

## Nachhaltigkeits-Benchmarks für österreichische Betone, ein Baustein auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-Neutralität

<b>1. Zielerreichung und Projektstatus</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Projektleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. wissenschaftliche Leitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2.3. Proben und Daten</b> .....	<b>2</b>
<b>2.4. Betonprüfung</b> .....	<b>6</b>
<b>2.5. performancebasierte &amp; klimaverträgl. Betontechnologie</b> .....	<b>12</b>
<b>2.6. Empfehlungen für die Praxis</b> .....	<b>16</b>
<b>3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit</b> .....	<b>17</b>

### 1. Zielerreichung und Projektstatus

Hauptziel des vorgestellten Forschungsprogrammes ist es, den österreichischen Betonherstellern die Entwicklung von dauerhaftem und klimaverträglichem Beton mittels performancebasierten Entwurfs- und Nachweiskonzepten zu ermöglichen. Dafür werden (i) repräsentative Benchmarks für Dauerhaftigkeitsparameter der wesentlichen, bisher nicht am Festbeton überprüfbaren Expositionen (Klassen XC, XD, XA nach ÖNORM B 4710-1) der häufigsten und wichtigsten Betonsorten ermittelt, (ii) neue Prüfverfahren evaluiert und weiterentwickelt (u.a. die Prüfung der beschleunigten vs. natürlichen Karbonatisierung, die Ermittlung eines „ageing factor“ des Chloridwiderstandes etc.), (iii) klassenbildende Materialkennwerte zur Einordnung der österreichischen Betonsorten in zukünftige „Exposure Resistance Classes (ERCs)“ des neuen EC2 (EN 1992-1-1) und der Betonnorm (EN 206-100, ÖNORM B 4710-1) sowie für eine Lebensdauerbemessung definiert, (iv) die Klimaverträglichkeit anhand der CO<sub>2</sub>eq der Betonsorten quantifiziert und CO<sub>2</sub>-Reduktionspfade aufgezeigt, (v) klimaverträgliche Betone exemplarisch und praxistauglich mit performancebasierten Konzepten erarbeitet (Betonoptimierung).

Im gegenständlichen ersten Forschungsjahr der erforderlichen 4 Jahre Gesamtlaufzeit wurden alle für das Jahr geplanten Ziele erreicht und die Grundlagen zur erfolgreichen Weiterbearbeitung in Jahr 2-4 geschaffen. D.h., dass (i) eine umfassende Menge an Proben und Daten der Betone, die für das erste Jahr vorgesehen waren, von den Herstellern planmäßig bereitgestellt wurden und (ii) umfangreiche Betonprüfungen, die vorgesehen waren, von den fünf beteiligten Prüfinstituten (4 Prüfstellen und TUG-IMBT/TVFA) geprüft und (iii) erste Auswertungen und vorläufige Schlüsse vom wissenschaftlichen Projektpartner TU Graz gezogen wurden. Die Ergebnisse wurden gemäß den geplanten Meilensteinen in einem „Zwischen-meeting“ zur Projekthalbzeit und einem „End-meeting“ am 21.08.2024 den Beteiligten der Branche präsentiert.

Hervorzuheben ist:

1. Die gute Zusammenarbeit aller beteiligten Betonwerke und Prüfinstitute mit der TU Graz, sodass planmäßig rd. 500 Proben hergestellt und in der vorgesehenen Systematik erfolgreich geprüft wurden.
2. Das Prüfverfahren zur beschleunigten Karbonatisierung (zur Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit „K<sub>ACC</sub>“) wurde einheitlich spezifiziert, valide & kompetent durchgeführt, was mit einem internen Ringversuch nachgewiesen wurde. Darüber hinaus wurden alle vorgesehenen Betonprüfungen zur gesamthaften Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Betone erfolgreich durchgeführt.
3. Es wurden erste „Benchmarks“ für die Klassenbildung hinsichtlich Karbonatisierungswiderstand (XC) und GWP-Klassifizierung vorgestellt und zur Diskussion gestellt.
4. Es wurde aufgezeigt, wie durch performancebasierte Betonentwurf eine deutliche GWP Reduktion gegenüber Standardbetonen möglich ist

Sämtliche Dauerhaftigkeitsprüfungen, umfassende Datenstrukturierung und -analysen sowie weitere Schritte in der performancebasierten, klimaverträglichen Betontechnologie sind planmäßig in Arbeit.

## 2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum

### 2.1. Projektleitung

**Fertigstellungsgrad: 100%**

Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets beträgt 100%.

Neben der Vertretung gegenüber der FFG wurden während der Projektlaufzeit die terminliche und kaufmännische Projektkoordination, die Organisation von Projektmeetings, die Koordination der Kommunikation zwischen den ProjektpartnerInnen, die Partnerkommunikation (Wirtschaft und Wissenschaft) sowie das Vertrags- und Kostenmanagement abgewickelt.

Die Arbeitsschritte konnten gemäß Plan erarbeitet werden.

Es gab keine wesentlichen Abweichungen oder Veränderungen.

### 2.2. wissenschaftliche Leitung

**Fertigstellungsgrad: 100%**

Sämtliche im Arbeitsplan des 1. Forschungsjahres vorgesehenen Arbeiten wurden planmäßig und erfolgreich durchgeführt. Diese umfassten die wissenschaftliche Koordination aller am Projekt beteiligten Partner, Planung und Koordination der wissenschaftlichen Arbeiten (Gesamtauswertung, Termineinhaltung, regelmäßige Treffen), Koordination von Publikationen, Berichten u.ä., Betreuung Studierender und wissenschaftlicher Arbeiten, Kommunikation der wissenschaftlichen Partner und Industriepartner zu fachlichen Fragen sowie den Wissenstransfer, der in workshops & meetings in Fachgruppen erfolgte.

Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets beträgt 100 % im Berichtszeitraum.

### 2.3. Proben und Daten

**Fertigstellungsgrad: 100%**

Im Projektantrag und in weiterer Folge detailliert im kick off meeting des Projekts am 12.07.2023 wurden Festlegungen zur akkordierten Herstellung der Proben gemäß der Matrix zur Beprobung von Betonsorten durch die 11 Herstellerwerke und deren Prüfung nach diversen Prüfverfahren vereinbart (siehe Abbildung 1).

**Alle Mischungen: Konsistenz F 52, GK 22mm**

9 deskriptive Betonsorten + Performancebetone	Betonsorte		Recyclingbeton		B1		B2		B3		B5		B7		B51 A		B51 C		Ring-Versuch	Performance & CO <sub>2</sub> minimiert					Σ
	XC1	XC2	XC1	XC2	XC3/PW1	XC4/PW1/PW2/XT1/XT2	XC4/PW1/PW2/XT1/XT2	XC4/PW2/XT2/XT3/XT4	XC4/PW2/PW3/XT4/XT5	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4		XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4									
abgedeckte Expositionsklassen	XC1	XC2	XC2	XC2	XC3/PW1	XC4/PW1/PW2/XT1/XT2	XC4/PW1/PW2/XT1/XT2	XC4/PW2/XT2/XT3/XT4	XC4/PW2/PW3/XT4/XT5	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4	XC2/PW1/PW2/XT2/XT3/XT4											
Anzahl Stichproben aus 11 Herstellerwerken (n Proben)	9	4	9	6	2	1	8	3	9	5	7	6	7	4	8	6	6	6	5	15	6	6	6	15	159
beschleunigte Karbonatisierung	4	9	6	2	1	8	3	9	5	7	6	7	4	8	6	6	6	5	15	6	6	6	15	159	
natürliche Karbonatisierung	4	5	6			4	3	5	5	4	6	4	4	4	6	3	3		10	3	3	3	4	94	
Chloriddiffusionsrate								9	5	7	6	7	4	8	6	6	6	4	0	3	3		15	89	
Chloriddiffusionsrate - ageing (11,21)											3	6		4	6	3	3		0	3				56	
Wassereindringtiefe ÖN						3	3						2	2			3	3	8	3	3	3		33	
Wassereindringtiefe EN							3						2											5	
Frostangriff								3	5	3	6	2	4	3	6	2	2		5	3	3		5	52	
chemischer Angriff XAL								7		7	6								5	3	3			31	
Festigkeit (Hst.:1d, 2d,28d; TUG: Nd)	9	4	9	6	2	1	8	3	9	5	7	6	7	4	8	6	6	6	5	15	6	6	6	15	159
Frischbeton-Prüfungen Konsistenz, Wassergehalt etc.	vom Hersteller bei jeder Charge zu prüfen																						159		
Temp.-Entwicklung												1	1		1		3	3			3	3	3		18
E-Modul					2	1											3	3			3	3	0		15
Mikrostruktur, Permeabilität, kapillare Wasser Aufnahme	5	4	5	6	0	0	4	3	5	5	4	6	4	4	4	6	3	3		10	3	3	3	4	94
Prüfungen Ausgangsstoffe	5	4	5	6	0	0	4	3	5	5	4	6	4	4	4	6	3	3		10	3	3	3	4	94

Abbildung 2.3.1: Matrix der Beprobung von Betonsorten nach Prüfverfahren (1 Frischbetonprobe = 1 Mischung = Stichprobe)

Insbesondere wurde festgehalten, dass die Mischungen (i) standardmäßig der Produktion entstammen (Betonartenvariante „S“ Standardbetonsorten) und im Transportbetonmischwerk gemischt werden mit einer Chargengröße von mindestens 2 m<sup>3</sup> sowie (ii) Sondermischungen im Werk oder Labor der Hersteller für die sogenannten „deskriptiven Normgrenzfälle (DNG)-Betone, D & C“ durchgeführt werden. Die Rezepte der Betonmischungen entsprechen den Eignungsprüfungen für die einzelnen Betonarten und sind in Formblättern nach ÖNORM B 4710-1 sowie Chargenprotokollen nachzulesen (werden der TU Graz spätestens mit den Proben übermittelt). Abbildung 2 zeigt die Betonartenvarianten, die beprobt wurden und weiterhin beprobt werden.

## 1. „S“ - deskriptive Standardbetone aus der Produktion

## 2. „D & C“ – deskriptive Normgrenzfälle

	max. W/Ba (gemäß EP)	erwartete Druckfestigkeitsklasse f <sub>c</sub>	Bindemittel		
			Standard "S"	DNG "D"	zusätzlich DNG "C"
XC1	0,68	C 16/20	i.d.R. CEM II/B 42,5 +10% AHWZ	CEM III oder CEM II/C *	
XC2	0,63	C 20/25 **			
B1	0,58	C 25/30 **	Ba ≥ Mindest- bindemittelgehalt, W/Ba ≤ max. W/Ba, je nach Hersteller	CEM I*	
B2	0,53	C 25/30 **			
B3	0,53	C 25/30 **			
B5	0,48	C 30/37			
B7	0,43	≥ C 30/37			CEM I*
BS1A	<i>max W/B und Bindemittel gemäß ÖBV RiLi Weiße Wanne</i>				
BS1C					

\* mit Ba=Mindestbindemittelgehalt, W/Ba = max. W/Ba  
\*\* entspricht indikativer Druckfestigkeit nach ON B4710, Tab. 9 & 10

## 3. „P“ – Performancebasierte Betone

Abbildung 2.3.2: Betonartenvarianten

Im Zuge des Projekts werden auch performancebasierte Betone abweichend vom deskriptiven Konzept der Norm sowohl von Herstellern als auch von der TU Graz in Sondermischen hergestellt und nach demselben Prüfprogramm wie die „S“ und „DNG“ Betone geprüft. Im ersten Forschungsjahr wurden entsprechend des Gesamtprojektplans 3 Phasen der Beprobung durchgeführt wie in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der hergestellten Betonvarianten in den durchgeführten Phasen

Phase	Herstellungswoche	Standardbetone (S)	Deskriptive Grenzfälle (D)	Performance Betone (P)	Ringversuch (RV)
1	18.09. - 22.09.2023	XC1_S	XC1_D, XC2_D		XC1_D
2	05.02. - 09.02.2024	XC2_S, B1_S	B1_D, B3_D, B3_C		B3_D
3	10.06. - 14.06.2024	B2_S		B2_P, XC2_P	

In jeder Probenherstellungsphase waren (i) Rückstellproben für alle Ausgangsstoffe zu nehmen, um Grundeigenschaften derselben zu prüfen wie später ausgeführt, (ii) Frischbetonprüfungen aus jeder Mischung direkt vom Hersteller durchzuführen sowie (iii) eine umfangreiche Anzahl an Prüfkörpern für

spätere Festbetonprüfungen bei den Prüfstellen (P1-P4) und an der TUG herzustellen. Um die umfangreiche Beprobung systematisch abwickeln zu können, erhielten die Hersteller sogenannte Probenherstellungs- und Probenbegleitblätter von der TUG (siehe Abbildung 3).

Projekt NÖB



IMBT | AG MinBau

<b>Werk:</b>			
<b>Werknummer:</b>			
<b>Phase 3</b>			
<b>Herstellungstermin:</b>			
Hinweise: Bitte Manuals zu den Prüfverfahren beachten! Die Frischbetonprüfungen und Druckfestigkeitsprüfungen (1d,2d,28d,90d) sind von den Herstellern selbst durchzuführen.			
<b>beschleunigte Karb. ÖNORM EN 12390-12</b>		<b>KB</b>	
Prüfkörperabmessung [mm]:		Prisma 100/100/400	
Prüfkörper pro Probe:		2	
<b>Betonsorten</b>	<b>B2_S</b>	<b>B2_P</b>	<b>XC2_P bzw. B2_P</b>
Herzustellende Proben:	1	1	1
<b>Herzustellende Prüfkörper:</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Lieferung aller Prüfkörper an:			
<b>TUG</b>			
<b>P1 (Hartl, Wien)</b>	x		x
<b>P2 (BPS, OÖ)</b>		x	
<b>P3 (HTL Ibk, Tirol)</b>			
<b>P4 (MPA Strass, Tirol)</b>			
<b>natürliche Karb. ÖNORM EN 12390-10</b>		<b>KN</b>	
Prüfkörperabmessung [mm]:		Prisma 120/120/360	
Prüfkörper pro Probe:		2	
<b>Betonsorten</b>	<b>B2_S</b>	<b>B2_P</b>	<b>XC2_P bzw. B2_P</b>
Herzustellende Proben:	1	0	0
<b>Herzustellende Prüfkörper:</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Lieferung aller Prüfkörper an:			
<b>TUG</b>			
	x		

Abbildung 2.3.3: Beispiel (Muster) für ein Probenherstellungsblatt

Die Durchführung und Dokumentation der begleitenden Frischbetonprüfungen nach ÖNORM B 4710-3 erfolgte im Zuge der Herstellung durch die Hersteller selbst nach von der TU Graz ausgearbeiteten „Manuals“ und Formblättern. Die Prüfungen durch die Hersteller hatten den Umfang einer erweiterten Konformitätsprüfung (zusätzlich zu Frischbetonprüfungen nach ÖNORM B 4710-3 auch- und 2d, 28d, 90d Druckfestigkeitsprüfungen). Die Ergebnisse wurden in von der TU Graz bereitgestellte Formblätter - in der Regel in elektronischer Form in „EXCEL“-Listen - eingetragen und wie weiter unten beschrieben auf Weg der TU Graz übermittelt.

Die Festbetoneigenschaften und insbesondere die Beständigkeit der Betone gegenüber Umwelteinflüssen gemäß Expositionsklassen der ÖNORM B 4710-1 wurden mittels entsprechender Prüfungen am Festbeton nach ÖNORM B 4710-3 durch die beteiligten vier Prüfstellen sowie das IMBT mit angeschlossener TVFA der TU Graz (IMBT/TVFA) geprüft und beurteilt. Detaillierte Spezifikationen zur Durchführung und Auswertung der Prüfungen wurden von der TU Graz ausgearbeitet und in Form von „Manuals“ an die Prüfstellen übermittelt (Siehe zum Beispiel Abbildung 4).

## Manual Probenherstellung & Prüfung – beschleunigte Karbonatisierung

Norm		ÖNORM EN 12390-12	
Ausgabe		2020-03-01	
<b>Prüfung von Festbeton</b>			
Teil 12: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton - Beschleunigtes Karbonatisierungsverfahren			
interne Kurzbezeichnung		KB	
Probekörperdimension (mm) - Prisma		400/100/100	
Anzahl der Probekörper je Probe (=Betonart)		2	
Anmerkung	Trennmittel ist zu vermeiden, da Einfluss auf die CO <sub>2</sub> -Eindringung besteht		
<b>Herstellung, Nachbehandlung, Lagerung</b>		Dauer	Alter [d]
Prismen horizontal gießen (EN12390-2)			
Probekörper mit Folie (Polyethylenfolie) abdecken und vor Austrocknung schützen		0h	0
Ausschalen + Lagerung nach EN12390-2 (Wasserbad)		20 ± 4h	1
Transport in Polyethylenbeutel		>24h- max. 4d	1-4
Lagerung nach EN12390-2 im Wasserbad		27d	1-4
Probekörper aus Wasserbad entnehmen und weiter Lagerung an Luft (Labor: 18°C bis 25°C und rel. Luftfeuchte RH 50% bis 65%; besser 20°C, RH 65%)		14d	28
Probekörper in CO <sub>2</sub> -Kammer bei 3±0,5% CO <sub>2</sub> , 20±2°C, 57±3% RH (Probekörperanordnung: Luft muss frei um alle Seitenflächen zirkulieren können)		0 bis 70d (in Sonderfällen 140d)	42 bis 112 (Sonderfälle 182d)
<b>Prüfung</b>			
Herstellung Prüffläche zu jedem Prüfliter		Prisma: ca. 50mm dicke Scheibe abspalten - Reststück zurück in die Kammer	Alter [d] siehe Prüftermine
Prüffläche nach Bruch von Staub und losen Partikel befreien		neu gebrochenen Fläche der Scheibe bzw. Hälfte des Würfels = Prüffläche	
Sprühtest: direkt nach dem Bruch aufsprühen		Phenolphthalein (Referenzverfahren)	
Zeitpunkt der Messung nach Besprühen		0,5 bis 1,25h ± 5 min	
Prüftermine (Tage)		0	42
		7	49
		28	70
		70	112
in Sonderfällen nach Absprache		140	182
Lösungen/Geräte		Fixierlösung, Lupe, Messlehre (Messunsicherheit von 0,5mm) Standard-Karbonatisierungskammer	
Anzahl der Messstellen pro Probekörper (3-5 Stellen pro Fläche jedes Prismas/Würfels, bestimmt durch Aufteilung der Kantenlänge in 4 gleichlange Abschnitte) = 112 Einpunkt-Karbonatisierungstiefen (d <sub>k,point</sub> )			
<b>Auswertung / Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit</b>			
Angaben von:			
Beanspruchungsdauer			
in jedem Prüfliter, die mittlere Karbonatisierungstiefe der freiliegenden Flächen des Probekörpers (d <sub>k,loc</sub> ), die mittlere Karbonatisierungstiefe jedes Probekörpers (d <sub>k,prob</sub> ) und den Gesamt-Mittelwert der Karbonatisierungstiefe (d <sub>k</sub> ) zum Zeitpunkt (t in Tagen), wobei alle Werte auf 0,1 mm zu runden sind			
die Karbonatisierungsgeschwindigkeit K <sub>KG</sub> in mm/Tagen; welche der Steigung einer Regressionsgeraden entspricht, der Schnittpunkt a, in mm (o-Messung einbeziehen!); das Bestimmtheitsmaß (R <sup>2</sup> mind. 0,95)			
Formel: d <sub>k</sub> = a + K <sub>KG</sub> t			

Abbildung 2.3.4: Beispiel für ein Manual zur Prüfung des Karbonatisierungswiderstands nach dem beschleunigten Verfahren

Die Ergebnisübermittlung der Frisch- und Festbetoneigenschaften erfolgt über mehrere elektronische Tabellen im Format vom MS EXCEL, die mittels der Cloud-Softwarelösung „Nextcloud“ mit allen Projektpartnern geteilt wurden. Dabei wurde für jedes Herstellerwerk und jede Prüfstelle eine eigene anonymisierte Ergebnisübermittlungsdatei erstellt, auf die nur die jeweiligen zugehörigen Werke bzw. Prüfstellen über die „Nextcloud“ Zugriff haben. Die Datenzusammenstellung und Aufbereitung aller Ergebnisse im Projekt oblag der TU Graz. In der folgenden Abbildung 5 ist der „workflow“ zur Datensammlung, Strukturierung und Auswertung schematisch dargestellt.

## Datenmodell data aquisition-process

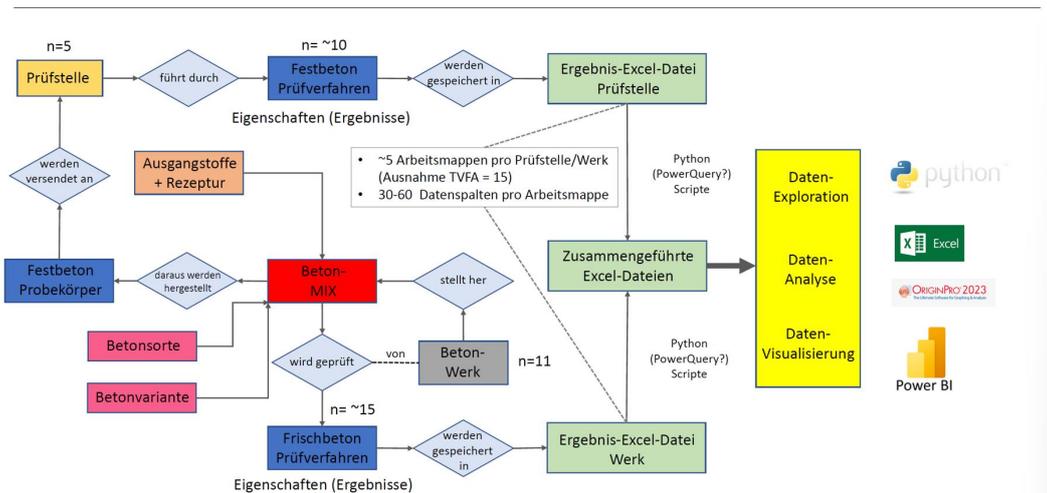


Abbildung 2.3.5: Prozess der Datensammlung, Strukturierung und Auswertung

Sämtliche im Arbeitsplan des 1. Forschungsjahres vorgesehenen Arbeiten wurden planmäßig und erfolgreich durchgeführt. Die Meilensteine (i) „Ringversuch XC und Probenherstellung der Phase P1 durchgeführt“ sowie (ii) „Ringversuch XD und Probenherstellung der Phase P2 durchgeführt“ wurden erreicht sowie Proben der Phase 3 hergestellt. Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets beträgt 100 % im Berichtszeitraum.

## 2.4. Betonprüfung

### Fertigstellungsgrad: 100%

Gemäß den Projektzielen wurde die Leistungsfähigkeit der hergestellten Betone, also ihre gesamte Performance, umfangreich geprüft (siehe Tabelle 7), wobei der Schwerpunkt auf den Dauerhaftigkeitsprüfungen mit den „jungen“ Prüfverfahren des Karbonatisierungswiderstandes (Expositionsklassen „XC“) und Chloridwiderstandes (Expositionsklassen „XD“) nach ÖNORM B 4710-3 bzw. darin zitierten europäischen Prüfnormen lag, für die bisher wenig Erfahrung in Österreich vorliegt. Neben der Prüfung beschleunigter & natürlicher Karbonatisierung in den Expositionsklassen XC1, XC2, XC3 (B1) sowie XC4 (B2) und der Chloriddiffusion in der Klasse XD2 (B2) wurde bzw. wird zudem der Chloridwiderstand über verschiedene Zeitintervalle („ageing“, Prüfdauer 2 Jahre) geprüft, der chemische Widerstand (Expositionsklassen „XA1L“), Frostangriff (Expositionsklassen „XF1“ und „XF3“) sowie die Wassereindringtiefe für die Beurteilung der Expositionsklasse XW1 vergleichend nach nationaler (ÖN B 4710-3) und internationaler Norm (EN 12390-8). Verfahren, die in anderen europäischen Ländern teilweise unterschiedlich zur österreichischen Prüfnorm ÖNORM B 4710-3 (vormals ONR 23303) durchgeführt werden oder die Durchführungs- und vor allem Auswertungsvarianten im Detail offenlassen, sodass die Ergebnisse eine große Bandbreite erreichen können, wurden durch Vergleiche der möglichen Verfahrensvarianten und durch Vergleiche der beteiligten Prüfanstalten („projektinterne Ringversuche“) evaluiert. Somit konnten und können zukünftig genauere Spezifikationen der Durchführung erarbeitet werden.

Tabelle 2: Übersicht über die Prüfverfahren, die im Laufe des Projektes NÖB durchgeführt werden mit entsprechender Prüfstellenzuteilung

Prüfverfahren	Kurzbez.	Norm	Testende Prüfstelle
Beschleunigte Karbonatisierung	KB	EN 12390-12	P1, P2, P3, P4, TU Graz
natürliche Karbonatisierung	KN	ÖNORM EN 12390-10	TU Graz
Chloriddiffusionsrate	CL	ÖNORM EN 12390-11 (118d)	P1, P2, P3, TU Graz
Chloriddiffusionsrate - ageing (1J,2J)	CA	ÖNORM EN 12390-11 (1J, 2J)	TU Graz
Wassereindringtiefe ÖN	WUB	ÖNORM B 4710-3	P1, P2, P3, TU Graz
Wassereindringtiefe EN	WUE	EN 12390-8	P2
Frostangriff	XF1_W	ÖNORM B 4710-3	P1, TU Graz
XF1_P		ÖNORM EN 12390-9	TU Graz
XF2		ÖNORM B 4710-3/ EN 12390-9	
XF3		ÖNORM B 4710-3	P1, P2, P3, TU Graz
XF4		ÖNORM B 4710-3/ EN 12390-9	
chemischer Angriff XAL	XA	ÖNORM B 4710-3	P1, P3
Druckfestigkeit (1d, 2d, 28d, 90d)	DF	ÖNORM B 4710-3	

Werke N01-N11, 28d  
zusätzlich an TU Graz

Die folgenden Darstellungen geben einen Überblick über die erzielten Ergebnisse der umfangreichen Prüfungen.

#### Analyse der Ausgangsstoffe

Die Analysen der Ausgangsstoffe wurden innerhalb der ersten drei Phasen begonnen und werden über die gesamte Projektlaufzeit weitergeführt. Hierbei werden Untersuchungen der spezifischen Oberfläche als Blaine-Wert, die chemische Analyse mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) und die mineralogische Analyse mittel Röntgendiffraktometrie (XRD) durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse des Blaine-Wertes von ausgewählten Ausgangsstoffen sind in der Tabelle 4 erfasst.

Tabelle 4: Ergebnisse der Analysen der spezifischen Oberfläche (Blainewert) von ausgewählten Ausgangsstoffen

Material Kategorie	Bezeichnung	Art	Blaine [cm <sup>2</sup> /g]
Zement CEM I	W	CEM I 52,5N	4118
L	CEM I 52,5R	5081	
Zement CEM II B	M	CEM II B-M (S-L)	4466
W	CEM II B-M (S-LL)	3957	
K	CEM II B-M (S-LL) 42,5N	4396	
R	CEM II B-M (S-LL) 42,5N	4444	
R-F	CEM II B-M (S-LL) 42,5N	4443	
L	CEM II B-M (S-LL) 42,5N	4049	
R	CEM II B-M (S-LL) 42,5R	4335	
Zement CEM II C	W	CEM II C	4534
L	CEM II C-M (S-L) 32,5R	5087	
R	CEM II C-M (S-L) 42,5N	4992	
L	CEM II C-M (S-LL) 42,5N	4726	
Zement CEM III	R	CEM III A 32,5N LH	4554
R	CEM III B 32,5N SR	4509	
Zusatzstoff Typ II	W	AHWZ SC	4902

M	AHWZ FC	5091
R	AHWZ F	4531
DB	AHWZ DA	5494
	AHWZ HÜS	4440

Von ausgewählten Ausgangsstoffen wurde eine chemische Analyse mittels der Röntgenfluoreszenz (XRF) sowie Röntgendiffraktometrie (XRD) durchgeführt. Für die weitere wissenschaftliche Auswertung werden die chemischen Analysen dafür herangezogen, um Abhängigkeiten der Stoffkennwerte der Ausgangsstoffe und deren Mischungen in Betonrezepturen mit Dauerhaftigkeitskennwerten zu untersuchen und um ein Prozessverständnis der Schädigungsmechanismen einzelner Angriffsarten zu erlangen. Zum Beispiel wird das Verhältnis von Wasser zu dem Anteil an reaktivem CaO berechnet und in Zusammenhang mit dem Karbonatisierungswiderstand gebracht oder das Verhältnis von Wasser zu dem Anteil an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> etc. in Zusammenhang mit dem Chloridwiderstand gebracht.

### Ergebnisse der Betonprüfungen

Abbildung 6 zeigt als Ergebnis der Frischbetonprüfungen, dass alle Betone den Anforderungen entsprachen (Konsistenzklasse F52). Abbildung 7 zeigt, dass sich die Druckfestigkeiten erwartungsgemäß mit sinkendem W/B-Wert entsprechend der Zusammensetzung der Betonsorten XC1 bis B3 erhöhen und dass ein Vergleich der Prüfung der 28d-Festigkeit durch Hersteller und derselben Proben durch die TU Graz (IMBT/TVFA) übereinstimmend Ergebnisse liefert.

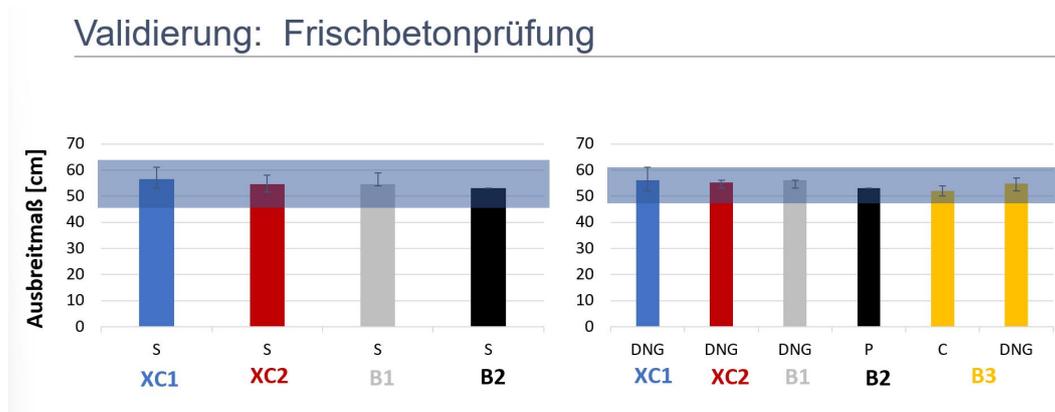


Abbildung 2.4.1: Ergebnis der Frischbetonprüfungen

## Festbetonprüfung: Druckfestigkeit

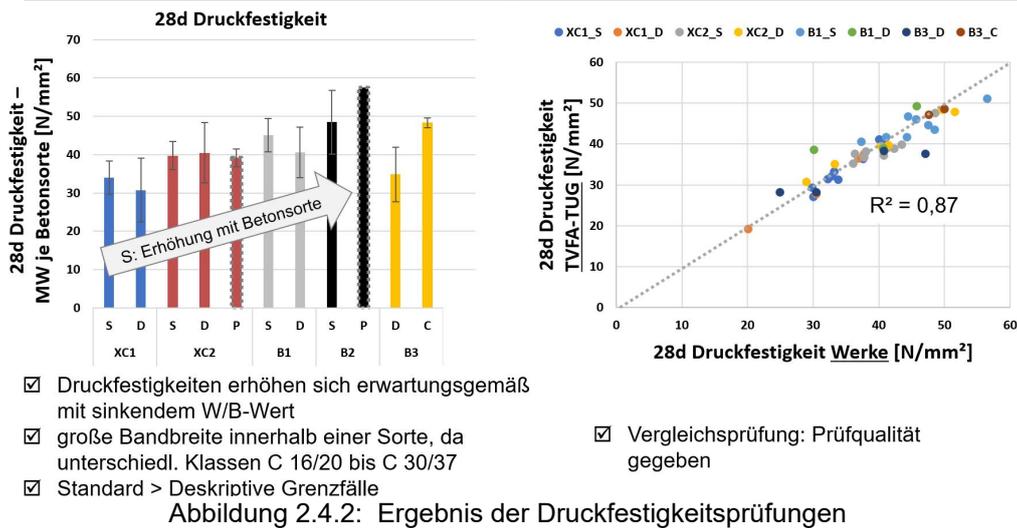
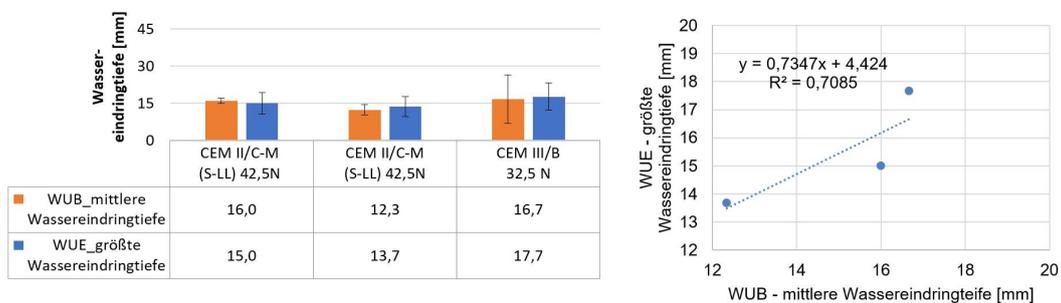


Abbildung 8 zeigt das Ergebnis des Methodenvergleichs der Prüfung der Wassereindringtiefe nach nationaler ÖN-Vorschrift und europäischer EN-Vorschrift. Die Verfahren unterscheiden sich wie in Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Unterschiede der Verfahren zur Prüfung der Wassereindringtiefe

Verfahren	Dauer der Prüfung	Ablauf	Auswertung
ÖN B 4710-3 „WUB“	14 Tage	1. bis 3. Tag: 1,75 bar 4. bis 14. Tag: 7,0 bar	Mittlere Wassereindringtiefe
EN 12390-8 „WUE“	3 Tage	B1_D, B3_D, B3_C	Max. Wassereindringtiefe

## XW Methodenvergleich: WUB & WUE



Vergleich: nationalen (ÖN B 4710-3) und internationalen Normen (EN 12390-8)

-> bisher 3 Prüfergebnisse: für signifikante Aussage zu gering, vorweg : WUE ~ WUB

Abbildung 2.4.3: Methodenvergleich der Prüfung der Wassereindringtiefe

In Abbildung 9 werden die Ergebnisse der Frostprüfung von einigen Betonen in der Betonsortenvariante der deskriptiven Normgrenzfälle („D und C“-Betone) der Expositionsklasse XF3 gezeigt. Abbildung 10 zeigt die

Ergebnisse der Prüfung des chemischen Angriffs der Expositions-klasse XA1L derselben Betonsortenvariante.

### Frostprüfung: XF3 nach ÖNORM B 4710-3

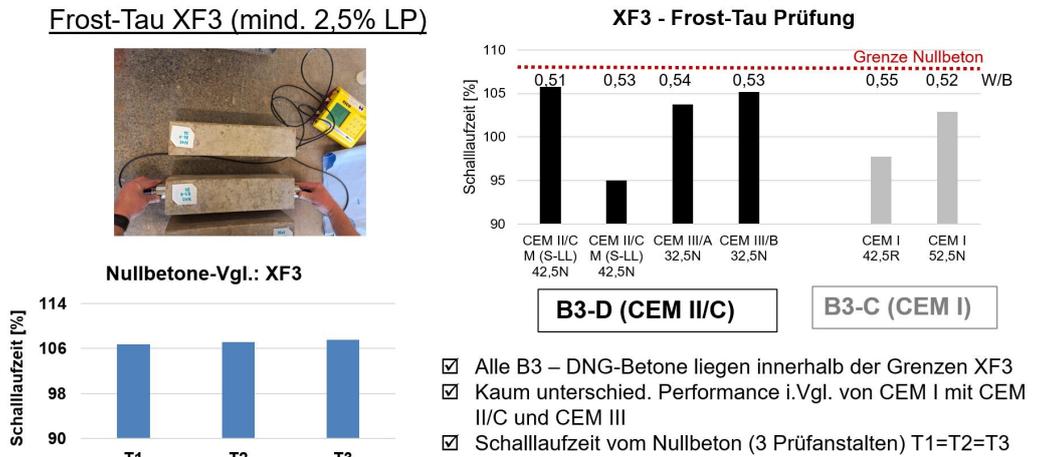


Abbildung 2.4.4: Ergebnisse der Frostprüfung von einigen Betonen in der Betonsortenvariante der deskriptiven Normgrenzfälle („D und C“-Betone) der Expositions-klasse XF3

### Chemischer Angriff: XA1L nach ÖNORM B 4710-3

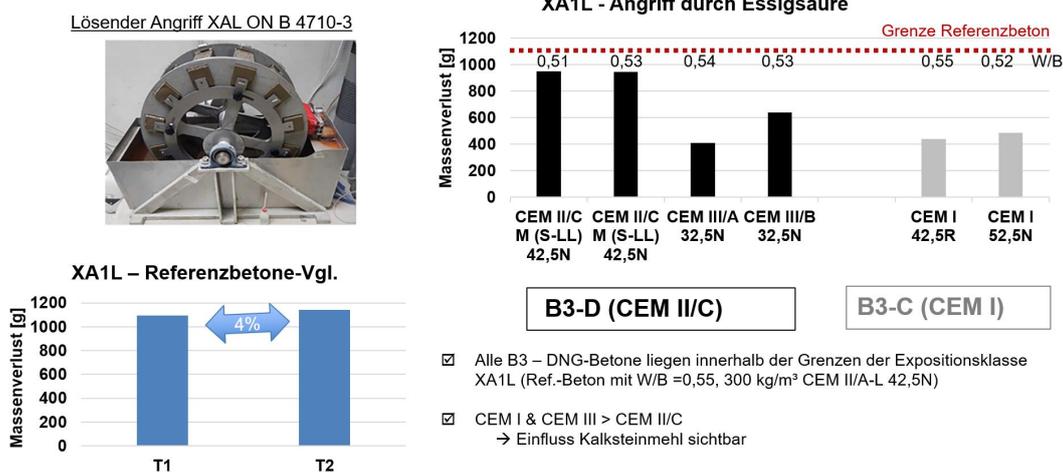
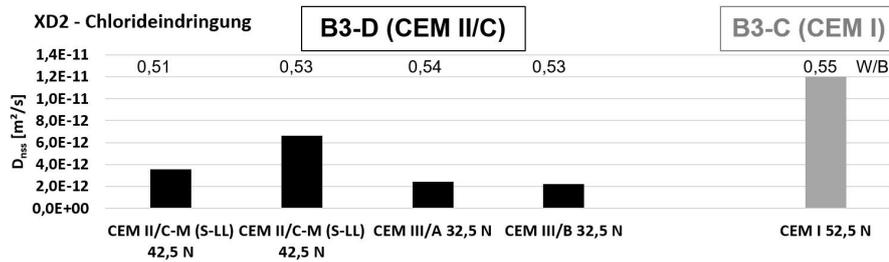


Abbildung 2.4.5: Ergebnisse der Prüfung des chemischen Angriffs der Expositions-klasse XA1L

Die Prüfungen des Chloridwiderstandes in der Expositions-klasse XD2 an Betonen der der deskriptiven Normgrenzfälle in der Sortenvariante „B3-D“ wurden in Phase 3 der Probenherstellung im 1. Forschungsjahr begonnen, siehe Abbildung 11. Sie werden im zweiten Jahr fortgeführt wie auch weitere Prüfungen des Chloridwiderstandes.

## XD-Ergebnisse: B3 DNG

Prüfverfahren - EN 12390-11:2015-08



- ☑ Erste Serie XD: → B3 – DNG-Betone
  - CEM I < (geringerer Widerstand) < CEM II/C & CEM III
  - positiver Einfluss Hüttensand (S)
- CA: „Ageing“ Tests im Laufen

Abbildung 2.4.6: Ergebnisse der Prüfung des Chloridwiderstandes in der Expositionsklasse XD2 (B3-Betone)

Umfangreiche Prüfungen wurden im ersten Forschungsjahr bereits von Betonen der Expositionsklassen XC1 bis XC4 (Karbonatisierung) durchgeführt und teilweise abgeschlossen. Somit liegen abschließende Ergebnisse der Prüfung der beschleunigten Karbonatisierung (Methode beschrieben in Abbildung 12) in den Expositionsklassen XC1 und XC2 vor, während die Prüfungen der weiteren Klassen begonnen wurden und im Jahr 2 fortgeführt werden. Die Ergebnisse der beschleunigten Karbonatisierungsraten („ $K_{ACC}$ “) wurden in natürliche Karbonatisierungsraten („ $K_N$ “) umgerechnet, siehe Abbildung 13. Prüfungen unter natürlichen Karbonatisierungsbedingungen wurden begonnen und werden für mehrere Jahre fortgeführt.

Ein durchgeführter Ringversuch zur Validierung der Prüfung der beschleunigten Karbonatisierung zeigte, dass alle mitarbeitenden Prüfinstitute und auch einige Hersteller, die die Prüfung in ihren Laboren ergänzend selbst durchführten, die Prüfung kompetent absolvieren können (Abbildung 14). Zudem liefern die Ergebnisse wertvolle Daten, um die Versuchsstreuungen zu kennen und mit ihnen die gesamten Ergebnisse in weiterer Folge (2. Forschungsjahr) statistisch gut auswerten und einordnen zu können.

## Karbonatisierung (nach EN 12390-12 und EN 12390-10)

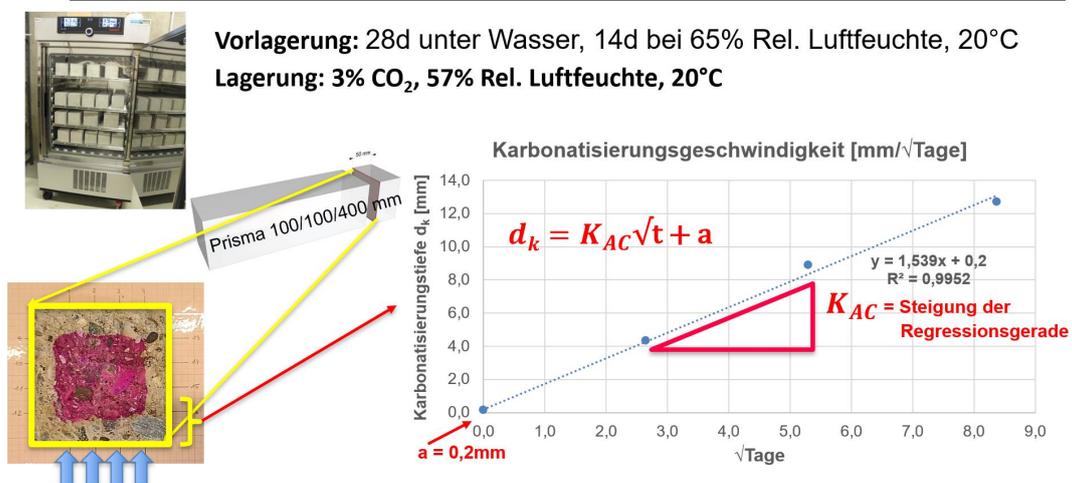
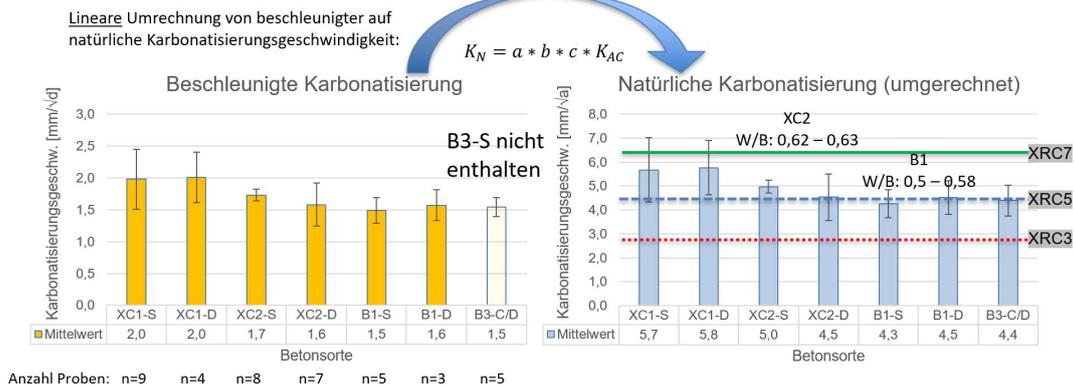


Abbildung 2.4.7: Prüfung der beschleunigten Karbonatisierung - Methode

## Beschleunigte Karbonatisierung (nach EN 12390-12)



**Klassenbildung (XRC analog) zu diskutieren im 2. FJ!:**

Abbildung 2.4.8: Prüfung der beschleunigten Karbonatisierung - Ergebnisse

## Fazit – Ringversuch XC

- Proben XC1-D für 8 Teilnehmer aus gleicher Mischung
- $K_{AC}$  ermittelt (lin. Regression mit  $d_k$  nach 7d,28,70d mit  $a$ =Messwert zum Zeitpunkt  $t_0$  Auslagerung)

Tabelle 2 Übersicht – Prüf- und Ringversuchsergebnisse

Teilnehmer	$K_{AC}$ [mm/Tage <sup>1/2</sup> ]	z-Score [-]
T1	1,65	-1,48
T2	1,72	-1,12
T3	1,94	0,02
T4	1,82	-0,60
T5	2,11	0,90
T6	1,98	0,23
T7	2,20	1,36
T8	2,07	0,69
Mittelwert [mm/Tage <sup>1/2</sup> ]	1,94	
Stabw.s [mm/Tage <sup>1/2</sup> ]	0,19	
Variationskoeffizient [%]	10,0	



- Leistung aller Teilnehmer o.k. ! → „sehr gut“ (z-score ≤1) bis „zufriedenstellend“ (z-score ≤ 2);

Abbildung 2.4.9: Ergebnisse des Ringversuchs zur Validierung der Prüfung der beschleunigten Karbonatisierung

Sämtliche im Arbeitsplan des 1. Forschungsjahres vorgesehenen Arbeiten wurden planmäßig und erfolgreich durchgeführt, sodass der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets 100 % beträgt.

### 2.5. performancebasierte & klimaverträgliche Betontechnologie

**Fertigstellungsgrad: 100%**

Das Arbeitspaket umfasste die Erhebung des Standes der Technik und Entwicklung von internationalen Regelungen, die Charakterisierung der Ausgangsstoffe (was in diesem Bericht im Kapitel 2.4 bereits behandelt wurde), den performancebasierten Mischungsentwurf sowie die CO<sub>2</sub>-Klassifizierung.

Die Auswertung des Standes der Technik und Entwicklung von internationalen Regelungen (europäische Normung EN 206, EC 2 = EN 1992-1-1) sowie nationalen Erfahrungen (Schweizer Normung SN 206) und bereits abgeschlossenen Projekten ergab, dass Grenzwerte bzw. klassenbildende Grenzwerte für Dauerhaftigkeitseigenschaften der Klassen XC und XD fehlen bzw. erst in Entwicklung sind.

Materialparameter, das sind Festbetoneigenschaften, die den Karbonatisierungswiderstand und

Chlorideindringwiderstand unterschiedlicher Betone in Expositionsklassen XC und XD hinreichend beschreiben, sind bislang nur in Entwürfen zu der europäischen Norm EN 206-1:2021 (prEN 206-100 Exposure resistance, Draft 15, 2023) und EC 2 (draft zum EN 1992-1-1, 2023) als sogenannte XRC- und XRD-Klassen angeführt und noch nicht in deren nationalen Auslegungen zu finden. Die Arbeiten an der EN 206-100 wurden von der CEN TC104 SC1 WG1 nunmehr allerdings im Juni des Jahres offiziell eingestellt. Es wurde im TC104 beschlossen, einen CEN/TR zu dem Thema zu erstellen auf den nun gewartet werden muss. Vermutlich werden darin Erfahrungen und bisherige Regelungen aus einzelnen Ländern zusammengefasst. In Österreich existiert bisher nur eine Publikation zu solchen Festbetoneigenschaften (als Ergebnis des Projekts „Betonkonzepte“, publiziert von (Krispel et al. 2021). Die Tabelle 5 und Tabelle 6 geben einen Überblick über die gefundenen Kennwerte.

Tabelle 5: Grenzwerte und Benchmarks zu den Expositions- und Expositions-widerstandsklassen für Karbonatisierung.

Quelle	geplante Nutzungsdauer	Korrosion durch Karbonatisierung	
		XC3	XC4
XC1	XC2		
Grenzwerte der Normen	Karbonatisierungswiderstand - Grenzwert für Mittelwert [mm/√a]		
SN EN 206:2013 + Korrigenda C1 (2016)	50 Jahre	-	- 6,5 5
100 Jahre	-	-	4,5 4,5 (5)
Benchmarks aus Literatur	Karbonatisierungskoeffizient [mm/√a]		
Krispel et al. 2021		4,7 - 5,2	4,2 - 3,3 - 3,0 - 4,7 4,1 3,6
BAW-Merkblatt 2019	50 Jahre	$d_{K,90} \leq 2 \text{ mm} +$ Betonüberdeckung 20/25 mm	
100 Jahre	Nachweis mit Nomogramm		
Ribeiro et al. 2023	50-63 Jahre	3,15 - 3,54	
>75 Jahre	>2,89		

Tabelle 6: Grenzwerte und Benchmarks zu den Expositions- und Expositions-widerstandsklassen für Chlorideindringung.

Quelle	geplante Nutzungsdauer	Keine Korrosion	Korrosion durch Chlorideindringung
X0	XD1	XD2	XD3
Grenzwerte der Normen		Chloridwiderstand [10-12 m <sup>2</sup> /s]	

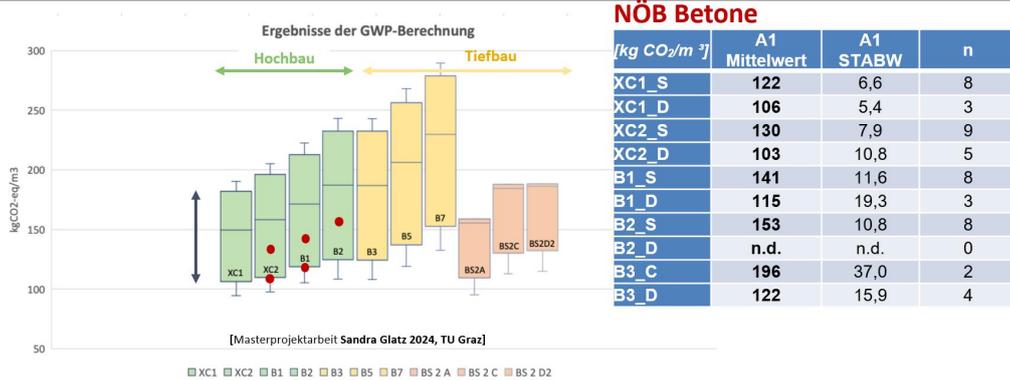
<b>SN EN 260:2013 + Korrigenda C1 (2016)</b>	<b>50 Jahre</b>	-	-	<b>DCI ≤ 10</b>
<b>100 Jahre</b>	-	-	-	-
<b>Benchmarks aus Literatur</b>		<b>Chloriddiffusionskoeffizient [10-12 m<sup>2</sup>/s] (instationär)</b>		
<b>Krispel et al. 2021</b>	-	-	<b>4,97 (7)</b>	<b>3,12 (3,46)</b>
<b>BAW Merkblatt 2019</b>	<b>50 Jahre</b>	-	<b>4,1 - 4,11</b>	
100 Jahre	-	4,6 - 4,7		
Attari et al. 2016		0% GGBS	30% GGBS	50% GGBS 70% GGBS
50 Jahre	10,55	2,19	0,99	0,67
100 Jahre	9,38	1,75	0,80	0,55

Auf die Einordnung der im ersten Forschungsjahr ermittelten Kennwerte des Karbonatisierungs-widerstandes wird im nächsten Kapitel eingegangen.

Für die Einordnung des Global Warming Potentials (GWP) wird zum einen auf die Angaben zum Stand der Technik im Betonkalender 2023 (Juhart et al. 2023) und dem Sachstandsbericht Nachhaltigkeit der ÖBV (2023) verwiesen. Zum anderen wurden GWP-Werte der Referenzbetone (kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> Frischbeton in den Lebenszyklusphasen A1-A3 der Betonherstellung) in dem Arbeitskreis „AK Ökodaten“ der ÖBV definiert und im GWP-Katalog des „LCCO2-tools“ publiziert (download unter <https://www.bautechnik.pro/download/LCCO2-Tool>). Zu erwähnen ist der Aktionsplan Nachhaltige Beschaffung des Klimaschutzministeriums (<https://www.nabe.gv.at/>), der als optionales Zuschlagskriterium eine Reduktion des GWP um - 25% als benchmark für CO<sub>2</sub>-reduzierte Betone im Vgl. zu Referenzbetonen angibt. Im Rahmen des Projektes NÖB wurden die GWP-Werte der einzelnen Betonmischungen mittels Berechnung mit dem „GVTB Betonrechner V1.0“ durch Hersteller bzw. die TUG durchgeführt. Die Berechnung erfolgt auf Basis der ÖNORM EN 15804 bzw. ÖNORM EN 16757 und der Ökodaten der Ausgangsstoffe, die in einem Hintergrundbericht des GVTB dokumentiert sind und wiederum den verfügbare EPD Daten der Ausgangsstoffe entsprechen.

An der TU Graz wurde eine Masterprojektarbeit zum Thema „Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als Leistungsmerkmal von Normalbeton“ durchgeführt (Sandra Glatz 2024), welche zur Einordnung der GWP Werte sehr gut herangezogen werden kann. In der Arbeit wird das GWP von derzeit in Österreich häufig verwendeten Betonsorten in verschiedenen normgemäßen Varianten der Zusammensetzung berechnet und seine große Spannweite aufgezeigt. Die potenziellen Rezepte entsprechen alle den deskriptiven Anforderungen der ÖNORM B 4710-1, wobei der max. zulässige W/B je Sorte konstant angesetzt, aber das Bindemittel „extrem“ hinsichtlich der Auswahl der Zemente und Zusatzstoffe (von CEM I, über CEM II/A+AHWZ bis zum CEM III etc.) und des Leimvolumen variiert wurde. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen aller potenziellen (theoretischen) Zusammensetzungen nach Norm und die Einordnung der bisher im Projekt NÖB hergestellten Betone.

## GWP- Spannweite der Betonsorten



- Grafik zeigt potenzielle Rezepte - nach ÖNORM B 4710-1 berechnet- die alle den deskriptiven Anforderungen entsprechen max. W/B; Variation Bindemittel („Extreme“ CEM I, CEM II/A+AHWZ, CEM III), LZ-Phase A1, Druckfestigkeitsklassen können lediglich indikativ zugeordnet werden  
→ riesige GWP-Spanne (>100%), alle normgemäß
- Die meisten hergestellten NÖB Betone liegen im unteren Bereich 2. Quartil, D<S<C

Abbildung 2.5.1: Einordnung der im Projekt NÖB hergestellten Betone im Vgl. der Spannweite aller potenziellen (theoretischen) Zusammensetzungen nach ÖNORM B 4710-3, berechnet für die Lebenszyklusphase A1 mittels GVTB-Betonrechner

In Abbildung 16 ist eine vorläufige Einordnung der im Projekt NÖB hergestellten Betone im Verhältnis zu den Referenzbetonen im GWP-Katalog des „LCCO<sub>2</sub> Tool“ (ÖBV AK Ökodaten, 2024) zu sehen.

### Vorläufige Einordnung NÖB Betone [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

Sortenvar.	A1 Mittelwert	n	A1-A3 Mittelwert	Δ(A2,A3)	Referenz LCCO <sub>2</sub> -tool Ökodatenkatalog		ΔGWP
	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>		kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>		kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	%	
XC1_S&D	117	11	125	8	k.A.		
XC2_S&D	120	14	128	8	C 20/25/XC2	153	-16%
B1_S&D	134	11	142	9	C 25/30/B1	165	-14%
B2_S	153	8	162	9	C 25/30/B2	179	-10%
B2_P TUG	110	1	119	9		179	-34%

GWP Reduktion durch performancebasierte Entwurfsverfahren

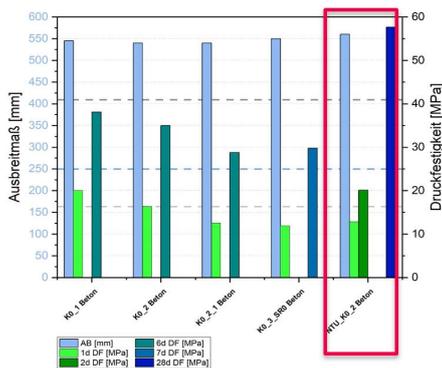
- Referenzbetone im GWP-Katalog des „LCCO<sub>2</sub> Tool“ laut ÖBV AK Ökodaten <https://www.bautechnik.pro/> -> AK Ökodaten download
- GWP: C>S>D>P

Abbildung 2.5.2: Einordnung der im Projekt NÖB hergestellten Betone im Verhältnis zu den Referenzbetonen

In der Abbildung 16 wird auch exemplarisch am Beispiel des an der TU Graz entwickelten Betons „B2\_P TUG“ aufgezeigt, wie stark sich das GWP durch einen performancebasierten Betonentwurf reduzieren lässt (-34%). Ein Ziel war es im ersten Projektjahr, mit der Herstellung von performancebasierten, CO<sub>2</sub>-reduzierten Betonen zu beginnen. Dem Aufruf folgten neben der TUG weitere 4 Hersteller, die eigene Performancebetone entwickelten und zur weiteren Prüfung ins Projekt einbrachten, sodass insgesamt drei performancebasierte Betone der Sorte XC2 und zwei der Sorte B2 hergestellt wurden.

Im Folgenden wird die Vorgangsweise bei performancebasierte Entwurfsverfahren am Beispiel des an der TU Graz entwickelten Betons aufgezeigt, der nach dem „Mikro-/Ecofüllerkonzept“ schrittweise entwickelt wurde. Abbildung 17 zeigt das Ergebnis des aus Vorversuchen an Bindemittelleimen, Mörtel und vier Betonvarianten optimierten „Mix K“ für den Performancebeton „B2\_P TUG“.

## Ergebnis Performance-Beton TUG „Mix K“



W/B-Wert:	0,57
W/B <sub>a</sub> -Wert: (k-Wert)	0,62
W/C-Wert	0,96
W/P-Wert	0,34
Gesamtwasser	140,6
Mehlkorn in Gest.k	89,3
Mehlkorn Gesamt	415,3
Bindemittelgehalt	247,7
anrech. Bindemittelgehalt (k-Wert)	227,5
Leimvolumen inkl. Luft	311,0
Leimvolumen ohne Luft	288,0
Vol-Leim/Vol-GeK	0,29
GWP [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] A1	110,2

B2\_P (TUG) GWP A1-A3: 119 [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

-34% GWP im Vgl. zu LCCO2 Referenz.

Abbildung 2.5.3: Ergebnis des optimierten „Mix K“ für den Performancebeton „B2\_P TUG“.

Alle bisher entwickelten Performancebetonvarianten weisen eine entsprechend gute Verarbeitbarkeit (Konsistenzklasse F52) und übertreffen die Festigkeit der äquivalenten Standardbetone teilweise. Die Dauerhaftigkeitsprüfungen sind allerdings noch nicht abgeschlossen und müssen im 2. Forschungsjahr beurteilt werden.

Sämtliche im Arbeitsplan des 1. Forschungsjahres vorgesehenen Arbeiten wurden im Arbeitspaket planmäßig und erfolgreich durchgeführt, sodass die Meilensteine erreicht wurden und CO<sub>2</sub>-Reduktionspfade am internat. Stand der Technik spezifiziert und der internationale Stand der Technik ausgewertet wurde. Darüber hinaus wurden bereits mehrere Performancebetone eingebracht und mit ihrer Evaluierung begonnen. Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets beträgt somit > 100 % im Berichtszeitraum.

### 2.6. Empfehlungen für die Praxis

**Fertigstellungsgrad: 100%**

Die Erarbeitung statistisch abgesicherter, klassenbildender Kennwerte für bestimmte Dauerhaftigkeitseigenschaften ist das Gesamtziel des Projektes und wird erst nach der vierjährigen Projektlaufzeit abgeschlossen werden können. Besonderer Fokus liegt dabei auf den Expositionsklassen für Karbonatisierung (XC) und Chlorideindringung (XD).

Nach dem Im ersten Projektjahr können deshalb noch keine abschließenden Empfehlungen für die Praxis abgegeben werden, sondern lediglich ein Zwischenstand aufgezeigt werden. In der folgenden Abbildung 18 wird der aktuelle Diskussionsstand der Entwicklung von XRC Klassen verbildlicht. In Abbildung 19 wird gezeigt, wie sich die bisher vollständig mit dem beschleunigten Verfahren geprüften Betonsortenvarianten (XC1 & XC2) und teilweise geprüften Betonsortenvarianten (B1, B2, B3) vorläufig in Relation zu den XRC Klassen und dem Stand der Technik setzen lassen.

## Klassenbildung - „Grenzen“ für XC, XD, XRC, XRD

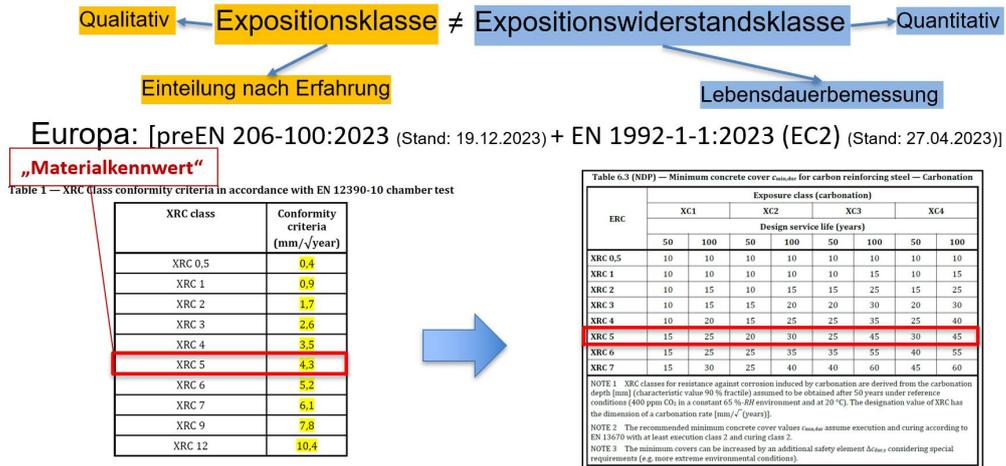
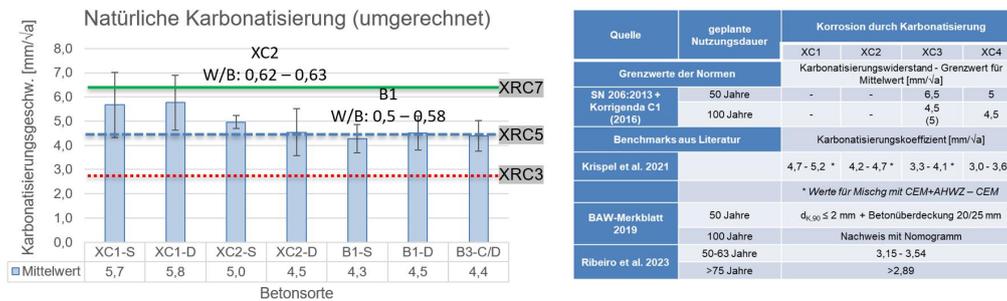


Abbildung 2.6.1: Diskussionsstand der Entwicklung von XRC Klassen

## Vorläufige Einordnung Karbonatisierung XC



**Klassenbildung & Grenzen zu diskutieren im Laufe der weiteren Forschungsjahre !**

Abbildung 2.6.2: vorläufige Relation der Betonsortenvarianten zu den XRC Klassen und dem Stand der Technik

Die Arbeiten im 1. Forschungsjahr wurden wie vorgesehen erfolgreich durchgeführt. Der Fertigstellungsgrad des Arbeitspakets beträgt 100 % im Berichtszeitraum.

### 3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten

keine Änderungen

### 4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeitseffekte sind im ersten Forschungsjahr von geplanten 4 Jahren schwer abzuschätzen bzw. nicht endgültig anzugeben. Das Projekt wird von Teilnehmern und dem erweiterten Kreis der Beteiligten in der Branche sehr engagiert betrieben, was u.a. sich dadurch zeigt, dass mehr Performancebetone mit dem Ziel der CO<sub>2</sub>-Reduktion als geplant bereits im ersten Forschungsjahr eingebracht wurden und somit

offenbar großes Interesse an der Transformation zur nachhaltigen Herstellung CO2-reduzierter Betone besteht.

Das Projekt trägt darüber jedenfalls dazu bei, die Dekarbonisierung im Betonbau voranzureiben und Klima- und Energieziele Österreichs und der EU zu erreichen. Zudem wird die bewährte Dauerhaftigkeit der Betonbauweise auch für neue Betone sichergestellt.

#### **Quellen**

**ÖNO21** ÖNORM EN 206:2021 - Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 2021, Austrian Standards International, 1