

ÖBV ERGEBNISBLATT · FORSCHUNGSJAHR

TempOptLowCarb

Zielsichere Herstellung von Bauteilen mit temperatur- und CO₂-optimierten Betonen

FORSCHUNGSJAHR 3	BERICHTSZEITRAUM 01/2025 07/2026	WISSENSCHAFTLICHE INSTITUTIONEN TU Graz / Institut für Betonbau
---------------------	-------------------------------------	--

01 KURZFASSUNG

Das Ziel des Forschungsprojekts TempOptLowCarb war die Entwicklung von Herstellungsbedingungen und Nachbehandlungsmaßnahmen für den zielsicheren und effizienten Einsatz von temperatur- und CO₂-optimierten Betonen, insbesondere im Hinblick auf Frischbetontemperatur, Risskontrolle und Nachbehandlung. Im dritten Forschungsjahr wurde die Auswertung des Langzeitmonitorings finalisiert, die umfangreiche numerische Parameterstudie abgeschlossen und die Ergebnisse in konkrete Anwendungsempfehlungen übergeführt.

Eine wichtige Erkenntnis des Forschungsprojekts ist, dass eine rechnerisch ausreichende Mindestbewehrung nur dann wirksam zur Begrenzung der Rissbreite beitragen kann, wenn sich zum Zeitpunkt der Rissentstehung bereits ausreichend Verbund zwischen Beton und Bewehrung entwickelt hat. Ein Schwerpunkt bei der Auswertung der umfassenden Parameterstudie mit 2160 Berechnungen für unterschiedliche Betonrezepturen, Bauteildicken, Bauteiltypen, Jahreszeiten, Temperaturszenarien und Nachbehandlungsmaßnahmen lag daher auf der Bestimmung des Zeitpunkts, ab dem eine ausreichende Verbundfestigkeit für eine wirksame Risskontrolle angenommen werden kann. Als Mindestdauer der thermischen Nachbehandlung wurde daraus $t(T_{FB}) = \max\{116 - 4 \cdot T_{FB}; 36 \text{ h}\}$ abgeleitet. Bei Wänden definiert diese Dauer den frühestmöglichen Ausschalzeitpunkt und bei horizontalen Flächen ist die erforderliche thermische Nachbehandlung durch eine geeignete Abdeckung bereits ab dem Herstelltag für diese Dauer sicherzustellen.

Eine weitere wesentliche Erkenntnis ist, dass die erhärtungsbedingte Rissgefahr nicht zuverlässig über pauschale Grenzwerte der maximalen Bauteiltemperatur beziehungsweise der Frischbetontemperatur beurteilt werden kann. Maßgebend sind vielmehr die Differenz zwischen Frischbeton- und Umgebungstemperatur sowie der Temperaturverlauf der Umgebungstemperatur. Hierfür wurde ein mechanisch begründeter Nachweis zur Rissvermeidung entwickelt, der die tatsächlichen Umgebungsbedingungen berücksichtigt. Für eine einfache praktische Regelung wird vorgeschlagen, dass die Frischbetontemperatur grundsätzlich maximal 5 °C über der Umgebungstemperatur liegen sollte, im Winter maximal 10 °C.

Darüber hinaus wurde ein neuer Ansatz zur Ermittlung der Mindestbewehrung entwickelt, der das tatsächliche Rissverhalten über geometrisch vorgegebene Primärrisse berücksichtigt und ohne Annahmen zur Betonzugfestigkeit zum Risszeitpunkt auskommt. Insgesamt wurden die Projektziele erreicht und die wissenschaftlichen Ergebnisse in praxisorientierte Empfehlungen für den Einsatz von temperatur- und CO₂-optimierten Betonrezepturen überführt.

02 KERNAUSSAGE FÜR DIE BRANCHE

Die erhärtungsbedingte Rissgefahr lässt sich nicht über pauschale Grenzwerte der maximalen Bauteiltemperatur bzw. der Frischbetontemperatur beurteilen, sondern vielmehr über die Differenz zwischen Frischbeton- und Umgebungstemperatur, weshalb bestehende absolute Temperaturgrenzen durch differenzbasierte Vorgaben ersetzt werden sollten.

Die Wirksamkeit einer rechnerisch ausreichenden Mindestbewehrung ist nur dann gewährleistet, wenn sich vor maßgebender Rissbildung ein ausreichender Verbund zwischen Beton und Bewehrung entwickeln kann. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbunds ergibt sich eine Mindestzeit für die thermische Nachbehandlung, welche bei Wänden durch das Belassen in der Schalung und bei horizontalen Flächen durch eine Abdeckung bereits ab dem Herstelltag gewährleistet wird.

DAS PROJEKT WIRD UNTERSTÜTZT DURCH

03 WESENTLICHE ERGEBNISSE

Faseroptisches Langzeitmonitoring

Das faseroptische Langzeitmonitoring an einem realen Infrastrukturbau teil wurde über die Projektlaufzeit fortgeführt und abschließend ausgewertet. Neben der kontinuierlichen Erfassung der Temperatur und der Dehnungsentwicklung wurde ein Auswertungsansatz entwickelt, mit dem aus den gemessenen Dehnungen der Behinderungsgrad sowie die daraus resultierende Spannungsentwicklung im erhärtenden Beton abgeleitet werden können.

Damit steht eine Methode zur Verfügung, mit der die erhärtungsbedingte Beanspruchung eines realen Bauteils sowohl über den Einbau als auch den Nutzungszeitraum nachvollzogen und als Grundlage für die Bewertung und Validierung thermomechanischer Berechnungen herangezogen werden kann.

Numerische Parameterstudie

Auf Grundlage der validierten Berechnungsmodelle wurde eine umfassende Parameterstudie mit 2160 Berechnungen durchgeführt. Untersucht wurden sechs Betonrezepturen, fünf Bauteildicken, drei Bauteiltypen, drei Jahreszeiten, vier Temperaturszenarien sowie unterschiedliche Nachbehandlungsbedingungen. Die Parameterstudie ermöglichte eine systematische Bewertung des Einflusses der Betonrezeptur, Bauteilgeometrie, Frischbetontemperatur, Umgebungstemperatur und Nachbehandlung auf die Temperatur und die Spannungsentwicklung während der Erhärtung. Im dritten Forschungsjahr wurde sie insbesondere zur Ableitung einer erforderlichen Mindestdauer der thermischen Nachbehandlung genutzt.

Ausschalen und thermische Nachbehandlung

Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass eine rechnerisch ausreichende Mindestbewehrung nur dann wirksam zur Risskontrolle beitragen kann, wenn sich zum Zeitpunkt der Rissentstehung bereits ein ausreichender Verbund zwischen Beton und Bewehrung entwickelt hat. Als praxisgerechtes Kriterium für eine ausreichende Verbundfestigkeit wurde $f_{ctm}(t) > 0,3 \cdot f_{ctm}$ angesetzt.

Auf Grundlage der Parameterstudie wurde daraus für die thermische Nachbehandlung eine Mindestdauer von $t(T_{FB}) = \max\{116 - 4 \cdot T_{FB}; 36 \text{ h}\}$ abgeleitet. Bei Wänden definiert diese Dauer den frühestmöglichen Ausschalzeitpunkt und bei horizontalen Flächen ist die Nachbehandlung bereits ab dem Herstelltag für diese Dauer sicherzustellen. Für mittlere Umgebungstemperaturen bis 5 °C ist hierfür eine Thermomatte, bei höheren Temperaturen zumindest eine Folienabdeckung vorgesehen. Zusätzlich ist die Betonoberfläche mindestens sieben Tage vor Feuchtigkeitsverlusten zu schützen.

Temperaturgrenzen und Rissvermeidung

Die Untersuchungen zeigen, dass die erhärtungsbedingte Rissgefahr nicht zuverlässig über pauschale Grenzwerte der maximalen Bauteiltemperatur und der Frischbetontemperatur beurteilt werden kann. Maßgebend sind vielmehr die Differenz zwischen Frischbeton- und Umgebungstemperatur sowie der zeitliche Verlauf der Umgebungstemperatur. Selbst bei gleichem Beton, gleichem Bauteil und gleicher Frischbetontemperatur können unterschiedliche Umgebungstemperaturverläufe zu deutlich unterschiedlichen Rissrisiken führen. Hierfür wurde ein mechanisch begründeter Nachweis zur Rissvermeidung entwickelt, der die tatsächlichen Umgebungsbedingungen sowie die maßgebenden Anteile der Temperaturbeanspruchung berücksichtigt. Als mechanisches Kriterium zur Vermeidung von Makrorissen wurde eine Temperaturbeanspruchung von 12 °C, entsprechend einer konservativ angesetzten Bruchdehnung von etwa 0,12 ‰, verwendet.

Für eine einfache praktische Regelung wird vorgeschlagen, die bisherigen absoluten Temperaturgrenzen durch eine Kopplung an die Umgebungstemperatur zu ersetzen. Grundsätzlich soll $T_{FB} - T_{\text{Umgebung}} \leq 5 \text{ °C}$ gelten, unter winterlichen Bedingungen maximal 10 °C.

Mindestbewehrung

Die Untersuchungen zeigen, dass die Bestimmung der Mindestbewehrung auf Grundlage einer angenommenen reduzierten Betonzugfestigkeit zum Risszeitpunkt mechanisch nicht konsistent ist. Der tatsächliche Risszeitpunkt wird stark durch Bauteildicke, Umgebungsbedingungen und Nachbehandlung beeinflusst und kann daher nicht allgemeingültig festgelegt werden.

Im Projekt wurde daher ein neuer Bemessungsansatz entwickelt, der ohne Annahmen zur Betonzugfestigkeit zum Risszeitpunkt auskommt. Der Ansatz berücksichtigt den tatsächlichen Rissbildungsprozess über den bauteiltypabhängigen, geometrisch vorgegebenen Primärrissabstand sowie die Verformungskompatibilität. Für Bodenplatten wird dabei ein geometrisch vorgegebener Primärrissabstand von $l_{cr} \leq 5,5 \cdot \sqrt{h_{\text{slab}}}$, für Wände auf Fundamenten von $l_{cr} \leq 1,2 \cdot h_{\text{wall}}$ berücksichtigt.

Die Vergleichsrechnungen zeigen, dass sich mit dem neuen Ansatz die erforderliche Bewehrung gegenüber den bisherigen Regelungen je nach Bauteiltyp unterschiedlich verändert. Bei Wänden kann insbesondere für kleine zulässige Rissbreiten eine höhere Bewehrungsmenge erforderlich werden, während sich bei Bodenplatten generell geringere Bewehrungsmengen ergeben.

Der neue Ansatz bildet gemeinsam mit den vorgeschlagenen Temperaturregelungen ein mechanisch konsistentes Gesamtkonzept zur Risskontrolle. Bei Beibehaltung des bisherigen Mindestbewehrungsansatzes können die bestehenden strengen Temperaturgrenzen nicht generell durch die vorgeschlagenen, weniger restriktiven Vorgaben ersetzt werden.

DAS PROJEKT WIRD UNTERSTÜTZT DURCH

04 ABWEICHUNGEN / OFFENE PUNKTE

Es bestehen keine wesentlichen inhaltlichen Abweichungen hinsichtlich der Projektziele. Die vorgesehenen wissenschaftlichen Untersuchungen wurden abgeschlossen und die Projektziele erreicht. Über den unmittelbaren Projektabschluss hinaus erfolgt derzeit noch der Transfer der Ergebnisse in Publikationen und technische Regelwerke.

05 OFFENE ARBEITEN / NÄCHSTE SCHRITTE

Die wesentlichen Forschungsarbeiten des Projekts sind abgeschlossen. Als nächster Schritt steht insbesondere der Transfer der entwickelten Anwendungsempfehlungen in die Praxis und in bestehende Regelwerke im Vordergrund. Konkret wurden Vorschläge zur Überarbeitung der ÖBV Richtlinie „Weiße Wannen“ ausgearbeitet und am 01.10.2026 vorgestellt.

Zusätzlich sollen die entwickelten Temperaturkriterien zur Rissvermeidung und die daraus abgeleiteten Herstellungsempfehlungen weiter wissenschaftlich publiziert und für eine praktische Anwendung aufbereitet werden.

06 PUBLIKATIONEN & DISSEMINATION

Schlicke, D. und Krenn, C.: Kritische Betrachtung von Temperaturkriterien zur Kontrolle der erhärtungsbedingten Rissgefahr. Beton und Stahlbetonbau. DOI: 10.1002/best.202400023.

Schlicke, D., Anegg, C., Mayrhofer, G., Schramböck, M. und Vill, M.: Vorschlag für eine mechanisch konsistentere Ermittlung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite / Proposal for a more mechanically consistent determination of the minimum reinforcement for crack control. Beton und Stahlbetonbau, 2026. DOI: 10.1002/best.70110.

Schlicke, D., Monsberger, C. M. und Buchmayer, F.: On site assessment of hardening induced temperature, strain and stress history by distributed fiber optic sensing. 2nd International RILEM Conference on Early Age and Long Term Cracking in RC Structures.

Schlicke, D., Anegg, C., Mayrhofer, G., Schramböck, M. und Vill, M.: Control of crack widths due to imposed and restrained strains without assumptions on the cracking time. Structural Concrete 2050 Towards Carbon Neutrality, AI Design, and Robotic Construction. Proceedings of the 7th fib Congress, Lisbon, Portugal, 15-19 June 2026, pp 7871–7880.

DAS PROJEKT WIRD UNTERSTÜTZT DURCH

					
					