

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert

Einführung in den Eurocode 2

Teil 3: Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Im Teil 3 dieser Beitragsreihe werden die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG) im Eurocode 2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang vorgestellt. Hierbei wird auf die Änderungen gegenüber den bekannten Regelungen in DIN 1045-1 eingegangen. Im Einzelnen werden die Begrenzung der Rissbreite sowie der Verformungsnachweis behandelt. Am Schluss werden noch einige Punkte aus dem Bereich Bewehrungs- und Konstruktionsregeln behandelt.

1 Begrenzung der Rissbreite

Die Anforderungen an die Rissbreite werden in DIN 1045-1 in den Tabellen 18 und 19 über Anforderungsklassen geregelt. Im Nationalen Anhang wurden diese Anforderungen fast gleichwertig übernommen (siehe NA Tabelle 7.1DE). Für die Mindestbewehrung $A_{s,min}$ zur Begrenzung der Rissbreite ist die aus DIN 1045-1 (Gleichung 127) bekannte Formulierung auch in EC 2-1-1 vorhanden:

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \quad \text{EC 2-1-1, (7.1)}$$

In DIN 1045-1 und EC 2-1-1 darf für die praktische Anwendung ein indirekter Nachweis der Rissbreitenbegrenzung über zwei vereinfachte Konstruktionsregeln erfolgen:

- Begrenzung des Grenzdurchmessers bei Beanspruchungen aus Last und Zwang
- Begrenzung der Stababstände bei Beanspruchungen aus Last

Einige wenige Unterschiede zwischen EC 2-1-1 und DIN 1045-1 wurden im Nationalen Anhang (NA) geregelt.

Die Unterschiede in beiden Regelwerken bestehen in:

- Bezug der Grenzdurchmessertabelle im EC 2-1-1 auf $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$ ($= f_{ctm}$ von C 30/37) (DIN 1045-1, $f_{ctm} = 3,0 \text{ N/mm}^2$). Dies kann zu einer geringfügigen Erhöhung der Rissbewehrung führen (unter 3 %).
- Die Modifikationsmöglichkeit des Grenzdurchmessers abhängig von der tatsächlichen Betonstahlspannung unter direkter Lastbeanspruchung fehlt im EC 2-1-1.

Die direkte Berechnung des charakteristischen Wertes der Rissbreite erfolgt wie bereits in DIN 1045-1 als Produkt der mittleren Dehnungsdifferenz zwischen Betonstahl und Beton im Riss ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$) und dem maximalen Rissabstand nach abgeschlossener Rissbildung $s_{r,max}$. Weitere Hintergrundinformationen können [1] entnommen werden.

2 Begrenzung der Verformungen

Die Verformungen eines Tragwerks müssen so begrenzt werden, dass die geforderten Eigenschaften (ordnungsgemäße Funktion) und das Erscheinungsbild des Bauteils selbst oder evtl. angrenzender Bauteile (z. B. leichte Trennwände, Verglasungen, haustechnische Anlagen) nicht beeinträchtigt werden.

Der Nachweis der Bauteilverformungen kann grundsätzlich geführt werden durch:

- Einhaltung von Konstruktionsregeln (Begrenzung der Biegeschlankheit)
- einen rechnerischen Nachweis der Verformungen unter Berücksichtigung des nichtlinearen Materialverhaltens und des zeitabhängigen Betonverhaltens (direkter Nachweis)

In EC 2 werden nur Verformungen von biegebeanspruchten Bauteilen in vertikaler Richtung angesprochen.

Dabei wird unterschieden zwischen:

- Durchhang: Vertikale Bauteilverformung, bezogen auf die Verbindungslinie der Unterstützungspunkte
- Durchbiegung: Vertikale Bauteilverformung, bezogen auf die Systemlinie des Bauteils (bei Schalungsüberhöhung bezogen auf eine überhöhte Lage)

Die Verformungsgrenzen in EC 2 stellen im allgemeinen hinreichende Gebrauchseigenschaften von Bauwerken, wie z. B. Wohnbauten, Bürobauten, öffentlichen Bauten und Fabriken, sicher. Sofern besondere Verhältnisse die Verwendung der folgenden Richtwerte für ein bestimmtes Tragwerk einschränken, sind ggf. besondere Grenzwerte mit dem Bauherrn zu vereinbaren.

Es darf angenommen werden, dass das Erscheinungsbild und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks nicht beeinträchtigt werden, wenn der Durchhang eines Balkens, einer Platte oder eines Kragbalkens unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination 1/250 der Stützweite nicht überschreitet (bei Kragträgern ist für die Stützweite die 2,5fache Kraglänge anzusetzen). Die berechneten Gesamtverformungen können durch Überhöhungen ganz oder teilweise ausgeglichen werden. Die Schalungsüberhöhung sollte im allgemeinen 1/250 der Stützweite nicht überschreiten. Schäden an den angrenzenden Bauteilen (z. B. an leichten Trennwänden) können auftreten, wenn die nach dem Einbau dieser Bauteile auftretende Durchbiegung, einschließlich der zeitabhängigen Verformungen, übermäßig groß ist. Als Richtwert für die Begrenzung darf 1/500 der Stützweite angenommen werden.

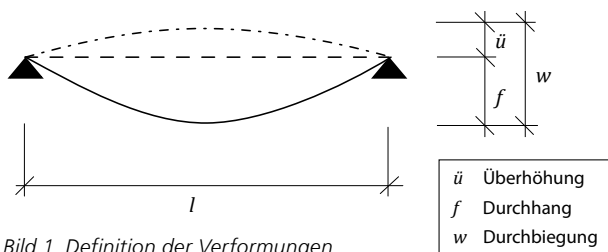


Bild 1. Definition der Verformungen

Die beiden Normen DIN EN 1992-1-1 und DIN 1045-1 verfolgen bei der Begrenzung der Biegeschlankheit gegensätzliche Konzepte. In DIN 1045-1 werden Grenzen für l/d angegeben, die auf eine Analyse von Schadensfällen von Mayer und Rüsck aus dem Jahre 1967 zurückgehen und auf Deckenplatten des üblichen Hochbaus aus Normal- und Leichtbeton beschränkt sind.

Die in DIN EN 1992-1-1 enthaltenen Schlankheitsgrenzen bauen hingegen auf Verformungsberechnungen auf. Dabei werden die Grenzwerte getrennt für gering und hoch beanspruchte Bauteile aufgeführt und sind gegenüber den in DIN 1045-1 enthaltenen Grenzen deutlich restriktiver.

In Bild 2 sind die Grenzwerte für die Biegeschlankheit gemäß DIN EN 1992-1-1 und DIN 1045-1 für Platten des üblichen Hochbaus in Abhängigkeit von l_i dargestellt.

Die für den Einfeldträger bzw. einachsrig gespannte Einfeldplatten abgeleiteten Schlankheitskriterien können durch den Ansatz der Ersatzstützweite l_i nach Tabelle 1 (siehe Seite 18) auf Durchlaufsysteme bzw. Kragarme angewendet werden.

Hinweis: Bei Platten, die das Biegeschlankheitskriterium nach DIN 1045-1 erfüllen, kann die Einhaltung der Verformungsgrenzwerte 1/250 bzw. 1/500 nicht in jedem Fall mit diesen Verfahren bestätigt werden. Aus diesem Grund wurden bereits in [2] - [4] verschiedene alternative Biegeschlankheitskriterien entwickelt.

Nachweisverfahren nach EC 2-1-1, 7.4.2

Der Nachweis der Verformung ohne direkte Berechnung erfolgt nach:

$$\rho \leq \rho_0: \frac{l}{d} = K \cdot \left(11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right)$$

$$\rho > \rho_0: \frac{l}{d} = K \cdot \left(11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right)$$

Hierbei sind:

- ρ Zugbewehrungsgrad in Feldmitte
- ρ' Druckbewehrungsgrad in Feldmitte
- ρ_0 Referenzbewehrungsgrad $\rho_0 = 10^{-3} \cdot f_{ck}^{0,5}$
- K Faktor gemäß Tabelle 1
- l Stützweite

Zweiachsrig gespannte Platten werden mit der Stützweite der kürzeren Seite nachgewiesen, Flachdecken mit der längeren Stützweite.

Zusätzlich gilt (EC2-1-1/NA, 7.4.2):

- allgemein: $l/d \leq K \cdot 35$
- bei verformungsempfindlichen Ausbauten $l/d \leq K^2 \cdot 150/l$

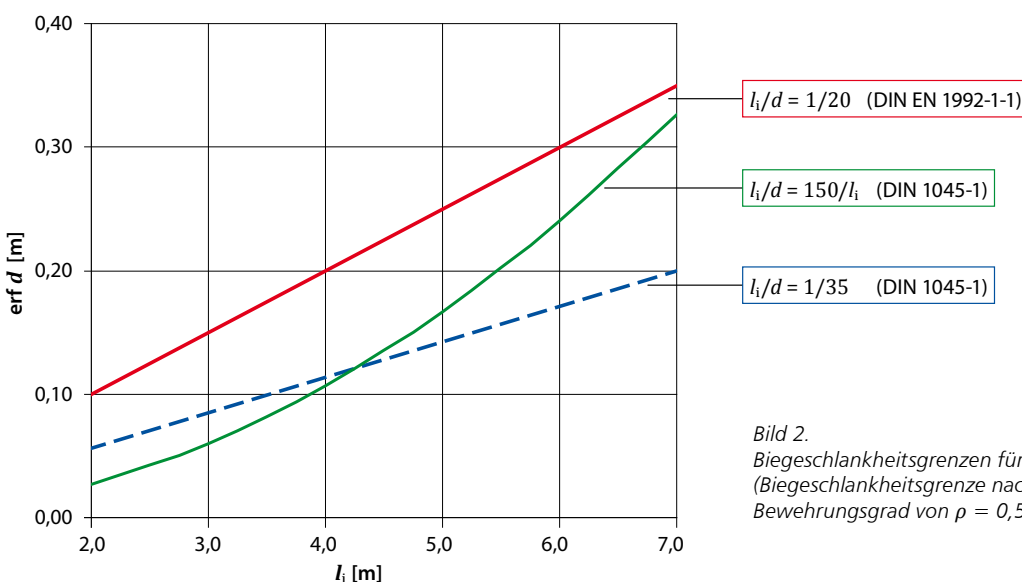


Bild 2. Biegeschlankheitsgrenzen für Platten des üblichen Hochbaus (Biegeschlankheitsgrenze nach DIN EN 1992-1-1 mit einem Bewehrungsgrad von $\rho = 0,5\%$ und einem Beton C 30/37)

Statisches System	$\alpha = l_i / l_{eff}$ (DIN 1045-1)	$\alpha_i = 1 / K = l_i / l_{eff}$ (K) (DIN EN 1992-1-1)	Biegeschlankheit nach EC 2	
			l/d $\rho = 1,5\%$	l/d $\rho = 0,5\%$
	1,00	1,00 (1,00)	14	20
	0,80	0,77 (1,30)	18	26
	0,60	0,67 (1,50)	20	30
	Innenfeld: 0,70 (0,60 ab C 30/37) Randfeld: 0,90 (0,80 ab C 30/37)	0,83 (1,20)	17	24
	2,40	2,50 (0,40)	6	8

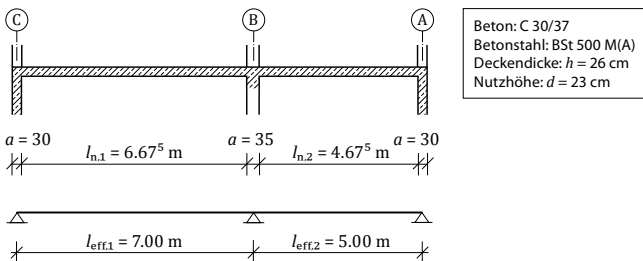
Tabelle 1: Ersatzstützweite für den vereinfachten Nachweis der Verformungsbegrenzung nach DIN 1045-1 bzw. DIN EN 1992-1-1 sowie Grundwert der Biegeschlankheit nach EC 2

Die zulässigen Biegeschlankheitskriterien in EC 2 berücksichtigen den Einfluss der Belastung durch den Längsbewehrungsgrad sowie die Betonfestigkeitsklasse durch f_{ck} . Ermittelt wurden die Gleichungen mithilfe einer Parameterstudie an Einfeldträgern (Balken und Platten mit Rechteckquerschnitt). Folgende Randbedingungen wurden z.B. zugrunde gelegt (siehe [5]):

- Durchhang wurde auf $\leq l_{eff} / 250$ begrenzt
- Durchbiegungsbegrenzung zur Rissvermeidung an empfindlichen Bauteilen $\leq l_{eff} / 500$
- Kriech- und Schwindbeiwerte von Beton unter relativer Luftfeuchte zwischen 50 % und 80 %
- Lastansatz für veränderliche Einwirkungen mit $\psi_2 = 0,3$
- usw.

In Bild 3 (siehe Seite 19) sind die Grenzwerte der Biegeschlankheit nach EC 2 in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad für verschiedene Betonfestigkeitsklassen dargestellt.

Berechnungsbeispiel:



Charakteristische Werte der Einwirkungen:

- ständige Last Deckenplatte $g_k = 8,00 \text{ kN/m}^2$
- veränderliche Einwirkung (Verkaufsraum) $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$

Feldbewehrung im Feld 1 aus Biegebemessung: $a_s = 9,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

1. Nachweis nach DIN 1045-1

Biegeschlankheitskriterium nach DIN 1045-1 für eine maximale Durchbiegung von $l/500$ (Schäden an angrenzenden Bauteilen):

$$l_i/d \leq 150/l_i$$

$$(0,80 \cdot 7,0) / 0,23 = 24 \leq 27 = 150 (0,80 \cdot 7,0)$$

Hinweis: Anwendung der Biegeschlankheitskriterien nach DIN 1045-1 11.3.2 (4) eigentlich nicht möglich!

$$\min l_{eff,1} / \max l_{eff,2} = 5,0 / 0,7 = 0,71 \leq 0,80$$

2. Nachweis nach EC 2

Nachweisformat:

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left(11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right) \geq \text{vorh.} \frac{l}{d}$$

Referenzbewehrungsgrad:

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 0,00548$$

Bewehrungsgrad:

$$\rho = \frac{9,3}{23 \cdot 100} = 0,0040$$

Nachweis:

$$\frac{l}{d} = 1,3 \cdot \left(11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{0,00548}{0,004} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{0,00548}{0,004} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right) = 34 \geq 30 = \frac{700}{23} = \text{vorh.} \frac{l}{d}$$

Der Nachweis der Deckenplatte ist nach EC 2 nicht erfüllt.

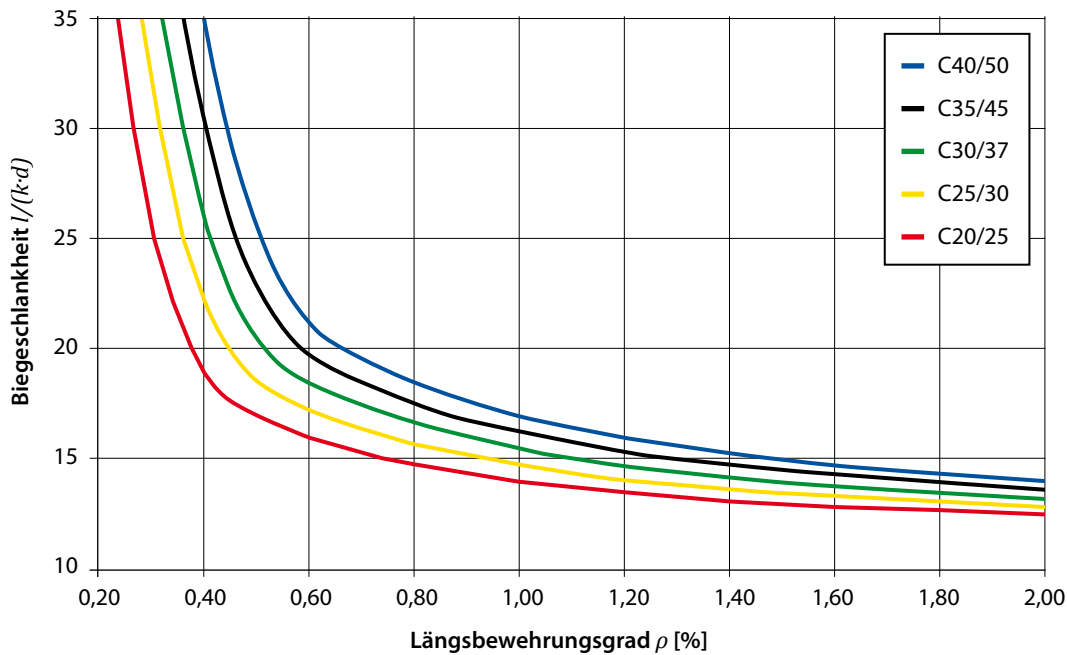


Bild 3.
Grenzwerte der Biegeschlankheit in Abhängigkeit vom Längsbewehrungsgrad (ohne Druckbewehrung)

3 Bewehrungs- und Konstruktionsregeln

In EC 2-1-1 sind die Bewehrungsregeln in Kapitel 8 und die Konstruktionsregeln in Kapitel 9 enthalten. Aufgrund unterschiedlicher Definitionen sind insbesondere bei den Konstruktionsregeln für bestimmte Bauteile und Querschnitte Unterschiede zwischen DIN 1045-1 und EC 2-1-1 mit NA vorhanden.

Wie in Bild 4 zu erkennen ist, fallen mehr Bauteile unter die erhöhten konstruktiven Anforderungen für Balken (z. B. bei den Mindestbewehrungsregeln).

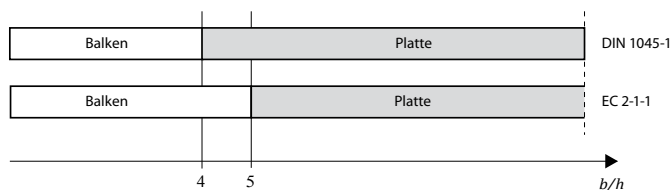


Bild 4. Unterschiede in der Querschnittsdefinition

Im Bereich der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln wurden durch die Festlegungen im Nationalen Anhang (NA) die Regelungen umgesetzt, die mit den bekannten Angaben in DIN 1045-1 weitgehend übereinstimmen.

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert
Technische Hochschule Mittelhessen,
Fachbereich Bauwesen,
öbuv Sachverständiger

4 Literatur

- [1] Seminarband der Gemeinschaftstagung „Eurocode 2 für Deutschland“, Beuth Verlag und Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2010
- [2] Krüger, Wolfgang; Mertzsch, Olaf: Zur Verformungsbegrenzung von überwiegend auf Biegung beanspruchten Stahlbetonquerschnitten, Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), Nr. 11, S. 584-589
- [3] Krüger, Wolfgang; Mertzsch, Olaf: Zum Trag- und Verformungsverhalten bewehrter Betonquerschnitte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, Heft 533, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Berlin 2006
- [4] Zilch, Konrad; Dornbauer, Uli: Rechnerische Untersuchung der Durchbiegung von Stahlbetonplatten unter Ansatz wirklichkeitsnaher Steifigkeiten und Lagerungsbedingungen und unter Berücksichtigung zeitabhängiger Verformungen Heft 533, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Berlin 2006
- [5] Fingerloos, Frank; Hegger, Josef; Zilch, Konrad: Der Eurocode 2 für Deutschland – DIN EN 1992: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau: Kommentierte und konsolidierte Fassung, Beuth Verlag und Ernst&Sohn Verlag, Berlin 2012