

## Verformungen Zustand II im Stahlbetonbau

Die Anforderungen an die Nachhaltigkeit und Gebrauchstauglichkeit nehmen in den aktuellen Normen einen immer breiteren Raum ein. Dies gilt in zunehmendem Maße auch für den Stahlbetonbau. Deswegen wurden in DIN 1045-1 die Verformungsbegrenzungen weiter präzisiert.

In DIN 1045-1 11.3.1(8) ist geregelt, dass die Gebrauchstauglichkeit eines Bauteils nicht beeinträchtigt wird, wenn unter der quasiständigen Kombination im Endzustand keine größeren Verformungen als  $L/250$  auftreten. In DIN 1045-1 11.3.1(10) ist geregelt, dass an angrenzenden bzw. aufstehenden Bauteilen keine Schäden zu erwarten sind, wenn die quasiständige Endverformung abzgl. der Anfangsverformung aus ständigen Einwirkungen den Wert  $L/500$  nicht überschreitet.

DIN 1045-1 lässt 2 Nachweisverfahren zu. Die Einhaltung dieser Verformungen kann wahlweise über die Begrenzung der Schlankheit oder über eine direkte Verformungsberechnung erfolgen. In der einschlägigen Fachliteratur ist vielfach erläutert, dass die Schlankheitsbestimmungen der DIN 1045-1 teilweise nicht ausreichen. Die Schlankheitsbestimmungen des EC2 sind konservativer und dadurch besser geeignet.

Im Handbuch „Stahlbetonbau aktuell 2003“ haben Krüger/Mertzsch ein vereinfachtes Verfahren vorgestellt, mit dem eine sehr gute Verformungsvorhersage möglich ist. Es kann auch bei sogenannten genauen Berechnungen seriöser Weise nur von „Vorhersage“ gesprochen werden, da alleine durch Veränderung der Berechnungsannahmen schon Verformungsdifferenzen von 40% errechnet werden können. Darüber hinaus sind die tatsächlichen Gegebenheiten in der Praxis nicht kalkulierbar.

Das Verfahren Krüger/Mertzsch geht von folgenden Annahmen aus:

1. es wird ein linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung sowohl im Zustand I als auch im Zustand II angenommen
2. zur Berücksichtigung des Langzeitverhaltens wird von der allgemeinen Verformungsgleichung des Betons nach Arutjunjan, Krüger und Krüger/Mertzsch ausgegangen
3. als Kriechzahl wird  $\varphi = 2,5$  ( $t_{\infty} = 30000$  Tage, Belastungsbeginn 28 Tage) zugrundegelegt.
4. zur Berücksichtigung der Schwindverformungen wird zum Ausgleich als Basis die Belastung unter seltener Kombination angesetzt, obwohl sich die Langzeitverformungen unter quasiständiger Kombination ergeben
5. als Beton wird C 20/25 angenommen
6. das Rissmoment wird unter Ansatz der Betonzugfestigkeit  $f_{ct,fl} \geq f_{ctm}$  nach Model Code 1990 ermittelt eine Abminderung erfolgt nicht, da die Rissbildung

zum Zeitpunkt  $t_0$  unter der seltenen Einwirkungskombination Berücksichtigung findet

7. die günstige Wirkung einer evtl. Druckbewehrung wird vernachlässigt

Mit dem Verfahren wird ein Faktor  $k_a$  bestimmt, mit dem die Verformung Zustand I zum Zeitpunkt  $t_0$  zu erhöhen ist.

$$a_k^{II} = k_a \cdot a_0^I$$

In die Ermittlung fließen das Verhältnis des Biegemomentes unter der seltenen Kombination zum Rissmoment sowie der Bewehrungsgrad der Biegebewehrung bezogen auf den Gesamtquerschnitt ein.

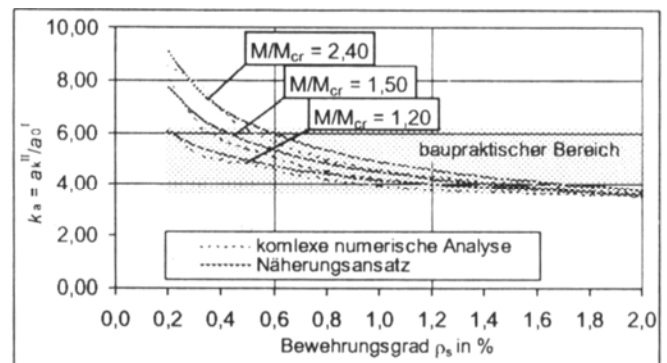


Bild 1  
Vergleich Näherungsverfahren zu numerischer Analyse

Bild 1 aus der o.g. Literatur zeigt die Abweichungen gegenüber einer genauen numerischen Analyse. Es beweist, dass eine Verformungsvorhersage die gleiche Qualität wie eine „genaue“ Berechnung hat.

Zur universellen Verwendung in unseren Programmen haben wir mit folgenden Überlegungen das Verfahren modifiziert:

Zur Berücksichtigung von höherwertigen Betonen geben Krüger/Mertzsch an anderer Stelle einen Korrekturfaktor

$$k_c = (20/f_{ck})^{\frac{1}{6}}$$

an. Dieser wird bei der errechneten Endverformung berücksichtigt, da die Bauteilkrümmungen bei höherer Betonfestigkeit (kleinere Betonstauchung) geringer ausfallen.

Mit der Anfangsverformung Zustand I unter quasiständiger Kombination kann so die Endverformung Zustand II bestimmt und der Nachweis

$$a_{k,qu}^{II} = k_{a,qu} \cdot k_c \cdot a_{0,qu}^I \leq l/250$$

geführt werden.

Die Anfangsverformung unter ständigen Lasten kann nach Zustand I ermittelt werden, solange der Querschnitt unter diesen Lasten nicht aufreißt. Im anderen Fall muss er über die nach Krüger/Mertzsch ermittelte Endverformung im Zustand II zurückgerechnet werden. Der effektive Elastizitätsmodul ergibt sich zu:

$$\text{Zustand I : } E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi)}$$

$$\text{Zustand II : } E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + k_{\varphi} \cdot \varphi)}$$

Der Faktor  $k_{\varphi}$  erfasst den Einfluss der Bewehrung und der Alterung. Er liegt zwischen 0,5 und 0,9.

Da der Elastizitätsmodul in die Verformungsberechnung linear eingeht, kann die Anfangsverformung mit dem Faktor

$$k = \frac{1}{(1 + k_{\varphi} \cdot \varphi)} = \frac{1}{(1 + 0,7 \cdot 2,5)}$$

zurückgerechnet werden.

$$a_{0,g}^{II} = k_{a,g} \cdot k_c \cdot k \cdot a_{0,g}^I$$

Daraus folgt der Nachweis:

$$a_{k,qu-g}^{II} = a_{k,qu}^{II} - a_{0,g}^{II} \leq l/500$$

Damit können die Anforderungen der DIN 1045-1 nachgewiesen werden.

## Programm E.0002 durchlaufende Stahlbetonplatte

Die oben erläuterte Theorie haben wir in unser Programm E.0002 bereits eingebaut.

Im Kapitel „Konstruktionswerte“ können jetzt folgende Parameter zusätzlich gesteuert werden.

Verformungskontrolle	2	0/1/2/3 = nein/ l/250 / l/500 / beides
Grundsatzbewehrung	1.0	cm <sup>2</sup>
Erhöhungsfaktor	2.00	max. Abweichung 25.0 %
1 = quasiständige Endverformung Zustand II, 2 = quge Endverf. abzgl. Anfangsverformung aus g		

Zunächst wird entschieden, ob überhaupt eine Kontrolle durchgeführt werden soll. Angewählt werden können die Nachweise L/250 und /oder L/500.

Ist ein Nachweis angewählt, kann eine Grundsatzbewehrung angegeben werden, die mindestens bei der Verformungsberechnung berücksichtigt werden soll.

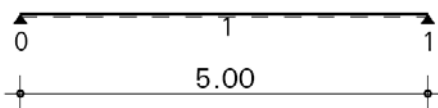
Wenn der Nachweis mit der Mindest- oder der statisch erforderlichen Bewehrung nicht gelingt, wird  $A_s$  in 0,1 cm<sup>2</sup> Schritten solange erhöht, bis alle angewählten Bedingungen erfüllt sind. Hierbei bildet der Erhöhungsfaktor multipliziert mit der stat. erforderlichen Bewehrung die obere Grenze.

Da die Verformungsberechnung großen Schwankungen unterliegt, kann über die Abweichung bestimmt

### Beispiel :

Einfeldplatte Beton C30/37 h = 20 cm d = 16 cm  $g_k = 6.50 \text{ kN/m}$   $q_k = 5.00 \text{ kN/m}$

### Systemskizze M. 1 / 75



werden, um wie viel % die DIN 1045-1 Forderungen L/250 bzw. L/500 unterschritten werden dürfen.

Hier halten wir einen Wert bis zu 20% für vertretbar.

Können mit den Parametern die Bedingungen nicht erfüllt werden und ist generell eine Querschnittskorrektur angewählt, wird die Plattenhöhe in 1 cm Schritten solange vergrößert, bis alle Verformungsparameter eingehalten werden.

Damit kann jede Platte hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit optimiert werden.

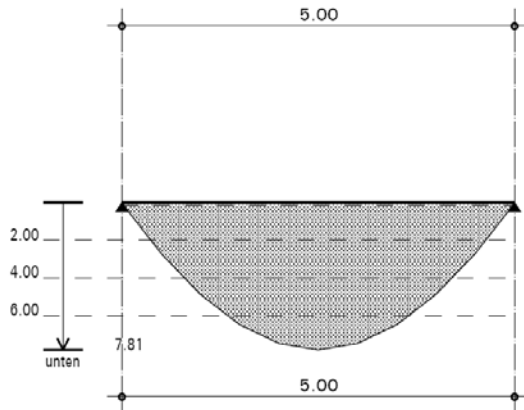
Dieser exakte Nachweis steht nur in der Vollversion E.0002 und nicht in der Hochbauversion E.0082 zur Verfügung.

Alle Wartungskunden erhalten die neue Version E.0002 ab dem 21.09.2009 über das automatische Update.

In einem weiteren Schritt werden diese Nachweise auch in unseren Betonbalken G.0001, in unser universelles Plattenprogramm E.0010 und in das FEM-Programm E.0060 eingebaut.

August 2009 Blatt 3

**Bewehrungsgrenzlinien ( cm<sup>2</sup> ) M. 1 / 75**  
 ohne Versatzmasse



### Verformungen quasiständig

- $k_a$  : Erhöhungsfaktor  $f_{II} / f_I$  nach Krüger/Mertzsch
- $f_{qufin}$  : quasiständige Endverformung
- $f_{qu-g}$  : Endverformung abzgl. Anfangsverformung aus ständigen Einwirkungen

Grundsatzbewehrung 2.00 cm<sup>2</sup> Endkriechmaß  $\Phi = 2.5$  zul. Abweichung 10.0 %

	x	$f_{I,qu}$	$f_{I,g}$	$M_g$	$M_{rar}$	$M_{cr}$	$k_a$	$A_s$	$f_{qufin}$	l/..	$f_{qu-g}$	l/..
	m	mm	mm	kNm	kNm	kNm		cm <sup>2</sup>	mm		mm	
Feld 1	2.500	3.1	2.5	29.2	35.9	27.2	4.84	10.81	14.8	337	11.1	451

Die Platte ist schon unter ständigen Einwirkungen gerissen ( $M_g \geq M_{cr}$ ) und muss in der Biegebewehrung auf  $A_s = 10.81$  cm<sup>2</sup> erhöht werden, um mit einer Toleranz von 10% das Kriterium L/500 einzuhalten.

Neureichenau, im September 2009



Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang