden folgende Normen bzw. Regelwerke herangezogen:

- ÖNorm B 3303, Ausgabe 1983 (alt)
- ÖNorm B 3303, Ausgabe 2002 (neu)
- ÖNorm B 4200 Teil 10, Ausgabe 1996
- Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 für XF4, XF2 Betone (Modifikation ÖNorm B 4200 Teil 10, Ausgabe 1996)
- ÖNorm EN 12390-8
- ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“, Ausgabe 3/1995

1.1 Versuchsabschnitt I: Frost-Tausalz-Beständigkeit von Betonen mit unterschiedlichen Ausgangsstoffen

Hier sollte geklärt werden, welchen Einfluss unterschiedliche Zemente bzw. Bindemittel und Zuschläge, sowie die eingesetzten Zusatzmittel unter Praxisbedingungen, auf die Dauerhaftigkeit des hergestellten Betons aufweisen. Es wurden jeweils Materialien und Produkte eingesetzt, welche auch in der Praxis zum Einsatz kommen. Es galt in diesem Untersuchungsteil festzustellen, welche material- und verarbeitungsspezifischen Faktoren sich positiv bzw. negativ auf die Dauerhaftigkeit des Betons auswirken.

1.2 Versuchsabschnitt II: Untersuchungen bezüglich der Einflussfaktoren Zuschlag, Bindemittel, Zusatzmittel und Verarbeitung ausgewählter Rezepturen

In diesem Versuchsabschnitt wurden ausgewählte Mischungsrezepturen aus Versuchsreihe I detailliert in Bezug auf Variation der Bindemittel, der Zuschlagskomponenten, unterschiedlicher Korngruppen und dem Einfluss von Zusatzmitteln, insbesondere Luftporenbildnern untersucht. Hier galt es herauszufinden, welche Komponente den größten Einfluss hinsichtlich einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Betonen darstellt.

1.3 Allgemeines

Für den ersten Teil der Versuche (Beginn bis Mitte 2007) waren die Aktivitäten so festgelegt worden, dass die im Wesentlichen unter *Punkt 1.1* genannten Fragestellungen bearbeitet werden sollten.

Im Zuge des Projektes wurden vom Auftraggeber interessierte Firmen eingeladen, Materialien zur Verfügung zu stellen, die für die Herstellung von Versuchsbetone verwendet werden sollten. Es erklärten sich insgesamt elf Firmen bereit, Materialien für die Untersuchungen bereitzustellen. Angeliefert wurden von den jeweiligen Firmen in der Praxis verwendete Zuschläge der Körnung 0/4, 4/8, 8/16 bzw. 16/32, Bindemittel, Zusatzmittel (Verflüssiger bzw. Fließmittel, Luftporenmittel).

Die Entnahme der Zuschläge Zemente bzw. Bindemittel sowie Zusatzmittel erfolgte durch die Materialprüfstelle Kardaun. Dem Auftragnehmer sind die Lieferfirmen nicht bekannt. Die angelieferten Firmenprodukte wurden mit der Nummer 100 – 210 (11 Serien und eine Vergleichsprobe) bezeichnet. Als Vergleichsserie kam ein Beton aus Materialien (Zement, Zusatzmittel und Zuschläge) des Nordtiroler Raumes zum Einsatz. Diese Serie wurde mit 000 bezeichnet und wurde aus Produkten hergestellt, die den Forschungspartnern bekannt sind. Sie weisen günstige, betontechnologische Werte auf, und ergeben unter der gewählten Zusammensetzung günstige Werte.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse sind neben dem Referenzbeton auch alle anderen Versuchsbetone unter gleichen Bedingungen hergestellt worden. Als eingesetzte Materialien kamen jeweils die Firmenprodukte, die auch für die Betonherstellung verwendet werden, zum Einsatz.

1.4 Erläuterung zur Probenbezeichnung

Jede Betonserie eines Lieferanten bekam eine anonyme, dreistellige Nummer, (Serie 100 bis 210). Die einzelnen Betonkomponenten jeder Firma haben somit eine anonyme Bezeichnung, die dem Auftraggeber bekannt ist. Die Zuschläge der einzelnen 4 bzw. 5 Korngruppen wurden mit der Unterbezeichnung 1 – 5 an der dritten Stelle der Seriennummer gekennzeichnet. Für die Bezeichnung der Bindemittel und der Zusatzmittel standen die Kennzahlen 6 – 9 zur Verfügung. Eine Zuordnung der Kennzahlen mit den jeweiligen Produkten ist den Tabellen (*siehe Anhang Punkt 8.1 Betonzusammensetzungen*) zu entnehmen. Für eine weitere Betrachtung im Zuge der Darstellung bzw. der Diskussion der Untersuchungsergebnisse wird grundsätzlich auf diese Serienbezeichnung zurückgegriffen.

2. Zusammensetzung der Versuchsbetone

Alle Versuchsbetone wurden auf Basis der gleichen Grundrezeptur *Tabelle 1* hergestellt um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Grundrezeptur basiert auf der Betonsorte B7 (laut ÖNorm B 4710-1), welche der Expositionsklasse XF4 (Frost-Tausalz-Beständigkeit) entspricht.

Grundrezepturen für Versuchsserien	
Standardrezeptur:	
Zementgehalt:	400 kg/m ³
W/B-Wert:	0,43
Wassergehalt:	172 kg/m ³
Raumtemperatur:	20°C ± 1°C
Lagerungstemperatur:	20°C ± 1°C
Lagerung der Prüfkörper:	ÖNorm 3303 (Ausgabe 2002) ÖNorm 3303 (Ausgabe 1983)

Tabelle 1: Grundrezeptur

In den beiden folgenden Punkten wurden die Komponenten, wie Zuschlag und Bindemittel näher beleuchtet. Wobei hinsichtlich der Zuschläge eine petrographische Bewertung und der Anteil des Mürbkorn im Vordergrund standen. Die Bindemittel wurden lediglich durch die Bestimmung der Hydratationswärme charakterisiert.

2.1 Bewertung der verwendeten Gesteinskörnungen

Für die Betonherstellung sind aus den Partnerwerken verschiedene Gesteinskörnungen angeliefert worden, aus denen dann die vorgegebene Sieblinie zusammengesetzt wurde (*siehe Anhang Punkt 8.1 Betonzusammensetzungen*). Interessant war die Fragestellung, welchen Einfluss die phyllitischen Anteile im Zuschlag bei den Serien 100, 110, 120, 130 und 190 auf die Dauerhaftigkeit des Betons haben. Hinsichtlich dieser Fragestellung wurden die Betone mit phyllitischen Anteilen im Zuschlag untereinander verglichen, sowie auch mit dem Nullbeton (Serie 000). Von den einzelnen Gesteinskorngruppen sind zunächst die Kornzusammensetzung der einzelnen Fraktionen ermittelt und tabellarisch aufgelistet worden. Zusätzlich erfolgte eine graphische Darstellung der Gesamtsieblinie, die nach Angaben des Auftraggebers zusammengesetzt wurden. Die genaue Bezeichnung dieser Situation geht aus (*8.1 Betonzusammensetzungen*) hervor.

Die *Tabellen 2a und 2b* zeigen die petrographische Bewertung der einzelnen Zuschläge der Versuchsrezepturen, wobei zusätzlich die Zuschläge der Serien 110, 130 und 190 detailliert auf ihren phyllitischen Anteil untersucht wurden. In der *Tabelle 2c* findet sich eine Auswertung der Zusammenstellung des Mürbkornanteils der gesamten, untersuchten Gesteinskörnungen. Dabei zeichnen sich grob 5 verschiedene Bereiche ab. Mürbkornanteil (*Tabelle 2c*) > 15% finden sich in den Ge-

steinsserien der Produkte 130 und 190, Mürbkornanteile > 8% bis 15% in den Serien 120 bzw. 210, > 4% bis 8% bei 100, 110, 170, 180, 210, > 2% bis 4 % bei 140 und 150, < 2 % bei 000, 160 bzw. 200.

Petrographische Bewertung der verwendeten Zuschlagstypen

	Grobe	Mittlere	Feine
	Fraktion	Fraktion	Fraktion
000	Dol	Dol	Dol
100	Ph/Dol	Ph/Dol	Misch
110	Ph/Dol	Ph/Dol	Misch
120	Ph/Dol	Ph/Dol	Ph / Misch
130	Ph	Ph	Ph
140	Dol	Dol	Dol
150	Dol	Dol	Dol
160	QP	QP	QP
170	G	G/Ph/Dol	Misch
180	G	G/Ph/Dol	Misch
190	G/(Ph)	G/Ph	Misch
200	Dol	Dol	Dol
210	G/Ph	G/Ph	G/Ph

Tabelle 2a: Petrographische Bewertung

Dol = Dolomit
 Ph = Phylite, Glimmerschiefer
 QP = Quarzporphyr
 K = Kalk
 G = Granit, Gneis
 Misch = Mischprodukt (Dol, K, G)

Anteile an phyllitischen Komponenten der Serie 110, 130, 190

Betonserie	16/32	8/16	4/8	0/4
110 +++	10,2	14,5	13,6	50,0
110 ++	21,8	12,7	7,7	20,0
110 +	68,0	72,8	78,7	30,0
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0
130 +++	13,0	8,9	14,2	n.b.
130 ++	13,6	6,0	6,8	
130 +	73,4	85,1	79,0	
Summe	100,0	100,0	100,0	
190 +++	7,6	5,2	9,4	n.b.
190 ++	5,2	5,0	8,4	
190 +	87,2	89,8	82,2	
Summe	100,0	100,0	100,0	

Qualitätsbewertung (Anteile in Masse %)

- +++ sehr schlechte Qualität
- ++ mittlere Qualität
- + gute Qualität
- n.b. Nicht bewertet

Tabelle 2b: phyllitische Komponenten

Betonserien	0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
000	< 1	< 1	< 1	< 1
100	6,88	12,90	16,97	9,95
110	7,23	12,32	17,23	10,47
120	8,79	7,40	12,16	14,08
130	17,36	18,00	14,12	14,68
140	2,11	1,20	1,25	2,34
150	2,31	1,11	1,05	2,56
160	0,15	0,10	1,01	4,85
170	4,53	7,20	8,96	1,69
180	4,70	8,90	13,11	0,68
190	10,41	14,20	15,82	10,02
200	0,28	0,50	0,28	0,28
210	6,60	13,70	11,23	13,00

Tabelle 2c: Mürbkornanteil

Freie Bewertung des Mürbkornanteils der Zuschläge:

- gering 0 - 3 %
- hoch 3 – 8 %
- sehr hoch > 8%

2.2 Bewertung der verwendeten Zemente

Die angelieferten Zemente wurden gemäß einer Schnellmethode nach ihrer Temperaturentwicklung (*gemäß ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“, Ausgabe 3/1995*) bewertet. Es wurde versucht, eine Starttemperatur von 20°C einzuhalten (Labortemperatur). Es wurde mittels eines Temperaturmessgeräts die Entwicklung der Wärme über einen definierten Zeitraum aufgezeichnet. Die Ermittlung der Maximaltemperatur, sowie der Lageparameter des erreichten Maximums lassen – trotz dieser relativ ungenauen Methode – Aussagen über die Qualität des Zementes hinreichend zu. Die Temperaturentwicklungen der verwendeten Zemente sind im *Tabelle 3* zusammengefasst. Die festgestellten Maximaltemperaturen lassen sich grob in 3 Bereiche einteilen, nämlich Betone mit einer Maximaltemperatur bis 48°, Temperaturbereich zwischen 48° und 52° und Zemente, die über 52° Maximaltemperatur liegen. Die ersten beiden Gruppen weisen auf geringe bis mittlere, letztere auf relativ hohe Frühfestigkeiten hin. Die jeweiligen Kurven des Temperaturverlaufs der Zemente gehen aus *dem Anhang Punkt 8.2 Temperaturentwicklung* hervor.

Eine geringe Temperaturentwicklung wiesen die Zemente der Serien 110, 120, 150 und 210 auf. Eine mittlere Maximaltemperatur ist bei den Serien 100, 130 und 140 vorzufinden. Die Zemente der Serien 000, 160, 170, 180, 190 und 200 haben die höchste Maximaltemperatur.

Betonserie	Maximaltemperatur
	[°C]
000	56,4
100	48,2
110	44,6
120	44,6
130	48,6
140	48,2
150	47,0
160	51,9
170	53,9
180	50,8
190	53,8
200	51,6
210	46,0

Tabelle 3: Maximaltemperatur

Freie Bewertung der relativen Temperaturentwicklung:

-  gering
-  mittel
-  hoch

Die unterschiedlichen Temperaturentwicklungen weisen darauf hin, dass die angelieferten Zemente CEM II/B und CEM II/A, Zemente aus verschiedenen Lieferwerken waren bzw. auch verschiedene Zusammensetzung aufweisen müssen. Die Variationen bzw. Schwankungen hinsichtlich der Temperaturentwicklung der untersuchten Zemente sind einerseits auf das Verhältnis von Klinker und Zumahlstoff und auf die chemische Reaktivität und auch Mahlfeinheit zurückzuführen.

3. Betontechnologische Untersuchungen

3.1 Frischbetonwerte

Alle hier verglichenen Betone wurden, wie bereits erwähnt, mit konstantem Zementgehalt und konstantem W/B – Wert hergestellt. Verwendet wurde ein Zementanteil von 400 kg/m³ und ein Wasseranteil von 172 l/m³ (entspricht einem W/B – Wert von 0,43). Da die hier verglichenen Betone auf ein definiertes bzw. festgelegtes Ausbreitmaß eingestellt wurden und der W/B-Wert konstant festgelegt war, wurde die Konsistenz mittels der Zugabe von Verflüssiger bzw. Fließmittel und LP-Mittel vorgenommen. Das angestrebte Ausbreitmaß lag bei etwa 50 cm ± 3 cm. Zur Abstimmung bzw. zur Einstellung der Betonmischung durch die Verwendung der Zusatzmittel waren in der Regel 2 – 3 Mischungen notwendig. Die Erreichung einer Frost-Tausalz-Beständigkeit erfolgte über die Zugabe eines Luftporenmittels. Angestrebt wurde ein Luftgehalt im Frischbeton - auf Wunsch des Auftraggebers - von etwa 7%. Um jenen Luftporengehalt einzustellen, waren wieder einige unterschiedliche Frischbetonmischungen in der Größenordnung von 2 – 5 Einzelserien notwendig, da Fließmittel und Luftporenmittel unmittelbar in Wechselwirkung stehen.

Die maßgebenden Frischbetonkennwerte, Fließ- und Luftporenmittelanspruch, Ausbreitmaß, Slump und Luftporengehalt im Frischbeton sind in der *Tabelle 4* angeführt.

Serien	FM – Dosierung [%]	LPM – Dosierung [%]	Ausbreitmaß [cm]	Slump [cm]	LP-Gehalt [%]
000	0,45	0,15	53	21	7,80
100	0,75	0,50	50	21	5,80
110	0,70	0,17	53	20	6,30
120	0,80	0,23	49	13	7,50
130	0,90	0,05	51	16	7,50
140	0,65	0,50	49	19,5	6,50
150	2,20	0,10	43	8,5	8,0
160	1,20	0,20	50	21	8,0
170	1,15	0,50	49	18	6,8
180	0,8	0,05	48	18	7,8
190	0,7	0,12	51	20,5	7,9
200	0,35	0,22	51	19	5,8
210	0,6	0,13	53	21	8,0

Tabelle 4: Frischbetondaten

Eine Diskussion über die notwendigen Zusatzmitteldosierungen zur Erreichung der angestrebten Frischbetoneigenschaften, wie Konsistenz und Luftporengehalt, ist nicht angebracht, da hier einerseits keine einheitlichen Fließmittel, aber auch keine vergleichbaren Luftporenmittel eingesetzt wurden. Es soll noch einmal betont werden, dass nur die angelieferten Produkte für die Herstellung der jeweiligen Untersuchungsreihen Verwendung fanden. Auffallend ist jedoch, dass in Abhängigkeit unterschiedlicher Zusatzmittelprodukte, sowie auch Betonkomponenten (Zuschlag, Bin-

demittel) sehr differente Gehalte an Zusatzmitteln für die Erreichung der vorgegebenen Konsistenz und des Luftporengehaltes notwendig sind.

Für ein Erreichen des angestrebten Ausbreitmaßes von ca. 50 cm sind in der Regel Fließmitteldosierungen von 0,35 – 1,2 M % vom Bindemittel notwendig. Bei der Serie 150 ist es trotz einer Fließmitteldosierung von 2,2 % nicht möglich das angestrebte Ausbreitmaß zu erreichen. Man kann hier trotz der ungewöhnlich hohen Dosierung, lediglich ein Ausbreitmaß von 43 cm erreichen. Der Fließmittelanspruch ist einerseits von der Formulierung des Fließmittels abhängig, andererseits ist der Wasseranspruch des Bindemittels und der Zuschläge maßgebend für die Wirkungseffizienz des Produktes verantwortlich.

Für die Erreichung des vorgegebenen Luftporengehaltes sind Dosierungen zwischen 0,05% und 0,5% notwendig. Die Bildung von Feinluft im Beton ist Abhängig von der Wechselwirkung des LP-Mittels mit dem Fließmittel und wiederum vom Wasseranspruch des Bindemittels und der Zuschläge. Zu wenig freies Wasser behindert die Bildung der Feinluftporen. Auch die Stabilität der Feinluft im Zuge einer mechanischen Verdichtung ist ein wichtiger Faktor bei der Wahl des Luftporenmittels. Der Luftporengehalt im Frischbeton gibt keinerlei Aufschluss über den Anteil der Feinluft und ihre Verteilung (Abstandsfaktor) im Gefüge. Für die genaue Bestimmung der Feinluft inkl. Abstandsfaktor und Porendurchmesser sind Untersuchungen am Festbeton notwendig. Diese werden in einem folgenden Kapitel dargestellt.

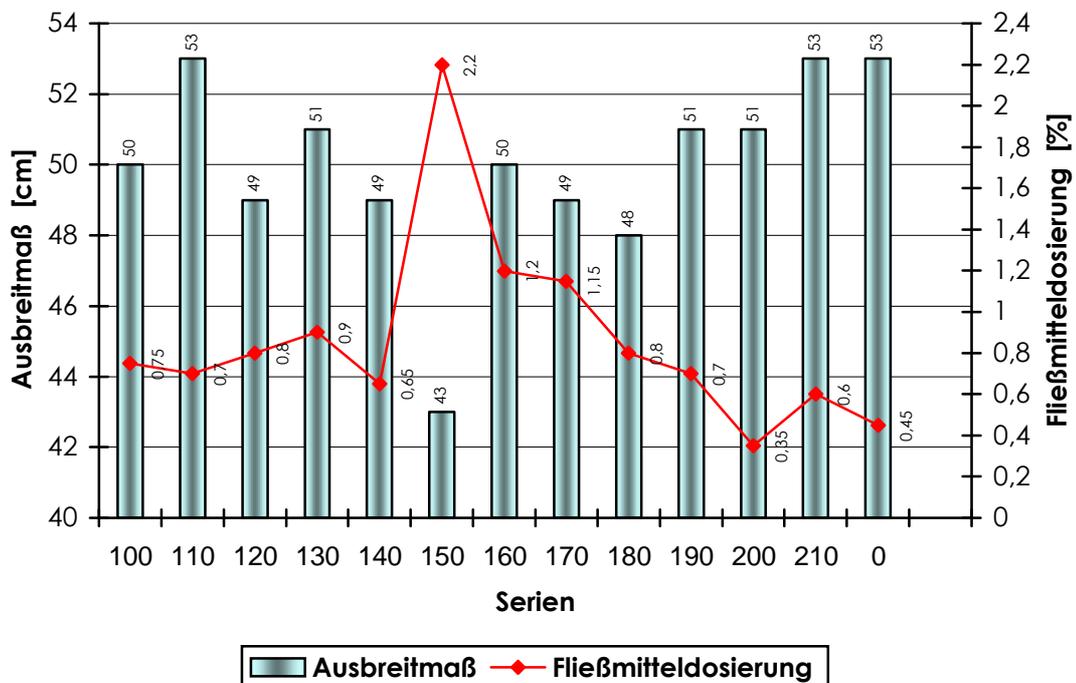


Diagramm 1a

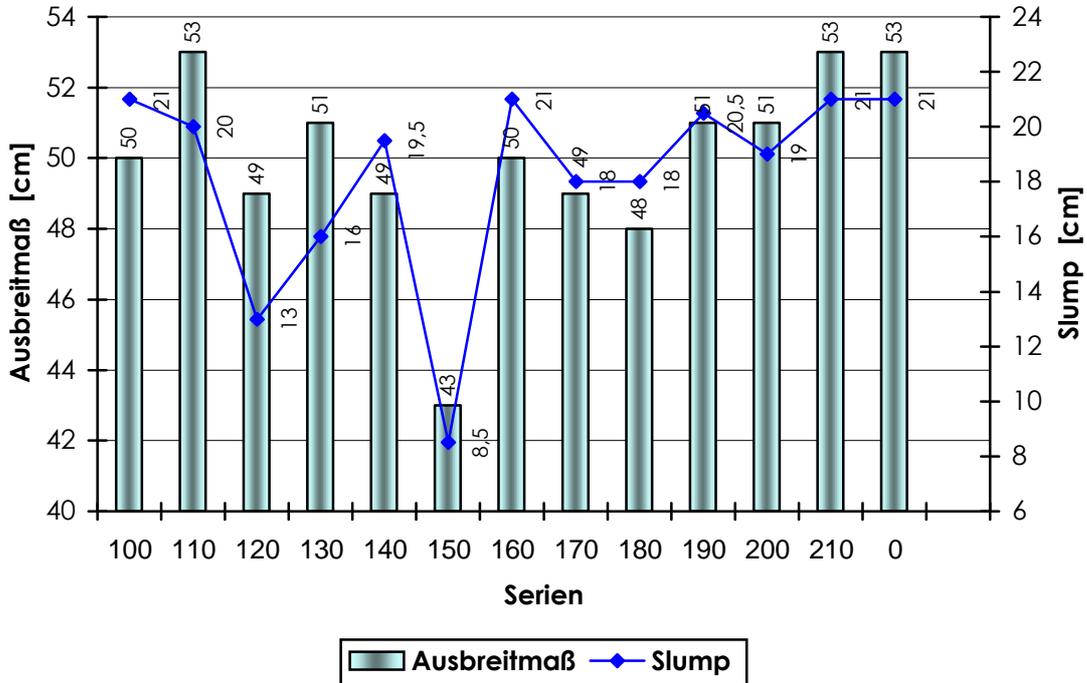


Diagramm 1b

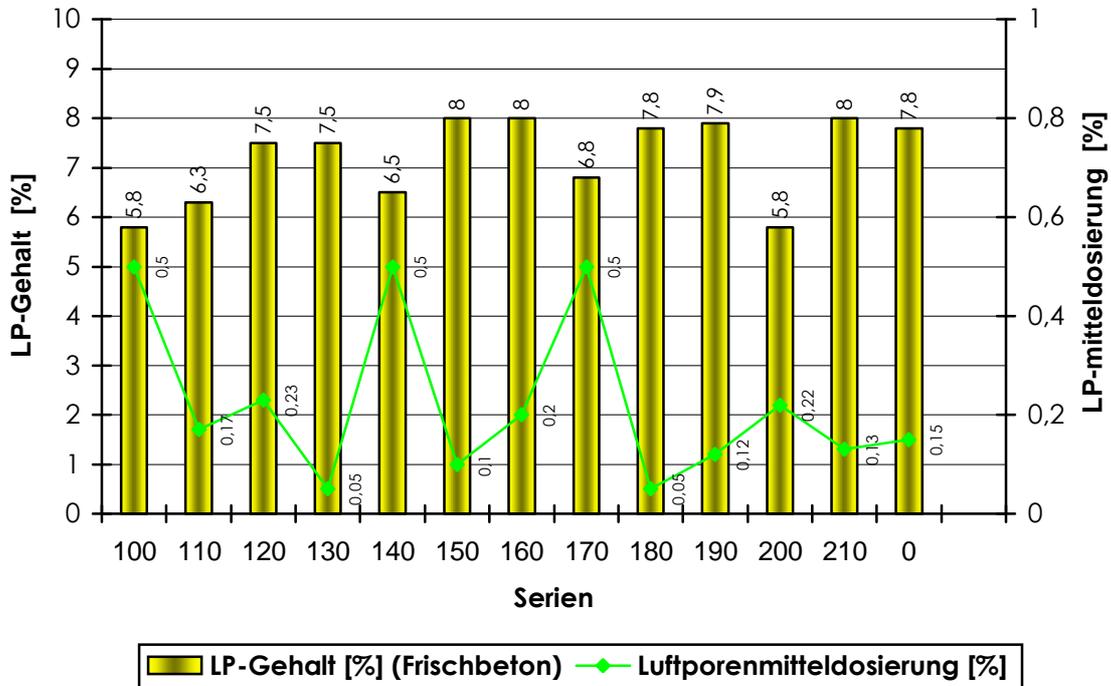


Diagramm 1c

3.2 Festigkeitsentwicklung

Die Herstellung, Lagerung und Prüfung der Druckfestigkeiten der Probeserien wurden anhand der ÖNorm B 3303 (Ausgabe 2002) durchgeführt. Die Werte für die Rohdichten und die Festigkeitsentwicklung (Druckfestigkeit) der untersuchten Probeserien sind *Tabelle 5* bzw. *Diagramm 2* zusammengestellt.

Grundsätzlich lassen sich nach 1 Tag Werte zwischen 8 N/mm² (210) und 17,1 N/mm² (180) nachweisen. Der zuständige Vergleichsbeton bzw. Nullbeton (000) weist ungefähr 21 N/mm² auf. Die Betone der Serien 110, 140, 180 und 200 liefern sehr gute Frühfestigkeitswerte. Die Betone 100, 190 und 210 weisen mit < 10 N/mm² die geringsten Frühfestigkeiten auf. Bei einer Betrachtung der Druckfestigkeiten nach 28 Tagen liegen diese bei den Serien 130, 150 und 210, mit Werten zwischen 29 und ca. 33 N/mm², sehr niedrig. Die höchsten Druckfestigkeiten nach 28 Tagen, werden bei den Betonen der Serien 000, 100, 120, 160, 170, und 190 erreicht.

Serien	Rohdichte nach Tagen *) [kg/dm ³]				Druckfestigkeit nach Tagen [N/mm ²]			
	1	7	28	56	1	7	28	56
000	2,307	2,323	2,217	2,231	20,9	30,2	37,7	41,1
100	2,193	2,398	2,295	2,368	9,8	33,8	42,6	46,5
110	2,308	2,261	2,233	2,237	14,7	25,8	35,4	37,9
120	2,321	2,328	2,329	2,278	13,8	27,6	37,4	39,8
130	2,299	2,288	2,267	2,257	12,3	18,3	33,4	34,7
140	2,409	2,415	2,345	2,362	14,1	29,6	35,4	45,6
150	2,321	2,293	2,249	2,241	11,8	21,8	31,4	34,4
160	2,191	2,213	2,191	2,177	13,8	26,0	45,0	48,2
170	2,231	2,269	2,242	2,223	11,6	31,6	40,7	41,3
180	2,263	2,244	2,261	2,253	17,1	29,6	38,0	38,8
190	2,273	2,314	2,257	2,249	9,6	30,4	39,1	39,8
200	2,387	2,438	2,407	2,374	15,6	29,6	36,4	42,7
210	2,193	2,217	2,253	2,240	8,0	28,4	29,0	31,3

Tabelle 5: Festigkeitsentwicklung

*) die angeführten Rohdichten beziehen sich auf die Prüfkörper im Zuge der Ermittlung der Druckfestigkeiten

Es ergibt sich somit keine grundsätzliche Aussage, dass Serien, die niedere Frühfestigkeiten aufweisen, auch schlechte Endfestigkeiten aufweisen, wie z.B. die Serie 100. Hier liegen nach einem Tag etwa 10 N/mm² vor und nach 28 Tagen 43 N/mm². Umgekehrt zeigt die Serie 140 nach einem Tag 14 N/mm², während der Wert nach 28 Tagen nur mehr 35 N/mm² beträgt. Es gibt aber auch Serien, die grundsätzlich niedere Festigkeiten aufweisen, wie die Serie 150 bzw. 210, die anfänglich 8 N/mm² und nach 28 Tagen nur 29 N/mm² aufweist. Die Korrelation niederer Endfestig-

keiten mit den hohen phyllitischen Anteilen kann nicht grundsätzlich festgestellt werden. Auch ergibt sich kein zwingender Zusammenhang zwischen Frühfestigkeit und Endfestigkeit und dem Luftporengehalt bei der Frischbetonuntersuchung. Bis auf die Vergleichsbetonserie 000, bei der niedere Luftgehalte gemessen wurden. Der Luftgehalt im Frischbeton ist bereits in der Diskussion der Frischbetonaten beinhaltet. Die Ursache der differenzierenden Festigkeiten dürfte somit auf die unterschiedliche (relativ betrachtet) Zementqualität zurückzuführen sein, und auf Schwankungen der Rohdichten der Probekörper (Luftgehalt), die im Zuge der Verdichtung nicht vermeidbar sind.

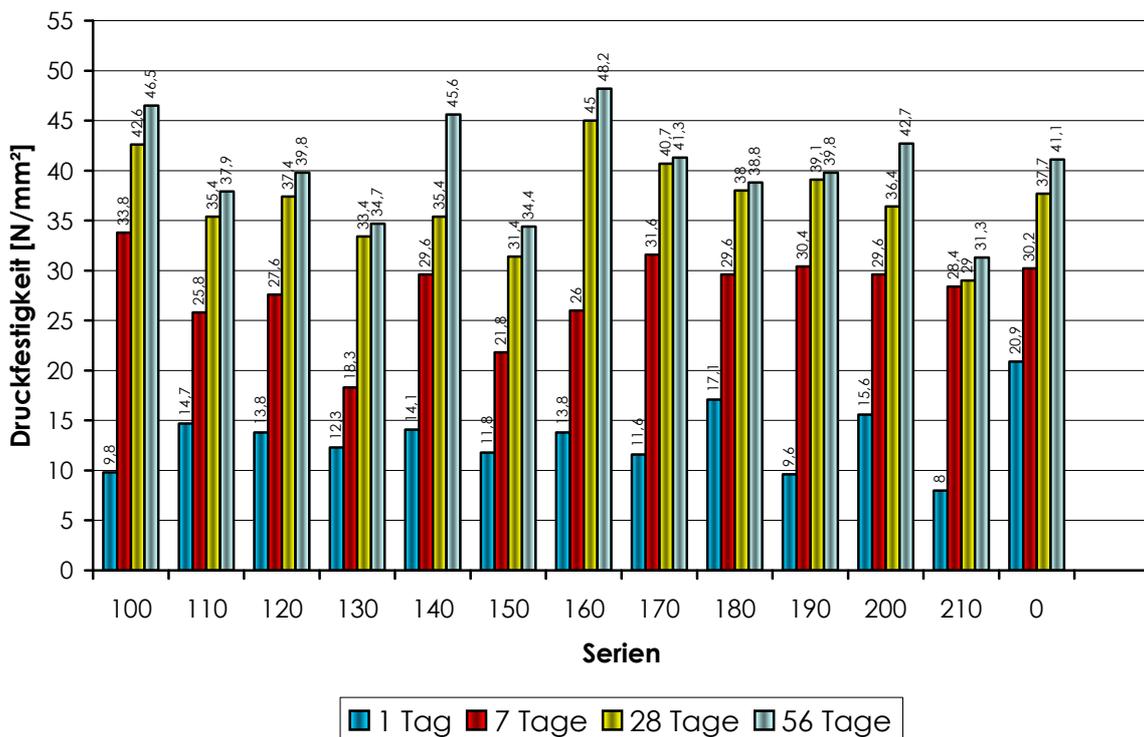


Diagramm 2: Druckfestigkeiten

3.3 Luftporengehalt im Festbeton

Der Luftporengehalt, mit Abstandsfaktor wurde nach der ÖNorm B3303 (Ausgabe 1983) bestimmt. Von den jeweiligen Probenserien sind in drei Tiefenstufen der Feinluftgehalt ausgezählt worden, und zwar in einer oberflächennahen Zone sowie in einem mittleren und im unteren Bereich. Nähere Details über die erhaltenen Werte der Luftporenauszählung gehen aus der *Tabelle 6* hervor. Für eine Beurteilung des Luftporenkennwerte wurden die Maximalwerte für den Abstandsfaktor mit 0,180 mm und für den Porendurchmesser mit 0,220 mm festgelegt.

Zunächst werden die Werte in den einzelnen Zonen betrachtet. Hier ergeben sich in der oberen Zone Luftporenwerte, die zwischen 7,15% (150) und ca. 14,15% (130) liegen. Der ermittelte Abstandsfaktor bewegt sich bei den untersuchten Proben in Oberflächennähe zwischen 0,106 (200)

und 0,340 (190) mm. Bei einer Betrachtung der Zone im mittleren Bereich des Prüfkörpers ist allgemein eine Abnahme des Luftporengehaltes zu erkennen. Diese Reduktion des LP- Gehaltes beträgt im Schnitt 2 bis 4%. In manchen Fällen bleiben die Luftporengehalte nahezu stabil (Serien 150, 180). Es kann sogar, wie bei den Serien 140 und 190, zu einer Zunahme des LP- Gehaltes kommen. Ein geringerer Luftporengehalt bewirkt in der Regel einen Anstieg des Abstandsfaktors. Im unteren Bereich liegen die Werte grundsätzlich noch etwas tiefer. Dies gilt nur beding für alle Proben. Die Serien 140, 180 und 200 zeigen starke Unterschiede in ihren Luftporengehalten, in Abhängigkeit der untersuchten Höhenstufen. Hier zeigt die Feinluft in Bezug auf ihre Lage eine gewisse Instabilität. Trotz eines geringen Luftporenanteils von ca. 2,8 bis 3,8% weisen diese Proben der Serien 140, 180 und 200 gute Werte in Bezug auf ihren Abstandsfaktor (0,153 bis 0,194) auf. Die Proben der Serien 110 und 190 zeigen bei optimalen Luftporengehalten von ca. 7 bis 8% einen zu hohen Abstandsfaktor und einen zu hohen Porendurchmesser auf. Um bei diesen Proben einen optimalen Abstandsfaktor und Porendurchmesser zu erreichen, sind sehr hohe Luftporenwerte von ca. 10 bis 12% erforderlich. Bei solch hohen Luftporenwerten leiden die Festigkeitsentwicklung, sowie auch die Dichtheit des Probekörpers.

Serien	LP oben	Abstand oben	LP mitte	Abstand mitte	LP unten	Abstand unten	LP Mittelwert	Abstand Mittelwert
000	7,37	0,158	6,60	0,213	2,36	0,250	5,44	0,207
100	8,11	0,137	4,19	0,148	4,89	0,161	5,73	0,149
110	11,83	0,176	14,08	0,198	7,24	0,215	11,05	0,196
120	7,63	0,207	5,97	0,223	5,88	0,198	6,50	0,209
130	14,15	0,128	9,16	0,172	6,00	0,177	9,77	0,159
140	7,72	0,119	7,85	0,155	3,44	0,165	6,34	0,146
150	7,15	0,117	6,78	0,119	6,01	0,122	6,65	0,119
160	12,33	0,276	8,23	0,316	7,36	0,297	9,31	0,296
170	9,70	0,113	5,46	0,128	7,01	0,129	7,39	0,123
180	8,10	0,170	7,53	0,202	3,86	0,194	6,50	0,189
190	7,82	0,340	9,95	0,396	4,36	0,309	7,38	0,348
200	8,51	0,106	5,75	0,129	2,83	0,153	5,70	0,129
210	10,26	0,160	8,27	0,153	6,36	0,186	8,30	0,166

Tabelle 6: Luftporen + Abstandsfaktor im Festbeton ÖNorm B 3303 (1983)

In der *Tabelle 7* wird eine Bewertung des Abstandsfaktors und des Porendurchmessers der hier untersuchten Serien angeführt. Dabei werden die Porenkennwerte (Abstandsfaktor und Porendurchmesser), nahe der abgezogenen Betonoberfläche und die Mittelwerte aus der oberen, mittleren und unteren Vertikalschnittfläche einander gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung dient dazu, inwieweit sich die Luftporenkennwerte bei einer Frost-Tausalzprüfung der Oberfläche (Ö-Norm B3303 „alt“) gegenüber einer Prüfung der Schnittfläche(ÖNorm B3303 „neu“) unterscheiden. Bei einer Beurteilung des Abstandsfaktors und des Porendurchmessers in Oberflächennähe ist festzustellen, dass bei den Proben 120, 160 und 190 der Abstandsfaktor sowie der Porendurchmesser über den festgelegten Grenzwert liegen. Hinsichtlich allein des Kriteriums des Porendurch-

messers, erfüllen die Serien 110, 130, 180 und 210 die gestellten Anforderungen nicht. Von den inklusive der Nullserie hier angeführten Betonproben, erfüllen sechs Betone die Anforderungen bezüglich Abstandsfaktor und Porendurchmesser in der oberflächennahen Zone. Hinsichtlich einer Betrachtung der Schnittfläche erfüllten nur fünf Betone die Maßgaben bezüglich des Abstandsfaktors und des Porendurchmessers. Hier kann auch die Serie 000 die Ansprüche nicht erfüllen.

Eine Beeinflussung der Feinluft-Parameter durch die phyllitischen Komponenten ist an der Oberfläche nicht gegeben (siehe *Tabelle 7*). Dies ist jedoch bei den Prüfserien an der geschnittenen Prüffläche ableitbar.

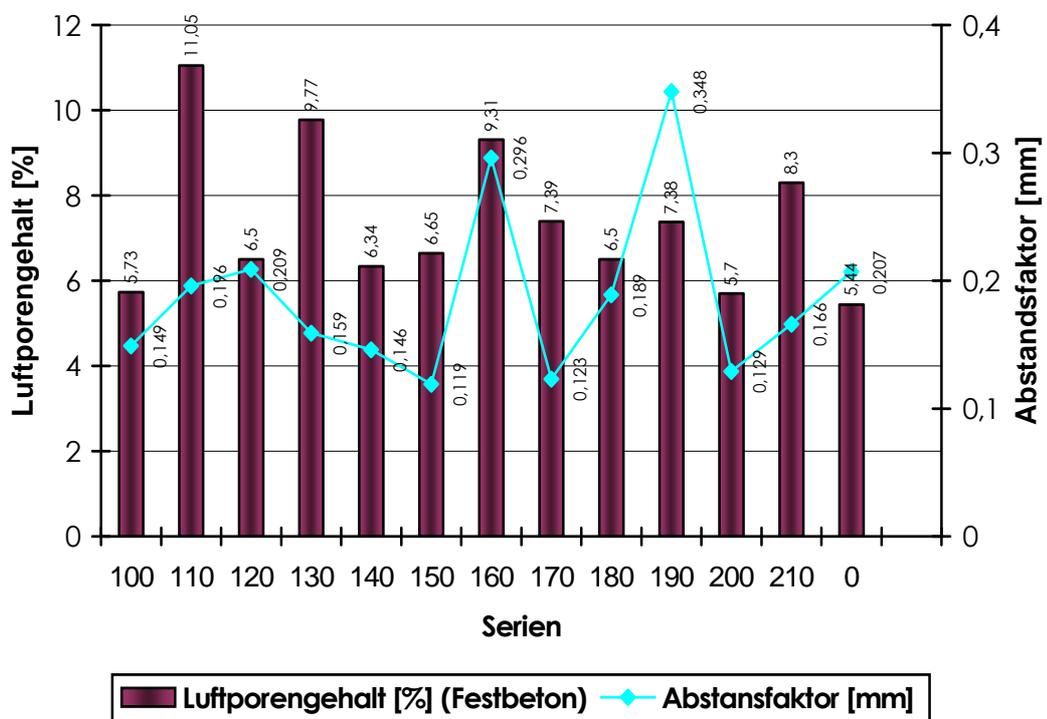


Diagramm 3: Luftporengehalt und Abstandsfaktor Mittelwerte

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Abstandsfaktors liegt bei $\leq 0,180$ mm.

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Porendurchmessers liegt bei $\leq 0,220$ mm

Betonserie	Kennwerte nahe Oberfläche "Alt" B 3303 (1983) oben		Kennwerte vertikale Schnittfläche "Neu" B 3303 (2002) Mittelwerte		Gestein
	Abstandsf. [mm]	Ø Poren [mm]	Abstandsf. [mm]	Ø Poren [mm]	
000	0,158	0,224	0,207	0,241	-
100	0,137	0,204	0,149	0,186	phyllitisch
110	0,176	0,310	0,196	0,330	phyllitisch
120	0,207	0,299	0,209	0,280	phyllitisch
130	0,128	0,330	0,159	0,277	phyllitisch
140	0,119	0,173	0,146	0,189	-
150	0,117	0,164	0,119	0,161	-
160	0,276	0,496	0,296	0,463	-
170	0,113	0,183	0,123	0,174	-
180	0,170	0,253	0,189	0,249	-
190	0,340	0,496	0,348	0,496	phyllitisch
200	0,106	0,161	0,129	0,155	-
210	0,160	0,264	0,166	0,246	-

Tabelle 7: Abstandsfaktor und Porendurchmesser

Feinluft: (Abstandsfaktor, Luftporendurchmesser)

erfüllt (positiv)

nicht erfüllt (negativ)

- Bewertung:**
- 1) Belastung FTP "Alt" (Werte von Oberflächennahen Zonen)
 - 2) Belastung FTP "Neu" (Mittelwert über 3 Zonen)

Gesteinskörnung:

mittlerer bis hoher phyllitischer Anteil

3.4 Schwindverhalten

Das Schwindverhalten ist gemäß Ö-Norm 3303 (Neu bzw. Ausgabe 2002) geprüft worden. Das bedeutet, dass die Abmessungen der Prüfkörper 10x10x40 betragen. Die so erhaltenen Werte sind in der *Tabelle 8* zusammengefasst und in *Diagramm 4* graphisch dargestellt. Für die Bewertung des absoluten Schwindverhaltens ist zu berücksichtigen, dass einerseits ein mittlerer W/B – Wert (positiver Einfluss) einem hohen Zementgehalt (negativer Einfluss) gegenüber steht.

Der Vergleichsbeton liegt nach 90 Tagen bei 0,33‰ (schwarze Kurve im *Diagramm 4*). Der Kurvenverlauf zeigt bereits nach dieser Reaktionszeit von 56 Tagen ein Abklingen des Schwindverhaltens. Ähnliches Verhalten wie der vergleichende Nullbeton zeigen die Serien 140 und 200. Auch hier sind relativ geringe Schwindmaße feststellbar.

Alle anderen Serien zeigen mit Werten zwischen 0,4 und 0,5‰ deutlich höheres Schwindverhalten, als die vorher genannten Serien auf. Ganz allgemein betrachtet weisen die vorliegenden Serien ein mittleres bis geringes Schwindverhalten auf, das für den verwendeten W/B – Wert im normalen Bereich liegt. Auffallend ist, dass die meisten Serien im Schwindverhalten noch nicht abgeschlossen sind.

Serien	Start	2d [mm/m]	7d [mm/m]	14d [mm/m]	21d [mm/m]	28d [mm/m]	56d [mm/m]	90d [mm/m]
000	0,000	-0,010	-0,074	-0,136	-0,174	-0,194	-0,282	-0,330
100	0,000	-0,056	-0,124	-0,183	-0,246	-0,296	-0,388	-0,468
110	0,000	-0,056	-0,124	-0,191	-0,262	-0,318	-0,400	-0,492
120	0,000	-0,044	-0,098	-0,156	-0,212	-0,240	-0,340	-0,398
130	0,000	-0,042	-0,146	-0,207	-0,260	-0,322	-0,430	-0,540
140	0,000	-0,046	-0,098	-0,138	-0,184	-0,196	-0,266	-0,302
150	0,000	-0,034	-0,148	-0,240	-0,288	-0,320	-0,438	-0,506
160	0,000	-0,016	-0,124	-0,180	-0,230	-0,256	-0,346	-0,416
170	0,000	-0,026	-0,116	-0,202	-0,260	-0,284	-0,376	-0,454
180	0,000	-0,030	-0,098	-0,178	-0,228	-0,256	-0,360	-0,440
190	0,000	-0,046	-0,154	-0,254	-0,288	-0,326	-0,418	-0,504
200	0,000	-0,066	-0,140	-0,181	-0,208	-0,230	-0,286	-0,332
210	0,000	-0,022	-0,108	-0,200	-0,240	-0,274	-0,368	-0,450

Tabelle 8: Schwinden

- geringes Schwinden nach 90 Tagen < 0,330 mm/m
- mittleres Schwinden nach 90 Tagen von 0,330 bis 0,550 mm/m
- starkes Schwinden nach 90 Tagen > 0,55 mm/m

Schwinden

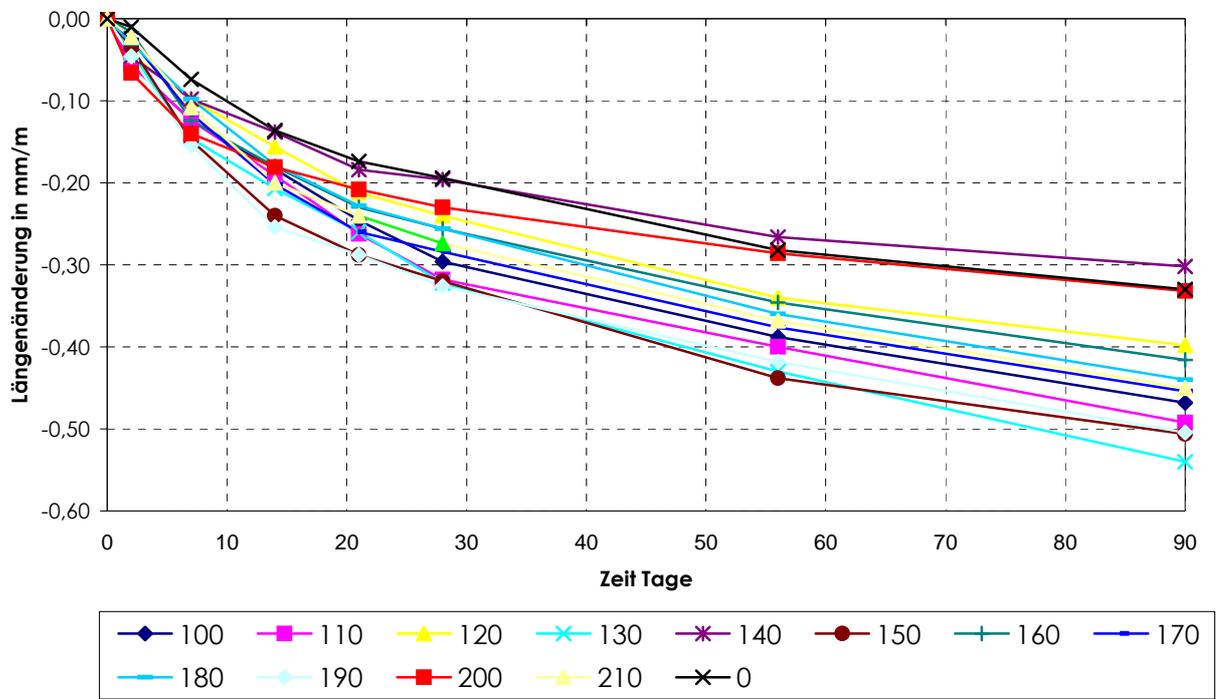


Diagramm 4: Schwindverhalten

3.5 Wassereindringung

Die Bestimmung der Wassereindringtiefe unter Druck wurde nach der ÖNorm EN 12390-8 durchgeführt. Laut dieser Prüfnorm wird die maximale Wassereindringung ermittelt. Aus *Tabelle 9* geht hervor, dass die Betone der Serien 000, 140, 160, 170 und 200, mit Werten für die max. Wassereindringung ≤ 20 mm, sich für die Expositionsklasse XC4 eignen würden. Die Betone der Serien 110, 130, 180 und 190, mit Werten hinsichtlich der maximalen Wassereindringung > 27 mm, stellen ein Risiko in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit dar.

Betonserie	maximale Wassereindringung [mm]
000	20
100	24
110	29
120	25
130	29
140	16
150	27
160	17
170	19
180	28
190	30
200	20
210	26

Tabelle 9: Wassereindringung

Freie Bewertung der :Wassereindringtiefe

-  gering
-  mittel
-  hoch

3.6 Bestimmung der Frostbeständigkeit

Auf allen zylindrischen Probekörpern der Mischungen wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Bestimmung der Frostbeständigkeit laut ÖNorm B3303 Ausgabe 03/1983, Punkt 6,7
- Bewertung der Ergebnisse laut ÖNorm B 4200, Teil 10, Ausgabe 07/1996, Punkt 4.5.2.2

Nach der Durchführung der Frost-Tauversuche wurden keine Verminderungen des Elastizitätsmoduls festgestellt, die über den von der Referenznorm vorgegeben Werten liegen. Alle geprüften Proben sind frostbeständig.

3.7 Untersuchung der Frost- Tausalzbeständigkeit auf Grund der Abwitterung

Für die Prüfung der Frosttausalzbeständigkeit der Betonserien, wurden diese an der Oberfläche und an der vertikalen Schnittfläche geprüft. Die Prüfmethode bzw. Prozedur wurde anhand der ÖNorm B3303 (Ausgabe 1983) vorgenommen. Die Proben wurden 50 Frosttausalzwechsel unterzogen. Eine Auswertung der Proben erfolgte nach drei unterschiedlichen Kriterien.

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10:

Tabelle 11

Die Klassifizierung bzw. die zulässige Abwitterung ist wie folgt nach ÖNORM B 4200 Teil 10 festgelegt.

Der Beton hat bestanden wenn er folgende Kriterien hinsichtlich der Abwitterung erfüllt.

- Wenn die Abwitterung zwischen 25. und 50. FTW je 5 Frostwechsel im Schnitt höchstens 10g/m² beträgt. Die Summe der Abwitterung beträgt in diesem Fall zwischen 25. und 50. FTW max. 50g/m². Weiters darf an keiner Stelle der Prüffläche eine Abwitterung von > 1 mm Tiefe feststellbar sein.
- Betragen die Abwitterungen vom 5. bis zum 25. FTW höchstens 40g/m² und sind die Abwitterungen vom 15. bis 25. FTW \leq als vom 5. bis 15. FTW, gilt der Beton ebenfalls als frost-tausalzbeständig. Die Prüfung kann in diesem Falle nach 25 FTW abgebrochen werden.

Diskussion:

Bei einer Betrachtung der Ergebnisse der Abwitterung nach ist festzustellen, dass vier Oberflächen sowie vier Proben an den Schnittflächen schon nach 25 FTW die Frosttausalzprüfung bestehen. Es handelt sich hierbei um die Proben der Serien (Oberfläche 000, 170, 200, 210 / Schnittfläche 000n, 140n, 160n, 200n). Nach den vollen 50 FTW konnten zusätzlich folgende Proben die Frost-Tausalzprüfung bestehen, wie (100, 140, 160, 150n, 210n). Zusammenfassen ist anzumerken, dass bei der Prüfung der abgezogenen Oberfläche 7 von insgesamt 13 Proben dem Grad ihrer Ab-

witterung entsprechend als frost- tausalzbeständig zu klassifizieren sind. Bei der Beurteilung der Schnittflächen konnten 6 Proben die Prüfung bestehen. Bei den Proben, welche die Prüfung nicht bestanden haben, handelt es sich großteils um Betone mit mittleren bis hohen phyllitischen Anteilen in den Zuschlägen (100, 110, 120, 130, 190). Bei den restlichen Betonen, welche die Anforderungen nicht bestanden hatten, können die Gründe hierfür vielfältig sein. Zusätzliche Gründe für ein nicht Bestehen der Frosttausalzprüfung können, wie bei der Probe 180, von den Luftporenkennwerten, wie Abstandsfaktor und Porendurchmesser beeinflusst werden.

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10 laut Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 für XF4, XF2 Betone:

Tabelle 12

Die Klassifizierung bzw. die zulässige Abwitterung ist wie folgt nach ÖNORM 4200 Teil 10 festgelegt.

Der Beton hat bestanden wenn er folgende Kriterien hinsichtlich der Abwitterung erfüllt.

- Wenn die Abwitterung zwischen 25. und 50. FTW je 5 Frostwechsel im Schnitt höchstens 20g/m² beträgt. Die Summe der Abwitterung beträgt in diesem Fall zwischen 25. und 50. FTW max. 100g/m².
- Betragen die Abwitterungen vom 5. bis zum 25. FTW höchstens 60g/m² und sind die Abwitterungen vom 15. bis 25. FTW \leq als vom 5. bis 15. FTW, gilt der Beton ebenfalls als frost-tausalzbeständig. Die Prüfung kann in diesem Falle nach 25 FTW abgebrochen werden.

Diskussion:

Die Frosttausalzprüfung verläuft in diesem Falle bis auf die maximale Abwitterung zwischen 25 FTW auf 50 FTW von 100g/m² analog zur ÖN B 3303 (Ausgabe 1983). Durch diese erhöhte Toleranz in Bezug auf die maximale Abwitterung zwischen 25 und 50 FTW, bestehen bei einer Prüfung der abgezogenen Oberfläche 10 von 13 Proben die Prüfung. Bei der Untersuchung der Schnittflächen können nur 6 von 13 Proben als frost-tausalzbeständig beurteilt werden.

Freie Bewertung der Abwitterung anhand von Erfahrungswerten:

Tabelle 13

Zusätzlich zu den Normenbewertungen wird auch noch eine freie Bewertungsmethode durchgeführt, welche die Betone anhand der Summ der Abwitterungen von 0 bis 50 FTW folgendermaßen gliedert.

- geringe Abwitterung 0 bis 200 g/m²
- hohe Abwitterung 201 bis 500 g/m²
- sehr hohe Abwitterung > 500 g/m²

Diskussion:

Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse nach einer subjektiven bzw. freien Bewertung der Summe der Abwitterungen nach 50 FTW in Abstufungen gegliedert worden. Die Abstufung ist in geringer, hoher und sehr hoher Abwitterung unterteilt. Dieses Bewertungskriterium ist, wie bereits erwähnt, nur relativ zu einander zu sehen und gibt Auskunft über die Wirkungsweise der einzelnen Prüfmethode (Oberfläche, vertikale Schnittfläche).

Bei einer genaueren Betrachtung der Ergebnisse ist festzustellen, dass bei den Proben mit Oberflächenabwitterung 4 und bei der Prüfung der Schnittflächen 3 Proben geringe Abwitterungen aufwiesen. Macht man den Vergleich der Prüfung von Oberfläche und Schnittfläche in Bezug auf die Bewertung mit sehr hoher Abwitterung so ist anzumerken, dass bei der Oberfläche 5 und bei der Schnittfläche 7 Betone sehr hohe Abwitterungen aufweisen.

Die Schnittflächen weisen in 9 von 13 Fällen eine höhere Abwitterung im Vergleich zur Oberfläche auf. Die höheren Abwitterungen der Schnittflächen sind folgendermaßen zu erklären, dass die Zuschläge ungeschützt vom Zement, frei dem Angriff ausgesetzt sind. Dies gilt besonders für Betone mit mittlern bis hohen Mürbkornanteilen. Die Betone mit mittleren und hohen phyllitischen Anteilen in den Zuschlägen (100, 110, 120, 130, und 190) weisen in der Regel hohe und sehr hohe Abwitterungen auf.

		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]							Summe der
Proben		5 FTW	15 FTW	25 FTW	35 FTW	40 FTW	45 FTW	50 FTW	Ablösungen
		[g/m ²]							
Oberfläche	000	20,01	26,49	1,08	1,08	1,08	0,54	1,08	51,36
	100	697,63	95,27	10,06	15,38	21,89	7,10	3,55	850,88
	110	2254,19	1867,38	616,38	590,18	406,74	384,53	229,01	6348,41
	120	1313,61	142,60	11,83	77,51	44,97	80,47	31,95	1702,94
	130	1123,32	3065,32	194,75	224,05	214,29	147,74	165,45	5134,92
	140	310,15	3,69	6,77	8,00	8,00	5,54	4,92	347,07
	150	639,64	4,73	86,39	31,36	9,47	8,88	30,77	811,24
	160	184,62	51,58	12,54	3,99	3,99	17,09	0,57	274,38
	170	60,79	5,58	3,10	6,82	2,48	3,10	0,62	82,49
	180	253,84	48,62	10,74	16,96	8,48	31,66	6,22	376,52
	190	196,45	60,36	18,93	34,32	11,83	6,51	8,28	336,68
200	89,55	10,50	3,87	2,76	2,76	3,87	2,21	115,52	
210	38,46	11,07	7,58	6,99	2,91	6,41	1,17	74,59	

Schnittfläche	000n	109,97	9,69	7,41	1,14	5,70	1,14	1,14	136,19
	100n	845,56	242,01	30,77	34,91	30,18	21,30	27,22	1231,95
	110n	2758,97	1944,16	426,21	448,43	344,16	413,68	424,50	6760,11
	120n	1538,46	885,20	153,85	200,47	159,09	277,39	118,30	3332,76
	130n	863,64	330,42	37,88	81,86	75,17	39,04	38,46	1466,48
	140n	115,66	30,65	1,16	0,00	1,16	4,05	1,16	153,84
	150n	240,29	53,27	5,33	11,84	4,14	2,96	1,78	319,61
	160n	127,04	15,15	4,66	5,24	8,16	2,33	2,33	164,91
	170n	638,22	184,50	35,46	38,46	79,93	46,27	33,05	1055,89
	180n	610,65	189,94	22,49	31,95	57,40	40,83	20,12	973,38
	190n	2564,70	1480,31	546,34	642,56	387,64	281,46	406,99	6310,00
	200n	399,64	27,04	1,80	20,43	3,00	9,62	2,40	463,93
	210n	320,71	66,86	10,65	5,92	5,92	2,96	2,96	415,98

Probenzusatzbezeichnung „n“ steht für Schnittfläche

Tabelle 10: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche nach ÖNorm B 4200 Teil

10

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	(3,78)
	100	95,27	10,06	105,33	47,92
	110	1867,38	616,38	2483,76	1610,46
	120	142,60	11,83	154,43	234,90
	130	3065,32	194,75	3260,07	751,53
	140	3,69	6,77	10,46	26,46
	150	4,73	86,39	91,12	80,48
	160	51,58	12,54	64,12	25,64
	170	5,58	3,10	8,68	(13,02)
	180	48,62	10,74	59,36	63,32
	190	60,36	18,93	79,29	60,94
	200	10,50	3,87	14,37	(11,60)
210	11,07	7,58	18,65	(17,48)	

Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	(9,12)
	100n	242,01	30,77	272,78	113,61
	110n	1944,16	426,21	2370,37	1630,77
	120n	885,20	153,85	1039,05	755,25
	130n	330,42	37,88	368,30	234,53
	140n	30,65	1,16	31,81	(6,37)
	150n	53,27	5,33	58,60	20,72
	160n	15,15	4,66	19,81	(18,06)
	170n	184,50	35,46	219,96	197,71
	180n	189,94	22,49	212,43	150,30
	190n	1480,31	546,34	2026,65	1718,65
	200n	27,04	1,80	28,84	(35,45)
210n	66,86	10,65	77,51	17,76	

Tabelle 11: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit nach ÖNorm B 4200 Teil 10:

-  bestanden nach 25 FTW
-  Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
-  bestanden nach 50 FTW
-  nicht bestanden

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche basierend auf die ÖNorm B 4200 Teil 10 bei Variation der Abwitterung von 25-50 FTW $\leq 100 \text{ g/m}^2$

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	(3,78)
	100	95,27	10,06	105,33	47,92
	110	1867,38	616,38	2483,76	1610,46
	120	142,60	11,83	154,43	234,90
	130	3065,32	194,75	3260,07	751,53
	140	3,69	6,77	10,46	26,46
	150	4,73	86,39	91,12	80,48
	160	51,58	12,54	64,12	25,64
	170	5,58	3,10	8,68	(13,02)
	180	48,62	10,74	59,36	(63,32)
	190	60,36	18,93	79,29	60,94
	200	10,50	3,87	14,37	(11,60)
210	11,07	7,58	18,65	(17,48)	

Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	(9,12)
	100n	242,01	30,77	272,78	113,61
	110n	1944,16	426,21	2370,37	1630,77
	120n	885,20	153,85	1039,05	755,25
	130n	330,42	37,88	368,30	234,53
	140n	30,65	1,16	31,81	(6,37)
	150n	53,27	5,33	58,60	(20,72)
	160n	15,15	4,66	19,81	(18,06)
	170n	184,50	35,46	219,96	197,71
	180n	189,94	22,49	212,43	150,30
	190n	1480,31	546,34	2026,65	1718,65
	200n	27,04	1,80	28,84	(35,45)
210n	66,86	10,65	77,51	17,76	

Tabelle 12: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit XF4 nach Modifikation Land Südtirol:

- bestanden nach 25 FTW
- Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
- bestanden nach 50 FTW
- nicht bestanden

Freie, subjektive Bewertung der Summe der Abwitterung von 0 bis 50 FTW

Betonserie		Bewertung der Abwitterung	
		"Oberfläche"	"geschnitten"
	000	50	140
	100	850	1230
	110	6350	6760
	120	1700	3330
	130	5130	1470
	140	350	150
	150	810	320
	160	270	160
	170	80	1060
	180	380	970
	190	340	6310
	200	120	460
	210	70	420

Tabelle 13: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Abwitterung:

-  gering (0-200 g/m²)
-  hoch (201 – 500 g/m²)
-  sehr hoch (>500 g/m²)
-  Betonserien mit phyllitischen Komponenten

4. Zusammenfassende Betrachtung

In diesem Punkt werden alle maßgebenden betontechnologischen Parameter zusammengeführt und in Bezug auf ihren Einfluss hinsichtlich der Dauerhaftigkeit (Abwitterung der Probeflächen) diskutiert. Als Grundlage für diese Diskussion dienen die *Tabellen 14 und 15*, in welchen die Beurteilungen der Abwitterung, der Hydratationswärmeentwicklung der Zemente, der Struktur und Anordnung der Feinluft, der Anteile an phyllitischen Komponenten, des Mürbkorngehaltes und der maximalen Wassereindringtiefe, gegenübergestellt sind.

Die Proben der Serien 100, 110, 120 und 130 weisen, auf Grundlage einer subjektiven Bewertung der Summe der Abwitterungen nach 50 FTW, an der Abgezogenen Oberfläche sowie an der Schnittfläche einen sehr hohen Abwitterungsgrad auf. Dieser hohe Abwitterungsgrad wird maßgeblich durch den mittleren bis hohen Anteil an phyllitischen Komponenten im Zuschlag bestimmt. Die vier besprochenen Proben weisen weiters einen sehr hohen Mürbkorngehalt und mittlere bis hohe Werte bezüglich der max. Wassereindringung auf. Bei drei dieser Proben (110, 120, 130) ist zusätzlich festzustellen, dass in Bezug auf die Verteilung und Struktur der Feinluft, der Abstandsfaktor, sowie der Porendurchmesser zu hoch sind. Die Serie 100 hat trotz der Erfüllung der Maßgaben hinsichtlich der Verteilung der Feinluft, dennoch einen sehr hohen Abwitterungsgrad. Die Betone 100 (Abwitterung OF= 850 g/m² SF= 1230 g/m²) und 110 (Abwitterung OF= 6350 g/m² SF= 6760 g/m²) sind bezüglich des Zuschlags nahezu identisch – daraus folgend müssten die Abwitterungen ebenfalls im gleichen Bereich liegen. Dem ist nicht so. Allein durch die Einhaltung der optimalen Werte hinsichtlich des Abstandsfaktors und des Porendurchmessers bei der Feinluft und der Verwendung eines Zementes mit höherer Hy-Wärmeentwicklung, liegt bei der Serie 100 die Abwitterung wesentlich niedriger. Die Luftporenkennwerte sowie das Bindemittel können dem entsprechend einen positiven Beitrag zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit mit sich bringen.

Die Serie 190 hat ähnlich hohe phyllitische und Mürbkornanteile im Zuschlag, als die die vorher diskutierten Proben der Serien 100, 110, 120 und 130. Die Abwitterung der Oberfläche ist in diesem Fall mit 340 g/m² immer noch hoch – liegt aber weit unter dem Abwitterungswert der Schnittfläche mit 6310 g/m². Die Kennwerte bezüglich der Verteilung der Feinluft werden sowohl an der oberflächennahen Zone, sowie auch an der Schnittfläche nicht erreicht. Das verwendete Bindemittel weist anhand der Bewertung eine hohe Hy-Wärmeentwicklung, eine bessere Qualität auf. Durch die Verwendung eines qualitativ hochwertigeren Zementes hält die Oberfläche bei einer Frosttausalzbelastung, gegenüber der Schnittfläche länger stand. An der Schnittfläche ist der Zuschlag dem Angriff ohne Schutz des Zementleims ausgesetzt.

Bei einer Betrachtung der Serien 140, 150, 160 und 200 fällt auf, dass der Mürbkorngehalt der Zuschläge bei allem Betonen als gering bewertet wird. Die Serien 140, 150 und 200 haben dolomitische Zuschläge. Lediglich der Beton 160 hat Quarzporphyr als Hauptkomponente. Die Ergebnisse der Abwitterung differieren, trotz der Verwendung hochwertigerer Zuschlagskomponenten. In die-

sem Falle liegt der Grund für eine höhere Abwitterung, wohl bei den restlichen betontechnologischen Parametern. Die Abwitterung der Oberfläche liegt bei der Serie 140 mit 350 g/m^2 höher als die Schnittflächenabwitterung mit 150 g/m^2 . Der Grund hierfür liegt wohl in der Verwendung eines Zementes mit mittlerer Hy-Wärmeentwicklung. Die Unterschiede zwischen den Abwitterungen beider Prüfflächen sind in diesem Falle sehr groß, und könnten auch durch die Herstellung bedingt sein. Bei der Serie 150 ist die Oberflächenabwitterung mit 810 g/m^2 wesentlich größer als die Schnittflächenabwitterung, welche 320 g/m^2 beträgt. Der Grund für die als hoch bis sehr hoch gewertete Abwitterungen liegt wohl in der Verwendung eines Bindemittels mit geringer Qualität – sprich geringer Hy- Wärmeentwicklung. Durch die Verwendung eines Bindemittels geringerer Qualität steigt die Kapillarporosität, was zu einer stärkeren Wassereindringung führt, welche wiederum sich negativ in Bezug auf die Abwitterung manifestiert. Weiters ist anzumerken, dass bei der Herstellung der Serie 150 trotz Zugabe einer Fließmitteldosierung von 2,2 % (sehr hohe Dosierung) nur ein Ausbreitmaß von 43 cm zu erreichen war. Auch die Endfestigkeiten liegen bei Vergleich mit Betonen mit dolomitischen Zuschlägen auffallend niedrig. Die Serie 160, welche Quarzporphyr als Hauptkomponente der Zuschläge aufweist, zeigt an der Oberfläche eine Abwitterung von 270 g/m^2 und an der Schnittfläche 160 g/m^2 auf. Auffallend ist in diesem Fall, dass trotz einer Nichteinhaltung der Grenzwerte in Bezug auf Abstandsfaktor und Porendurchmesser, die Abwitterung moderat ausfällt. Bei der Serie 200, welche dolomitische Zuschläge hat, ist die Abwitterung der Oberfläche mit 120 g/m^2 gering. Die Abwitterung der Schnittfläche (460 g/m^2) trotz sehr guter Kennwerte seitens Mürbkorn, Wassereindringung, Zementqualität und Luftporenkennwerte etwas zu hoch. Es könnte sich in diesem Fall um eine Prüfstreuung handeln.

Die Serien 170 und 180 sind in ihrer Zusammensetzung der Zuschläge sehr ähnlich. Die Hauptkomponenten der verwendeten Mischprodukte sind den Mengenanteilen nach geordnet Granit, Gneis und Dolomit. Auffallend ist, dass beide Serien, bei einer Frostausalbelastung der Schnittflächen hohe Abwitterungswerte um die 1000 g/m^2 aufweisen. Hingegen zeigen die Oberflächen mit 80 g/m^2 für die Serie 170 und 380 g/m^2 für die Serie 180 wesentlich geringere Werte auf. Dies lässt den Schluss zu, dass in diesem Falle die Zuschläge maßgebend für die sehr hohe Abwitterung der Schnittflächen sind. Trotz Bindemittel guter Qualität, und der teilweise Einhaltung der Grenzwerte bezüglich der Luftporenkennwerte, können hier nur gute Werte in Bezug auf die Oberflächenabwitterung erreicht werden.

Die Serie 210 repräsentiert wiederum ein Mischprodukt in Bezug auf den Zuschlag und hat mit 70 g/m^2 Abwitterung an der Oberfläche und 420 g/m^2 Abwitterung der Schnittfläche moderate Werte. Trotz des sehr hohen Mürbkornanteils in manchen Korngruppen und der Verwendung eines Zementes mit niedriger Hy-Wärmeentwicklung, kann durch Einhaltung der Abstandsfaktoren in Bezug auf die Luftporenverteilung ein angemessenes Ergebnis erzielt werden.

Die Serie 000 mit dolomitischen, nordtiroler Zuschlägen der Firma Derfesser zeigt hinsichtlich der Oberflächenabwitterung sowie auch der Abwitterung der Schnittfläche mit 50 und 140 g/m² sehr geringe Werte.

Um das Ziel des Erreichens frost-tausalzbeständiger Betone gerecht zu werden, gibt es je nach Art der Problematik, sei es der Zuschlag, das Bindemittel oder auch die Luftporenkennwerte, unterschiedliche Lösungsansätze.

Bei Betonen mit einer Zuschlagsproblematik können die Zuschlagskomponenten bzw. Teile der Zuschlagkomponenten durch höherwertiges Zuschlagmaterial ersetzt werden. Diese Vorgangsweise ist mit sehr hohen Aufwendungen verbunden und sollte wenn möglich vermeidbar sein. Alternativen zu solchen Maßnahmen stellen die Verwendung höherwertiger Zemente und auch eine Optimierung hinsichtlich der Abstimmung der Feinluft und ihrer Verteilung im Beton dar.

Als erster Schritt in Richtung einer Optimierung der Betone mit zu hohen Abwitterungen, ist eine Verbesserung seitens des Bindemittels bzw. Zementes sowie auch der Betonzusatzmittel, wie Luftporeneinfuhr in Abstimmung mit dem Fließmittel vorzuweisen. Bei der Abstimmung der Luftporenmittel ist dahingehen zu achten, dass sich ein optimaler Abstandsfaktor sowie ein Luftporendurchmesser bei Luftporengehalten im Festbeton von unter 9 % erreichen lässt. Zu hohe Luftporeneinträge verringern wiederum die Festigkeiten und die Dichtigkeit des Betons.

Beton	Bewertung der Abwitterung [g/m ²]		Bewertung der Hywärme	Feinluft O.F.		Feinluft Sch.F.		Gestein hoher Phyllitanteil
	Oberfl.	Schnittfl.	Zement	Abstf..	∅	Abstf.	∅	
000	50	140						
100	850	1230						
110	6350	6760						
120	1700	3330						
130	5130	1470						
140	350	150						-
150	810	320						-
160	270	160						-
170	80	1060						-
180	380	970						-
190	340	6310						
200	120	460						-
210	70	410						-

Tabelle 14: Zusammenfassende Betrachtung

Abwitterung:

- sehr hoch
- hoch
- gering

Hydratationswärmeentwicklung Zement:

- hoch
- mittel
- gering

Feinluft: (Abstandsfaktor, Luftporendurchmesser)

- erfüllt
- nicht erfüllt

Zuschläge mit mittleren bis hohen phyllitischen Anteil:

- mittlerer bis hoher phyllitischer Anteil

Beton	Bewertung der Abwitterung [g/m ²]		Mürbkornanteil der einzelnen Korngruppen				Max. Wassereindringtiefe
	Oberfl.	Schnittfl.	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	
000	50	140					
100	850	1230					
110	6300	6700					
120	1700	3300					
130	6100	1440					
140	350	150					
150	811	320					
160	270	160					
170	80	1100					
180	360	970					
190	340	6310					
200	120	460					
210	70	410					

Tabelle 15: Zusammenfassende Betrachtung

Abwitterung:

- sehr hoch
- hoch
- gering

Mürbkornanteil der einzelnen Korngruppen:

- gering
- hoch
- sehr hoch

maximale Wassereindringtiefe:

- gering
- mittel
- hoch

Betonserie	Gestein	Zement	Mittelwert Feinluft	
			Abstandsfaktor	Ø
000	√	√	√	√
100	+++	++	√	√
110	+++	+++	+++	+++
120	+++	+++	+++	+++
130	+++	++	√	+++
140	√	++	√	√
150	√	+++	√	√
160	√	√	+++	+++
170	++	√	√	√
180	++	√	+++	+++
190	+++	√	+++	+++
200	√	√	√	√
210	+	√	√	+++

Tabelle 16. Einfluss der verschiedenen Parameter

Bewertung:	√	keine Probleme
	+	geringer Angriff
	++	mittlerer Angriff
	+++	starker Angriff

5. Einfluss der unterschiedlichen phyllitischen Komponenten auf die Druckfestigkeit und Abwitterung sowie Einfluss durch Verwendung verschiedener Zemente

Im zweiten Teil des vorliegenden Untersuchungen sollte der Einfluss unterschiedlicher Zusammensetzung der Betonproben bei Variation von zwei verschiedenen Zementen (Ausgangszemente bzw. hochwertigem **CEM I 42,5 R** Zement) sowie mengenmäßig unterschiedlichen phyllitischen Anteilen der Zuschläge, bei zwei verschiedenen Serien bestimmt werden. Dazu wurden die Gesteinstypen der Serie 110 und 190 ausgewählt, da diese im Versuchsabschnitt I sehr hohe Abwitterungswerte vorwiesen, welche mitunter auch durch die phyllitischen Komponenten des Zuschlags verursacht wurden.

Das bedeutet, dass zwei verschiedene Betonserien vorliegen, mit dem jeweiligen Ausgangszement (CEMII/A bzw. CEMII/B) bzw. ein Hochwertzement (CEM I). Verwendet wurde für die Betonherstellung die jeweilig im Werk anfallenden bzw. verwendeten Zusatzmittelprodukte. Bei den weiteren Serien wurde neben dem gesamten Zuschlag (Serie A/D) jeweils die Korngruppe 0/8 (B/E) bzw. 8/32 (C/F) durch dolomitische Material ersetzt.

Unter der Berücksichtigung der vorhandenen Proben, deren Inhomogenität und Fehler bei der Prüfkörperherstellung (Feinluftgehalt und der damit auch verbundenen Probleme) lässt sich bis auf wenige Ausnahmen der gewünschte Anteil an Gesamtluft bzw. der Feinluftverteilung (Abstandsfaktor, Porendurchmesser) nachweisen.

In Folge werden die beiden Serien bezüglich ihrer Frisch- und Festbetoneigenschaften, sowie ihrer Frost- Tausalzbeständigkeit angeführt bzw. diskutiert.

5.1 Untersuchung Serie 110 bei Variation von Bindemittel und Zuschlag

Bei der Serie 110 werden 6 Variationen bezüglich Wahl des Bindemittels und der Zusammensetzung, der Zuschläge dem Nullbeton (000) und einander gegenübergestellt. Die Serie A mit Originalzuschlägen und Originalbindemittel stammt aus Teil I der Untersuchungen. Die genaue Zusammenstellung der Mischungen geht aus *Diagramm 5* hervor.

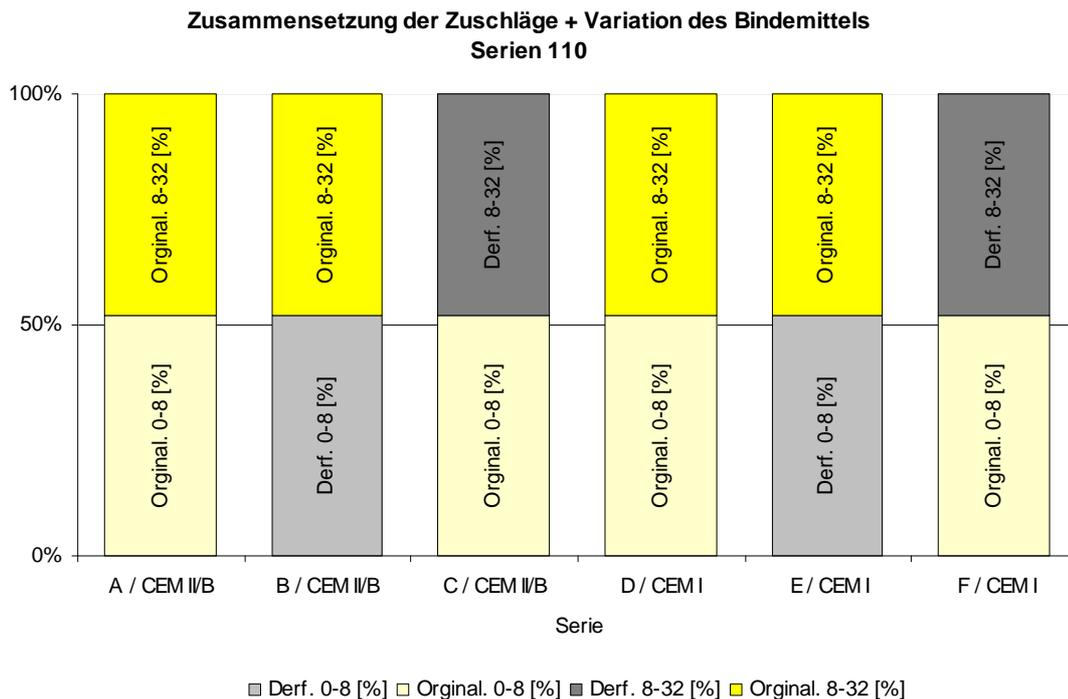


Diagramm 5: Variationen von Bindemittel und Zuschlägen

Frischbetonkennwerte Serie 110:

Hinsichtlich der Frischbetondaten (*Tabelle 17*) ist festzustellen, dass die Betone mit der Bezeichnung A bis F jeweils vergleichbare Luftporenkennwerte und Ausbreitmaße aufweisen. Die Serien C1 bis E1 sind hinsichtlich ihrer Luftporenkennwerte nur bedingt mit den vorher genannten Proben vergleichbar.

Bei Betrachtung der Frischbetondaten ist auffallend, dass unter Verwendung des Bindemittels CEM I der Anspruch an Fließmittel bzw. Luftporenmittel steigt. Alle Betone der Serien A bis F (Vergleichsserien) weisen einen Luftgehalt > 6% im Frischbeton auf.

Serien	FM – Dosierung [%]	LPM – Dosierung [%]	Ausbreitmaß [cm]	Slump [cm]	LP-Gehalt [%]
000	0,45	0,15	53,0	21,0	7,8
A (110)	0,70	0,17	53,0	20,0	6,3
B	0,28	0,21	51,5	15,8	8,0
C	0,47	0,10	48,0	12,8	7,0
D	0,68	0,30	48,5	14,2	9,0
E	0,47	0,25	50,0	16,8	8,0
F	0,83	0,30	53,0	22,3	8,5
C1	0,44	0,14	53,0	21,1	5,0
D1	1,07	0,20	49,5	19,8	3,8
E1	0,79	0,18	51,5	21,0	3,0

Tabelle 17: Frischbetondaten

Festigkeiten Serie 110:

Die Festigkeiten der Betonmischungen wurden nach 1, 28 und 56 Tagen ermittelt. Es ist festzustellen, dass durch die Verwendung des höherwertigen Bindemittels CEM I die Festigkeiten der Betone beträchtlich gesteigert werden konnten.

Serien	Rohdichte nach Tagen *) [kg/dm ³]				Druckfestigkeit nach Tagen [N/mm ²]			
	1	7	28	56	1	7	28	56
000	2,307	2,323	2,217	2,231	20,9	30,2	37,7	41,1
A (110)	2,308	-	2,233	2,237	14,7	-	35,4	37,9
B	2,283	-	2,209	2,244	8,7	-	30,5	32,1
C	2,264	-	2,271	2,243	11,1	-	32,4	38,4
D	2,209	-	2,210	2,187	18,6	-	39,8	40,0
E	2,204	-	2,180	2,216	24,1	-	43,1	44,1
F	2,287	-	2,263	2,282	20,9	-	44,8	46,1
C1	2,314	-	2,318	2,315	8,3	-	41,6	43,4
D1	2,362	-	2,361	2,343	27,7	-	62,4	68,0
E1	2,384	-	2,346	2,381	31,3	-	58,6	64,2

Tabelle 18: Festigkeitsentwicklung

*) die angeführten Rohdichten beziehen sich auf die Prüfkörper im Zuge der Ermittlung der Druckfestigkeiten

Luftporenkennwerte im Festbeton Serie 110:

Die Luftporenkennwerte wurden analog der ersten Versuchsreihe ermittelt und ausgewertet. Bei einer Betrachtung der Kennwerte der Proben fällt auf, dass für das Erreichen eines optimalen Abstands-faktors von ca. 0,180 mm, ein Luftporengehalt von ca. 7-10 % im Festbeton gefordert ist. Bei den Proben F, C1, D1 und E1, welche den mittleren Luftporenkennwert unter 5% aufweisen, liegt auch der Abstands-faktor viel zu hoch.

Serien	LP oben	Abstand oben	LP mitte	Abstand mitte	LP unten	Abstand unten	LP Mittelwert	Abstand Mittelwert
000	7,37	0,158	6,60	0,213	2,36	0,250	5,44	0,207
A (110)	11,83	0,176	14,08	0,198	7,24	0,215	11,05	0,196
B	10,08	0,182	10,10	0,204	6,73	0,191	8,97	0,193
C	7,16	0,139	6,11	0,154	8,64	0,152	7,30	0,148
D	10,73	0,136	7,67	0,179	7,98	0,205	8,79	0,173
E	10,19	0,114	10,13	0,115	9,39	0,126	9,90	0,118
F	10,15	0,327	6,15	0,380	3,21	0,349	6,50	0,352
C1	6,95	0,270	4,53	0,344	2,72	0,324	4,73	0,313
D1	2,86	0,395	4,11	0,552	3,49	0,385	3,49	0,444
E1	2,24	0,385	2,75	0,618	2,46	0,498	2,48	0,500

Tabelle 19: Luftporen + Abstands-faktor im Festbeton

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Abstands-faktors liegt bei $\leq 0,180$ mm.

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Porendurchmessers liegt bei $\leq 0,220$ mm

Bei einer Betrachtung der *Tabelle 20*, wo Abstands-faktor und Porendurchmesser nahe der Oberfläche und entlang der Schnittfläche dargestellt sind, ist zu erkennen, dass lediglich bei zwei Proben (C, E) die angestrebten Werte erreicht werden. Die Betone A, E und F weisen trotz durchschnittlicher Luftporengehalte von 6,5 bis 11 %, zu hohe Abstands-faktoren und Porendurchmesser auf. Die zu hohen Werte hinsichtlich Abstands-faktor und Porendurchmesser der Proben C1, D1 und E1 sind durch die geringen Porositäten $< 5\%$ zu erklären.

Betonserie	Kennwerte nahe Oberfläche "Alt" B 3303 (1983) oben		Kennwerte vertikale Schnittfläche "Neu" B 3303 (2002) Mittelwerte		Gestein
	Abstandsf. [mm]	Ø Poren [mm]	Abstandsf. [mm]	Ø Poren [mm]	
000	0,158	0,224	0,207	0,241	dolomitisch
A (110)	0,176	0,310	0,196	0,330	phyllitisch
B	0,182	0,299	0,193	0,300	Mischprod.
C	0,139	0,194	0,148	0,210	Mischprod.
D	0,136	0,229	0,173	0,256	phyllitisch
E	0,114	0,187	0,118	0,192	Mischprod.
F	0,327	0,537	0,352	0,479	Mischprod.
C1	0,270	0,374	0,313	0,360	Mischprod.
D1	0,395	0,366	0,444	0,443	phyllitisch
E1	0,385	0,320	0,500	0,423	Mischprod.

Feinluft: (Abstandsfaktor, Luftporendurchmesser)

erfüllt (positiv)

nicht erfüllt (negativ)

- Bewertung:**
- 1) Belastung FTP "Alt" (Werte von Oberflächennahen Zonen)
 - 2) Belastung FTP "Neu" (Mittelwert über 3 Zonen)

Tabelle 20: Abstandsfaktor und Porendurchmesser

Untersuchung der Frost-Tausalzbeständigkeit der Serie 110

Für die Prüfung der Frosttausalzbeständigkeit der Betonserien, wurden diese an der Oberfläche und an der vertikalen Schnittfläche geprüft. Die Prüfmethode bzw. Prozedur wurde anhand der ÖNorm B3303 (Ausgabe 1983) vorgenommen. Die Proben wurden 50 Frosttausalzwechsel unterzogen. Eine Auswertung der Proben erfolgte nach drei unterschiedlichen Kriterien. Die Klassifizierung bzw. die Auswertung analog zur Versuchsphase I nach 3 Bewertungskriterien durchgeführt.

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10:

Tabelle 22

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10 laut Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 für XF4, XF2 Betone:

Tabelle 23

Freie Bewertung der Abwitterung anhand von Erfahrungswerten:

Tabelle 24

Die Bewertung bzw. die Auswertung der Abwitterungen sind analog zur Versuchsphase I und auf den Seiten 19 – 20 im Detail beschrieben.

							Summe der
Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]							Ablösungen
Proben	5 FTW	15 FTW	25 FTW	35 FTW	50 FTW		[g/m ²]
Oberfläche	000	20,01	26,49	1,08	1,08	2,71	51,36
	A (110)	2254,19	1867,38	616,38	590,18	1020,28	6348,41
	B	185,80	87,60	5,90	12,40	8,30	300,00
	C	1,20	3,60	4,70	3,60	4,10	17,20
	D	25,40	20,10	6,50	14,20	43,80	110,00
	E	18,90	33,10	37,30	24,90	41,40	155,60
	F	14,20	21,30	31,40	26,00	53,30	146,20
	C1	245,00	1029,60	984,00	841,40	797,00	3897,00
	D1	7,10	30,80	39,60	53,30	81,10	211,90
	E1	7,10	5,90	10,70	14,20	34,90	72,80

Schnittfläche	000n	109,97	9,69	7,41	1,14	7,98	136,19
	An (110n)	2758,97	1944,16	426,21	448,43	1182,34	6760,11
	Bn	7,10	11,20	4,10	5,30	25,40	53,10
	Cn	5,30	4,10	1,20	4,70	1,80	17,10
	Dn	7,10	5,90	5,90	10,10	56,20	85,20
	En	7,10	1,80	4,70	8,30	6,50	28,40
	Fn	13,60	10,70	20,70	26,00	100,10	171,10
	C1n	43,80	249,70	249,10	198,80	239,60	981,00
	D1n	13,00	48,50	54,40	52,70	211,80	380,40
	E1n	6,50	13,00	6,50	13,60	27,20	66,80

Probenzusatzbezeichnung „n“ steht für Schnittfläche

Tabelle 21: Abwitterung der einzelnen Zyklen

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche nach ÖNorm B 4200 Teil 10

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	3,79
	A (110)	1867,38	616,38	2483,76	1610,46
	B	87,60	5,90	93,50	20,70
	C	3,60	4,70	8,30	7,70
	D	20,10	6,50	26,60	58,00
	E	33,10	37,30	70,40	66,30
	F	21,30	31,40	52,70	79,30
	C1	1029,60	984,00	2013,60	1638,40
	D1	30,80	39,60	70,40	134,40
	E1	5,90	10,70	16,60	49,10
Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	2,28
	An (110n)	1944,16	426,21	2370,37	872,93
	Bn	11,20	4,10	15,30	30,70
	Cn	4,10	1,20	5,30	6,50
	Dn	5,90	5,90	11,80	66,30
	En	1,80	4,70	6,50	14,80
	Fn	10,70	20,70	31,40	126,10
	C1n	249,70	249,10	498,80	438,40
	D1n	48,50	54,40	102,90	264,50
	E1n	13,00	6,50	19,50	40,80

Tabelle 22: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit nach ÖNorm B 4200 Teil 10:

- bestanden nach 25 FTW
- Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
- bestanden nach 50 FTW
- nicht bestanden

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche basierend auf die ÖNorm B 4200 Teil 10 bei Variation der Abwitterung von 25-50 FTW $\leq 100 \text{ g/m}^2$

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	3,79
	A (110)	1867,38	616,38	2483,76	1610,46
	B	87,60	5,90	93,50	20,70
	C	3,60	4,70	8,30	7,70
	D	20,10	6,50	26,60	58,00
	E	33,10	37,30	70,40	66,30
	F	21,30	31,40	52,70	79,30
	C1	1029,60	984,00	2013,60	1638,40
	D1	30,80	39,60	70,40	134,40
	E1	5,90	10,70	16,60	49,10
Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	2,28
	An (110n)	1944,16	426,21	2370,37	872,93
	Bn	11,20	4,10	15,30	30,70
	Cn	4,10	1,20	5,30	6,50
	Dn	5,90	5,90	11,80	66,30
	En	1,80	4,70	6,50	14,80
	Fn	10,70	20,70	31,40	126,10
	C1n	249,70	249,10	498,80	438,40
	D1n	48,50	54,40	102,90	264,50
	E1n	13,00	6,50	19,50	40,80

Tabelle 23: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit XF4 nach Modifikation Land Südtirol:

- bestanden nach 25 FTW
- Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
- bestanden nach 50 FTW
- nicht bestanden

Freie, subjektive Bewertung der Summe der Abwitterung von 0 bis 50 FTW

Betonserie		Bewertung der Abwitterung	
		"Oberfläche"	"geschnitten"
	000	50	140
	A (110)	6350	6760
	B	300	50
	C	20	20
	D	110	90
	E	160	30
	F	150	170
	C1	3900	980
	D1	210	380
	E1	70	70

Tabelle 24: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Abwitterung:

-  gering (0-200 g/m²)
-  hoch (201 – 500 g/m²)
-  sehr hoch (>500 g/m²)
-  Betonserien mit phyllitischen Komponenten

Aus der *Tabelle 24* geht klar hervor, dass durch die Verwendung höherwertigeren Zementen und Austausch von Zuschlagskomponenten, eine merkliche Reduktion der Abwitterungen der Oberflächen und der Schnittflächen zu erzielen ist. Die Serie A mit Originalbindemittel und Originalzuschlägen weist um ein vielfaches höhere Abwitterungen auf.

5.2 Untersuchung Serie 190 bei Variation von Bindemittel und Zuschlag

Bei der Serie 190 werden 6 Variationen bezüglich Wahl des Bindemittels und der Zusammensetzung der Zuschläge dem Nullbeton (000) und einander gegenübergestellt. Die Serie A mit Originalzuschlägen und Originalbindemittel stammt aus Teil I der Untersuchungen. Die genaue Zusammenstellung der Mischungen geht aus *Diagramm 6* hervor.

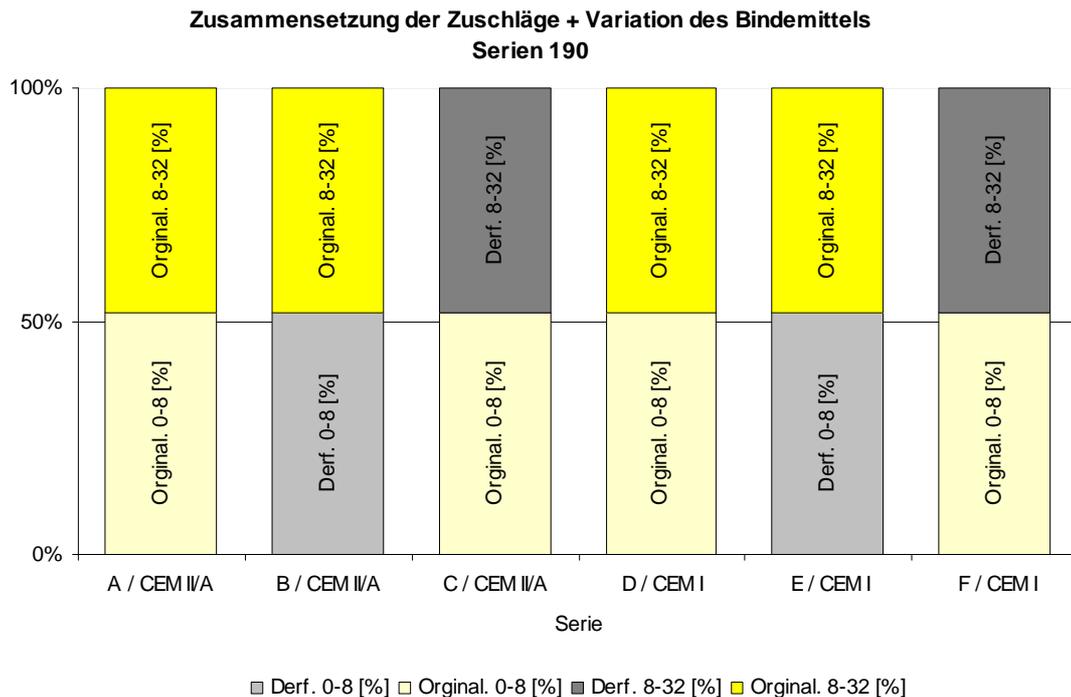


Diagramm 6: Variationen von Bindemittel und Zuschlägen

Frischbetonkennwerte Serie 190:

Hinsichtlich der Frischbetondaten (*Tabelle 25*) ist anzubringen, dass die Betone mit der Bezeichnung A bis F jeweils vergleichbare Luftporenkennwerte und Ausbreitmaße aufweisen. Die Serien B1 bis F1 sind hinsichtlich ihrer Luftporenkennwerte nur bedingt mit den vorher genannten Proben vergleichbar. Die Werte der Proben B1 bis F1 liegen bezüglich des Luftporengehaltes im Frischbeton entweder zu hoch zu nieder.

Wiederum ist augenfällig zu erkennen, dass unter Verwendung des Bindemittels CEM I (Proben D, E und F) der Anspruch bezüglich der Fließmitteldosierung tendenziell höher liegt. Alle Betone der Serien A bis F weisen eine Luftgehalt > 6% im Frischbeton auf.

Serien	FM – Dosierung [%]	LPM – Dosierung [%]	Ausbreitmaß [cm]	Slump [cm]	LP-Gehalt [%]
000	0,45	0,15	53	21	7,80
A (190)	0,7	0,12	51	20,5	7,9
B	0,3	0,07	49	13	8,0
C	0,3	0,05	48,5	14,2	8,5
D	1,05	0,1	49	19	8,0
E	0,5	0,09	50,5	15,3	7,5
F	0,55	0,06	49,5	14	8,5
B1	0,28	0,15	48	12	12
C1	0,53	0,12	49	16,4	12
D1	1,12	0,15	51	18	3,4
D2	0,73	0,16	49	15,8	14
F1	0,75	0,16	51	18,9	13

Tabelle 25: Frischbetondaten

Festigkeiten Serie 190:

Die Festigkeiten der Betonmischungen wurden nach 1, 28 und 56 Tagen ermittelt. Bei nahezu gleichen Luftporengehalt ist festzustellen, dass die Betone mit CEM I als Bindemittel wesentlich höhere Früh- und Endfestigkeiten erzielen. Der Austausch von Teilen der Originalzuschläge durch dolomitisches Material zeigt hinsichtlich der Frühfestigkeiten einen geringen Einfluss. Bei den Festigkeiten nach 56 Tagen, ist ein solcher Einfluss nicht mehr direkt abzulesen. Vielmehr ist der Einfluss der Rohdichte, welche sehr stark vom Luftporengehalt im Probekörper bestimmt wird, ein maßgebender Indikator hinsichtlich der Festigkeit. Hier gibt es Schwankungen der Rohdichte seitens der Herstellung der Prüfkörper, welche bezüglich der Festigkeitsentwicklung den Einfluss der Zuschläge teilweise überdecken. Ein Beispiel hierfür stellt die Mischung D dar, welche zwar bei der Messung des Luftporengehaltes im Frischbeton einen Wert von 8% aufweist, jedoch im Zuge der Verarbeitung bzw. Verdichtung des Betons in den Probekörpern sehr viel Luft verliert. Die Porosität der Prüfkörper ist hier wesentlich geringer, als bei den Vergleichsproben. Dies ist auch der Grund für die hohen Festigkeitswerte der Serie D.

Serien	Rohdichte nach Tagen *) [kg/dm ³]				Druckfestigkeit nach Tagen [N/mm ²]			
	1	7	28	56	1	7	28	56
000	2,307	2,323	2,217	2,231	20,9	30,2	37,7	41,1
A (190)	2,273	-	2,257	2,249	9,6	-	39,1	39,8
B	2,239	-	2,240	2,225	14,6	-	28,8	32,1
C	2,243	-	2,200	2,223	13,4	-	32,5	33,2
D	2,341	-	2,310	2,305	31,2	-	63,7	65,4
E	2,231	-	2,223	2,226	20,8	-	39,6	43,4
F	2,267	-	2,245	2,258	22,8	-	45,9	47,2
		-				-		
B1	2,123	-	2,127	2,084	10,5	-	24,2	25,5
C1	2,124	-	2,125	2,152	7,1	-	25,5	26,7
D1	2,324	-	2,369	2,358	28,1	-	65,4	71,8
D2	2,008	-	2,044	2,063	14,0	-	28	30,6
F1	2,129	-	2,058	2,092	12,8	-	31,0	32,9

Tabelle 26: Festigkeitsentwicklung

*) die angeführten Rohdichten beziehen sich auf die Prüfkörper im Zuge der Ermittlung der Druckfestigkeiten

Luftporenkennwerte im Festbeton Serie 190:

Die Luftporenkennwerte wurden analog der ersten Versuchsreihe ermittelt und ausgewertet. Die Kennwerte hinsichtlich des Porenanteils und des Abstandsfaktors in verschiedenen Höhenlagen am Prüfkörper und der Mittelwert für den Prüfkörper sind der *Tabelle 27* zu entnehmen. Die relevanten Kenngrößen, wie Abstandsfaktor und Porendurchmesser, mit Hinblick auf die Abwitterung der Oberfläche und der Schnittfläche, sind in *Tabelle 28* dargestellt. Bei einer Betrachtung beider Tabellen ist zu erkennen, dass hier die Luftporenkennwerte, wie optimaler Abstandsfaktor und Porendurchmesser lediglich bei mittleren Luftporengehalten von $\geq 10\%$ eingehalten werden konnten. Bei solch hohen Porositätswerten verringern sich die Festigkeiten massiv. Welchen Einfluss ein nicht Erreichen der Anforderungen seitens des Abstandsfaktors und des Porendurchmessers hat, wird bei der Untersuchung der Abwitterung geklärt.

Hinsichtlich der Serie 190 wäre eine neue Abstimmung der Zusatzmittel, insbesondere des Luftporenmittels notwendig.

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Abstandsfaktors liegt bei $\leq 0,180$ mm.

Der Grenzwert für eine positive Bewertung des Porendurchmessers liegt bei $\leq 0,220$ mm

Serien	LP oben	Abstand oben	LP mitte	Abstand mitte	LP unten	Abstand unten	LP Mittelwert	Abstand Mittelwert
000	7,37	0,158	6,60	0,213	2,36	0,250	5,44	0,207
A (190)	7,82	0,340	9,95	0,396	4,36	0,309	7,38	0,348
B	10,89	0,123	11,55	0,124	7,77	0,155	10,07	0,134
C	12,23	0,192	8,39	0,257	4,09	0,330	8,24	0,260
D	4,01	0,375	2,48	0,648	3,40	0,497	3,30	0,507
E	9,49	0,120	10,85	0,121	7,92	0,130	9,42	0,124
F	9,22	0,195	8,24	0,235	6,11	0,228	7,86	0,219
B1	15,03	0,113	14,12	0,116	11,24	0,127	13,46	0,119
C1	15,50	0,154	7,23	0,228	6,82	0,221	9,85	0,201
D1	3,53	0,463	2,47	0,472	2,71	0,384	2,90	0,440
D2	20,70	0,145	14,17	0,138	12,97	0,127	15,95	0,137
F1	18,19	0,098	12,06	0,116	8,32	0,142	12,86	0,119

Tabelle 27: Luftporen + Abstandsfaktor im Festbeton

Betonserie	Kennwerte nahe Oberfläche "Alt" B 3303 (1983) oben		Kennwerte vertikale Schnittfläche "Neu" B 3303 (2002) Mittelwerte		Gestein
	Abstands-f. [mm]	Ø Poren [mm]	Abstands-f. [mm]	Ø Poren [mm]	
000	0,158	0,224	0,207	0,241	dolomitisch
A (190)	0,340	0,496	0,348	0,496	phyllitisch
B	0,123	0,210	0,134	0,216	Mischprod.
C	0,192	0,343	0,260	0,360	Mischprod.
D	0,375	0,403	0,507	0,466	phyllitisch
E	0,120	0,192	0,124	0,196	Mischprod.
F	0,195	0,308	0,219	0,319	Mischprod.
B1	0,113	0,222	0,119	0,221	Mischprod.
C1	0,154	0,306	0,201	0,309	Mischprod.
D1	0,436	0,471	0,440	0,408	phyllitisch
D2	0,145	0,327	0,137	0,277	phyllitisch
F1	0,098	0,208	0,119	0,208	Mischprod.

Tabelle 28: Abstandsfaktor und Porendurchmesser

Feinluft: (Abstandsfaktor, Luftporendurchmesser)

erfüllt (positiv)

nicht erfüllt (negativ)

- Bewertung:**
- 1) Belastung FTP "Alt" (Werte von Oberflächennahen Zonen)
 - 2) Belastung FTP "Neu" (Mittelwert über 3 Zonen)

Untersuchung der Frost-Tausalzbeständigkeit der Serie 190

Für die Prüfung der Frosttausalzbeständigkeit der Betonserien, wurden diese an der Oberfläche und an der vertikalen Schnittfläche geprüft. Die Prüfmethode bzw. Prozedur wurde anhand der ÖNorm B3303 (Ausgabe 1983) vorgenommen. Die Proben wurden 50 Frosttausalzwechsel unterzogen. Eine Auswertung der Proben erfolgte nach drei unterschiedlichen Kriterien. Eine Auswertung der Proben erfolgte nach drei unterschiedlichen Kriterien. Die Klassifizierung bzw. die Auswertung analog zur Versuchsphase I nach 3 Bewertungskriterien durchgeführt.

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10:

Tabelle 30

Die Auswertung nach der ÖNorm B 4200 Teil 10 laut Beschluss Nr. 30 des Landes Südtirol vom 9. Jänner 2006 für XF4, XF2 Betone:

Tabelle 31

Freie Bewertung der Abwitterung anhand von Erfahrungswerten:

Tabelle 32

Die Bewertung bzw. die Auswertung der Abwitterungen sind analog zur Versuchsphase I und auf den Seiten 19 – 20 im Detail beschrieben.

		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]					Summe der
							Ablösungen
Proben	5 FTW	15 FTW	25 FTW	35 FTW	50 FTW	[g/m ²]	
Oberfläche	000	20,01	26,49	1,08	1,08	2,71	51,36
	A (190)	196,45	60,36	18,93	34,32	26,63	336,68
	B	118,90	77,50	12,40	5,90	17,20	231,90
	C	77,50	31,40	5,90	4,70	8,90	128,40
	D	6,50	10,10	7,10	8,90	10,70	43,30
	E	7,70	7,10	5,90	23,70	16,00	60,40
	F	14,80	26,60	30,20	69,20	92,30	233,10
	B1	452,10	158,00	78,70	25,40	46,70	760,90
	C1	83,40	75,70	27,20	15,40	47,30	249,00
	D1	36,70	174,60	159,80	139,00	95,30	605,40
	D2	25,40	26,60	16,60	16,60	34,30	119,50
F1	31,40	31,10	10,70	69,20	31,40	173,80	

Schnittfläche	000n	109,97	9,69	7,41	1,14	7,98	136,19
	An (190n)	2564,70	1480,31	546,34	642,56	1076,09	6310,00
	Bn	7,70	13,00	4,70	9,50	7,10	42,00
	Cn	36,70	111,20	60,40	19,50	34,30	262,10
	Dn	37,90	112,40	46,20	25,40	5,30	227,20
	En	7,10	3,00	3,60	3,00	4,10	20,80
	Fn	7,10	2,40	3,60	8,90	23,10	45,10
	B1n	6,50	1,20	1,20	3,60	0,60	13,10
	C1n	24,30	23,70	7,70	5,30	12,40	73,40
	D1n	36,70	59,20	50,30	64,50	264,50	475,20
	D2n	18,30	8,90	4,70	4,70	6,50	43,10
F1n	8,30	8,90	5,30	4,10	7,70	34,30	

Probenzusatzbezeichnung „n“ steht für Schnittfläche

Tabelle 29: Abwitterung der einzelnen Zyklen

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche nach ÖNorm B 4200 Teil 10

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	3,79
	A (190)	60,36	18,93	79,29	60,95
	B	77,50	12,40	89,90	23,10
	C	31,40	5,90	37,30	13,60
	D	10,10	7,10	17,20	19,60
	E	7,10	5,90	13,00	39,70
	F	26,60	30,20	56,80	161,50
	B1	158,00	78,70	236,70	72,10
	C1	75,70	27,20	102,90	62,70
	D1	174,60	159,80	334,40	234,30
	D2	26,60	16,60	43,20	50,90
	F1	31,10	10,70	41,80	100,60
Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	2,28
	An (190n)	1480,31	546,34	2026,65	1718,65
	Bn	13,00	4,70	17,70	16,60
	Cn	111,20	60,40	171,60	53,80
	Dn	112,40	46,20	158,60	30,70
	En	3,00	3,60	6,60	7,10
	Fn	2,40	3,60	6,00	32,00
	B1n	1,20	1,20	2,40	4,20
	C1n	23,70	7,70	31,40	17,70
	D1n	59,20	50,30	109,50	329,00
D2n	8,90	4,70	13,60	11,20	
F1n	8,90	5,30	14,20	11,80	

Tabelle 30: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit nach ÖNorm B 4200 Teil 10:

- bestanden nach 25 FTW
- Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
- bestanden nach 50 FTW
- nicht bestanden

Bewertung der Abwitterung der Oberfläche und Schnittfläche basierend auf die ÖNorm B 4200 Teil 10 bei Variation der Abwitterung von 25-50 FTW $\leq 100 \text{ g/m}^2$

Proben		Abwitterung nach Zyklen [g/m ²]			
		5-15 FTW	15-25 FTW	5-25 FTW	25-50 FTW
Oberfläche	000	26,49	1,08	27,57	3,79
	A (190)	60,36	18,93	79,29	60,95
	B	77,50	12,40	89,90	23,10
	C	31,40	5,90	37,30	13,60
	D	10,10	7,10	17,20	19,60
	E	7,10	5,90	13,00	39,70
	F	26,60	30,20	56,80	161,50
	B1	158,00	78,70	236,70	72,10
	C1	75,70	27,20	102,90	62,70
	D1	174,60	159,80	334,40	234,30
	D2	26,60	16,60	43,20	50,90
	F1	31,10	10,70	41,80	100,60
Schnittfläche	000n	9,69	7,41	17,10	2,28
	An (190n)	1480,31	546,34	2026,65	1718,65
	Bn	13,00	4,70	17,70	16,60
	Cn	111,20	60,40	171,60	53,80
	Dn	112,40	46,20	158,60	30,70
	En	3,00	3,60	6,60	7,10
	Fn	2,40	3,60	6,00	32,00
	B1n	1,20	1,20	2,40	4,20
	C1n	23,70	7,70	31,40	17,70
	D1n	59,20	50,30	109,50	329,00
	D2n	8,90	4,70	13,60	11,20
F1n	8,90	5,30	14,20	11,80	

Tabelle 31: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Frost-Tausalzbeständigkeit XF4 nach Modifikation Land Südtirol:

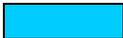
- bestanden nach 25 FTW
- Prüfung wird bis 50 FTW verlängert
- bestanden nach 50 FTW
- nicht bestanden

Freie, subjektive Bewertung der Summe der Abwitterung von 0 bis 50 FTW

Betonserie		Bewertung der Abwitterung	
		"Oberfläche"	"geschnitten"
	000	50	140
	A (190)	340	6310
	B	230	40
	C	130	260
	D	40	230
	E	60	20
	F	230	50
	B1	760	10
	C1	250	70
	D1	610	480
	D2	120	40
	F1	170	30

Tabelle 32: Abwitterungen Oberflächen und Schnittflächen

Abwitterung:

-  gering (0-200 g/m²)
-  hoch (201 – 500 g/m²)
-  sehr hoch (>500 g/m²)
-  Betonserien mit phyllitischen Komponenten

Aus der *Tabelle 32* geht klar hervor, dass durch die Verwendung höherwertigeren Zementen und Austausch von Zuschlagskomponenten eine merkliche Reduktion der Abwitterungen der Oberflächen und der Schnittflächen zu erzielen ist. Ebenfalls bedingt ein Austausch der Originalzuschläge im Bereich der Korngruppen 0-8 mm, bessere Werte hinsichtlich der Verteilung der Feinluft im Beton.

5.3 Zusammenfassende Betrachtung

In diesem Punkt werden alle maßgebenden betontechnologischen Parameter zusammengeführt und in Bezug auf ihren Einfluss hinsichtlich der Dauerhaftigkeit (Abwitterung der Probeflächen) diskutiert. Als Grundlage für diese Diskussion dienen die *Tabellen 33 und 34*, in welchen die Beurteilungen der Abwitterung, der Hydratationswärmeentwicklung der Zemente, der Struktur und Anordnung der Feinluft, der Anteile an phyllitischen Komponenten, gegenübergestellt sind.

Serien A-F (110):

Vergleicht man die Proben der Betone A(110), B(110) und C(110) mit CEM II/B als Bindemittel hinsichtlich ihrer Abwitterung nach 50 FTW, so ist erkennbar, dass ein Austausch von Teilen der phyllitischen Originalkomponenten durch dolomitische Zuschläge zu einer Reduktion der Abwitterung führt. Bei einem Vergleich der Proben A(110) mit B(110) welche beide schlechte Werte hinsichtlich Abstandsfaktor und Porendurchmesser aufweisen ist zu erkennen, dass der Beton B(110) durch die Verwendung von dolomitischen Zuschlägen im Bereich von 0-8 mm weit geringere Abwitterungen aufweist als die Probe A(110) mit Originalzuschlägen.

Auch die Verwendung höherwertigerer Zemente, wie bei den Proben D(110), E(110) und F(110) führt zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit der Betone. Obwohl bei der Probe F(110) die Abstandsfaktoren und Porendurchmesser, seitens der Schnittfläche und der Oberfläche nicht den Kennwerten entsprechen, ist die Abwitterung trotzdem gering. Diese geringe Abwitterung der Serie F(110) ist auf die Verwendung des Bindemittels CEM I 42,5 R zurückzuführen.

Serien A-F (190):

Bei den Betonen der Serien 190 A-F ist festzustellen, dass wiederum durch die Verwendung höherwertigerer Zemente und dem Austausch phyllitischen Materials durch dolomitische Zuschläge eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit erreicht wird. Der Einfluss des Bindemittels ist klar am Vergleich der Proben A(190) mit D(190) zu erklären. Beide Mischungen haben Originalzuschläge mit mittleren bis hohen phyllitischen Anteilen. Weiters weisen beide Mischungen in Bezug auf die Luftporenkennwerte, wie Abstandsfaktor und Porendurchmesser schlechte Resultate auf. Der Luftporengehalt der Serie D(190) liegt mit einem Mittelwert von 3,3 % auffallend niedrig. Allein durch den Austausch des Bindemittels können die Abwitterungen an Oberfläche und Schnittfläche beträchtlich reduziert werden.

Durch den Austausch von Originalzuschlägen im Bereich von 0-8 mm durch dolomitisches Material ist es möglich Optimalwerte hinsichtlich der Kennwerte, wie Abstandsfaktor und Porendurchmesser zu erreichen. Als Grund für eine schlechte Verteilung der Luftporen im Festbeton, können die Korngruppen 0-8 der Originalzuschläge angeführt werden.

Beton	Bewertung der Abwitterung [g/m ²]		Bewertung der Hy-Wärme	Feinluft O.F.		Feinluft Sch.F.		Gestein hoher Phyllitanteil
	Oberfl.	Schnittfl.	Zement	Abstf..	∅	Abstf.	∅	
000	50	140	CEM II/A					dolomitisch
A (110)	6300	6700	CEM II/B					phyllitisch
B (110)	300	50	CEM II/B					Mischpr.
C (110)	20	20	CEM II/B					Mischpr.
D (110)	110	90	CEM I					phyllitisch
E (110)	160	30	CEM I					Mischpr.
F (110)	150	170	CEM I					Mischpr.
A (190)	340	6310	CEM II/A					phyllitisch
B (190)	230	40	CEM II/A					Mischpr.
C (190)	130	260	CEM II/A					Mischpr.
D (190)	40	230	CEM I					phyllitisch.
E (190)	60	20	CEM I					Mischpr.
F (190)	230	50	CEM I					Mischpr.

Tabelle 33: Zusammenfassende Betrachtung

Abwitterung:

- sehr hoch
- hoch
- gering

**Hydratationswärmeentwicklung
Zement:**

- sehr hoch
- hoch
- gering

Feinluft: (Abstandsfaktor, Luftporendurchmesser)

- erfüllt
- nicht erfüllt

Beton	Bewertung der Abwitterung [g/m ²]		Zusammensetzung der Zuschläge			
	Oberfl.	Schnittfl.	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm
000	50	140				
A (110)	6300	6700				
B (110)	300	50				
C (110)	20	20				
D (110)	110	90				
E (110)	160	30				
F (110)	150	170				
A (190)	340	6310				
B (190)	230	40				
C (190)	130	260				
D (190)	40	230				
E (190)	60	20				
F (190)	230	50				

Tabelle 34: Zusammenfassende Betrachtung

Abwitterung:

-  sehr hoch
-  hoch
-  gering

Zusammensetzung Zuschläge:

-  dolomitisch (gut)
-  Mittlerer bis hoher phyllitischer Anteil

6. Einfluss unterschiedlicher Feinluftgehalte auf die Druckfestigkeitsentwicklung und Feinluftverteilung im Festbeton

Zur Erreichung der gewünschten Verteilung sowie des Gesamtgehaltes an Feinluft – durch Vorversuche belegt – musste der Luftgehalt im Frischbeton mit ca. 7% eingestellt werden. Spätere Auswertungen haben dann aber ergeben, dass kein wesentlicher Verlust an Feinluft im Festbeton auftritt. Dabei zeigt sich aber, dass durch die vorliegenden FM-Typen der gewählte hohe Gehalt an Luft im Festbeton zur Einstellung des notwendigen Abstandsfaktors notwendig ist.

Grundsätzlich war zu beantworten, welcher Festigkeitsabfall auftritt und welche Festigkeiten bei optimaler Abstimmung des LP-Mittels zu erzielen sind. Eine Auswertung der vorliegenden unterschiedlichen Feinluftanteile in Bezug auf die Druckfestigkeitsentwicklung bzw. auch auf die Ausbildung der Feinluftverteilung geht aus den Tabellen 35 und 36 und Abbildungen 7 und 8 hervor. Dargestellt wird einmal der Einfluss des Feinluftanteiles auf die Festigkeit nach 56 Tagen (Serie 110 und 190). Gegenübergestellt wird der Originalzement einem Hochwertzement.

Es zeigt sich – schematisch betrachtet – bei Serie 110 unter Verwendung des Originalzementes (CEM II / B) ein Abfall von 50N/mm² (bei ca. 3% Luft) auf etwa 28N/mm² (bei ca. 10% Luft). Wird CEM I 42,5 R verwendet liegen die Werte mit 65N/mm² bzw. mit 35N/mm² deutlich höher, zeigen aber vergleichbaren Abfall. Ähnliches gilt bei Verwendung der Zuschläge der Betonserie 190 mit grundsätzlich höherem Absolutwerten.

Auffallend ist, dass bei beiden Serien der Zusammenhang zwischen Feinluftgehalt im Festbeton und dem feststellbare Abstandsfaktor. Je geringer der Gesamtluftgehalt im Festbeton, je höher der Abstandsfaktor. Die geringe Probenanzahl lässt zwar keine gesicherte Aussage zu, es zeichnet sich jedoch ab, dass sich dieser Einfluss unabhängig der Zementqualität einstellt. Dies bedeutet für die Praxis, dass bei Verwendung des Originalzusatzmittels ein relativ hoher Gesamtgehalt vorliegen muss, um den geforderten Abstandsfaktor von 0,18mm zu erreichen. Daraus ergibt sich umgekehrt, dass max. Festigkeiten bei Serie 110 von ca. 50N/mm² (CEM I 42,5 R) und ca. 38N/mm² (CEM II/B) sowie bei Serie 190 von ca. 40N/mm² und ca. 30N/mm² (CEM II/A) erreicht werden können.

Aus dieser Betrachtung lassen sich letztlich auch die experimentell auf anderem Weg erhaltene Erkenntnisse ableiten, dass für die geforderten Abstandsfaktoren nicht immer optimale Abstimmung vorgenommen wurde.

sortiert:

Betonserien	Gesamtluftanteil	Druckfestigkeit 56d
110	[%]	[N/mm ²]
E1/CEM I	2,5	64,2
D1/CEM I	3,5	68,0
C1/CEM II/B	4,7	43,4
F/CEM I	6,5	46,1
C/CEM II/B	7,3	38,4
D/CEM I	8,8	40,0
B/CEM II/B	9,0	32,1
E/CEM I	9,9	44,1
A/CEM II/B	11,1	37,9

Betonserien	Gesamtluftanteil	Abstandsfaktor
110	[%]	[mm]
E1/CEM I	2,5	0,49
D1/CEM I	3,5	0,44
C1/CEM II/B	4,7	0,31
F/CEM I	6,5	0,36
C/CEM II/B	7,3	0,14
D/CEM I	8,8	0,17
B/CEM II/B	9,0	0,19
E/CEM I	9,9	0,12
A/CEM II/B	11,1	0,20

Tabelle 35

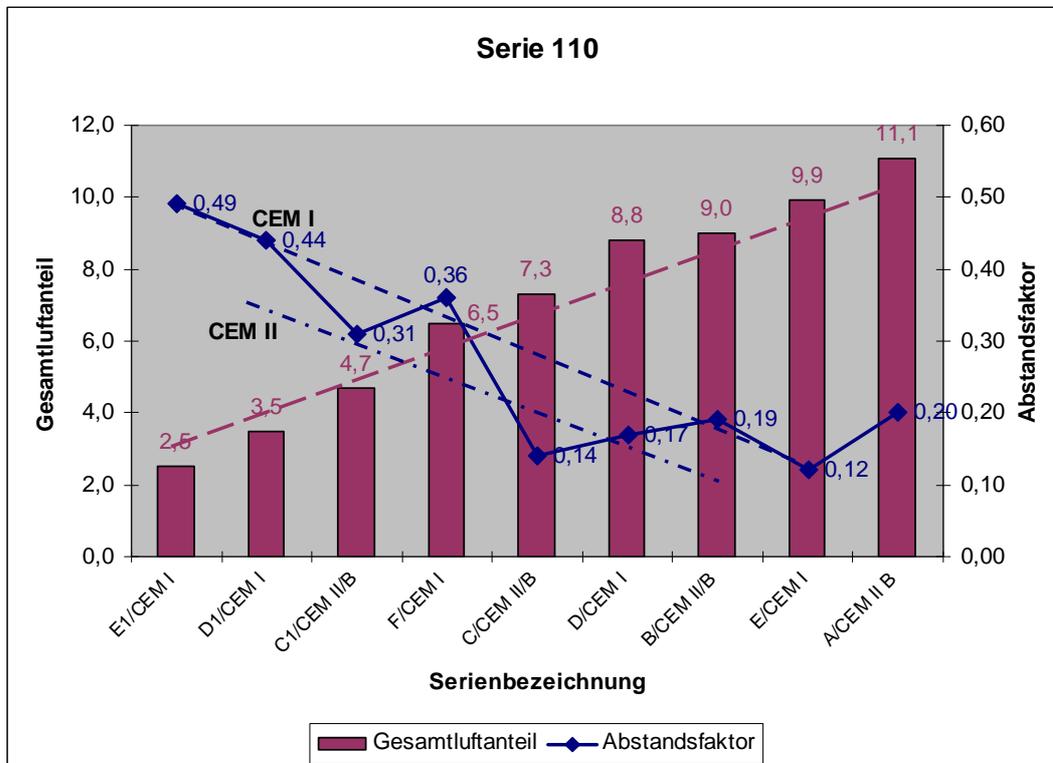
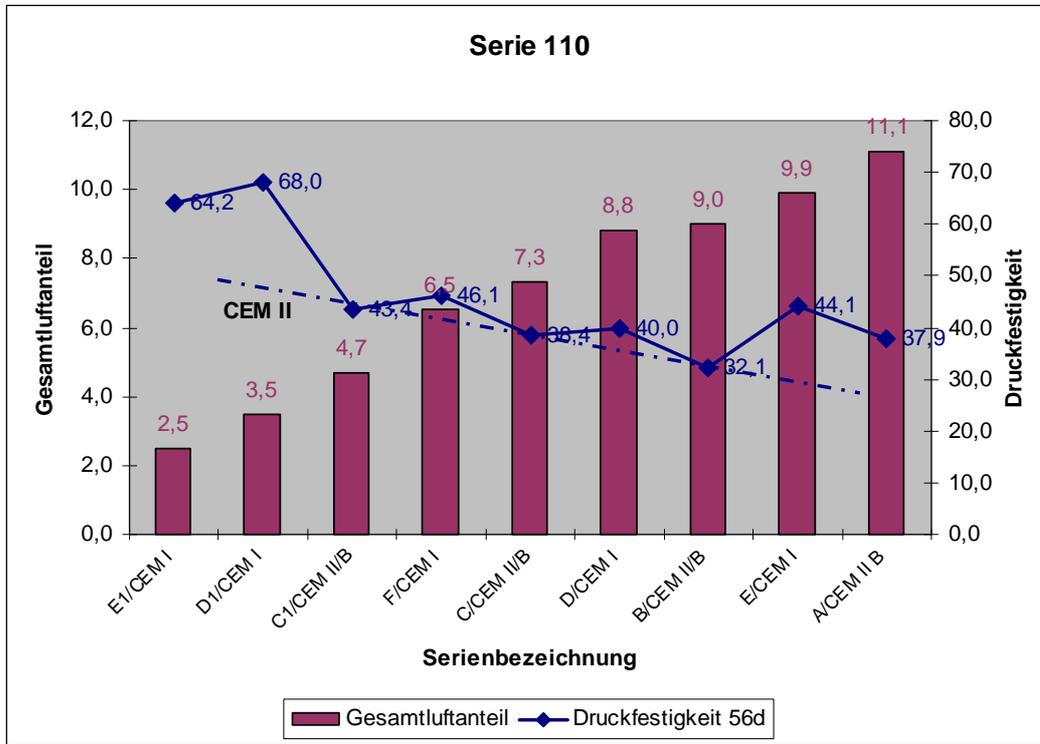


Diagramm 7a u. 7b

Sortiert:

Betonserien	Gesamtluftanteil	Druckfestigkeit 56d
190	[%]	[N/mm ²]
D1/CEM I	2,9	71,8
D/CEM I	3,3	65,4
A/CEM II/A	7,4	39,8
F/CEM I	7,9	47,2
C/CEM II/A	8,1	33,2
E/CEM I	9,4	43,3
C1/CEM II/A	9,9	26,7
B/CEM II/A	10,1	32,1
F1/CEM I	12,9	32,9
B1/CEM II/A	13,5	25,5
D2/CEM I	15,9	30,6

Betonserien	Gesamtluftanteil	Abstandsfaktor
190	[%]	[mm]
D1/CEM I	2,9	0,44
D/CEM I	3,3	0,51
A/CEM II/A	7,4	0,35
F/CEM I	7,9	0,22
C/CEM II/A	8,2	0,26
E/CEM I	9,4	0,12
C1/CEM II/A	9,9	0,20
B/CEM II/A	10,1	0,13
F1/CEM I	12,9	0,12
B1/CEM II/A	13,5	0,12
D2/CEM I	15,9	0,14

Tabelle 36

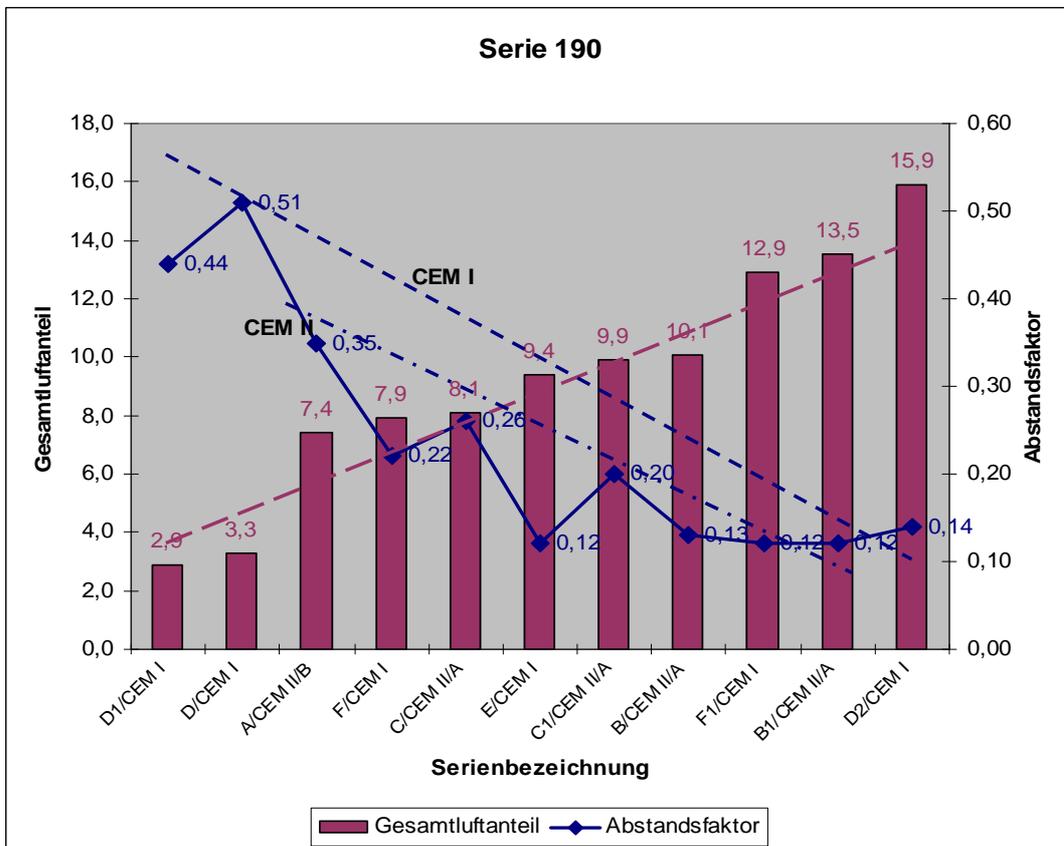
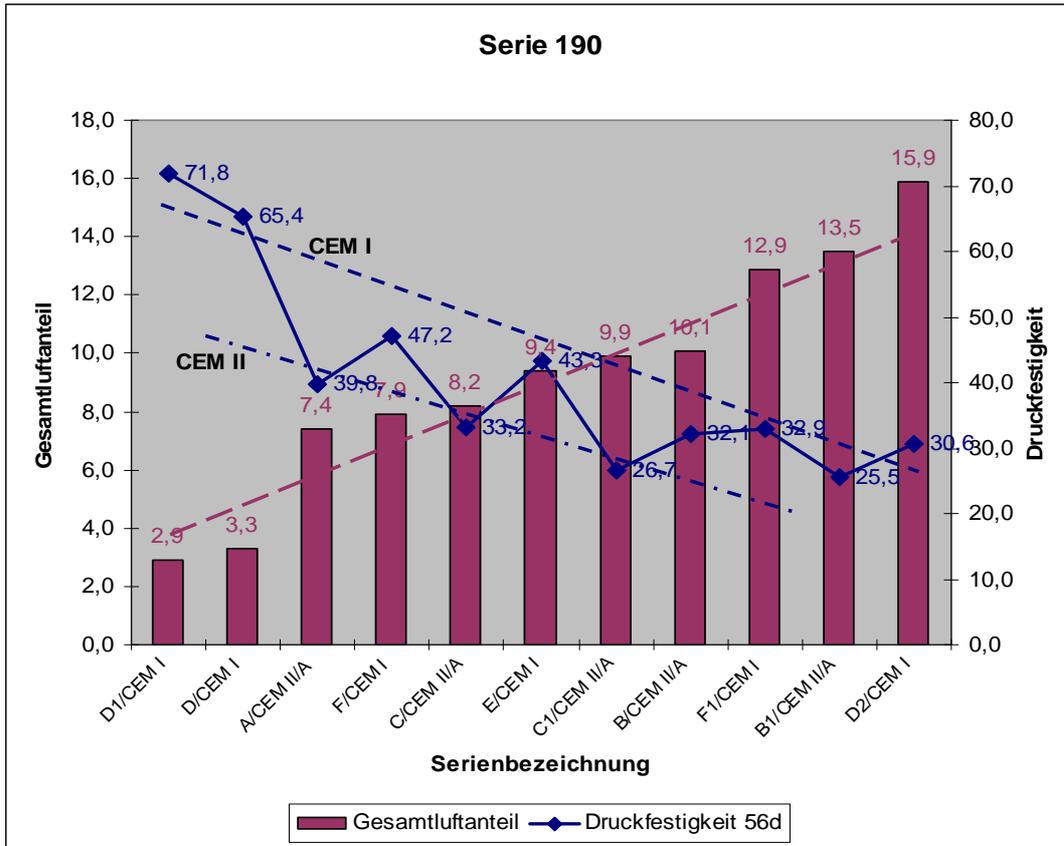


Diagramm 8a u. 8b

7. Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

In der vorliegenden Untersuchung sollte geklärt werden, welche Faktoren für die relativ geringfügige Druckfestigkeitsentwicklung verantwortlich gemacht werden müssen. Weiters war zu klären warum einige Proben Probleme hinsichtlich der Dauerhaftigkeit zeigen, und welche Maßnahmen gesetzt werden müssen um die wirtschaftlich Situation der Betonherstellung zu verbessern.

Angeliefert wurden für das vorliegende Versuchsprogramm 11 unterschiedliche Firmenprodukte, die im jeweiligen Betrieb für die Herstellung von Betonen hoher Qualität und zur Erreichung einer guten Dauerhaftigkeit Verwendung finden bzw. eingesetzt werden sollen. Bei den verwendeten Zementen handelt es sich nach Angaben der betonherstellenden Betriebe in allen Fällen um CEM II/B bzw. CEM II/A. Bei den Zuschlägen wurde das Material in den Korngruppen 0/4, 4/8, 8/16 und 16/32 verwendet. Von den 11 Serien wiesen 5 Gesteinskörnungen phyllitische (Glimmerschiefer und Phyllite) Anteile auf. Diese vorhandenen Anteile schwanken in den verschiedenen Serien.

Im Zuge des Untersuchungsprogramms wurde eine Aussage angestrebt, die es ermöglicht, über eine Beeinflussung der Menge an phyllitischer Komponente die FT-Beständigkeit zu beeinflussen. Dazu wurden Serien mit verschiedene Anteilen hergestellt und bewertet. Dabei lässt sich feststellen, dass in der Regel der Gehalt an problemhaltigen Anteilen mit Abnahme der Größe der Korngruppen zunimmt. Feinere Teile haben höhere Gehalte als gröbere. Insbesondere der Sandanteil weist hohe phyllitische Gehalte (um 50%) auf.

Bei der Bewertung der verwendeten Zemente kann nachgewiesen werden, dass diese zwar den Normenanforderungen entsprechen, aber doch unterschiedliche Zementqualität vorliegen bzw. verwendet wurden. Dieser Unterschied dürfte durch verschiedene Anteile von Zumahlstoffen, bei der Herstellung von Zement liegen. Die Betonherstellung erfolgte für alle Serien mit konstantem Zementgehalt (400kg/m^3) und einen konstanten Wassergehalt (172l/m^3 , W/B-Wert 0,43).

Eingesetzt wurde, einen vorgegeben LP-Gehalt im Frischbeton (etwa $7\% \pm 1\%$) bzw. ein konstantes Ausbreitmaß (50cm). Verwendet wurden lediglich die angelieferten Firmenprodukte.

Auch die verwendeten Zusatzmittel (LP-Mittel und Fließmittel) haben unterschiedliche Wirkungen. Teilweise werden die gewünschten bzw. benötigten Werte nicht erreicht. Dies trifft insbesondere für die Einstellung der notwendigen Feinluftqualität (Menge, Abstandsfaktor und Durchmesser) zur Erreichung der FT-Beständigkeit zu. Auch ergeben sich bei der Wirkung der eingesetzten Fließmittel in Verbindung mit den gewählten Gesteinskörnungen und den verwendeten Zementen bei einigen Serien Probleme.

7.1 Frischbetoneigenschaften

Zur Erreichung der vorgegebenen Konsistenz waren Fließmitteldosierungen von 0,35% bis 2,2% (normaler Wert um 0,8 – 1 %) notwendig. Diese sehr unterschiedlichen Dosiermengen lassen auf teilweise ungenügende Qualität des Fließmittels schließen, da sich nicht immer eine Korrelation mit den verwendeten Zuschlagstypen bzw. Zementen ableiten lässt. Dies trifft insbesondere für die Serien mit phyllitischen Anteilen zu. Vergleichbares lässt sich für die notwendige Zugabe von Luftporenmittel erkennen. Hier werden Gehalte zwischen 0,05% und 0,50% benötigt (normaler Wert um 0,2%), um den gewünschten Effekt (Gesamtluftgehalt) zu erhalten. Es ergibt sich auch hier nicht immer eine Korrelation mit Serien, welche in den Zuschläge phyllitische Anteile aufweisen. Dies lässt den Schluss zu, dass in einzelnen Werken (ca. 30% bei den Fließmitteln und ca. 50% bei den Luftporenmitteln) ungeeignete Produkte eingesetzt werden. Nicht bewertet wurde der Einfluss der verwendeten Zemente.

7.2 Festbetoneigenschaften

Die Festigkeitsentwicklungen liegen auf Grund der gewählten Feinluftanteile (7% im Frischbeton zur Erreichung der FT-Beständigkeit) bei allen Serien um ca. 20% zu tief. Nach 1 Tag wurden Werte zwischen 8 N/mm² (schlecht) und 17 N/mm² (ausreichend) erreicht. Auch die 28 Tage Festigkeiten liegen auf Grund des gewählten Zementtyps und –menge zu tief. Damit können bei fast allen Serien zur Erreichung einer guten Dauerhaftigkeit Probleme auftreten. Hier müsste generell durch eine Verbesserung (z. B. Senkung des LP-Bedarfs, Zementart) neue Wege gegangen werden.

Die erhaltenen „Schwindwerte“ liegen nach 90 Tagen zwischen 0,30‰ und 0,54‰. Diese Werte sind für den verwendeten W/B-Wert und dem verwendeten hohen Zementgehalt in mittlere Bereiche einzuordnen (günstiger Bereich). Das festgestellte Schwinden zeigt keine Abhängigkeit vom Zuschlagstyp.

Die Belastung der FT-Beständigkeit erfolgte gemäß Ö-Norm B3303 (Ausgabe 1983) und zwar an der abgezogenen Oberfläche und an einer Schnittfläche. Die Bewertung erfolgte zunächst über die Menge der gesamten Abwitterung nach einem vorgegeben Prüfzyklus bis 50 FTW. Die Endwerte ergeben sich durch das Aufsummieren von 7 Einzelbestimmungen. Dabei zeigt sich folgendes Bild: Die geschnittenen Proben ergeben in Summe im Regelfall immer höhere Werte als die abgezogene Oberfläche. Betonserien mit phyllitischen Anteilen haben bei den Betonserien mit originaler Zusammensetzung der Zuschläge immer höhere Abwitterung. Werden jedoch die Anteile der originalen Zuschläge mengenmäßig verringert und durch höherwertiges Zuschlagsmaterial ersetzt, treten die hohen Abwitterungen nicht mehr auf bzw. gehen deutlich zurück. Dies tritt auch ein, wenn andere Feinluftverteilung bzw. optimale Feinluftverteilung vorliegt. Eine Korrelation zwischen beiden Verfahren kann bei fast allen Serien nicht erkannt werden. Die unzureichenden Ergebnisse aus den

vorliegenden Versuchen sollten getrennt diskutiert werden, da sie nicht die Praxiserkenntnisse widerspiegeln.

Durch diese Situation wurden genauere Untersuchungen über die LP-Verteilung (Feinluft) in drei verschiedenen Tiefenstufen des erhärteten Betons (Würfelproben) durchgeführt. Ermittelt wurden der Gesamtluftgehalt, der Abstandsfaktor sowie der LP-Durchmesser, aller ermittelten Luftporen unter 400µm. Diese Methode stellt eine über die Norm gehende Bewertung dar, und soll eine Antwort über die Qualität (LP-Durchmesser) sowie Abstandsfaktor und Quantität (Gesamtgehalt) im Festbeton ergeben, welche einen wesentlichen Einfluss unabhängig von anderen Parametern darstellt.

Die Auswertung ergab zunächst die erwarteten hohen Gesamtluftgehalte im Festbeton. Diese liegen um 7%. Einige weisen höhere Gesamtgehalte auf (ca. 10%).

Feststellbar ist eine schlechte Verteilung der Feinluft in vielen untersuchten Prüfkörpern. Tendenziell zeigt sich eine Erhöhung der Luftgehalte im oberen bzw. eine Verringerung in unteren Teilen des Prüfkörpers. Sowohl in der oberen Zone als auch im mittleren Teil ist sehr oft eine ungünstige Ausbildung der Feinluftporendurchmessers und des Abstandsfaktors nachweisbar, obwohl auch im Festbeton ein überdurchschnittlich hoher Gesamtluftgehalt vorliegt. Dies deutet auf ungeeignete Wahl des LP-Mittels bzw. nicht ausreichender Abstimmung mit den jeweils verwendeten Zementen bzw. Zuschlägen hin.

Auffallend ist dieser Einfluss bei zwei Serien (100, 110) mit einer vergleichbaren Zusammensetzung der Zuschläge jedoch unterschiedlicher Feinluftporenverteilung und Abstandsfaktor. Beide Serien weisen phyllitische Anteile auf. Einmal ergibt sich beim Vorliegen einer vorgegebenen Feinluftausbildung (Porendurchmesser und Abstandsfaktor eine günstige FT-Beständigkeit, während die vergleichbare Serie mit ungünstiger Feinluft hinsichtlich dieser versagt.

7.3 Zusammenfassend können die Mängel einer Reihe von Betonen auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

Die Ursache der generell unzureichenden Festigkeitsentwicklung ist bei allen Proben auf einen zu hohen Luftgehalt im Festbeton zurückzuführen.

Die starke Abwitterung durch den Frost-Tausalzangriff bei einem Teil der Proben ist auf drei Einflüsse rückführbar: verwendete Zementqualität, Feinluftverteilung, phyllitischer Anteil (Teil der Zuschläge).

Falls eine oder mehrere der vorher genannten Einflussfaktoren (verwendete Zementqualität, Feinluftverteilung, phyllitischer Anteil (Teil der Zuschläge)) nicht den qualitativen Vorgaben entsprechen, hat dies negative Folgen in Bezug auf die FT- Beständigkeit des Betons. Über den Einfluss der einzelnen Einflussgrößen kann allerdings keine globale Aussage vorgenommen werden, da jede der 11 Firmen unterschiedliche Ausgangsprodukte verwendet. Eine Abstimmung hinsichtlich einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit muss für jedes Werk einzeln vorgenommen werden.

8. Anhang

8.1 Betonzusammensetzungen

000

Zuschläge	0-4 mm
Zuschläge	4-8 mm
Zuschläge	8-16 mm
Zuschläge	16-32 mm
Luftporenbildner	Micro Air 301-5
Fließmittel	Glenium 582
Zement	CEM II/A-M 42,5 R

Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
< 1%	< 1 %	< 1%	< 1%

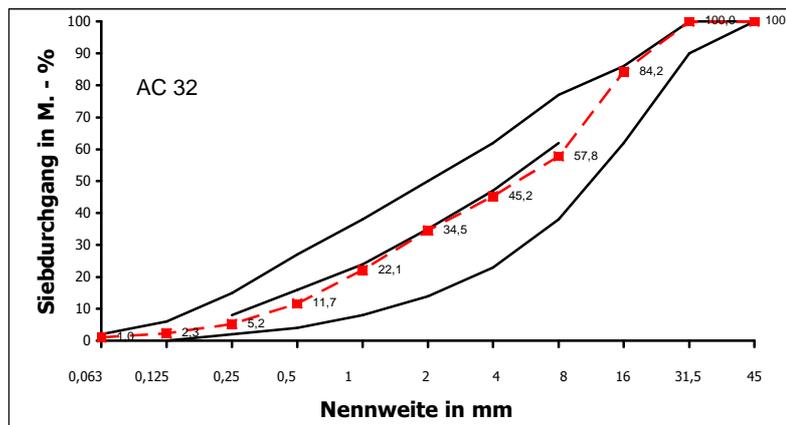
100

Nummer		
100	Zuschläge	0-4 mm
101	Zuschläge	4-8 mm
102	Zuschläge	8-16 mm
103	Zuschläge	16-32 mm
104	Luftporenbildner	Micro Air 108
105	Fließmittel	Glenium Sky 528
108	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen												
Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	2,2	5,0	11,5	25,9	49,2	76,0	98,2	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8						4,3	14,3	99,0	100,0	100,0	100,0
	8/16								21,0	99,8	100,0	100,0
	16/32									21,3	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	1	2,3	5,2	11,7	22,1	34,2	44,2	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7						0,3	1,0	6,9	7,0	7,0	7,0
8/16	28								5,9	27,9	28,0	28,0
16/32	20									4,3	20,0	20,0
(Ist-Sieblinie)	100	1,0	2,3	5,2	11,7	22,1	34,5	45,2	57,8	84,2	100,0	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
6,88	12,90	16,97	9,95

110

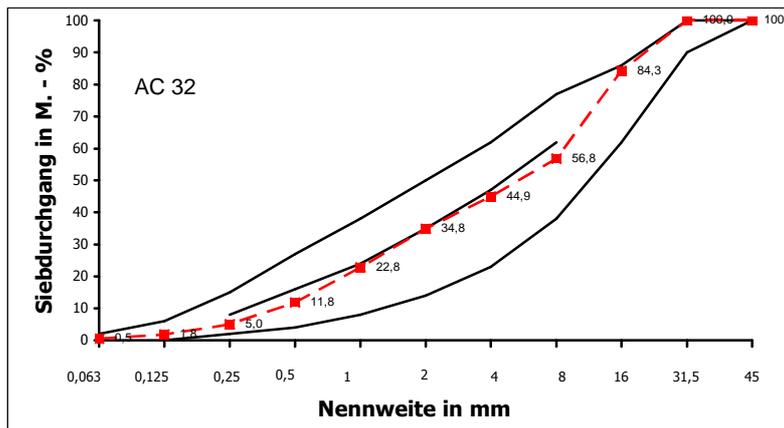
Nummer		
110	Zuschläge	0-4 mm
111	Zuschläge	4-8 mm
112	Zuschläge	8-16 mm
113	Zuschläge	16-32 mm
115	Luftporenbildner	Micro Air 107-2
116	Fließmittel	Glenium C323 Mix
119	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	1,1	4,0	11,1	26,3	50,6	77,4	98,4	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							8,9	99,3	100,0	100,0	100,0
	8/16								17,3	100,0	100,0	100,0
	16/32									21,3	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	0,5	1,8	5,0	11,8	22,8	34,8	44,3	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7							0,6	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	28								4,8	28,0	28,0	28,0
16/32	20									4,3	20,0	20,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,5	1,8	5,0	11,8	22,8	34,8	44,9	56,8	84,3	100,0	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
7,23	12,32	17,23	10,47

120

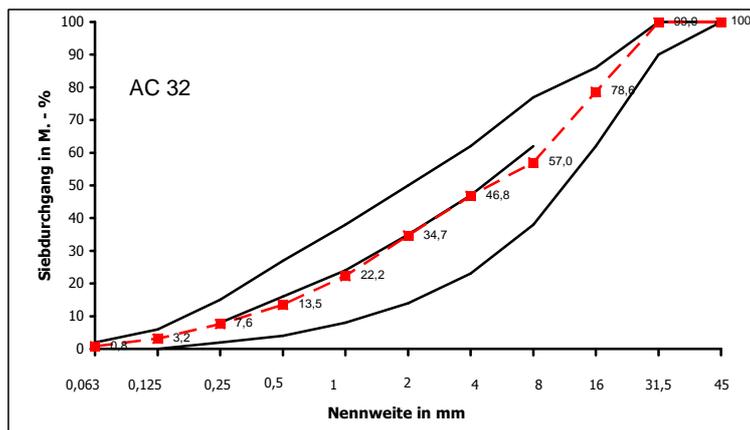
Nummer		
120	Zuschläge	0-5 mm
121	Zuschläge	3-8 mm
123	Zuschläge	8-15 mm
124	Zuschläge	15-30 mm
125	Luftporenbildner	Micro Air 107-2
126	Fließmittel	Glenium C323 Mix
129	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	1,8	7,0	16,9	30,0	49,4	77,1	99,3	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							30,2	99,5	100,0	100,0	100,0
	8/16								25,4	99,0	100,0	100,0
	16/32									24,5	99,6	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	0,8	3,2	7,6	13,5	22,2	34,7	44,7	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7							2,1	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	20								5,1	19,8	20,0	20,0
16/32	28									6,9	27,9	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,8	3,2	7,6	13,5	22,2	34,7	46,8	57,0	78,6	99,9	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
8,79	7,40	12,16	14,08

130

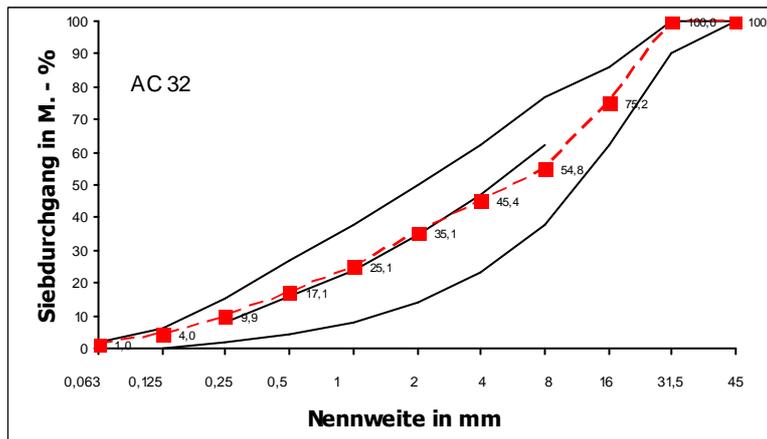
Nummer		
130	Zuschläge	0-4 mm
131	Zuschläge	4-8 mm
132	Zuschläge	8-16 mm
133	Zuschläge	16-32 mm
135	Luftporenbildner	Mapeplast PT1
136	Fließmittel	Dynamon SX14
138	Zement	CEM II/A-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	2,3	8,9	22,1	37,9	55,8	78,1	98,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							15,9	99,8	100,0	100,0	100,0
	8/16								14,1	98,7	100,0	100,0
	16/32									12,3	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	1,0	4,0	9,9	17,1	25,1	35,1	44,3	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7							1,1	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	20								2,8	19,7	20,0	20,0
16/32	28									3,5	28,0	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	1,0	4,0	9,9	17,1	25,1	35,1	45,4	54,8	75,2	100,0	100,0



Mürbkornanteile

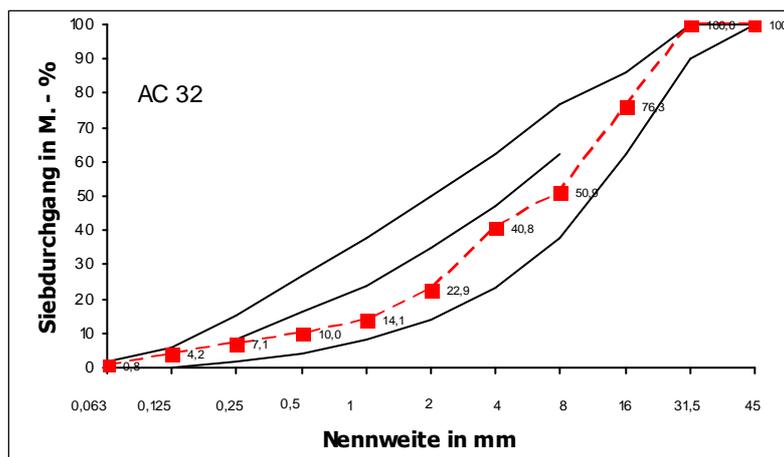
0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
17,36	18,00	14,12	14,68

140

Nummer		
140	Zuschläge	0-4 mm
141	Zuschläge	4-8 mm
142	Zuschläge	8-16 mm
143	Zuschläge	16-32 mm
144	Luftporenbildner	Micro Air 108
145	Fließmittel	Glenium Sky 528
148	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen												
Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	2,1	10,4	17,7	25,0	35,3	57,0	99,3	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8						0,7	15,1	98,8	100,0	100,0	100,0
	8/16								15,9	97,9	100,0	100,0
	16/32									17,2	100,0	100,0

Sieblinien												
Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	40	0,8	4,2	7,1	10,0	14,1	22,8	39,7	40,0	40,0	40,0	40,0
4/8	7						0,1	1,1	6,9	7,0	7,0	7,0
8/16	25								4,0	24,5	25,0	25,0
16/32	28									4,8	28,0	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,8	4,2	7,1	10,0	14,1	22,9	40,8	50,9	76,3	100,0	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
2,11	1,20	1,25	2,34

150

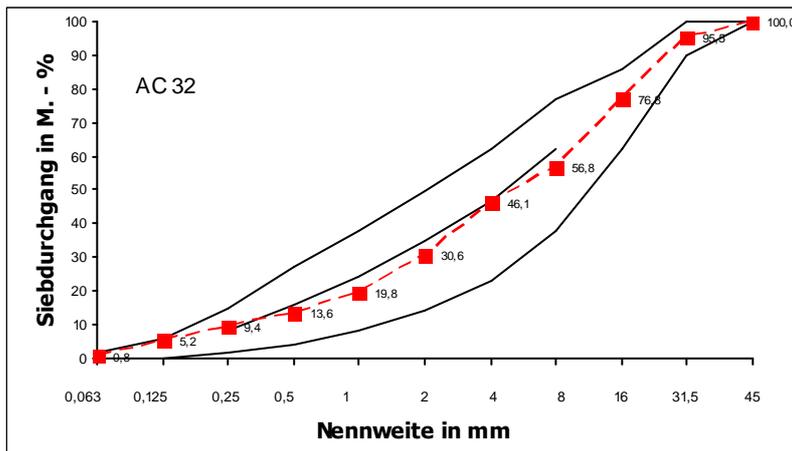
Nummer		
150	Zuschläge	0-4 mm
151	Zuschläge	4-8 mm
152	Zuschläge	8-16 mm
153	Zuschläge	16-32 mm
156	Luftporenbildner	Micro Air 200
157	Fließmittel	Pozzolith 42
159	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Sieberggebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	1,7	11,5	20,8	30,3	44,0	68,1	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							18,4	99,1	100,0	100,0	100,0
	8/16								24,1	98,6	100,0	100,0
	16/32									18,3	83,8	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	0,8	5,2	9,4	13,6	19,8	30,6	44,8	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7							1,3	6,9	7,0	7,0	7,0
8/16	20								4,8	19,7	20,0	20,0
16/32	28									5,1	23,5	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,8	5,2	9,4	13,6	19,8	30,6	46,1	56,8	76,8	95,5	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
2,31	1,11	1,05	2,56

160

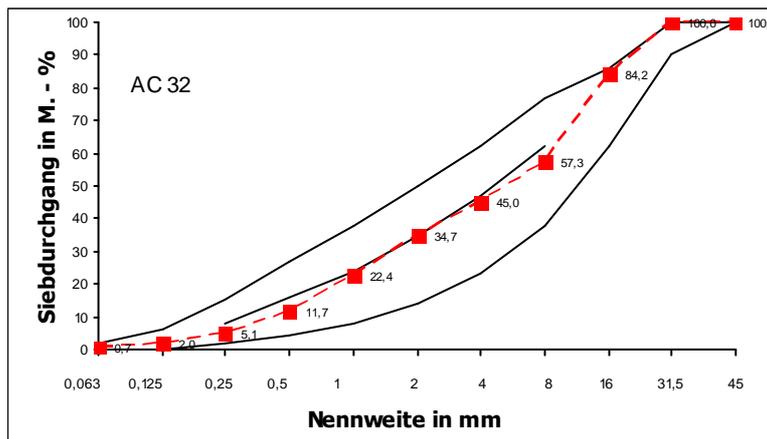
Nummer		
160	Zuschläge	0-4 mm
161	Zuschläge	4-8 mm
162	Zuschläge	8-16 mm
163	Zuschläge	16-32 mm
165	Luftporenmittel	Duriment LP 100
166	Fließmittel r	Duriment BV 4710
168	Zement	CEM II/A-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	1,1	6,5	19,4	38,3	62,5	90,8	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8						10,8	59,3	99,6	100,0	100,0	100,0
	8/16						1,0	3,9	36,3	98,1	98,1	100,0
	16/32									19,6	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	0,5	2,9	8,7	17,3	28,1	40,9	44,9	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7						0,8	4,2	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	20						0,2	0,8	7,3	19,6	19,6	20,0
16/32	28									5,5	28,0	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,5	2,9	8,7	17,3	28,1	41,8	49,8	59,2	77,1	99,6	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
0,15	0,10	1,01	4,85

170

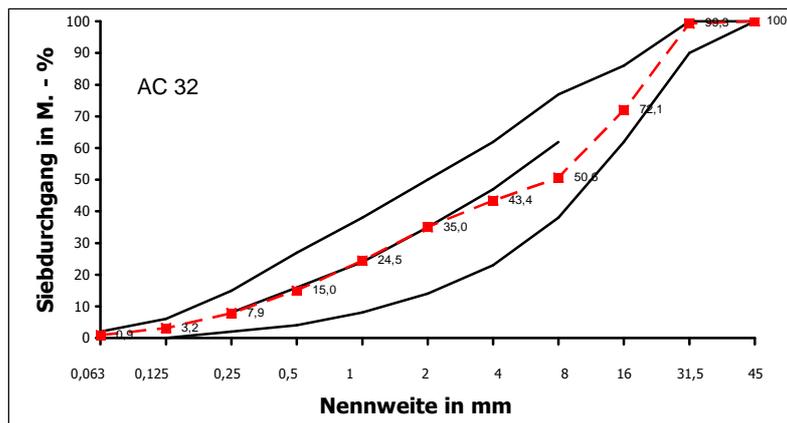
Nummer		
170	Zuschläge	0-4 mm
171	Zuschläge	4-8 mm
172	Zuschläge	8-16 mm
173	Zuschläge	16-32 mm
175	Luftporenmittel	Micro Air 108
176	Fließmittel r	Glenium Sky 528
178	Zement	CEM II/A-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	2,2	7,9	19,7	37,6	60,4	84,4	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8					4,3	17,4	51,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	8/16								18,1	98,4	100,0	100,0
	16/32									16,3	98,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	40	0,9	3,2	7,9	15,0	24,2	33,8	39,8	40,0	40,0	40,0	40,0
4/8	7				0,0	0,3	1,2	3,6	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	20								3,6	19,7	20,0	20,0
16/32	33									5,4	32,3	33,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,9	3,2	7,9	15,0	24,5	35,0	43,4	50,6	72,1	99,3	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
4,53	7,20	8,96	1,69

180

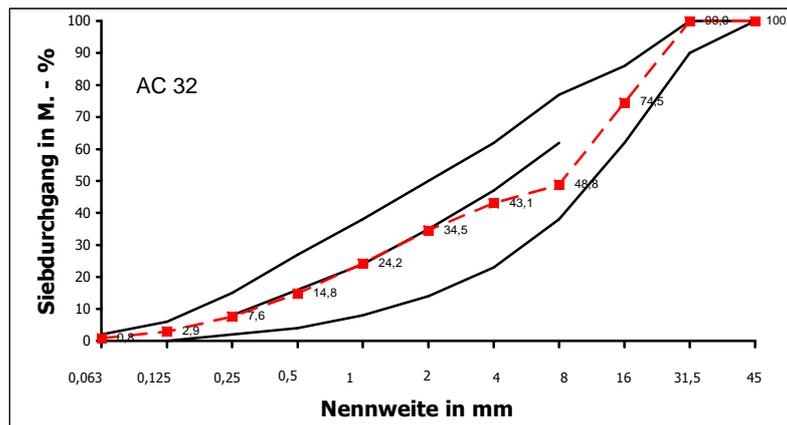
Nummer		
180	Zuschläge	0-4 mm
181	Zuschläge	4-8 mm
182	Zuschläge	8-16 mm
183	Zuschläge	16-32 mm
185	Luftporenmittel	Mapeplast PT1
186	Fließmittel r	Dynamon SX 14
188	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	1,9	7,2	19,0	36,9	60,0	83,9	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8				0,5	3,2	13,8	46,6	99,95	100,0	100,0	100,0
	8/16								9,0	99,6	100,0	100,0
	16/32									23,0	99,6	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	40	0,8	2,9	7,6	14,8	24,0	33,6	39,8	40,0	40,0	40,0	40,0
4/8	7				0,0	0,2	1,0	3,3	7,0	7,0	7,0	7,0
8/16	20								1,8	19,9	20,0	20,0
16/32	33									7,6	32,9	33,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,8	2,9	7,6	14,8	24,2	34,5	43,1	48,8	74,5	99,9	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
4,70	8,90	11,11	0,68

190

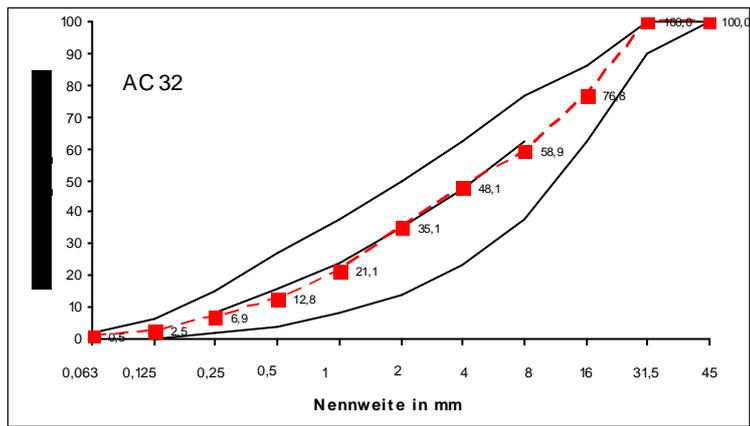
Nummer		
190	Zuschläge	0-2 mm
191	Zuschläge	1-4 mm
192	Zuschläge	2-8 mm
193	Zuschläge	4-16 mm
194	Zuschläge	16-32 mm
197	Luftporenmittel	Micro Air 107-5
198	Fließmittel r	Glenium C 323 Mix
196	Zement	CEM II/A-LL 32,5 R

Siebergergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/2	2,0	10,0	27,5	51,3	80,6	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1/4					4,9	48,5	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0
	2/8						7,2	45,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/16								34,3	100,0	100,0	100,0
	16/32									17,2	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/2	25	0,5	2,5	6,9	12,8	20,1	24,9	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
1/4	20					1,0	9,7	19,9	20,0	20,0	20,0	20,0
2/8	7						0,5	3,2	7,0	7,0	7,0	7,0
4/16	20								6,9	20,0	20,0	20,0
16/32	28									4,8	28,0	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	0,5	2,5	6,9	12,8	21,1	35,1	48,1	58,9	76,8	100,0	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
10,41	14,2	15,82	10,02

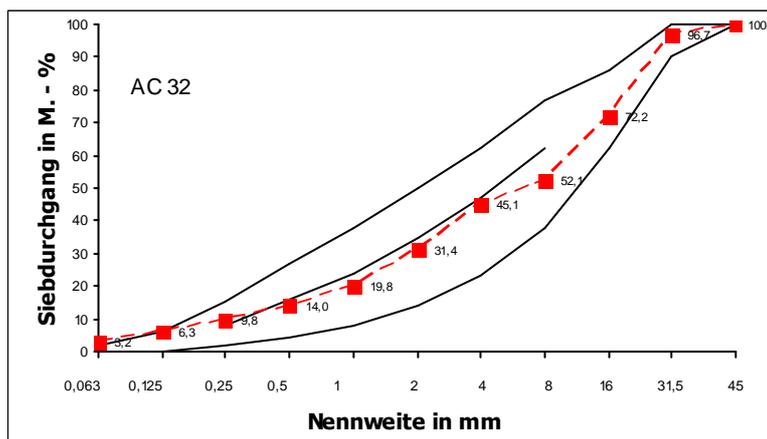
200

Nummer		
200	Zuschläge	0-4 mm
201	Zuschläge	4-8 mm
202	Zuschläge	8-16 mm
203	Zuschläge	16-32 mm
207	Luftporenmittel	Micro Air 108
208	Fließmittel	Glenium Sky 524
206	Zement	CEM II/B-LL 32,5 R

Siebergebnisse der Korngruppen / Lieferkörnungen												
Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	7,0	14,1	21,8	31,0	44,1	69,8	99,1	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							7,1	94,0	100,0	100,0	100,0
	8/16								2,8	92,3	89,1	100,0
	16/32									6,1	95,9	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	45	3,2	6,3	9,8	14,0	19,8	31,4	44,6	45,0	45,0	45,0	45,0
4/8	7							0,5	6,6	7,0	7,0	7,0
8/16	20								0,6	18,5	17,8	20,0
16/32	28									1,7	26,9	28,0
(Ist-Sieblinie)	100	3,2	6,3	9,8	14,0	19,8	31,4	45,1	52,1	72,2	96,7	100,0



Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
0,28	0,50	0,28	0,28

210

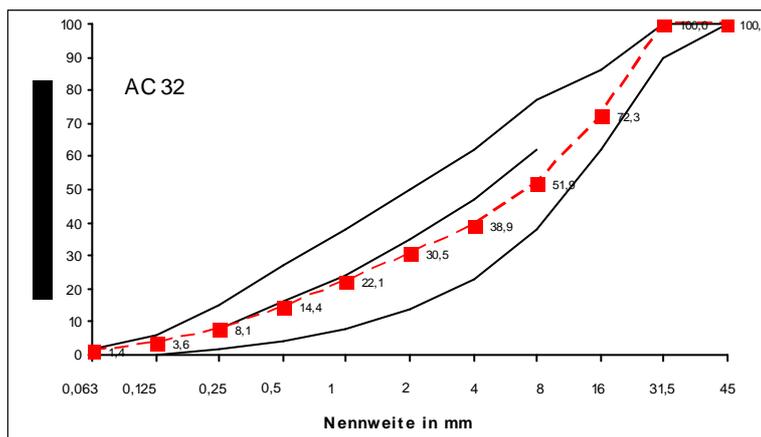
Nummer		
210	Zuschläge	0-4 mm
211	Zuschläge	4-8 mm
212	Zuschläge	8-16 mm
213	Zuschläge	16-32 mm
217	Luftporenmittel	Mapeplast PT1
218	Fließmittelr	Dynamon SX
216	Zement	CEM II/A-LL 32,5 R

Siebergaben der Korngruppen / Lieferkörnungen

Zuschlagart	Korngruppe mm	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
	0/4	3,6	9,5	21,4	38,0	58,1	80,4	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	4/8							16,0	99,9	100,0	100,0	100,0
	8/16								24,7	99,0	100,0	100,0
	16/32									8,6	100,0	100,0

Sieblinien

Korngruppe mm	Anteil %	Durchgang in Masse - % durch die Siebe										
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	45
0/4	38	1,4	3,6	8,1	14,4	22,1	30,5	37,6	38,0	38,0	38,0	38,0
4/8	8							1,3	8,0	8,0	8,0	8,0
8/16	24								5,9	23,8	24,0	24,0
16/32	30									2,6	30,0	30,0
(Ist-Sieblinie)	100	1,4	3,6	8,1	14,4	22,1	30,5	38,9	51,9	72,3	100,0	100,0



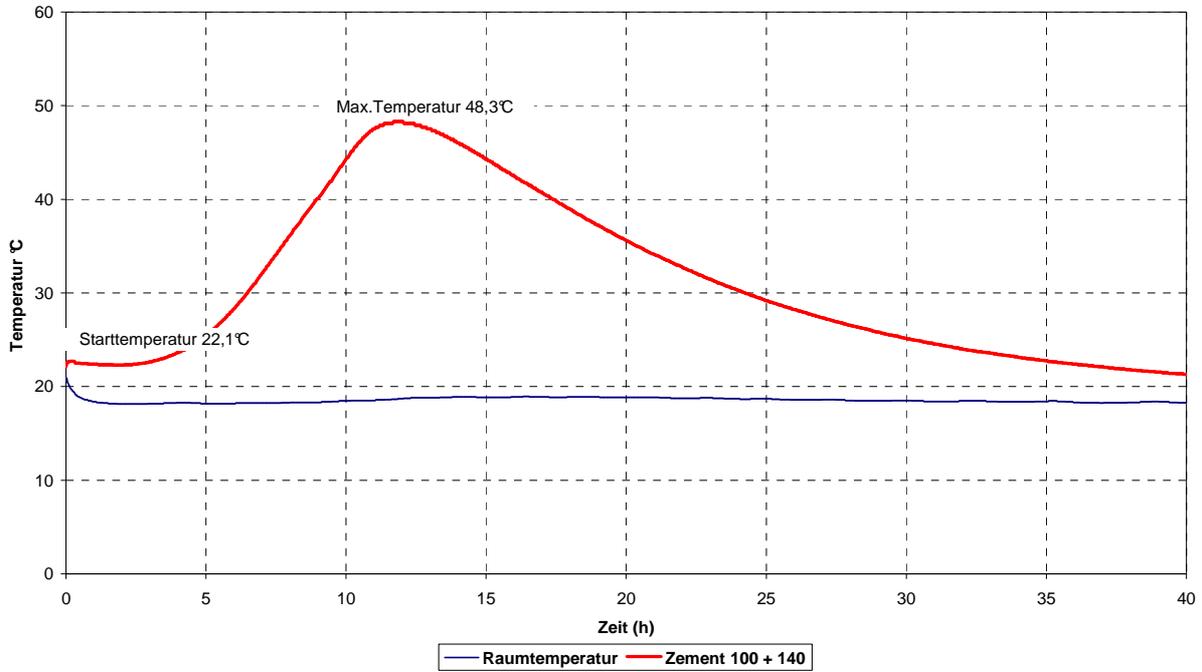
Mürbkornanteile

0-4 mm [%]	4-8 mm [%]	8-16 mm [%]	16-32 mm [%]
6,60	13,70	11,23	13,00

8.2 Temperaturentwicklung

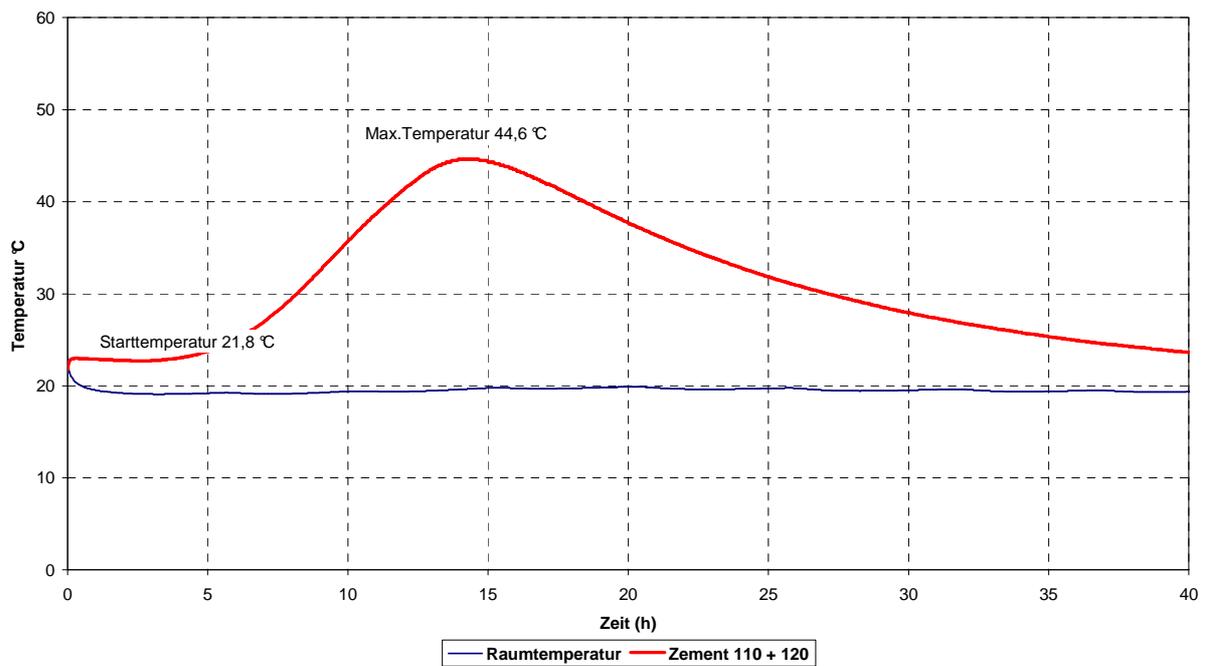
Zement Serie 100 und 140

Hydratationswärme Schnellbestimmung



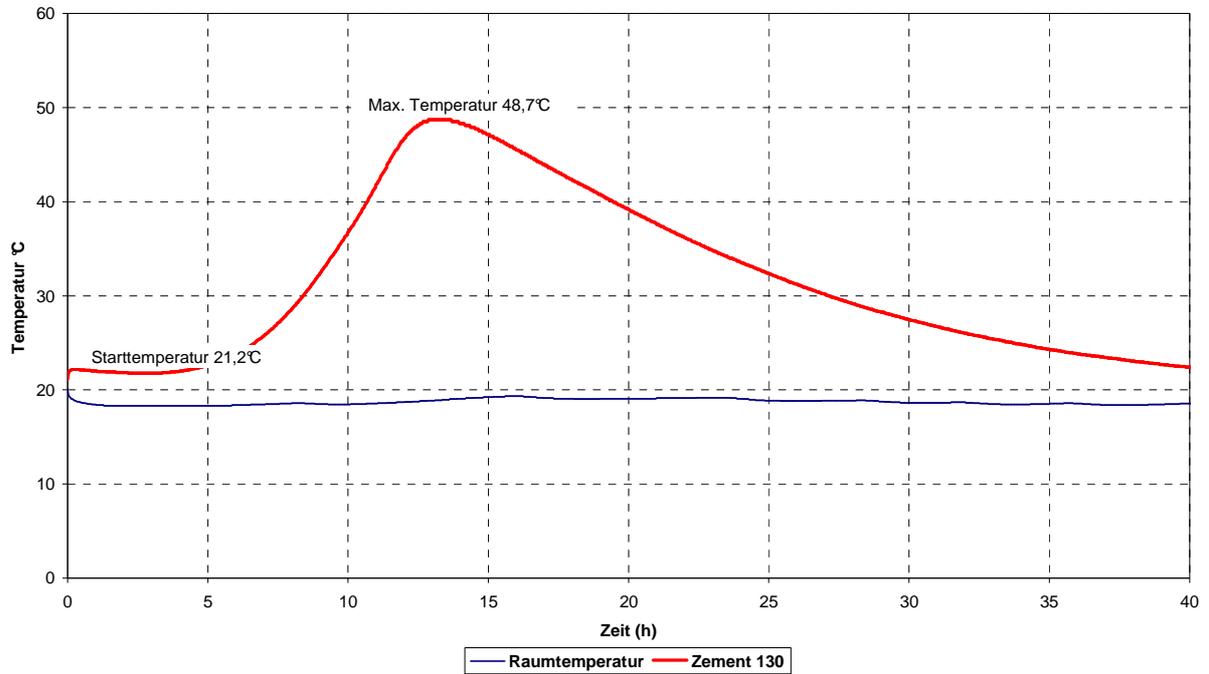
Zement Serie 110 und 120

Hydratationswärme Schnellbestimmung



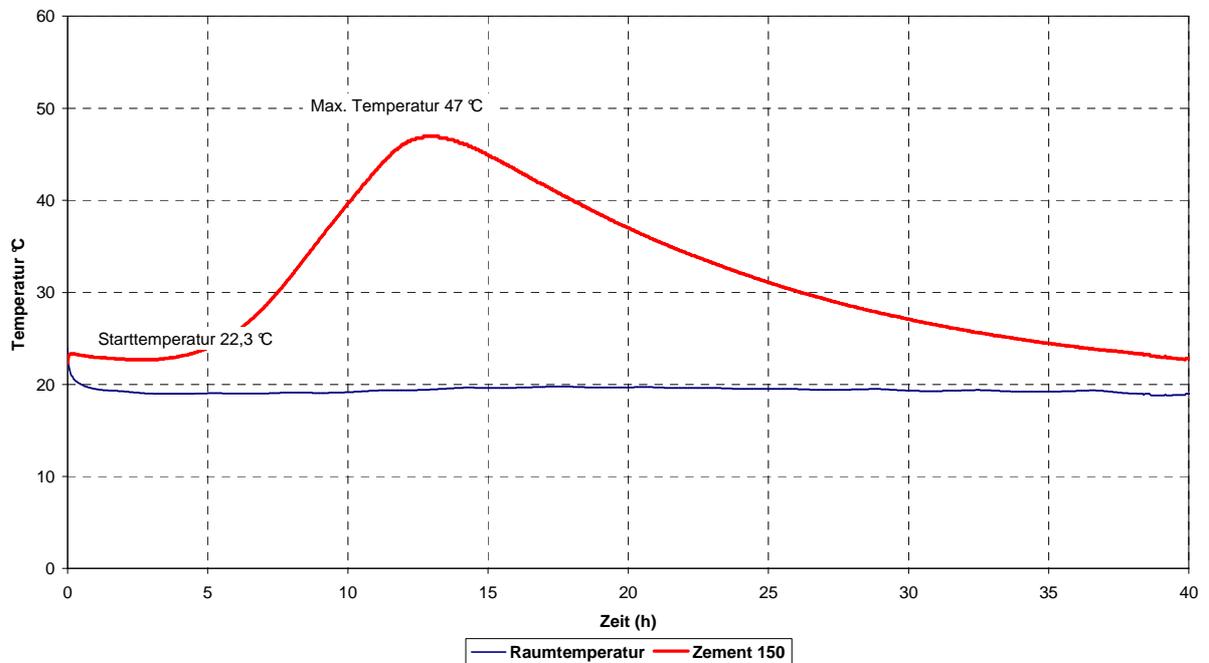
Zement Serie 130

Hydratationswärme Schnellbestimmung



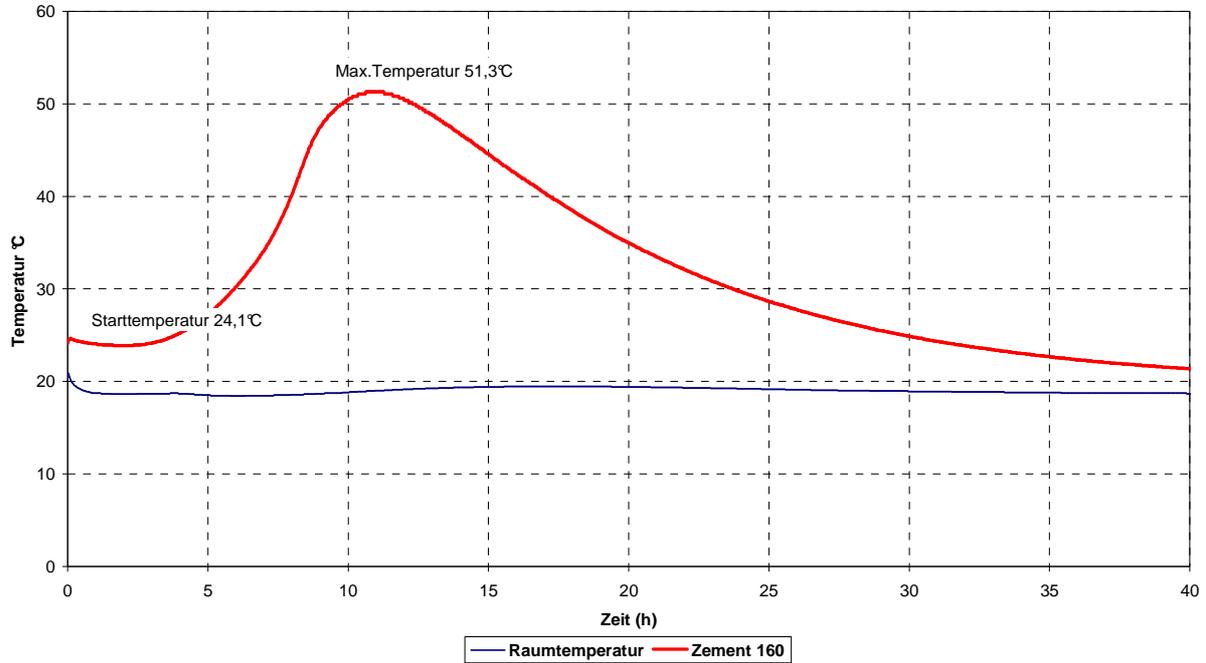
Zement Serie 150

Hydratationswärme Schnellbestimmung



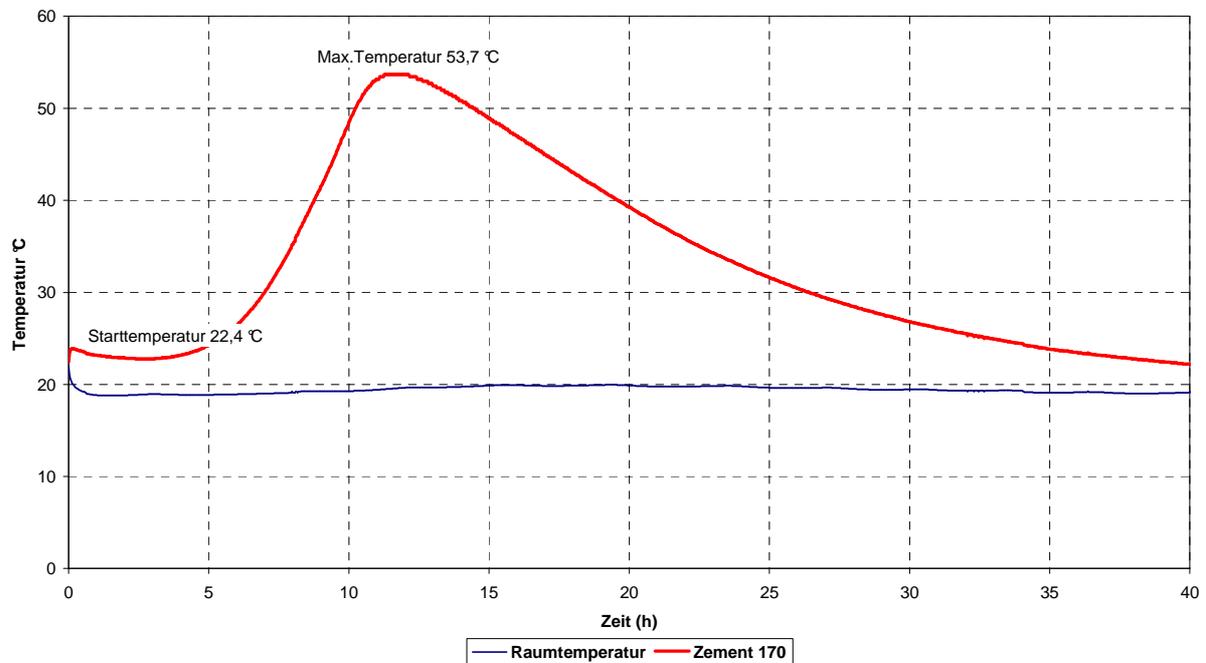
Zement Serie 160

Hydratationswärme Schnellbestimmung



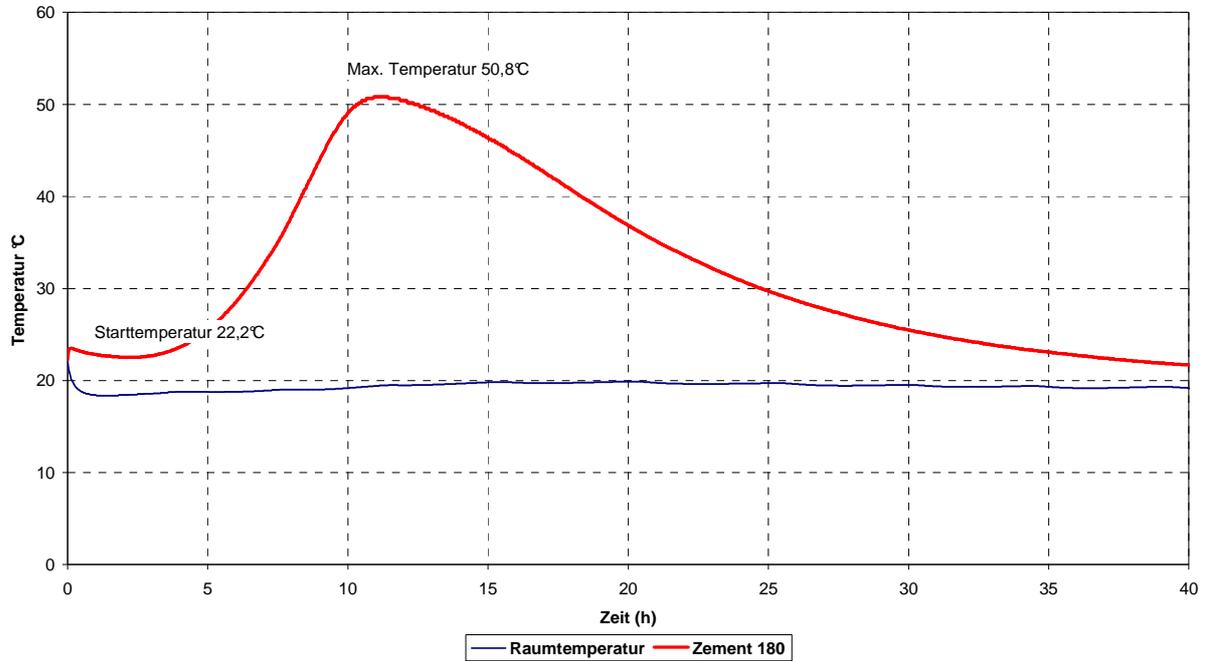
Zement Serie 170

Hydratationswärme Schnellbestimmung



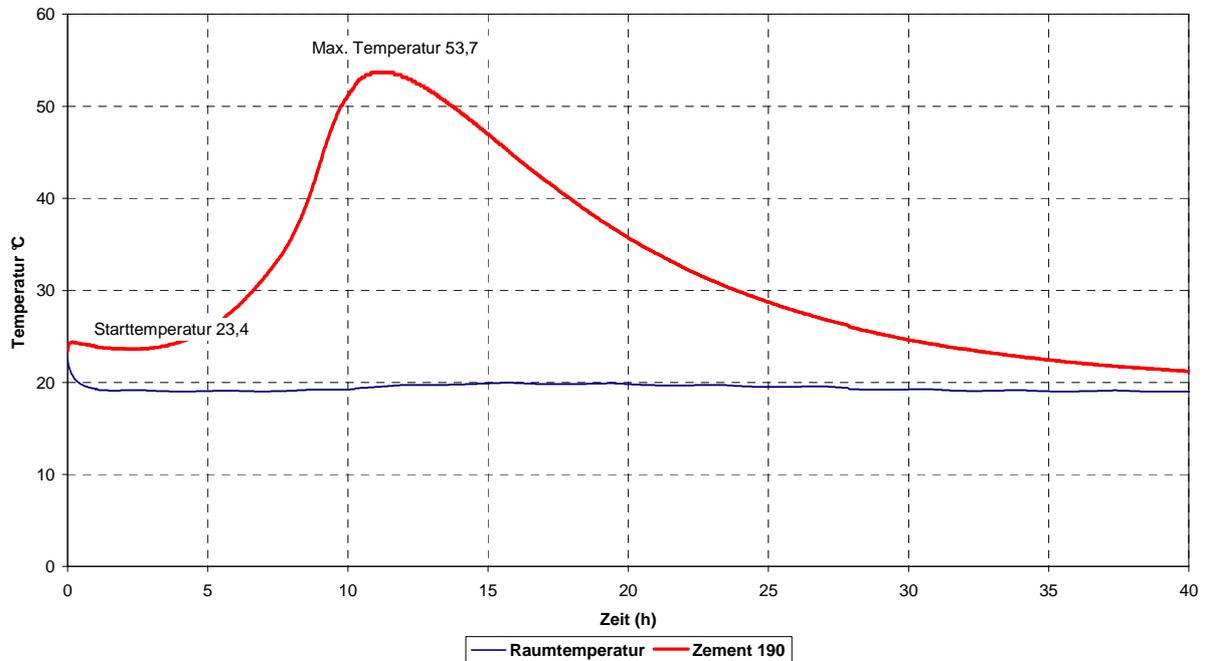
Zement Serie 180

Hydratationswärme Schnellbestimmung



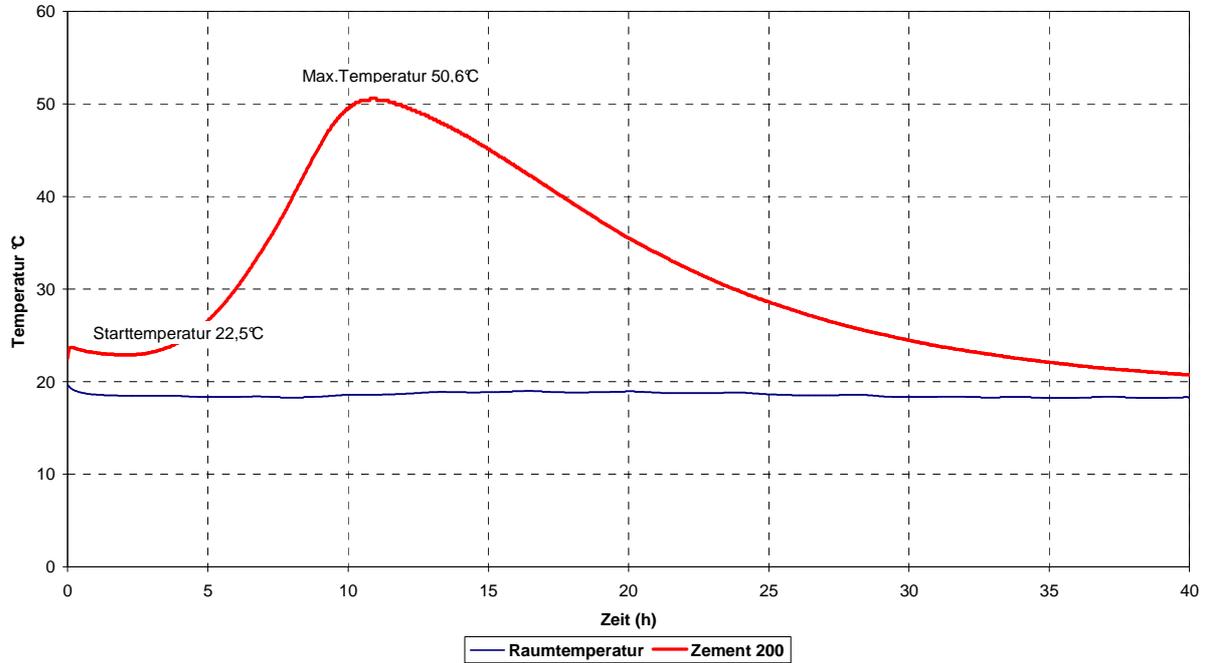
Zement Serie 190

Hydratationswärme Schnellbestimmung



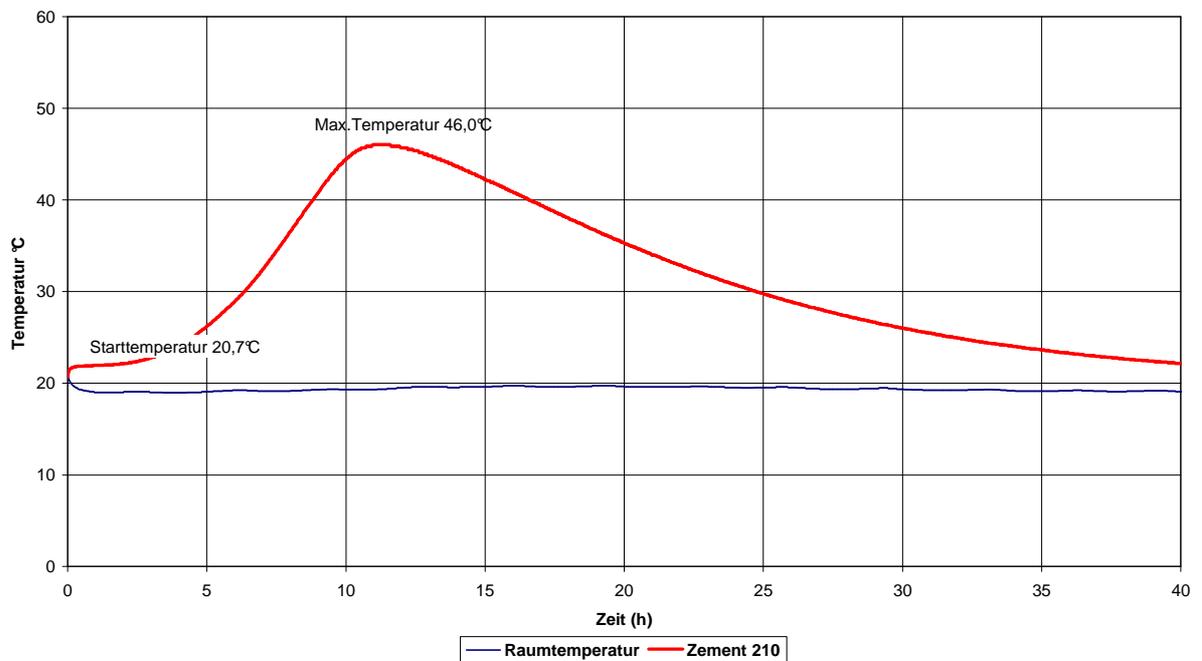
Zement Serie 200

Hydratationswärme Schnellbestimmung



Zement Serie 210

Hydratationswärme Schnellbestimmung



8.3 Wasserundurchlässigkeitsprüfung (nach ÖNORM EN 12390-8)

Serie 100



Wassereindringtiefe (max)
30 mm



Wassereindringtiefe (max)
18 mm

Serie 110



Wassereindringtiefe (max)
25 mm



Wassereindringtiefe (max)
32 mm

Serie 120



Wassereindringtiefe (max)
27 mm



Wassereindringtiefe (max)
22 mm

Serie 130



Wassereindringtiefe (max)
30 mm



Wassereindringtiefe (max)
28 mm

Serie 140



Wassereindringtiefe (max)
16 mm



Wassereindringtiefe (max)
16 mm

Serie 150



Wassereindringtiefe (max)
22 mm



Wassereindringtiefe (max)
32 mm

Serie 160



Wassereindringtiefe (max)
15 mm



Wassereindringtiefe (max)
19 mm

Serie 170



Wassereindringtiefe (max)
20 mm



Wassereindringtiefe (max)
18 mm

Serie 180



Wassereindringtiefe (max)
31 mm



Wassereindringtiefe (max)
24 mm

Serie 190



Wassereindringtiefe (max)
25 mm



Wassereindringtiefe (max)
35 mm

Serie 200



Wassereindringtiefe (max)
15 mm



Wassereindringtiefe (max)
24 mm

Serie 210



Wassereindringtiefe (max)
30 mm



Wassereindringtiefe (max)
21 mm

Serie 000



Wassereindringtiefe (max)
22 mm



Wassereindringtiefe (max)
18 mm

8.4 Bestimmung des Luftporengehalts und des Abstandfaktors

Betonrezeptur:	Probe:	120	140	100	110	200	210	150	000	130	160	170	190	180
Kennwerte:		Oben												
Zementstein														
spez. Oberfl.	Vol-%	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Porenanteil	cm ² /cm ³	200,85	347,10	294,48	193,52	373,61	227,18	364,90	267,57	181,99	121,09	328,46	120,98	237,17
	%	7,63	7,72	8,11	11,83	8,51	10,26	7,15	7,37	14,15	12,33	9,70	7,82	8,10
	mm	0,207	0,119	0,137	0,176	0,106	0,160	0,117	0,158	0,128	0,276	0,113	0,340	0,170
	mm	0,299	0,173	0,204	0,310	0,161	0,264	0,164	0,224	0,330	0,496	0,183	0,496	0,253

Betonrezeptur:	Probe:	120	140	100	110	200	210	150	0	130	160	170	190	180
Kennwerte:		Mitte												
Zementstein														
spez. Oberfl.	Vol-%	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Porenanteil	cm ² /cm ³	208,59	263,96	368,83	159,26	365,68	261,50	370,04	208,30	221,74	127,04	377,74	93,00	206,69
	%	5,97	7,85	4,19	14,08	5,75	8,27	6,78	6,60	9,16	8,23	5,46	9,95	7,53
	mm	0,223	0,155	0,148	0,198	0,129	0,153	0,119	0,213	0,172	0,316	0,128	0,396	0,202
	mm	0,288	0,227	0,163	0,377	0,164	0,229	0,162	0,288	0,271	0,472	0,159	0,645	0,290

Betonrezeptur:	Probe:	120	140	100	110	200	210	150	0	130	160	170	190	180
Kennwerte:		Unten												
Zementstein														
spez. Oberfl.	Vol-%	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Porenanteil	cm ² /cm ³	236,89	361,53	316,00	198,07	426,43	242,66	379,61	283,30	261,99	142,08	334,76	173,52	292,18
	%	5,88	3,44	4,89	7,24	2,83	6,36	6,01	2,36	6,00	7,36	7,01	4,36	3,86
	mm	0,198	0,165	0,161	0,215	0,153	0,186	0,122	0,250	0,177	0,297	0,129	0,309	0,194
	mm	0,253	0,166	0,190	0,303	0,141	0,247	0,158	0,212	0,229	0,422	0,179	0,346	0,205

Betonrezeptur:	Probe:	120	140	100	110	200	210	150	0	130	160	170	190	180
Kennwerte:		Mittelwert												
Zementstein														
spez. Oberfl.	Vol-%	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Porenanteil	cm ² /cm ³	214,10	315,39	318,70	179,97	379,68	242,51	371,08	245,88	202,16	128,38	342,59	118,75	236,29
	%	6,50	6,34	5,73	11,05	5,70	8,30	6,65	5,44	9,77	9,31	7,39	7,38	6,50
	mm	0,209	0,146	0,149	0,196	0,129	0,166	0,119	0,207	0,159	0,296	0,123	0,348	0,189

Anlage 4: Bestimmung des Luftporengehalts und des Abstandfaktors

8.5 Abbildungen der Proben

Untersuchungen Frostausalzbeständigkeit

Serie 000



Probe: 000 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 51,37g/m²
gering



Probe: 000-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 136,18 g/m²
gering

Serie 100



Probe: 100 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 850,89 g/m²
sehr hoch

Probe: 100-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 1231,95 g/m²
sehr hoch

Serie 110



Probe: 110 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 6348,41 g/m²
sehr hoch

Probe: 110-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 6760,11 g/m²
sehr hoch

Serie 120



Probe: 120 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 1702,96 g/m²
sehr hoch



Probe: 120-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 3332,75 g/m²
sehr hoch

Serie 130



Probe: 130 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 5134,92 g/m²
sehr hoch



Probe: 130-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 1436,48 g/m²
sehr hoch

Serie 140



Probe: 140 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 347,08 g/m²
hoch



Probe: 140-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 153,83 g/m²
gering

Serie 150



Probe: 150 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 811,24 g/m²
sehr hoch



Probe: 150-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 319,60 g/m²
gering

Serie 160



Probe: 160 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 274,64 g/m²
gering



Probe: 160-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 164,92 g/m²
gering

Serie 170



Probe: 170 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 82,51 g/m²
gering



Probe: 170-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 1055,89 g/m²
sehr hoch

Serie 180



Probe: 180 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 376,53 g/m²
hoch



Probe: 180-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 973,37 g/m²
sehr hoch

Serie 190



Probe: 190 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 336,69 g/m²
hoch



Probe: 190-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 6310 g/m²
sehr hoch

Serie 200



Probe: 200 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 115,53 g/m²
gering



Probe: 200-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 463,94 g/m²
hoch ?

Serie 210



Probe: 210 / abgezogene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 74,59 g/m²
gering



Probe: 210-N / geschnittene Fläche
Abwitterung Summe 50 FTW = 415,98 g/m²
hoch

8.6 Mikroskopische Untersuchungen

Dr. Eckart Werthmann

*Allgemein beeideter gerichtlich zertifizierter Sachverständiger
für Bauchemie, Stahlbetonbau und Betonbau
A-6423 Mötz, Jecheleweg 3
Tel. und Fax : 05263 5514 HANDY 0699 12508497
eckart.werthmann@utanet.at*

Mötz, am 5.Feb.2007

**An das
Anwendungszentrum Bautechnologie GmbH
Universität Innsbruck
z. Hd. Herrn Univ. Prof. Ing. Dr. Walter Lukas
Technikerstr. 13
6020 Innsbruck**

Mikroskopische Untersuchungen an Abwitterungen von Frost- Tausalz beanspruchten Betonkörpern.

Vorbemerkungen:

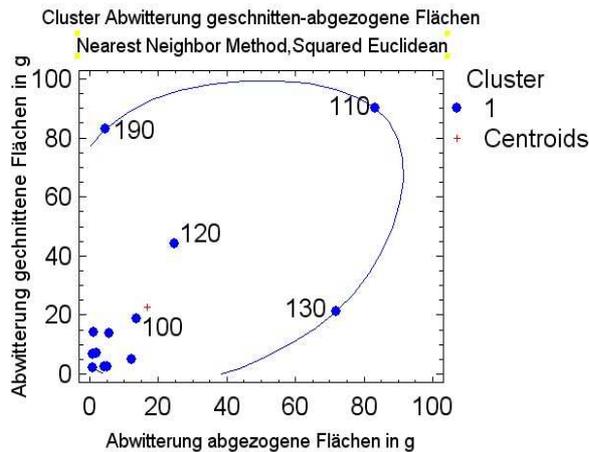
Im Zuge der Untersuchungen von Betonprüfkörpern, welche aus Zuschlägen von Südtirol hergestellt und an denen Bewitterungen an der abgezogenen und an der geschnittenen Fläche durchgeführt worden sind, wurden an den Abwitterungen mikroskopische Untersuchungen durchgeführt.

Von Interesse war vor allem, welche Art von Zuschlagstoffen die größten Abwitterungen verursachen. Es kamen dabei in den Betonprüfkörpern Karbonate, mergelige Kalke, Granite, Gneise serizitische chloritische Quarzite bzw. Schiefer (Phyllite) und Gneise dabei zum Einsatz.

Es wurden dabei die Abwitterungen nach dem 5. 15. und 25. Frosttauwechsel gesammelt, getrocknet und davon Pastillen mit Epoxydharz verpresst und daraus Dünnschliffe hergestellt, welche zur mikroskopisch - petrographischen Beurteilung dienen. Eine röntgendiffraktometrische Untersuchung wäre nicht Ziel führend, da damit nur Mineralphasen festgestellt werden können und nicht Gesteinsarten.

Von den 14 Betonmischungen wurden jene 5 Betonmischungen zur Mikroskopie ausgewählt, welche am meisten Abwitterungen zeigten.

Nachfolgend sind die Abwitterungen als Summe aus dem 5, 15, und 25. Frosttauwechsel an geschnittenen und abgezogenen Flächen in einem Diagramm gegenübergestellt.



Das Cluster- Diagramm zeigt, dass im Allgemeinen ein Zusammenhang zwischen Abwitterung an den abgezogenen Flächen und an den geschnittenen Flächen besteht, dass aber 2 Ausnahmen bestehen. Die Probe 130 zeigt eine wesentlich höhere Abwitterung bei der abgezogenen Fläche auf als bei der geschnittenen Fläche, die Probe 190 weist den umgekehrten Fall auf. Bei Betrachtung der Gesamtheit der Abwitterungen sind aber die Proben 110, 190, 120 und 130 jene Betonmischungen, welche die stärksten Abwitterungen zeigen. Daher wurden diese auch zur mikroskopischen Untersuchung ausgewählt. Zum Vergleich wurde auch eine Mischung mit wenig Abwitterung zur mikroskopischen Untersuchung mit einbezogen, die im Bereich des Mittelwertes aller Proben liegt (Mischung mit der Bezeichnung 100).

Mikroskopie:

Es ist signifikant, dass bei den 4 Betonmischungen (110, 190, 130 und 120), welche am meisten Abwitterung zeigen, vorwiegend nur eine Gesteinsart vorherrscht. Dabei handelt es sich um einen stark geschieferten von Glimmer und Schichtsilikaten nach der Schieferung durchgezogenen Quarzglimmerschiefer bzw. Phyllit. Teilweise sind diese abgewitterten Gesteinskörnungen von Zementstein umhüllt, wobei im Zementstein noch sehr gut die künstlichen Luftporen zu sehen sind. Das abgewitterte Gestein zeigt vor allem bei der Mischung 110 eine sehr intensive Verwachsung von Glimmer, Chlorit und Serizit, wobei diese oft nur eine Größe von 30-50 µm erreichen. Die Quarzkristalle bzw. Feldspäte (Mikroklin) sind teilweise in der Glimmermasse eingebettet.

Bei den Betonproben 190, 130 und 120 handelt es sich im Prinzip auch um glimmerreiche Quarzite, jedoch sind die Glimmer nicht mehr so eng verwachsen wie dies die Probe 110 zeigt. Bei der Probe 120 ist neben den glimmerreichen Quarziten auch in geringer Menge fein bis mittelkristallines Kalziumkarbonat vorhanden, aber nur untergeordnet.

Bei der Probe 100 überwiegt schon deutlich der Zementstein, wobei im Zementstein meist wieder glimmerreiche Phyllite eingeschlossen sind. In geringer Menge liegen Karbonate als Abwitterung vor.

Die Abwitterung bei der Probe 100 zeigt aber im Gegensatz zu den Proben 110, 190, 130 und 120, dass der Zementstein den abgewitterten Zuschlagstoff umhüllt, so dass hier vorwiegend es zu einer Abwitterung der Zementmatrix kam.

Allgemein zeigen die Mischungen von Graniten und wenig geschichteten Gneisen und die Karbonatzuschlagstoffe eine gute Frosttausalzbeständigkeit. Diese Mischungen wurden aber nicht in die mikroskopische Untersuchung mit inkludiert.

Die oben angeführte Beschreibung aus der mikroskopischen Untersuchung der abgewitterten Teile gibt keine quantitative Aussage, sondern sollte aufzeigen, welche Gesteinsart sich am ungünstigsten bei der Frosttausalzbeanspruchung verhält.

Zusammenfassung:

Aus den untersuchten Abwitterungen der Betonmischungen, welche die stärksten Abwitterungen zeigten, lässt sich ableiten, dass glimmerreiche Quarzite, glimmerreiche Phyllite und glimmerreiche Schiefer am anfälligsten bei der Frosttausalzbeständigkeit sind. Desto feinkristalliner die Verwachsung der Glimmer und Schichtsilikate sind, desto höher ist die Abwitterung.

Abbildungen:

Abb.1, Abb.2 und Abb.3: Es dominierten feinkristallin verwachsene serizitische Quarzite bzw. Quarzphyllite (Betonmischung 110).

Abb.4 und 5: Es herrschen als Abwitterung fein- bis grobkristallin verwachsene Glimmerschiefer bzw. Quarzphyllite vor (Betonmischung 190 und 130).

Abb. 6: Neben glimmerreichen Quarziten kommt auch untergeordnet karbonatischer Zuschlagstoff vor (Betonmischung 120).

Abb7 und 8: In der Betonmischung 100 überwiegt als Abwitterung der Zementstein .

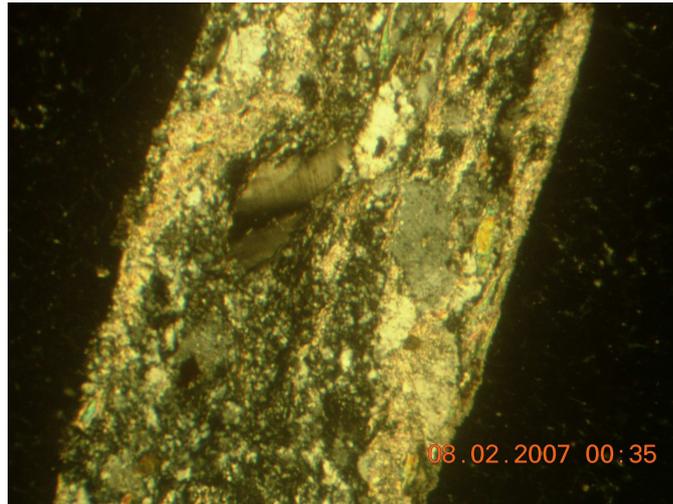


Abb.1 (100x gekreuzre Niccols)

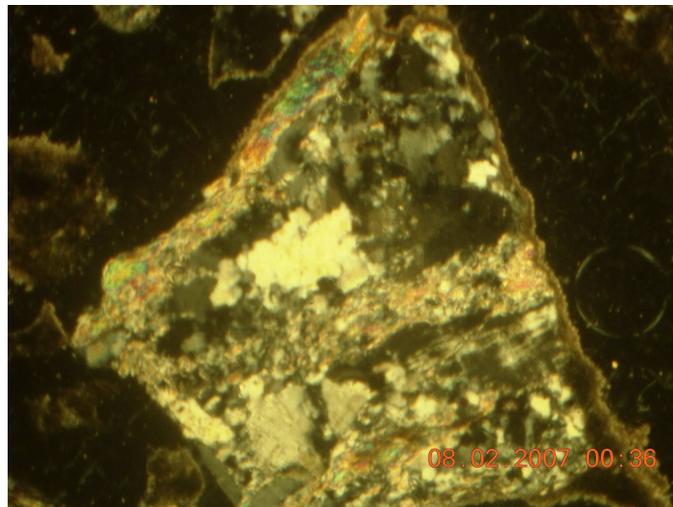


Abb.2 (100x gekreuzre Niccols)

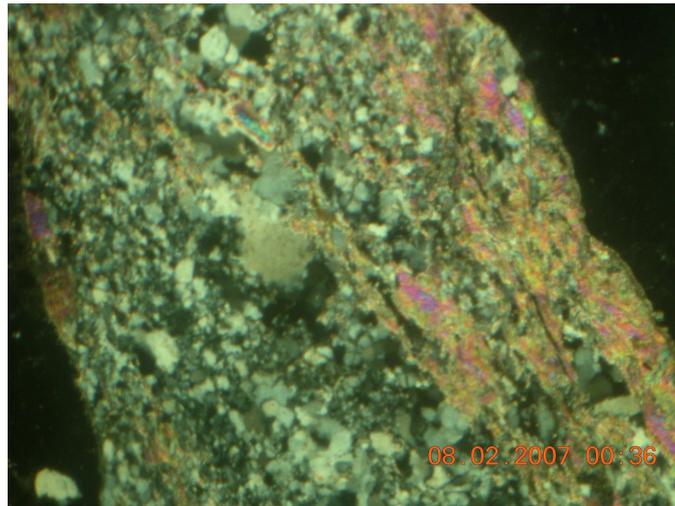


Abb.3 (100x gekreuzte Niccols)

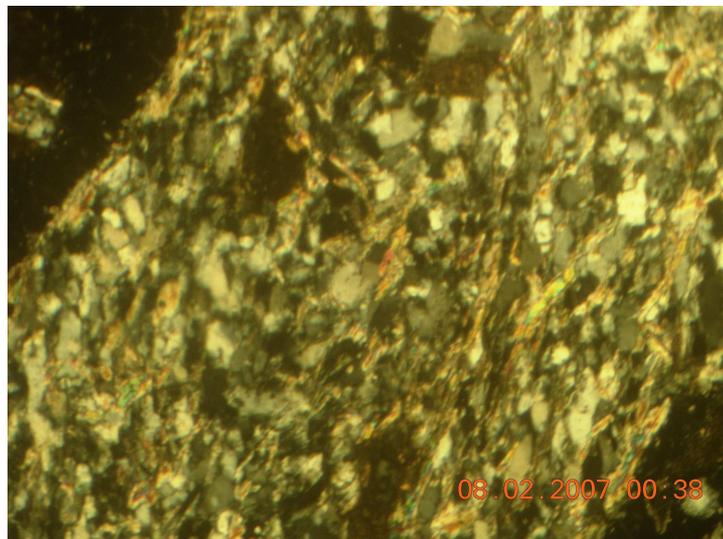


Abb.4 (100x gekreuzte Niccols)

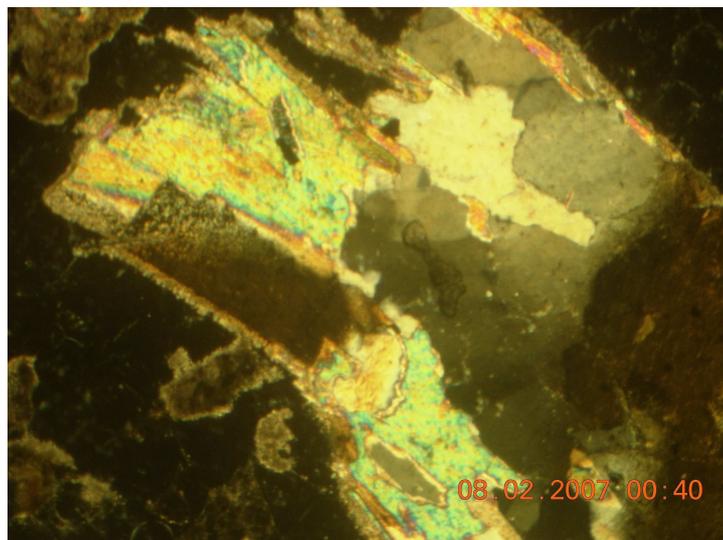


Abb.5 (100x gekreuzte Niccols)

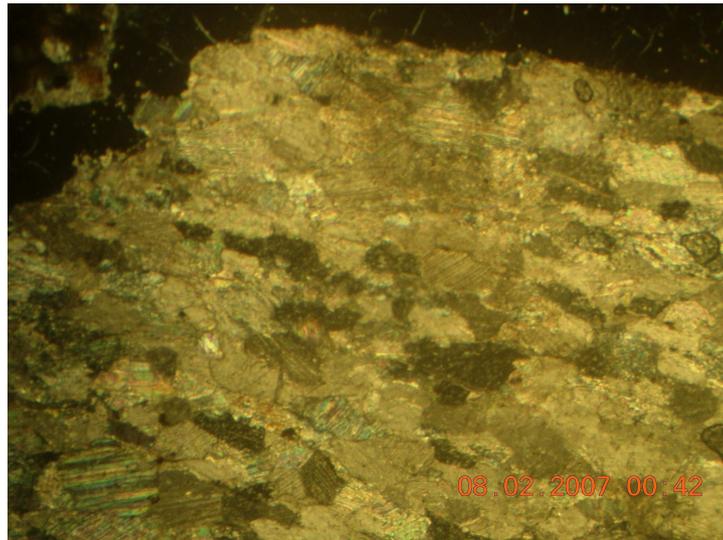


Abb.6 100 fache Vergrößerung, gekreuzte Niccols)

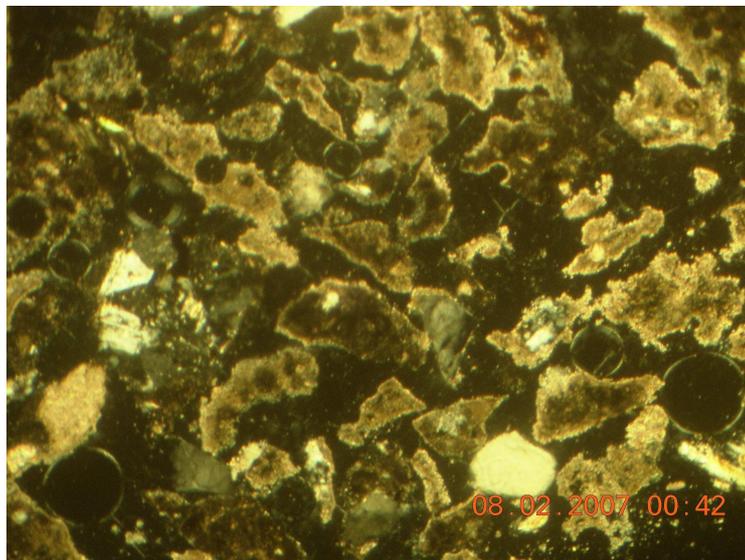


Abb.7(100- fache Vergrößerung, gekreuzte Niccols)

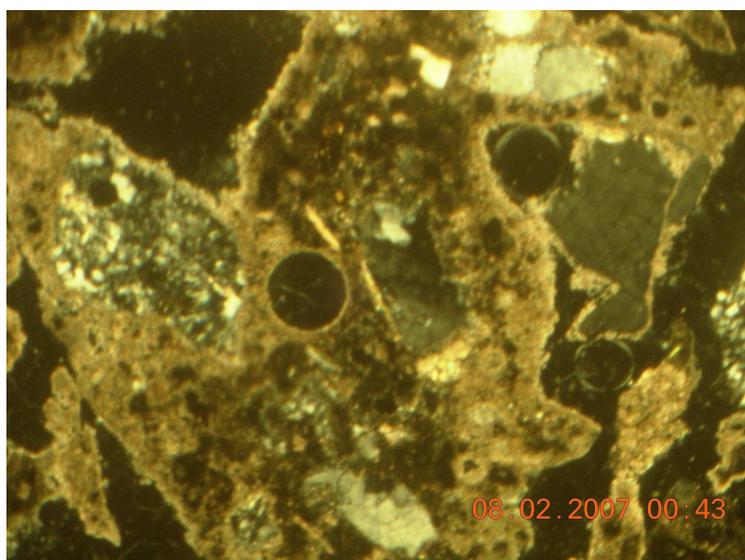


Abb.8 (100- fache vergrößerung , gekreuzte Niccols)

8.7 Petrographische Bewertung der verwendeten Zuschlagtypen

Prämisse

Die Proben wurden makroskopisch untersucht: Die Korngrößen > 4mm wurden händisch separiert und die Anteile quantitativ bestimmt. Daher liegen die Fehlergrenzen bei $\pm 3\%$, was deutlich unter der Schwankungsbreite der natürlichen Proben liegt. Die Korngrößen < 4mm wurden geschätzt.

Hier ist zu bemerken, dass unter dieser Korngröße viele Gesteine soweit zerlegt sind, dass lediglich Einzelminerale vorliegen, die nicht mehr eindeutig einem Gesteinstyp zugeordnet werden können.

Folgende Gesteinsklassen wurden aufgrund ähnlicher Gefügemerkmale (z.B. isometrische Kornform, längliche oder plattige Kornform, raue oder sehr glatte Oberfläche etc.) unterschieden:

Granite (und Orthogneise) mit mehr oder weniger isometrischer Kornform, hoher Härte keine oder kaum gerichtete Spaltflächen (Schieferung)

Glimmerschiefer + Gneise (Paragneise) mit mehr oder weniger geplätteter oder länglicher Kornform, mittlerer Härte und gerichteter Spaltflächen (Schieferung)

Phyllite mit stark planarer Kornform und deutlichen sehr engständigen Spaltflächen (Schieferung). Die Unterscheidung phyllitische Glimmerschiefer und echte Phyllite ist nicht immer möglich.

Dolomit (untergeordnet auch Kalk) mit mehr oder weniger isometrischer Kornform und geringer Härte ohne Spaltflächen. Die Unterscheidung zwischen Dolomit und Kalk mittels Salzsäuretest wurden nicht durchgeführt, da nicht verlangt

Quarzporphyr mit mehr oder weniger isometrischer Kornform und hoher Härte ohne Spaltflächen.

Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
100	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit 5 %	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit 5 %	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit 5 %	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit < 5 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
110	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit < 5%	Glimmerschiefer + Gneise 95 % Dolomit 5 %	Glimmerschiefer + Gneise > 95 % Dolomit < 5 %	Glimmerschiefer + Gneise > 95 % Dolomit < 5 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
120	Glimmerschiefer + Gneise 60 % Dolomit 40 %	Glimmerschiefer + Gneise 60% Dolomit 40 %	Glimmerschiefer + Gneise 60 % Dolomit 40 %	Glimmerschiefer + Gneise 50 % Dolomit 50 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
130	Glimmerschiefer + Gneise 98 % Amphibolit 2 %	Glimmerschiefer + Gneis 100 %	Glimmerschiefer + Gneis + 98 % Amphibolit < 2% Marmor < 1%	Glimmerschiefer + Gneise 100 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
140	Dolomit 99 % Glimmerschiefer + Gneise < 1 %	Dolomit 99 % Glimmerschiefer + Gneise < 1 %	Dolomit 98 % Glimmerschiefer + Gneise < 2 %	Dolomit 97 % Glimmerschiefer + Gneise < 3 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
150	Dolomit 98 % Glimmerschiefer + Gneise < 2 %			



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
160	Quarzporphyr 99 % Dolomit < 1 %	Quarzporphyr 99 % Dolomit < 1 %	Quarzporphyr 99 % Dolomit < 1 %	Quarzporphyr 100 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
170	Granit 50 % Dolomit 20 % Gneis 30 %	Granit 50 % Dolomit 20 % Gneis 30 %	Granit 15 % Dolomit 10 % Gneis 75 %	Granit 98 % Dolomit < 1 % Gneis < 2 %



Probe	Körnung			
	0-4	4-8	8-16	16-32
180	Granit 50 % Dolomit 20 % Gneis 30 %	Granit 50 % Dolomit 20 % Gneis 30 %	Granit 15 % Dolomit 10 % Gneis 75 %	Granit 98 % Dolomit < 1 % Gneis < 2 %



Probe	Körnung				
	0-2	1-4	2-8	4-16	16-34
190 (a + b)	Glimmerschiefer + Gneise + Phyllite 70 % Granit 30 %	Glimmerschiefer + Gneise 50 % Phyllite 3 % Granit 47 % Dolomit < 2 %	Glimmerschiefer + Gneise 50 % Phyllite 3 % Granit 47 % Dolomit < 2 %	Glimmerschiefer + Gneise 72 % Phyllite 3 % Granit 24 % Dolomit 1 %	Glimmerschiefer + Gneise 45 % Phyllite 3 % Granit 50 % Dolomit 2 %



Probe	Körnung			
	1-4	2-8	4-16	16-34
200	Dolomit 100 %	Dolomit 100 %	Dolomit 100 %	Dolomit 100 %



Probe	Körnung			
	1-4	2-8	4-16	16-34
210	Glimmerschiefer + Gneis 85 % Granit (Granitgneis) 15 %	Glimmerschiefer + Gneise 85 % Granit (Granitgneis) 15 %	Glimmerschiefer + Gneise 83 - 85 % Granit (Granitgneis) 15 % Dolomit 1-2%	Glimmerschiefer 85% Granit (Granitgneis) 15 %

