

F&E Aktuelle Forschungsprojekte

# Eigenschaften moderner Brückenbaubetone

**DI Gerald Maier**

Smart Minerals GmbH, *Wien*

**Kurztext Kolloquium 2018**

Vortragender: DI Gerald Maier

**Titel: „Eigenschaften moderner Brückenbaubetone“***Einleitung und Kurzbeschreibung*

Im Vorfeld des Projektes bestand die Vermutung, dass die durch Aushärten und Austrocknen bedingte Entwicklung der Materialeigenschaften moderner österreichischer Betone mit den Formelwerken des geltenden Eurocode 2 (ÖNORM B 1992-1-1) wesentlich weniger zuverlässig beschrieben werden können, als die Materialeigenschaften der früher verwendeten Portlandzement-Betone. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Österreichische Beton Benchmark – Oebb“ wurde daher gemeinsam mit Partnern (TU-Wien, BOKU, Vill ZT-GmbH) die charakteristische Frühzeitentwicklung moderner österreichischer Konstruktionsbetone der Betonsorte B5 charakterisiert. Teilergebnisse der durch die Smart Minerals GmbH durchgeführten Standardversuche werden vorgestellt und ein Vergleich mit den geltenden Formelwerken des Eurocode 2 durchgeführt.

Folgende Betonsorten von typischen Brückenbaubetonen wurden für die Untersuchungen herangezogen:

- Betonsorte 1: C30/37/F52/ GK22/B5
- Betonsorte 2: C35/45/F52/ GK22/B5
- Betonsorte 3: C40/50/F52/ GK22/B5

Die Betonsorten wurden mit Luftgehalten von 2 % und 6 % (untere sowie obere Grenze für Betonsorte B5 gemäß Tabelle B.5 Identitätskriterien ÖNORM B 4710-1) sowie mit quarzitischer als auch karbonatischer Gesteinskörnung hergestellt um so die mögliche Varianz der Betonsorte B5 in Österreich abzubilden.

*Ergebnisse***Rezeptur**

Aus den der Smart Minerals GmbH zu Verfügung stehenden Daten wurden die Rezepturen für Betonsorten der Festigkeitsklasse C30/37, C35/45 und C40/50/B5, die das Spektrum der in Österreich verwendeten Gesteinskörnungen und Bindemittelarten abdecken, definiert. In Tabelle 1 sind diese Leitrezepturen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Leitrezepturen Konstruktionsbetone Österreich

Rezepturen	C30/37/F52/GK22/B5	C35/45/F52/GK22/B5	C40/50/F52/GK22/B5
Zementsorte	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	CEM II/A-S 42,5 R	CEM I/52,5 R
W/B-Wert	0,48	0,45	0,42
Zement [kg/m <sup>3</sup> ]	320	410	420
AHWZ [kg/m <sup>3</sup> ]	40	0	0
Zielwert Luftgehalt [%]	2,0 / 6,0	2,0 / 6,0	2,0 / 6,0

**Druckfestigkeit**

Grundsätzlich erfüllen die hergestellten Betonsorten die Anforderung an die Druckfestigkeit für eine Konformitäts- bzw. ID-Prüfung auf der Baustelle.

Alle Betone zeigen einen typischen Festigkeitsverlauf. Betrachtet man die Festigkeiten bei höheren Luftgehalten zeigt sich, dass sich höhere Festigkeitsklassen insbesondere durch einen kleineren Festigkeitsabfall bei höheren Luftgehalten auszeichnen.

Durch eine Reduktion des Luftgehalts von 6 auf 2 % steigen die Festigkeiten beim C30/37 um durchschnittlich 40 % oder 11,6 N/mm<sup>2</sup> (MW über alle Prüfzeitpunkte) innerhalb der ersten 28 Tage. Das bedeutet eine Festigkeitsabnahme von 3,3 N/mm<sup>2</sup> pro zusätzliches Prozent Luft im Beton. Bei

quarzitische Gesteinskörnung unterscheiden sich die Festigkeiten um 54 % oder 13,2 N/mm<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Abnahme der Festigkeit je Prozent Luft ist mit 3,1 N/mm<sup>2</sup> vergleichbar. In Tabelle 2 sind die weiteren Festigkeitsverluste bei den höherwertigen Betonsorten zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Festigkeitsverluste durch Zunahme des Luftgehalts

	Luft-gehalt 1	Luft-gehalt 2	Gesteins-körnung	MW Festigkeits-zunahme [%] 1- 28d	MW Festigkeits-zunahme [N/mm <sup>2</sup> ] 1- 28d	Zunahme der Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> % <sub>Luft</sub> ]
C30/37/B5	2,0%	5,5%	karbonatisch	40%	11,6	3,3
C30/37/B5	1,9%	6,2%	quarzitisch	54%	13,2	3,1
C35/45/B5	2,3%	5,6%	karbonatisch	18%	6,1	1,9
C35/45/B5	2,4%	6,4%	quarzitisch	32%	9,9	2,5
C40/50/B5	2,3%	6,0%	karbonatisch	24%	10,9	2,9
C40/50/B5	2,3%	5,6%	quarzitisch	15%	6,9	2,1

Gemäß Tabelle 2 nehmen bei höheren Festigkeitsklassen die Festigkeitsunterschiede zwischen hohem und niedrigem Luftgehalt ab. Während beim C30/37 die Festigkeit zwischen niedrigem und hohem Luftgehalt noch um 40 bzw. 54 % abnehmen betragen die Verluste beim C35/45 bei 18 bzw. 32 % und beim C45/50 nur noch 24 bzw. 15 %.

In Tabelle 2 wird das Verhältnis zwischen der 1- und 28-Tagesfestigkeit und der 7- und 28-Tagesfestigkeit dargestellt.

Tabelle 2: Verhältnisse der Festigkeiten zwischen 1- und 28- sowie 7- und 28-Tagesfestigkeiten

Betonsorte	Zementsorte	Festigkeitsentwicklung	
		1/28 Tage	7/28 Tage
C30/37/B5/W55/GK22/F52	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	40%	76%
C35/45/B5/GK22/F52	CEM II/A-S 42,5 R	49%	84%
C40/50/B5/GK22/F52	CEM I/52,5 R	73%	90%

Bei der Festigkeitsentwicklung hat insbesondere die verwendete Zementsorte einen entscheidenden Einfluss. Während bei der Festigkeitsklasse C30/37 (CEM II/A 42,5 N) nach einem Tag 40 % und nach sieben Tagen 76 % der 28 Tages Festigkeit erreicht wurden, weist die Betonsorte C35/45/B5 bei Verwendung eines CEMII/A 42,5 R bereits 49 bzw. 84 % und die Betonsorte C40/50 bei Verwendung eines CEM I 52,5 R nach einem Tag bereits 73 % und nach 7 Tagen bereits 90 % der 28 Tages Festigkeit auf. In Abbildung 1 ist die Prognose gemäß ÖNORM EN 1992-1-1 und der tatsächlich geprüfte Festigkeitsverlauf dargestellt

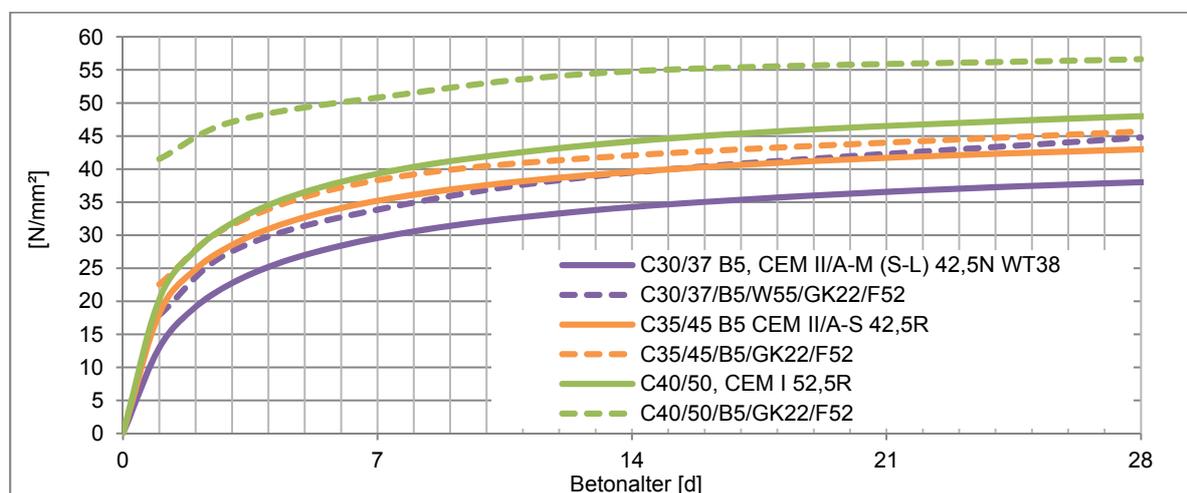


Abbildung 1: Verlauf der prognostizierten (durchgehende Linien) zum tatsächlich festgestellten Verlauf der Druckfestigkeit (Mittelwert der 4 Rezepturen je Betonsorte – 2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen)

Grundsätzlich wird der Verlauf der Festigkeitsentwicklung durch den Formelkörper gemäß Eurocode 2 sehr gut beschrieben. Beispielsweise entspricht die Vorhersage gemäß Eurocode beim C30/37/B5/W55/GK22/F52 genau den tatsächlich geprüften Festigkeitswerten. Für niedrigere Luftgehalte von nur ca. 2 % wird die Festigkeit unterschätzt. Für sehr hohe, an der Obergrenze für einen B5 gelegene Luftgehalte von ca. 6 % bei Verwendung quarzitischer Gesteinskörnung, wird die Festigkeitsentwicklung jedoch (13 % beim 28-Tageswert) überschätzt. Werden die Mittelwerte der Druckfestigkeiten der 4 Serien je Rezeptur (2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen) gebildet und mit den Prognosen verglichen (siehe Abbildung 1) werden alle Betonsorten gemäß Eurocode unterschätzt, wobei der Fehler umso größer ist, je höher die Druckfestigkeitsklasse der Betonsorte ist.

### E-Modul

Es zeigt sich, dass die größten Unterschiede in der Geschwindigkeit der Entwicklung des E-Moduls liegen. Während bei der Festigkeitsklasse C30/37 nach einem bzw. 7 Tagen erst 65 bzw. 88 % des 28 Tage E-Moduls vorliegen, liegen bei der Betonsorte C40/50/B5 bereits 81 % nach 1 Tag und 94 % nach 7 Tagen vor. Der C35/45/B5 liegt dazwischen. In Tabelle 3 sind die Verhältnisse von 1 und 7 Tageswerten gegenüber den 28 Tageswerten berechnet.

Tabelle 3: Verhältnisse der E-Module zwischen 1- und 28- sowie 7- und 28-Tage

Betonsorte	Zementsorte	Stat- E-Modulentwicklung	
		1/28 Tage	7/28 Tage
C30/37/B5/W55/GK22/F52	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	65%	88%
C35/45/B5/GK22/F52	CEM II/A-S 42,5 R	69%	90%
C40/50/B5/GK22/F52	CEM I/52,5 R	81%	94%

Der bereits bei den Druckfestigkeiten in Tabelle 1 festgestellte Trend bestätigt sich beim E-Modul. Die größten Unterschiede zwischen den Luftgehalten können bei den niedrigeren Festigkeitsklassen festgestellt werden. Je Prozent weniger Luft im Beton steigt der E-Modul durchschnittlich für alle Betonsorten um 1300 N/mm<sup>2</sup>. In Tabelle 4 ist die Zunahme des E-Moduls bei niedrigeren Luftgehalten für alle Betonsorten zusammengefasst.

Tabelle 4: Verlust des E-Moduls durch Zunahme des Luftgehalts

	Luftgehalt 1	Luftgehalt 2	Gesteinskörnung	Mittlere Festigkeitszunahme [%] 1- 28d	Mittelwert der Zunahme des E-Moduls [Nmm <sup>2</sup> ] 1- 28d	Zunahme des E-Moduls [N/mm <sup>2</sup> % <sub>Luft</sub> ]
C30/37/B5/W55/GK22/F52	2,0%	5,5%	karbonatisch	15%	4200,0	1200
C30/37/B5/W55/GK22/F52	1,9%	6,2%	quarzitisch	31%	7960,0	1850
C35/45/B5/GK22/F52	2,3%	5,6%	karbonatisch	18%	4800,0	1450
C35/45/B5/GK22/F52	2,4%	6,4%	quarzitisch	17%	4780,0	1200
C40/50/B5/GK22/F52	2,3%	6,0%	karbonatisch	17%	5240,0	1400
C40/50/B5/GK22/F52	2,3%	5,6%	quarzitisch	7%	2320,0	700

Der Verlauf der Vorhersage des Eurocodes ist grundsätzlich den tatsächlich festgestellten Verläufen des E-Moduls sehr ähnlich. Bei der Festigkeitsklasse C30/37 beschreibt der Verlauf des E-Moduls am ehesten den Verlauf der hohen Luftgehalte – wobei die Einschätzung am besten zu karbonatischer Gesteinskörnung passt. Beim C35/45 passt die Vorhersage hingegen zu den niedrigeren Luftgehalten während beim C40/50 wiederum die hohen Luftgehalte beschrieben werden. Werden die Mittelwerte aus den 4 Serien je Rezeptur (2 Luftgehalte und 2 Gesteinskörnungen) mit den Prognosen gemäß Eurocode verglichen ergibt sich folgendes in Abbildung 2 dargestelltes Bild.

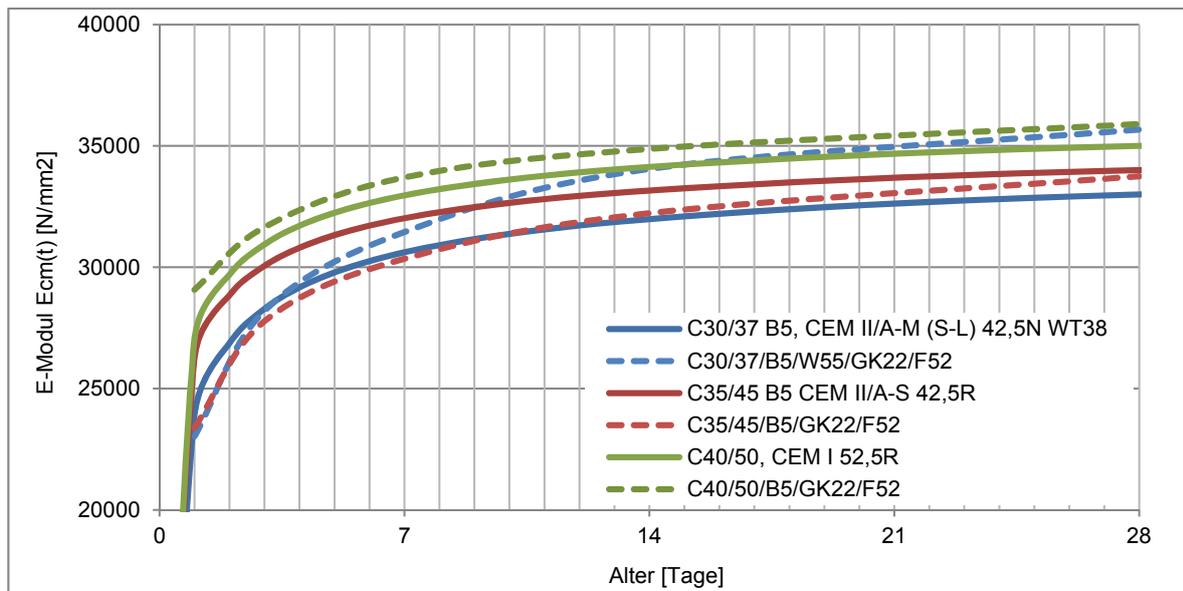


Abbildung 2: Verlauf der prognostizierten (durchgehende Linien) zum tatsächlich festgestellten Verlauf der Druckfestigkeit (strichliert, Mittelwert der 4 Rezepturen je Betonsorte – 2 Luftgehalte, 2 Gesteinskörnungen)

### Schwinden

Die Schwindmessung wurde in einem Betonalter von 24h bis 26 Wochen durchgeführt. Die Probekörperlagerung erfolgte in den ersten 24 h in der Schalung. Danach wurden die Balken offen und unversiegelt bei 20 °C und 65 % Luftfeuchte gelagert. Gemäß den Lagerungsbedingungen wird daher das Trocknungsschwinden sowie das autogene Schwinden nach 24 h bestimmt. In Tabelle 5 sind die festgestellten Schwindwerte zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5: Schwinddehnungen sortiert nach der Größe

Betonsorte	GK	Zement	Luft [%]	Dehnung 26 Wochen [‰]
C35/45/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-S 42,5 R	6,0	-0,58
C35/45/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-S 42,5 R	6,0	-0,56
C35/45/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-S 42,5 R	2,4	-0,53
C35/45/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-S 42,5 R	2,4	-0,47
C30/37/B5/W55/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	5,9	-0,46
C40/50/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM I 52,5 R	5,8	-0,43
C30/37/B5/W55/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	5,9	-0,41
C40/50/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM I 52,5 R	5,6	-0,39
C40/50/B5/GK22/F52	quarzitisch	CEM I 52,5 R	2,3	-0,38
C30/37/B5/W55/GK22/F52	quarzitisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	2,3	-0,38
C40/50/B5/GK22/F52	karbonatisch	CEM I 52,5 R	2,4	-0,35
C30/37/B5/W55/GK22/F52	karbonatisch	CEM II/A-M (S-L) 42,5 N WT38	2,1	-0,31

Generell werden die höchsten Schwindmaße vom Beton C35/45/B5 mit hohem Wassergehalt, hohen Luftgehalten und Zementen mit Hüttensand als Zumahlstoff erreicht.

Der Luftgehalt hat ebenfalls einen großen Einfluss. Die höchsten Schwindmaße der Betonsorte C35/45/B5 werden von den Mischungen mit hohem Luftgehalt erreicht. Das Schwindverhalten wird bei höheren Luftgehalten offensichtlich durch erhöhte Porosität des Zementsteins und verstärktem inneren Austrocknen verschlechtert oder zumindest beschleunigt.

Es wurde eine hohe Übereinstimmung der Vorhersage des Schwindens durch den Eurocode zu den tatsächlich festgestellten Bauteilverkürzungen festgestellt. Beim C30/37 liegt die Vorhersage im Mittelfeld der geprüften Kurven. Beim C35/45 wird das Schwinden unterschätzt und die Vorhersage überlappt sich am mit den Kurven bei niedrigen Luftgehalten. Umgekehrt beim C40/50: Hier wird das Schwinden eher überschätzt und die Kurve bewegt am ehesten im Bereich der festgestellten Schwindkurven für die hohen Luftgehalte.