

Dauerstandverhalten von Beton

Concrete behaviour under high sustained loads

Empelmann, M.; Javidmehr, S.

Abstract

Reinforced and prestressed concrete structural members have to resist sustained loads in the Ultimate Limit State (ULS). Under sustained compressive stresses, a reduction of effective compressive strength of concrete is observed in experiments on normal and high strength concrete, which is affected by the time-dependent loading parameters such as load level, concrete age at loading and load duration as well as concrete mixture parameters. For a detailed determination of the reduction factor in a higher approximation level and for a better utilization of material, the effects of time-dependent loading parameters are evaluated for normal and high strength concrete at iBMB, Division of Concrete Construction of TU Braunschweig. Based on database evaluations, a theoretical approach is validated and proposed for the determination of sustained compressive strength of concrete under high sustained loads.

1. Einleitung

Bauteile aus Stahl- und Spannbeton müssen für alle auftretenden Beanspruchungen, die innerhalb deren Lebensdauer auftreten können, standsicher sein. Dies gilt unabhängig von der jeweiligen Beanspruchungsart und -kombination, aber auch für den Beanspruchungszeitpunkt und die Beanspruchungsdauer. So können zu einem beliebigen Zeitpunkt während der Nutzung (Beanspruchungsalter $t_{s,0}$) maßgebende Beanspruchungen infolge von Schwerlasttransporten auf Brücken eine Beanspruchungsdauer (Δt) von einigen Minuten bis zu mehreren Stunden haben, während Schneeanlagerungen auf Dächern eine Δt von mehreren Wochen oder Monaten aufweisen können.

Nach Eurocode 2 (EC2) /1/ werden die Einflüsse aus langfristig wirkenden (hohen) Druckbeanspruchungen über die Abminderung der charakteristischen Kurzzeitdruckfestigkeit (Referenzalter $t_{ref} = 28$ Tage) von Beton f_{ck} mittels des Beiwerts α_{cc} berücksichtigt:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

Der α_{cc} -Beiwert wird nach EC2 länderspezifisch festgelegt und liegt zwischen 0,80 und 1,00 ($\alpha_{cc} = 0,85$ nach

deutschem NA /1/) /2/. Dieser Wert darf zwar begründet angepasst werden, es fehlen aber Hinweise für den Planer für eine fallspezifische Bestimmung des α_{cc} -Beiwerts.

Der Beiwert α_{cc} erfasst sowohl die Einflüsse aus der Änderung der Betondruckfestigkeit unter Dauerstandbeanspruchung auf der Materialeite (Teilbeiwert $\alpha_{cc,m}$) als auch bauteilspezifische Effekte (Teilbeiwert $\alpha_{cc,b}$).

$$\alpha_{cc} = \alpha_{cc,b} \cdot \alpha_{cc,m} \quad (2)$$

Bei $\alpha_{cc,b}$ und $\alpha_{cc,m}$ handelt es sich um pauschale Beiwerte, die gemäß /3/ für EC2+NA zu $\alpha_{cc,b} = 0,95$ und $\alpha_{cc,m} = 0,90$ angesetzt werden.

Für eine bauwerks- und fallspezifische Bestimmung des $\alpha_{cc,m}$ -Beiwerts wurden theoretische Untersuchungen am iBMB, Fachgebiet Massivbau durchgeführt.

2. Experimentelle Untersuchungen

Die zeitabhängigen Effekte auf die Betondruckfestigkeit werden experimentell anhand von Dauerstandversuchen erfasst. Hierbei stehen Betonproben mit unterschiedlichem Beanspruchungsalter $t_{s,0}$ und Referenz-Kurzzeitfestigkeit $f_{c,ref}$ unter festgelegten Spannungsniveaus $\sigma_{sus} / f_{c,ref}$. Ab einem gewissen Spannungsniveau η_{crit} führt die Dauerstandbeanspruchung zu einem Dauerstandbruch. Die Dauerstandversuche an Normal- und Hochleistungsbetonen (NSC und HSC) aus der Fachliteratur wurden in einer Datenbank zusammengestellt (Bild 1) und für die Bestimmung des $\alpha_{cc,m}$ -Beiwerts systematisch ausgewertet.

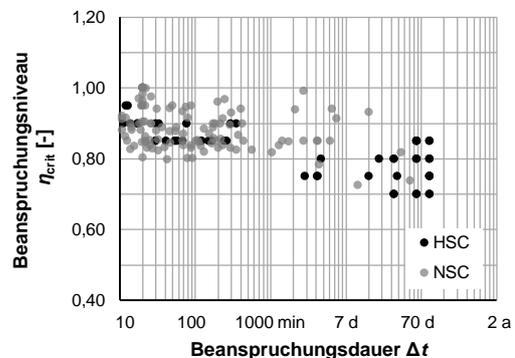


Bild 1: η_{crit} von Dauerstandversuchen

3. Ansatz zur differenzierten Bestimmung des Beiwerts $\alpha_{cc,m}$

Um Einflüsse aus langfristig wirkenden hohen Druckbeanspruchungen differenziert zu erfassen, muss die Beanspruchungsdauer Δt , aber auch das Beanspruchungsalter $t_{s,0}$ berücksichtigt werden. Diese beeinflussen die Nacherhärtung β_{cc} (vor und während der Dauerstandbeanspruchung), welche nach prEN /4/ für unterschiedliche Zementklassen und Referenzalter t_{ref} wie folgt berechnet werden kann:

$$\beta_{cc}(t_{s,0}, t_{ref}) = \frac{f_{c,t_s}}{f_{c,ref}} = \exp\left(s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{t_{ref}}{t_s}}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{t_{ref}}}\right) \quad (3)$$

Hierbei ist s vom verwendeten Zement abhängig (vereinfacht für Zementklasse R und hochfeste Betone = 0,20; N = 0,25; S = 0,38). Der Festigkeitsabfall steigt während der Dauerstandbeanspruchung mit der Beanspruchungsdauer Δt . Die Datenbankauswertung für NSC Proben zeigt, dass der Festigkeitsabfall mit der Korrelation nach Model Code 2010 /5/ mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden kann. Diese Effekte können in einem multiplikativen Ansatz kombiniert werden, um einen auf die Referenz-Kurzzeitbetondruckfestigkeit $f_{c,ref}$ (bestimmt zu einem Referenzzeitpunkt t_{ref}) angepassten Beiwert $\alpha_{cc,m}$ zu berechnen. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Fall 1: Für die Berechnung eines $\alpha_{cc,m}$ -Beiwerts für die Anpassung einer Kurzzeitfestigkeit, die zum Beanspruchungszeitpunkt ermittelt wurde (z. B. aus Bohrkernuntersuchungen) d. h. $t_{ref} = t_{s,0}$ und $t_{s,0} \neq 28$ Tage

$$\alpha_{cc,m,1} = \beta_{c,sus}(\Delta t) \cdot \beta_{cc}(t_{s,0}, t_{ref}) = \frac{f_{c,sus}}{f_{c,t_s}} \cdot \frac{f_{c,t_s}}{f_{c,ref}} \quad (4)$$

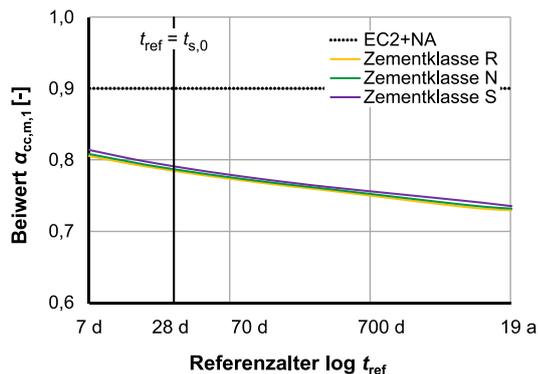


Bild 2: $\alpha_{cc,m,1}$ -Beiwert für unterschiedliche Referenzalter t_{ref}

Wird der $\alpha_{cc,m}$ -Beiwert auf die zum Zeitpunkt der Bemessung vorhandene Referenz-Betondruckfestigkeit $f_{c,ref}$ bezogen ($t_{ref} \neq 28$ Tagen), z. B. um die tatsächlich vorliegenden Betonfestigkeitsverhältnisse in den Nachweisen genauer abzubilden, dann ergibt sich der in Bild 2 darge-

stellte Zusammenhang für den Beiwert $\alpha_{cc,m}$. Der günstige Effekt der Nacherhärtung während der Dauerstandbeanspruchung auf den $\alpha_{cc,m}$ -Beiwert ist hierbei schon in der Referenz-Betondruckfestigkeit enthalten.

Fall 2: $t_{ref} \neq t_{s,0}$ und $t_{ref} = 28$ Tage, d. h. als Referenz-Kurzzeitdruckfestigkeit von Beton wird die 28-Tage Betondruckfestigkeit $f_{c,28}$ verwendet und das Alter bei Dauerstandbeanspruchung $t_{s,0}$ ist variabel.

$$\alpha_{cc,m,2} = \alpha_{cc,m,1} \cdot \exp\left(s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_{s,0}}}\right)\right) \quad (5)$$

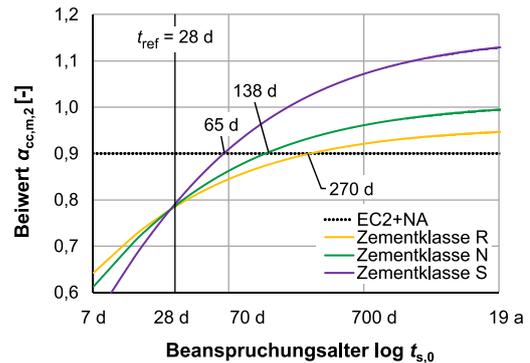


Bild 3: $\alpha_{cc,m,2}$ -Beiwert für unterschiedliche Beanspruchungsalter $t_{s,0}$

Im Fall einer späteren Beanspruchung $t_{ref} < t_{s,0}$ ermöglicht der vorgestellte Ansatz (Bild 3 bzw. Gl (5)) eine wirtschaftlichere Festlegung der $\alpha_{cc,m}$ unter Berücksichtigung der Nacherhärtung.

4. Literatur

- /1/ DIN EN 1992-1-1/NA: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. April 2013.
- /2/ Empelmann, M.; Oettel, V.; Brachmann, G.: Hintergrundrecherche und Vergleichsrechnungen zum Eurocode 2 im Rahmen der Auswertungen der Nationalen Anhänge. DAFStb-Forschungsvorhaben S 014, Schlussbericht, 2016.
- /3/ Empelmann, M.; Javidmehr, S.: Dauerstandverhalten von Normalbeton. Beton- und Stahlbetonbau 115 (2020), early view.
- /4/ prEN 1992-1-1:2017-10: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, rules of buildings, bridges and civil engineering structures.
- /5/ fib – International Federation for Structural Concrete. fib Model Code for Concrete Structures 2010.