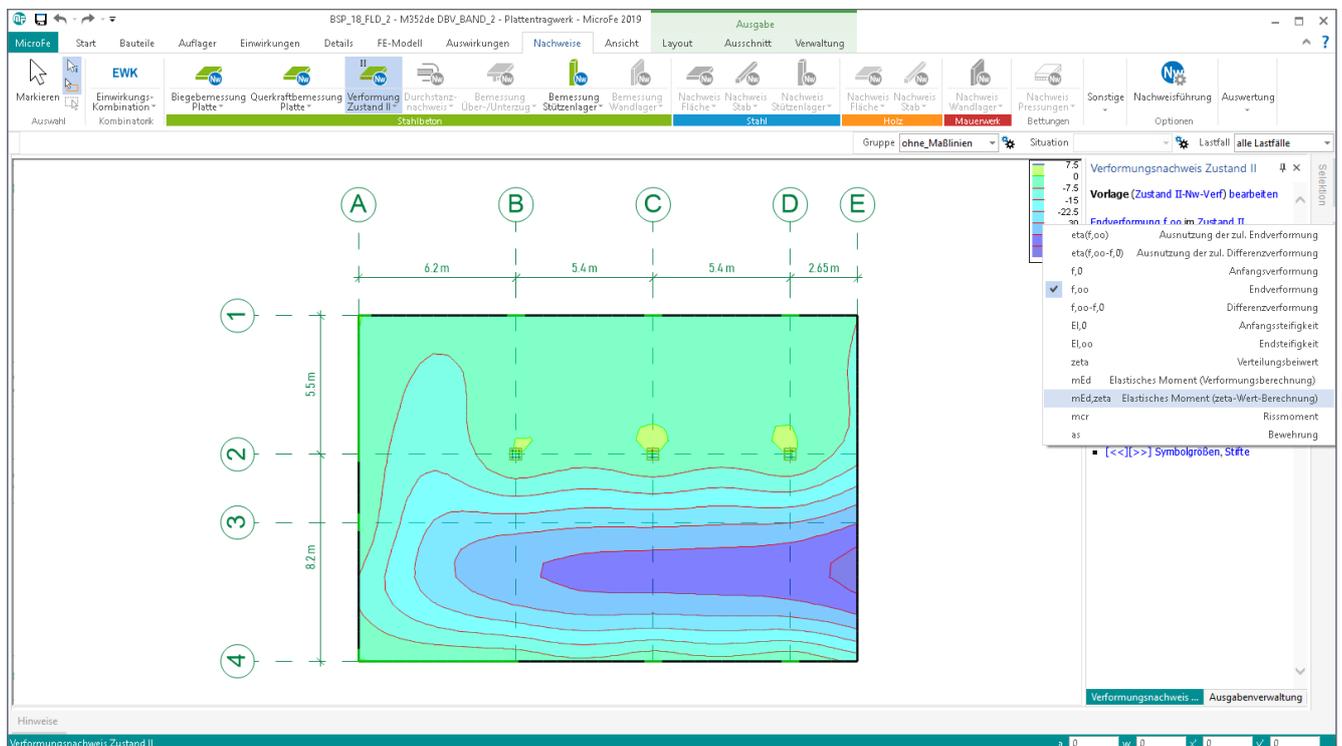


Dipl.-Ing. Sven Hohenstern

# Belastungsgeschichte beim Verformungsnachweis im Zustand II

## Leistungserweiterung der MicroFe-Module M352.de und M353.de

Eine genaue Abschätzung der Verformungen von Stahlbetondecken ist nur unter Berücksichtigung des gerissenen Betons möglich. Dabei hat die vorhandene Steifigkeit des Bauteils einen deutlichen Einfluss auf die ermittelte Verformung. Deshalb ist es wichtig, insbesondere auch diejenigen gerissenen Bauteilbereiche zu erfassen, die sich nicht nur im Endzustand, sondern während der gesamten Belastungsgeschichte des Bauteils ergeben, um die Verformungen nicht zu unterschätzen.



Die MicroFe-Module M352.de und M353.de zur Verformungsberechnung unter Berücksichtigung des gerissenen Querschnitts im Zustand II sind um eine Nachweisoption ergänzt worden, um die Steifigkeitsverteilung gerissener Bauteilbereiche genauer erfassen zu können. Deren Einfluss auf die Verformungsberechnung soll in diesem Artikel kurz beleuchtet werden.

Weitergehende Informationen zu den MicroFe-Modulen M352.de und M353.de sind in [6] zu finden.

## Verformungsnachweis nach Eurocode 2

Der Nachweis der Begrenzung der Verformungen von Stahlbetondecken kann nach DIN EN 1992-1-1 [2] ohne direkte oder mittels direkter Berechnung der Verformungen geschehen. Wenn die Voraussetzungen für den vereinfachten Nachweis ohne direkte Berechnung über die Einhaltung von Biegeschlankheiten nach Kapitel 7.4.2 nicht erfüllt sind oder wenn eine höhere Genauigkeit gefordert wird, ist eine rechnerische Ermittlung der Verformungen nach Kapitel 7.4.3 unter Berücksichtigung des Aufreißens des Betons notwendig.

**Querschnittsteifigkeit**

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit befindet sich i.d.R. nicht die komplette Decke im gerissenen Zustand II, sondern es verbleiben auch Bereiche im ungerissenen Zustand I. Innerhalb des Systems bilden sich somit gerissene und ungerissene Teilbereiche, vgl. Bild 1. Das Tragverhalten dieser nur bereichsweise gerissenen Decke liegt irgendwo zwischen dem einer ungerissenen Decke und einer Decke im vollständig gerissenen Zustand.

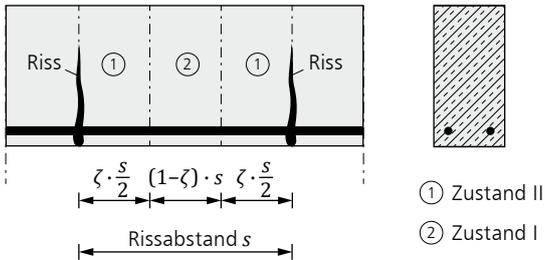


Bild 1. Berechnungsmodell für die Überlagerung der Zustände I und II nach Litzner [3]

Um auf aufwändige, iterativ nichtlineare Rechenverfahren auf der Grundlage von wirklichkeitsnahen Materialgesetzen verzichten zu können, bietet [2] mit Gleichung (7.18) eine Näherungsformel für überwiegend biegebeanspruchte Bauteile an, mit der eine gewichtete Mittelung von Parametern im Zustand I und Zustand II mit Hilfe des Verteilungsbeiwerts  $\zeta$  erfolgen kann.

Gleichung (7.18) aus [2]:

$$\alpha = \zeta \cdot \alpha_{II} + (1 - \zeta) \cdot \alpha_I \tag{1}$$

mit

- $\alpha$  untersuchter Durchbiegungsparameter (bspw. Krümmung)
- $\alpha_I, \alpha_{II}$  jeweiliger Wert des untersuchten Parameters für den ungerissenen bzw. vollständig gerissenen Zustand
- $\zeta$  Verteilungsbeiwert nach Gleichung (7.19)

MicroFe ermittelt in jedem FE-Knoten der Platte die Krümmung  $\kappa_I$  im reinen Zustand I und  $\kappa_{II}$  im reinen Zustand II und bildet gemäß Gleichung (7.18) eine mittlere Krümmung  $\kappa_m$ . Diese wird zur Verformungsberechnung angesetzt.

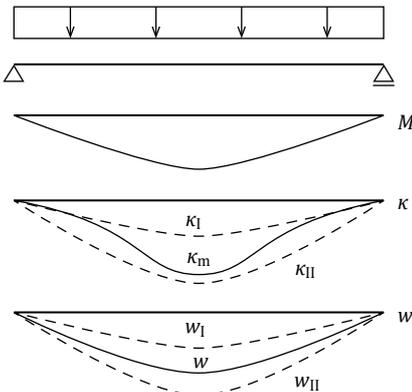


Bild 2. Biegemoment, Krümmung und Verformung eines Stahlbetonbauteils

**Hinweis:** Wenn in den MicroFe-Ausgaben Ergebnisse im „Zustand II“ dokumentiert werden, ist damit nicht der reine Zustand II, sondern vielmehr eine Berücksichtigung des Zustands II gemeint, denn diese Ergebnisse folgen immer aus dem gewichteten Mittel der Verformungsparameter nach Gleichung (7.18), in welche bekanntermaßen die Parameter aus reinem Zustand II mit einfließen.

**Kriechen und Schwinden**

Neben der Steifigkeitsverteilung im Bauteil haben auch Langzeiteffekte aus Kriechen und Schwinden des Betons nicht unwesentlichen Einfluss auf die Endverformung eines Bauteils und sollten deshalb nicht vernachlässigt werden.

Das Kriechen des Betons darf mittels des effektiven Elastizitätsmoduls  $E_{c,eff}$  gemäß Gleichung (7.20) aus [2] berücksichtigt werden.

Gleichung (7.20) aus [2]:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \tag{2}$$

mit

- $E_{cm}$  Sekantenmodul nach 3.1.2
- $\varphi(\infty, t_0)$  Endkriechzahl nach 3.1.4

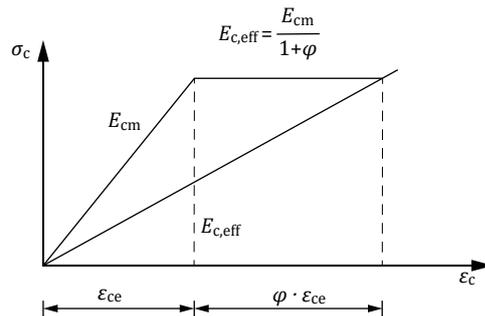


Bild 3. Definition des effektiven E-Moduls unter Berücksichtigung des Kriechens

- Anzeige -

content for constructors

Berufsportal mit Stellenmarkt für Bauingenieure [seit 2001]

„Der Jobletter informiert mich regelmäßig über neue Stellenangebote“

Birgit Hoffmann  
Bauingenieurin

**Der Stellenmarkt in bauingenieur24 ist doppelt stark.** Erstens: Hier finden Sie attraktive Jobangebote, sortiert nach Arbeitsort (Region), Fachgebiet, Berufsgruppe, Arbeitgeber und Anstellungsart. Und mit dem Jobletter erhalten Sie alle neuen Stellenangebote auch bequem per E-Mail - einfach anmelden! Zweitens: Sie legen sich ein kostenfreies Bewerberprofil an und bewerben sich damit online - auch plattformunabhängig. Perspektive für Sie: [www.bauingenieur24.de/stellenmarkt](http://www.bauingenieur24.de/stellenmarkt)

Die durch das Schwinden des Betons entstehenden Krümmungen  $\kappa_{cs}$  dürfen mit Gleichung (7.21) aus [2] ermittelt werden.

**Gleichung (7.21) aus [2]:**

$$\kappa_{cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S}{I} \quad (3)$$

mit

$\varepsilon_{cs}$	freie Schwinddehnung nach 3.1.4
$S$	Flächenmoment 1. Grades der Querschnittsfläche der Bewehrung bezogen auf den Schwerpunkt des Querschnitts
$I$	Flächenmoment 2. Grades des Querschnitts
$\alpha_e$	$= E_s / E_{c,eff}$

MicroFe wendet auch hier Gleichung (7.18) an, um in jedem FE-Knoten aus den Querschnittswerten im Zustand I ( $S_I, I_I$ ) und Zustand II ( $S_{II}, I_{II}$ ) eine mittlere Krümmung  $\kappa_{cs}$  zu ermitteln, welche zur Krümmung  $\kappa_m$  aus äußerer Belastung addiert wird. Die Querschnittswerte  $S$  und  $I$  im Zustand I und Zustand II lassen sich für Rechteckquerschnitte und Plattenbalken vereinfacht gemäß [3], Tabelle 8.8 und 8.9 ermitteln.

Die Endkriechzahl  $\varphi(\infty, t_0)$  und Endschwinddehnung  $\varepsilon_{cs}$  sind in MicroFe für jede Platte, Decke und jeden Unterzug separat zu definieren, vgl. Bild 5 und 6. Dabei können diese manuell vorgegeben oder automatisch gemäß [2], Kapitel 3.1.4 in Verbindung mit Anhang B ermittelt werden.

**Verteilungsbeiwert  $\zeta$**

Eine wesentliche Bedeutung kommt in Gleichung (7.18) dem Verteilungsbeiwert  $\zeta$  zu. Er wird gemäß Gleichung (7.19) ermittelt und berücksichtigt die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen und die Ausdehnung des gerissenen Bereichs, vgl. auch Bild 1. Der Verteilungsbeiwert ist im Wesentlichen davon abhängig, inwieweit das Moment  $m_{Ed}$  infolge äußerer Belastung das Rissmoment  $m_{cr}$  überschreitet.

**Gleichung (7.19) aus [2]:**

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left( \frac{m_{cr}}{m_{Ed}} \right)^2 \quad (4)$$

mit

$\zeta$	Verteilungsbeiwert
$\beta$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Belastungsdauer und der Lastwiederholung $\beta = 1,0$ bei Kurzzeitbelastung $\beta = 0,5$ bei Langzeitbelastung oder wiederholter Beanspruchung
$m_{cr}$	Rissmoment
$m_{Ed}$	Moment infolge äußerer Belastung

Die Gleichung (7.19) ist nur gültig, wenn  $|m_{Ed}| > |m_{cr}|$ , ansonsten gilt  $\zeta = 0$ , d.h. ungerissener Zustand I.

Der Verformungsnachweis ist i.d.R. mit der quasi-ständigen Einwirkungskombination gemäß [1] zu führen. Diese ist in MicroFe standardmäßig in den Bemessungsoptionen (Register Nachweise -> Gruppe Optionen -> Nachweisführung) eingestellt, vgl. Bild 4.

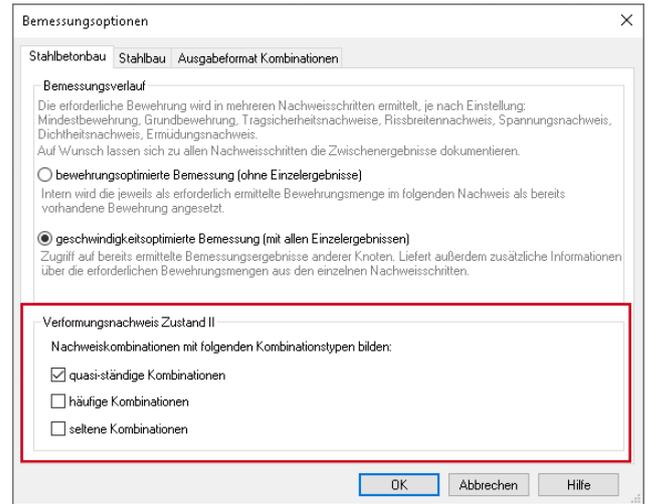


Bild 4. Definition des Nachweiskombinationstyps

Unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination wird bei plattenförmigen Bauteilen oftmals das Rissmoment nicht erreicht, wohingegen bei der seltenen oder häufigen Kombination durchaus mit einer Rissbildung zu rechnen ist.

Ein einmal gerissener Querschnitt weist auch dann eine geringere Steifigkeit auf, wenn unter der quasi-ständigen Kombination rechnerisch das Rissmoment nicht mehr erreicht wird. Aus diesem Grund sollte die Belastungsgeschichte beim Nachweis nicht vernachlässigt werden. Dies kann mit unterschiedlichen Ansätzen geschehen.

**Variante A: Mindestwert  $\zeta = 0,5$  berücksichtigen**

Falls die Ermittlung des Verteilungsbeiwerts  $\zeta$  ausschließlich mit der quasi-ständigen Nachweiskombination erfolgt, empfiehlt Litzner im Beton-Kalender 1996 [3], Kapitel 8.3, den Verteilungsbeiwert zur näherungsweise Berücksichtigung der bereits gerissenen Bereiche beim Nachweis pauschal mit mindestens  $\zeta = 0,5$  anzusetzen.

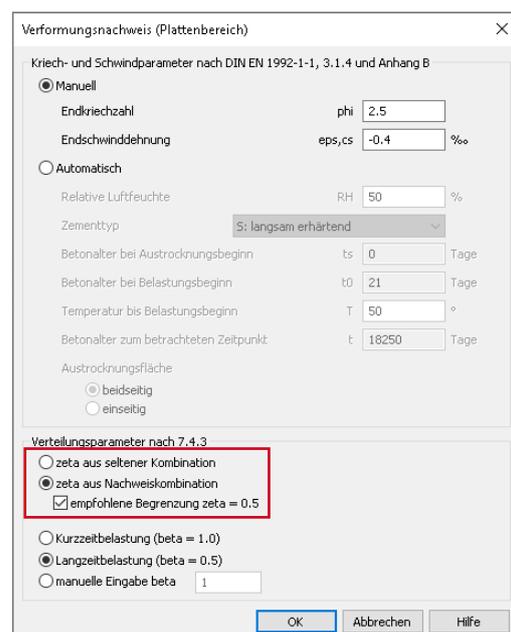


Bild 5. Mindestwert  $\zeta=0,5$  berücksichtigen

In MicroFe sind hierzu in den Verformungsnachweis-Parametern in den Positionseigenschaften von Platte, Decke und/oder Unterzug folgende Optionen einzustellen:

- „zeta aus Nachweiskombination“ auswählen
- „empfohlene Begrenzung zeta=0.5“ aktivieren

Bei einer gering belasteten Decke kann diese Nachweismethode zu einer Überschätzung der auftretenden Verformungen führen, da für alle Bereiche eine gewisse Rissbildung unterstellt wird, auch wenn manche Bereiche immer im Zustand I verbleiben.

#### Variante B: $\zeta$ aus seltener Kombination ermitteln

Um die Belastungsgeschichte noch genauer zu berücksichtigen, wird im DAfStb-Heft 600 [4], Kapitel 7.4.3 empfohlen, die Steifigkeitsuntersuchung (d.h. die Ermittlung von  $\zeta$ ) unter der seltenen Einwirkungskombination vorzunehmen. Die so ermittelte Steifigkeitsverteilung dient dann als Grundlage für die anschließende Verformungsberechnung, die weiterhin unter der quasi-ständigen Nachweiskombination durchgeführt wird.

In MicroFe ist hierzu in den Verformungsnachweis-Parametern in den Positionseigenschaften von Platte, Decke und/oder Unterzug folgende Option einzustellen:

- „zeta aus seltener Kombination“ auswählen

Bild 6.  $\zeta$  aus seltener Kombination ermitteln

Als Nachweiskombination bleibt weiterhin die quasi-ständige Kombination ausgewählt (vgl. Bild 4), mit der die Verformungen ermittelt werden. Die Schnittgrößen  $m_{Ed}$  in Gleichung (7.19) zur Ermittlung des Verteilungsbeiwerts  $\zeta$  werden hingegen unter der seltenen Einwirkungskombination berechnet. Hierdurch werden bei der Steifigkeitsermittlung nun auch Lastsituationen berücksichtigt, die zum Nachweiszeitpunkt im Endzustand nicht vorhanden sind, aber dennoch zu Rissen im Beton geführt haben können.

Diese neue Nachweisooption steht ab sofort in der aktuellen MicroFe-Version 2019.040 zur Verfügung.

## Fazit

Die bisherige Möglichkeit, die Belastungsgeschichte über einen pauschalen Ansatz der gerissenen Bereiche ( $\zeta_{min} = 0,5$ ) zu berücksichtigen, ist für manche Anwendungsfälle zu ungenau.

Mit der neuen Nachweisooption, die Steifigkeitsverteilung unter der seltenen Einwirkungskombination zu ermitteln, ist eine wirklichkeitsnähere Berechnung der Verformungen möglich.

Trotzdem bleibt zu beachten, dass die ermittelten Ergebnisse keine exakte Vorhersage, sondern immer nur eine näherungsweise Abschätzung der Verformungen darstellen. Denn die tatsächlich auftretende Verformung von Stahlbetondecken hängt von mehreren Parametern (wie Betoneigenschaften, Bewehrungsverteilung, Größe und zeitlicher Verlauf der realen Belastung, etc.) ab, die zudem noch teilweise stark streuen können. Deshalb sollte die „berechnete“ Verformung immer nur als wahrscheinlich zu erwartende Verformung betrachtet werden.

Dipl.-Ing. Sven Hohenstern  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

## Literatur

- [1] DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010. Ausgabe Dezember 2010, Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010. Ausgabe Januar 2011, Beuth Verlag.
- [3] Litzner, H.-U.: Grundlagen der Bemessung nach Eurocode 2 – Vergleich mit DIN 1045 und DIN 4227, Beton-Kalender 1996, Teil 1, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [4] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.: Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), 1. Auflage 2012, Beuth Verlag, Berlin.
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.: Heft 630: Bemessung nach DIN EN 1992 in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit, 1. Auflage 2018, Beuth Verlag, Berlin.
- [6] Hohenstern, S.: Verformungen im Zustand II, mb-news Nr. 4/2015, Ausgabe August 2015.

## Preise und Angebote

**M352.de Verformungsnachweis Zustand II für Platten (ebene Systeme) 690,- EUR**

**M353.de Verformungsnachweis Zustand II für Platten (räumliche Systeme) 790,- EUR**

Setzt M440 Geschosstragwerke voraus

**MicroFe comfort 3.990,- EUR**  
MicroFe-Paket „Platten + räumliche Systeme“

**PlaTo 1.490,- EUR**  
MicroFe-Paket „Platten“

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: April 2019

Unterstützte Betriebssysteme: Windows 7 (64) / Windows 8 (64) / Windows 10 (64)

Preisliste: [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)