

**Ermittlung der Rotationsfähigkeit von
Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen
in DIN 1045-1 und EN 1992-1-1**

T 3036

T 3036

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2004, ISBN 3-8167-6540-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de

Schlussbericht

Forschungsvorhaben P32-5- 7.221-1062/02 „Ermittlung der Rotationsfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen in DIN 1045-1 und EN 1992-1-1“

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch
Dipl.-Ing. Michael Cyllok**

Bericht Nr.: cy – 2303462
vom: 19.11.2003

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30L

10829 Berlin

Der Untersuchungsbericht umfasst 22 Textseiten und 5 Seiten Anhang.

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.

Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Aktuelle Situation.....	3
1.2	Ziele.....	4
1.3	Vorgehen	4
2	Untersuchung der Regelung zur Rotationsfähigkeit nach EC2.....	6
2.1	Allgemeines zur Rotationsfähigkeit	6
2.1.1	Zusammenhang zwischen Schnittgrößenumlagerung und Rotationsfähigkeit ..	6
2.1.2	Rechnerischer Nachweis der Rotationsfähigkeit.....	7
2.2	Regelungen zur zulässigen Rotation nach EC 2, DIN 1045-1 und MC 90.....	10
2.2.1	Berücksichtigte Einflüsse.....	10
2.2.2	Auswertung und Vergleich der Grenzwerte.....	13
2.3	Erweiterung der Regelung zur möglichen plastischen Rotation nach EC 2	13
3	Vorschlag zur Regelung der Rotationsfähigkeit in EN 1992-1-1 (EC2)	16
3.1	Allgemeines.....	16
3.2	Grenzlinie für hochduktilen Stähle	16
3.3	Grenzlinie für Erdbebenstähle.....	17
3.4	Gemeinsames Diagramm für die zulässige plastische Rotation.....	17
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	19
5	Unterschriften.....	20
6	Literatur.....	21
Anhang A	Zusammenfassung des Vorhabens „Rotationsfähigkeit“	23
Anhang B	Kurzzusammenfassungen.....	24
Anhang C	Normentext Abschnitt 5.6.3 aus prEN 1992-1-1.....	25

1 Einleitung

Dieses vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) finanzierte Forschungsprojekt prüft, inwieweit Regelungen zum vereinfachten Verfahren zum rechnerischen Nachweis der Rotationsfähigkeit von stabförmigen Bauteilen in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 erweitert werden könnten und sollten und präsentiert Vorschläge dazu.

1.1 Aktuelle Situation

Werden hohe Verformungen bei stabförmigen Bauteilen im Rahmen einer plastischen Schnittgrößenermittlung angestrebt, so bieten Regelwerke wie prEN 1992-1-1, Ausgabe September 2001 (EC2) [2], DIN 1045-1 [1] oder Modelcode 90 [4] vereinfachte Verfahren, bei denen vorhandene Verformungen mit möglichen Verformungen verglichen werden.

Grundlage dieser vereinfachten Verfahren im Rahmen des Nachweises der Rotationsfähigkeit sind weitgehende Untersuchungen aus verschiedenen Gebieten des Massivbaus, die miteinander verknüpft wurden.

Die Rotationsfähigkeit ist eine Verformungsfähigkeit und wird benötigt bei Anwendung nichtlinearer Rechenverfahren. Mit den nichtlinearen Rechenverfahren selbst und dem Brückenschlag zur Beschreibung der Rotationsfähigkeit im Rahmen der Rechenverfahren haben sich zahlreiche Arbeiten wie von Stempniewski/Eibl [6], Bachmann [7] und Pommering [8], bzw. Eligehausen/Fabritius [9] und Pisanty/Regan [10] beschäftigt. Das Thema nichtlineare Rechenverfahren ist jedoch noch nicht abgeschlossen, wie aktuelle Forschungsergebnisse von z.B. Fritsche [11] darstellen.

Weitere Modelle und zahlreiche Versuche zur Rotationsfähigkeit von Bauteilen aus Stahlbeton oder Spannbeton behandeln Veröffentlichungen u. a. von Bachmann [12], Bigaj/Walraven [13], Langer [14], Li [15] und Macchi [16].

Der Zusammenhang zwischen Baustoff und Rotationsfähigkeit heben u. a. die Publikationen von Kreller [17], Beeby [18] und Bühler/Eibl [19] besonders hervor.

Die für die Rotationsfähigkeit schließlich essentiellen Verbindungen zwischen Verbund und Baustoffeigenschaften bilden Veröffentlichungen von Rehm [20], Martin [21], Eligehausen/Kreller/Langer [22] und Alvarez/Marti [23].

Die Task Group 2.2 des Comité Euro-International du Béton (CEB) hat sich zur Aufgabe gemacht, den großen Bestand an Forschungsergebnissen aufzunehmen, noch fehlende Informationen ggf. durch eigene Forschung zu füllen, die Ergebnisse zusammenzufassen und Bemessungsregeln für die Praxis daraus zu schaffen. Die Dokumentation der Arbeit der Task Group findet sich in Bulletin 242 des CEB [5], die Bemessungsregeln in Model Code 90 [4].

Die Grenzwerte für mögliche Verformungen der eingangs erwähnten vereinfachten Verfahren für die Bemessung nach DIN 1045-1 basieren auf einem neu entwickelten halbempirischen Ansatz nach Ahner, Kliever [24] [25] und Akkermann [26] auf Basis einer numerischen Berechnung.

Für prEN 1992-1-1 (EC2) wurden die Grenzwerte aus DIN 1045-1 übernommen. Dabei wurde nicht überprüft, ob diese für EC 2 gültig sind, da sich die zulässigen Dehngrenzen in EC2 und DIN 1045-1 unterscheiden.

Im Rahmen der europäischen Harmonisierung werden Stähle zugelassen, die duktiler als die in Deutschland bereits verwendeten *hochduktilen* Stähle sind, sog. Erdbebenstähle ($(f_t/f_y)_k \geq 1,15$; $\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$). In Deutschland fanden diese Stähle bisher keine Verwendung. Aus diesem Grund, sind die Erdbebenstähle in DIN 1045-1 noch nicht berücksichtigt.

Für die europäische Normung (EC2) wäre aber die Ausnutzung der für die Verformung günstigen Eigenschaften des Erdbebenstahls sinnvoll.

1.2 Ziele

Unter Berücksichtigung der aktuellen Situation soll die vorliegende Arbeit zwei Ziele erfüllen. Es ist zu prüfen, ob für EC2 die Grenzwerte der möglichen Rotation im Einklang mit den nach EC2 erlaubten maximalen Dehnungen für Beton und Betonstahl liegen.

Weiterhin soll ein Vorschlag für Grenzwerte der möglichen Rotation für Erdbebenstähle ausgearbeitet werden. Der Vorschlag soll so gestaltet sein, dass die nationalen Sicherheitsbedürfnisse gewahrt bleiben.

1.3 Vorgehen

Die Grundlage für das Forschungsprojekt bildet eine Literaturrecherche. Diese Recherche hat die Regelwerke EC2, DIN 1045-1 und Model Code 90 und jeweils dazugehörige Hinter-

grundberichte auf Bestimmungen zur Rotationsfähigkeit von stabförmigen Bauteilen hin ausgewertet und zusammengefasst, siehe Kapitel 2.

Mit Hilfe dieser Darstellung und Bewertung der verschiedenen Regelungen wird in Kapitel 3 ein Vorschlag zur Anpassung der vorhandenen Bestimmung in EC 2 vorgestellt.

Den Abschluss bildet eine Zusammenfassung in Kapitel 4. Angehängt ist eine Kurzfassung des Berichts in deutscher, englischer und französischer Sprache, sowie der relevante Abschnitt des aktuellen Normtextes des EC2 (April 2003) [3].

2 Untersuchung der Regelung zur Rotationsfähigkeit nach EC2

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der EC 2-Regelung zur Bestimmung der Rotationsfähigkeit von stabförmigen Bauteilen und im Besonderen mit der zulässigen plastischen Rotation. Es liefert allgemeine Informationen zur Rotationsfähigkeit und stellt den Ansatz nach EC 2 für die mögliche plastische Rotation dar, siehe 2.1.

Weiterhin werden alternative Regelungen zu diesem Thema nach DIN 1045-1 und Modelcode 90 (MC 90) besprochen, um das Verbesserungspotential der EC 2-Regelung herauszuarbeiten, siehe 2.2.

Mit Hilfe dieser Informationen kann eine Erweiterung der Regelung der möglichen plastischen Rotation nach EC 2 vorgeschlagen werden, siehe 2.3.

2.1 Allgemeines zur Rotationsfähigkeit

In diesem Abschnitt wird geklärt, welche Bedeutung die Rotationsfähigkeit hat, bzw. wie sie mit einer Schnittgrößenumlagerung zusammen hängt, siehe 2.1.1. Außerdem beschäftigt sich dieser Abschnitt mit Hintergrund und Anwendung des rechnerischen Nachweises der Rotationsfähigkeit nach EC 2, siehe 2.1.2.

2.1.1 Zusammenhang zwischen Schnittgrößenumlagerung und Rotationsfähigkeit

Die praktisch immer auftretende Rissbildung in einem Bauteil führt zu einem Abfall der Steifigkeit. In statisch unbestimmten Tragwerken finden aus diesem Grund Umlagerungen der Schnittgrößen statt. Damit dies möglich wird, müssen sich die Bauteile des Tragwerks verformen können.

Im Bauwesen ist vor allem die Umlagerung von Biegemomenten von Interesse. Für eine Umlagerung von Biegemomenten ist eine Verdrehung notwendig.

Vereinfachend kann man für diesen Umlagerungsprozess davon ausgehen, dass sich im Bauteil Drehgelenke ausbilden. Um ein Drehgelenk zu bilden, plastifizieren Querschnitte über eine bestimmte Länge. Die Verformungsfähigkeit dieser Drehgelenke bezeichnet man als Ro-

tationsfähigkeit. Begrenzt wird die Rotationsfähigkeit von den Dehngrenzen des Stahls und des Betons. Die Folge einer zu geringen Rotationsfähigkeit ist somit ein Querschnittsversagen.

2.1.2 Rechnerischer Nachweis der Rotationsfähigkeit

Für den rechnerischen Nachweis ist wichtig, unter welchen Bedingungen er entfallen darf und wann und wie er geführt wird. Auf die für den Nachweis notwendige zulässige plastische Rotation wird ebenfalls eingegangen.

Bedingung und Konzept des rechnerischen Nachweises

In der Regel kann eine ausreichende Rotationsfähigkeit durch eine Beschränkung der Umlagerung und eine Beschränkung der Druckzonenhöhe x_d in den plastifizierenden Querschnitten im Grenzzustand der Tragfähigkeit sichergestellt werden.

Strebt man ein Gleichgewicht an, das zu einer Druckzonenhöhe jenseits dieser ersten Grenzen führt, muss rechnerisch nachgewiesen sein, dass die notwendige Rotation möglich ist und dass eine erweiterte Grenze für die Druckzonenhöhe ($x_d/d \leq 0,45$ bis C50/60, $x_d/d \leq 0,35$ ab C55/67) eingehalten ist.

Um diesen Nachweis zu führen, werden die Querschnittsverkrümmungen im plastifizierten Bereich zur vorhandenen Rotation aufintegriert. Detailliert ist dies z.B. in [27] dargestellt.

Diese vorhandene Rotation wird mit der zulässigen plastischen Rotation verglichen. Ist die zulässige plastische Rotation größer gleich der vorhandenen, ist der Nachweis erfüllt, siehe (1).

$$\theta_E \leq \theta_{pl,d} \quad (1)$$

Zulässige plastische Rotation

Die zulässige plastische Rotation ist durch die zwei hierbei möglichen Versagensarten begrenzt. Diese sind der Bruch der Betondruckzone und das Versagen des Stahls.

Die relevanten Einflüsse auf das Stahlversagen sind die Bruchdehnung ϵ_{uk} und das Verhältnis Zugfestigkeit Stahl zu Streckgrenze des Stahls $((f_t/f_y)_k$. In diesen Stahleigenschaften unterscheidet sich der hochduktiler Stahl (EC 2-Klasse B) vom Erdbebenstahl (EC 2-Klasse C), siehe Tabelle 1.

Aufgrund seiner zu geringen Duktilität wird empfohlen, den Stahl normaler Duktilität (EC 2-Klasse A, siehe Tabelle 1) nicht in Anwendungen einzusetzen, die über die normalen Grenzen hinausgehen und deshalb einen Nachweis der Rotationsfähigkeit erfordern.

Stahlklasse (EC 2)	Beschreibung	Bruchdehnung des Stahls ϵ_{uk}	Duktilität $((f_t/f_y)_k)$
A	Stahl mit normaler Duktilität	2,5%	$\geq 1,05$
B	hochduktiler Stahl	5,0%	$\geq 1,08$ $\leq 1,3$ (nur DIN 1045-1)
C	Erdbebenstahl, nach DIN 1045-1 nicht erfasst	7,5%	$\geq 1,15$ $< 1,35$

Tabelle 1 Materialeigenschaften Stahl nach EC 2 bzw. DIN 1045-1

Das Versagen der Betondruckzone ist stark von der Betondruckfestigkeit bzw. von der Betonfestigkeitsklasse abhängig, da hochfeste Betone weniger duktil als normalfeste Betone sind. Dies drückt sich dadurch aus, dass hochfeste Betone nach Erreichen der maximalen Belastung kaum noch verformbar sind.

Soll eine zulässige Rotation ermittelt werden, muss sie diese zwei Versagensarten, sowie den Übergang von einer Versagensart zu anderen abbilden können. Dies kann über die Materialeigenschaften von Stahl und Beton geschehen.

Weiterhin muss die Schubslankheit λ mit einfließen, da über sie auf die Länge des plastifizierten Bereichs geschlossen werden kann.

Auf die Rotationsfähigkeit wirkt sich die Bildung von Schubrisen günstig aus. Dieser Gewinn an Rotationsfähigkeit sollte modelliert werden. Dabei wäre es unsicher, eine volle Ausbildung von Schubrisen anzusetzen, da sich diese nicht zwangsläufig ergibt. Ein teilweiser Ansatz dieses Einflusses erscheint daher sinnvoll.

Diese Einflüsse und deren Berücksichtigung sind in Tabelle 3 für verschiedene Regelwerke zusammengefasst.

Für die zulässige plastische Rotation haben Ahner und Kliever [24] [25] einen Ansatz entwickelt, siehe (2), der die genannten Anforderungen an die Modellierung erfüllt. Der Ansatz

basiert auf einer genauen Rechnung von Akkermann [26] die mit praktischen Versuchen abgeglichen wurde.

$$\theta_{pl,d} = \beta_n \cdot \beta_s \frac{\varepsilon_{su}^* - \varepsilon_{sy}}{1 - \frac{x_d}{d}} \sqrt{\frac{\lambda}{3}} \quad (2)$$

Dabei ist:

$$\varepsilon_{su}^* = \min \begin{cases} 0,28 \left(\beta_c \frac{x_d}{d} \right)^{0,2} \varepsilon_{uk} \\ \text{(Versagen des Stahls - linke Seite)} \\ 1,75 \left(\frac{x_d}{d} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{d}{x_d} - 1 \right) \cdot |\varepsilon_{cu}| \\ \text{(Versagen des Betons - rechte Seite)} \end{cases}$$

$$\beta_n = 22,5$$

$$\beta_s = \left(1 - \frac{f_{yk}}{f_{tk}} \right)$$

$$\beta_c = \left(\frac{-0,0035}{\varepsilon_{cu}} \right)^3$$

Dabei ist:

ε_{su}^* Stahldehnung beim Bruch

ε_{uk} Stahldehnung unter maximaler Belastung

ε_{sy} Fließgrenze des Stahls

ε_{cu} Betonbruchdehnung

Wertet man (2) aus, so ergibt sich ein abschnittsweise parabelförmiger Verlauf, wie Bild 1 dargestellt. Das Maximum der Funktion liegt am Übergang zwischen Stahlversagen und Betonbruch. Dabei liegen das Stahlversagen links des Maximums und der Betonbruch rechts davon. Diese Funktion bildet die Basis der Regelung zur möglichen plastischen Rotation nach DIN 1045-1 und EC 2.

Zur Vereinfachung sieht DIN 1045-1 und EC 2 vor, die Funktion (2) linear zu nähern, siehe Bild 1.

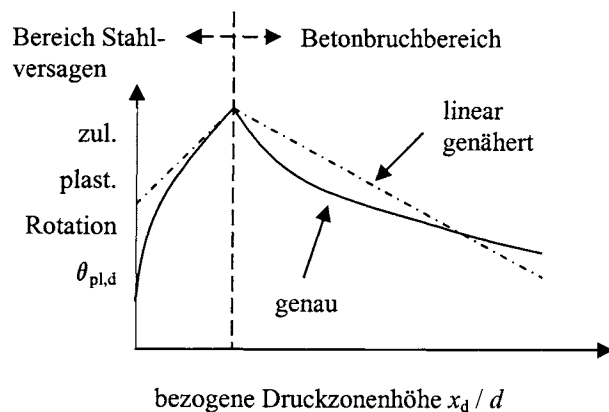


Bild 1 Schematische Darstellung der Grenzl意思ien der zulässigen plastischen Rotation

In den Normen EC 2 und DIN 1045-1 wird nur der Graph für die Schubslankheit $\lambda=3$ dargestellt. Wie aber aus (2) ersichtlich, kann er jedoch leicht durch Multiplikation mit

$$k_{\lambda} = \sqrt{\frac{\lambda}{3}}$$

an andere Schubslankheiten angepasst werden.

2.2 Regelungen zur zulässigen Rotation nach EC 2, DIN 1045-1 und MC 90

Dieser Abschnitt zeigt die Unterschiede zwischen den Regelwerken EC 2, DIN 1045-1 und Modelcode 90 in Bezug auf die zulässige Rotation von stabförmigen Bauteilen auf, um das Verbesserungspotential der EC 2-Regelung herauszuarbeiten.

Verglichen werden die berücksichtigten Einflüsse, siehe 2.2.1, sowie die Auswertung der bestehenden Formeln zur Berechnung der möglichen plastischen Rotation, siehe 2.2.2.

Ursprünglich war es geplant, die Grenzwerte der einzelnen Regelungen mit einer numerischen Simulation zu verifizieren. Die Regelung nach EC 2 bzw. DIN 1045-1 ist jedoch bereits auf Grundlage einer intensiven numerischen Simulation entstanden, siehe 2.1.2, weshalb es nicht sinnvoll erscheint, diese Arbeit noch einmal zu tun.

2.2.1 Berücksichtigte Einflüsse

Die Modellierung der möglichen plastischen Rotation umfasst drei Hauptbereiche. Das Verhalten des Stahls, des Betons und Einflüsse aus dem statischen System.

Stahlverhalten

Alle drei Regelungen berücksichtigen die Bruchdehnung des Stahls ϵ_{uk} .

Ebenso geht in alle drei Regelwerke das Verhältnis der Zugfestigkeit des Stahls zu seiner Streckgrenze $((f_t/f_y)_k)$ ein.

In allen drei Regelwerken werden die Stähle in Klassen gruppiert. Dabei verfügt jedoch DIN 1045-1 nicht über eine Klasse für den Erdbebenstahl. Model Code 90 sieht den Erdbebenstahl vor, jedoch wird anders als nach EC 2 nicht unterschieden, über welche Fließgrenze der Erdbebenstahl verfügt. Obwohl EC 2 den Erdbebenstahl grundsätzlich vorsieht, ist keine Regelung zur möglichen plastischen Rotation dieses Stahls getroffen.

Während MC 90 eine Verwendung des Stahls mit normaler Duktilität erlaubt, raten EC 2 und DIN 1045-1 von der Verwendung dieses Stahls für Bauteile mit großen geplanten Verformungen ab.

Eine Übersicht zu den Unterschieden bei der Modellierung des Stahlverhaltens ist in Tabelle 3 enthalten.

Betonverhalten

Die Regelwerke EC 2 und DIN 1045-1 berücksichtigen die Betondruckfestigkeitsklassen. Anzumerken ist, dass die nach EC 2 die höchste Festigkeitsklasse C90/105 ist, während DIN 1045-1 zusätzlich noch die Klasse C100/115 vorsieht.

Die Berücksichtigung der Betonfestigkeitsklasse geschieht durch Einbeziehung der Betonbruchdehnung ϵ_{cu1} . MC 90 dagegen modelliert im Grunde nur das Stahlversagen genau und nimmt für alle Betone die gleiche Betonbruchdehnung an.

Für EC 2 [2] wurde der Ansatz und das Diagramm aus DIN 1045-1 übernommen. Die Betonbruchdehnungen für EC 2 und DIN 1045-1 unterscheiden sich jedoch, siehe Tabelle 2.

Um ein konsistentes Modell zu gewährleisten, sollte ein in EC 2 eingefügtes Diagramm zum schnellen Ablesen der erlaubten plastischen Rotation auf die Bruchdehnungen nach EC 2 abgestimmt sein.

Eine Übersicht zu den Unterschieden bei der Modellierung des Betonverhaltens ist in Tabelle 3 enthalten.

Betonfestigkeitsklasse	C12/15 bis C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
Bruchdehnung ϵ_{cul} nach DIN 1045-1	-3,5	-3,4	-3,3	-3,2	-3,1	-3,0
Bruchdehnung ϵ_{cul} nach EC 2	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8	-2,8	-2,8

Tabelle 2 Betonbruchdehnungen nach DIN 1045-1 und EC 2

Einflüsse aus dem statischen System

In allen drei betrachteten Normen wird die Schubschlankheit modelliert. EC 2 und DIN 1045-1 bilden ein Diagramm für die erlaubte plastische Rotation für die Schubschlankheit $\lambda=3$ ab. MC 90 macht dies für eine Schubschlankheit $\lambda=6$.

Schubrisse erhöhen die mögliche plastische Rotation. Aus den unter 2.1.2 genannten Gründen berücksichtigen EC 2 und DIN 1045-1 diesen Effekt nur anteilig. Modelcode 90 setzt diesen Effekt vollständig an, siehe Tabelle 3.

Einfluss	EC 2 (September 2001)	DIN 1045-1	Model Code 90
Bruchdehnung des Stahls ϵ_{uk}	berücksichtigt	berücksichtigt	berücksichtigt
Verhältnis Zugfestigkeit Stahl zu Streckgrenze des Stahls $((f_t/f_y)_k)$	berücksichtigt	berücksichtigt	berücksichtigt
Stahlklassen A,B und C (nach EC 2)	nur A und B	nur A und B	berücksichtigt
Betondruckfestigkeitsklasse	berücksichtigt	berücksichtigt	nicht berücksichtigt
Betonbruchdehnungen	berücksichtigt	berücksichtigt	als Konstante berücksichtigt
Schubschlankheit λ	berücksichtigt	berücksichtigt	berücksichtigt
Günstiger Einfluss von Schubrisen	nur anteilig angesetzt	nur anteilig angesetzt	vollständig angesetzt

Tabelle 3 Berücksichtigte Einflüsse

2.2.2 Auswertung und Vergleich der Grenzwerte

Im Folgenden werden die zulässigen Rotationen für EC 2 und MC 90 für die Schubslankheit $\lambda=3$ verglichen.

Nach MC 90 kann mit Erdbebenstahl eine höhere maximale Rotation θ_{\max} erreicht werden als mit hochduktilen Stahl. Die dazugehörige Druckzonenhöhe für Erdbebenstahl liegt unter der für hochduktilen Stahl. Es fällt auf, dass nach EC 2 bereits der hochduktilen Stahl eine fast gleich hohe maximale Rotation θ_{\max} aufweist wie der Erdbebenstahl nach MC 90. Die zu den Maxima gehörenden Druckzonenhöhen liegen für hochduktilen Stahl sowohl nach EC 2 als auch für MC 90 ungefähr gleich ($x_d/d=0,18$).

Würde man für EC 2 für die Modellierung des Erdbebenstahls die Regelung von MC 90 übernehmen, würde der Einsatz von Erdbebenstahl bestraft.

Die Vergleichswerte sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Stahlklasse und Norm	θ_{\max}	x_d/d für θ_{\max}
Erdbebenstahl nach MC 90	18 mrad	0,15
hochdukt. Stahl nach MC 90	13 mrad	0,18
hochdukt. Stahl nach EC 2	17 mrad	0,18

Tabelle 4 Vergleich der maximalen erlaubten plastischen Rotation nach Stahlklasse und Norm

2.3 Erweiterung der Regelung zur möglichen plastischen Rotation nach EC 2

Die Regelung zur möglichen plastischen Rotation nach EC 2 sollten um zwei Aspekte erweitert werden.

- Eine Anpassung auf die in EC 2 gültigen Betonbruchdehnungen sollte stattfinden, siehe 2.3.1.
- Der Erdbebenstahl sollte gesondert berücksichtigt werden und für die Rotationsfähigkeit günstiger wirken als der hierfür normalerweise eingesetzte hochduktilen Stahl.

Für den Erdbebenstahl ist zu berücksichtigen, das zurzeit sowohl Erdbebenstähe mit einer Streckgrenze von $f_{yk}= 500 \text{ N/mm}^2$ als auch solche mit einer Streckgrenze von $f_{yk}= 450 \text{ N/mm}^2$ auf dem Markt sind. Allerdings haben diese verschiedenen Streckgrenzen keine Auswirkung auf die Beziehung (2), siehe 2.3.2.

2.3.1 Anpassung für hochduktilen Stahl

Unter Verwendung der Materialkennwerte aus Tabelle 1 und Tabelle 2 lassen sich für hochduktilen Stahl die Graphen aus Bild 2 berechnen. Für die Fließgrenze ϵ_{sy} wurde der Wert 0,25% gewählt.

Der rote Graph ist für den spröden, hochfesten Beton der Klasse C90/105. Der blaue Graph gilt für Betone bis zur Klasse C50/60. Für Betonfestigkeitsklassen zwischen C50/60 und C90/105 darf interpoliert werden.

Bereits eingefügt ist eine mögliche lineare Näherung.

Vergleicht man Bild 2 und Abbildung 5.5 nach EC 2 [2], sieht man, dass sich, wie aus den Materialkennwerten zu erwarten, der Graph für den hochfesten Beton etwas nach links verschoben hat.

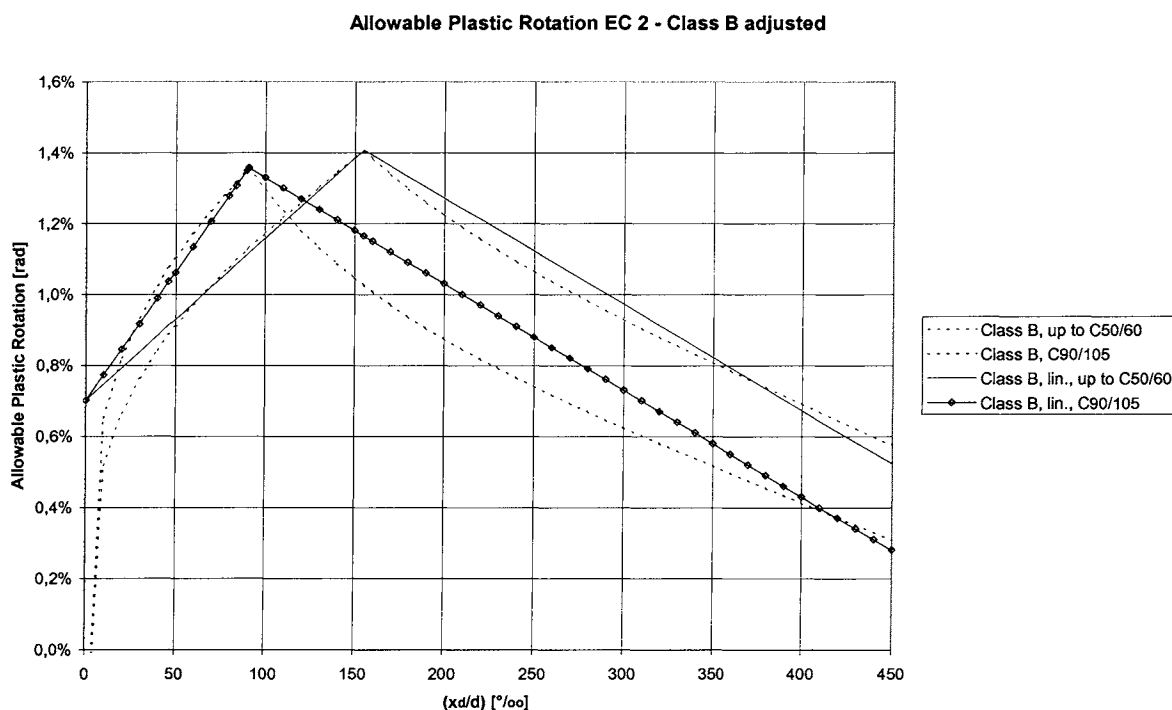


Bild 2 Zulässige plastische Rotation für hochduktilen Stahl, gültig für $\lambda= 3$

2.3.2 Anpassung für Erdbebenstahl

Unter Verwendung der Materialkennwerte aus Tabelle 1 und Tabelle 2 lassen sich für Erdbebenstahl die Graphen aus Bild 3 berechnen. Zum Vergleich sind die (weiter unten liegenden) Graphen für hochduktilen Stahl mit eingetragen.

Die roten Graphen sind für den spröden, hochfesten Beton der Klasse C90/105. Die blauen Graphen gelten für Betone bis zur Klasse C50/60. Für Betonfestigkeitsklassen zwischen C50/60 und C90/105 darf interpoliert werden.

Bereits eingefügt ist eine mögliche lineare Näherung.

Die Graphen für den Erdbebenstahl liegen wie gefordert über denen des hochduktilen Stahls und somit auch über denen des Erdbebenstahls nach MC 90.

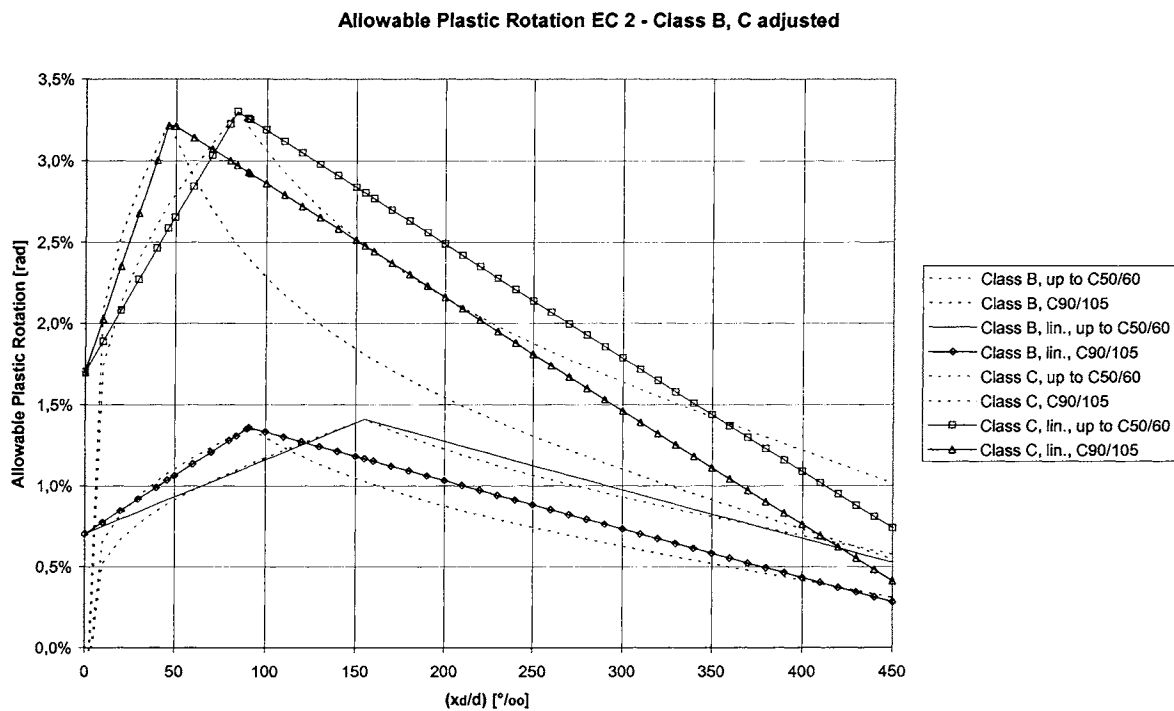


Bild 3 Zulässige plastische Rotation für Erdbebenstahl, gültig für $\lambda=3$

3 Vorschlag zur Regelung der Rotationsfähigkeit in EN 1992-1-1 (EC2)

Dieses Kapitel formuliert einen Vorschlag zu Regelung der Rotationsfähigkeit in EC 2, der eine Anpassung an die Materialkennwerte nach EC 2 sowie eine Berücksichtigung des Erdbebenstahls enthält.

Allgemeine Überlegungen prägen den Rahmen zu der neuen Regelung der Rotationsfähigkeit, siehe 3.1. Diesen Rahmen füllen die neuen Grenzlinien für die erlaubte plastische Rotation für hochduktilen Stahl, siehe 3.2, und für Erdbebenstahl, siehe 3.3. Diese neuen Grenzlinien werden zusammengeführt, siehe 3.4, und sollen Abbildung 5.5 nach EC 2 [2] ersetzen.

3.1 Allgemeines

Die Normentexte von EC 2 und DIN 1045-1 entsprechen sich im hohen Maße. Es wird daher vorgeschlagen, den Normentext selbst nicht zu ändern.

Um die geänderten Materialkennwerte für Beton nach EC 2 und Erdbebenstähle berücksichtigen zu können, ist nur eine Änderung der Abbildung 5.5 nach EC 2 notwendig.

Im Sinne eines konsistenten Modells und aus wirtschaftlichen Gründen sollte durchgängig der Ansatz (2) verwendet werden, siehe 2.3.

Um die Sicherheitsbedürfnisse der einzelnen Mitgliedsländer zu befriedigen, scheint es sinnvoll, das neue Diagramm als Vorschlag für eine Nationale Öffnung zu behandeln. So ist es den EC 2-Teilnehmerländern möglich, ggf. eigene Diagramme zu verwenden, siehe Anhang C.

Für die Grenzlinie für Erdbebenstähle wurden bisher keine Versuche durchgeführt, die die hohen angenommenen zulässigen Rotationen nachgewiesen hätten. Damit liegt noch weiterer Forschungsbedarf vor.

3.2 Grenzlinie für hochduktile Stähle

Die Grenzlinie für hochduktile Stähle bezieht sich auf die Auswertung der Formel (2) mit den entsprechenden Materialkennwerten, siehe 2.3.1. Damit gilt sie für eine Schubschlankheit von $\lambda = 3$.

Sie ist eine abschnittsweise lineare Näherung des abschnittsweise parabolischen Verlaufs des Graphs der Formel (2). Folgende lineare Gleichungen werden für Betonfestigkeitsklassen bis einschließlich C50/60 vorgeschlagen:

Stahlversagen (ansteigender Ast) $f(x) = 45,6387 \cdot 10^{-3} \cdot x + 7,00 \cdot 10^{-3}$

Betonversagen (abfallender Ast) $f(x) = -30,00 \cdot 10^{-3} \cdot x + 18,724 \cdot 10^{-3}$

Für die Betonfestigkeitsklasse C90/105 werden folgende Gleichungen vorgeschlagen:

Stahlversagen (ansteigender Ast) $f(x) = 72,23 \cdot 10^{-3} \cdot x + 7,00 \cdot 10^{-3}$

Betonversagen (abfallender Ast) $f(x) = -30,00 \cdot 10^{-3} \cdot x + 16,30 \cdot 10^{-3}$

Dargestellt sind die Näherung in Bild 2.

3.3 Grenzlinie für Erdbebenstähle

Die Grenzlinie für Erdbebenstähle bezieht sich auf die Auswertung der Formel (2) mit den entsprechenden Materialkennwerten, siehe 2.3.2. Damit gilt sie für eine Schubslankheit von $\lambda=3$.

Sie ist eine abschnittsweise lineare Näherung des abschnittsweise parabolischen Verlaufs des Graphs der Formel (2). Folgende lineare Gleichungen werden für Betonfestigkeitsklassen bis einschließlich C50/60 vorgeschlagen:

Stahlversagen (ansteigender Ast) $f(x) = 190,333 \cdot 10^{-3} \cdot x + 17,00 \cdot 10^{-3}$

Betonversagen (abfallender Ast) $f(x) = -70,00 \cdot 10^{-3} \cdot x + 38,87 \cdot 10^{-3}$

Für die Festigkeitsklasse C90/105:

Stahlversagen (ansteigender Ast) $f(x) = 325,70 \cdot 10^{-3} \cdot x + 17,00 \cdot 10^{-3}$

Betonversagen (abfallender Ast) $f(x) = -70,00 \cdot 10^{-3} \cdot x + 35,60 \cdot 10^{-3}$

3.4 Gemeinsames Diagramm für die zulässige plastische Rotation

Es wird vorgeschlagen, Abbildung 5.5 nach EC 2 [2] durch das Bild 4 zu ersetzen. Es enthält Grenzlinien für die plastische Rotation für hochduktilen Stähle und Erdbebenstähle und ist gültig für eine Schubslankheit $\lambda=3$.

Allowable Plastic Rotation EC 2 - Class B, C

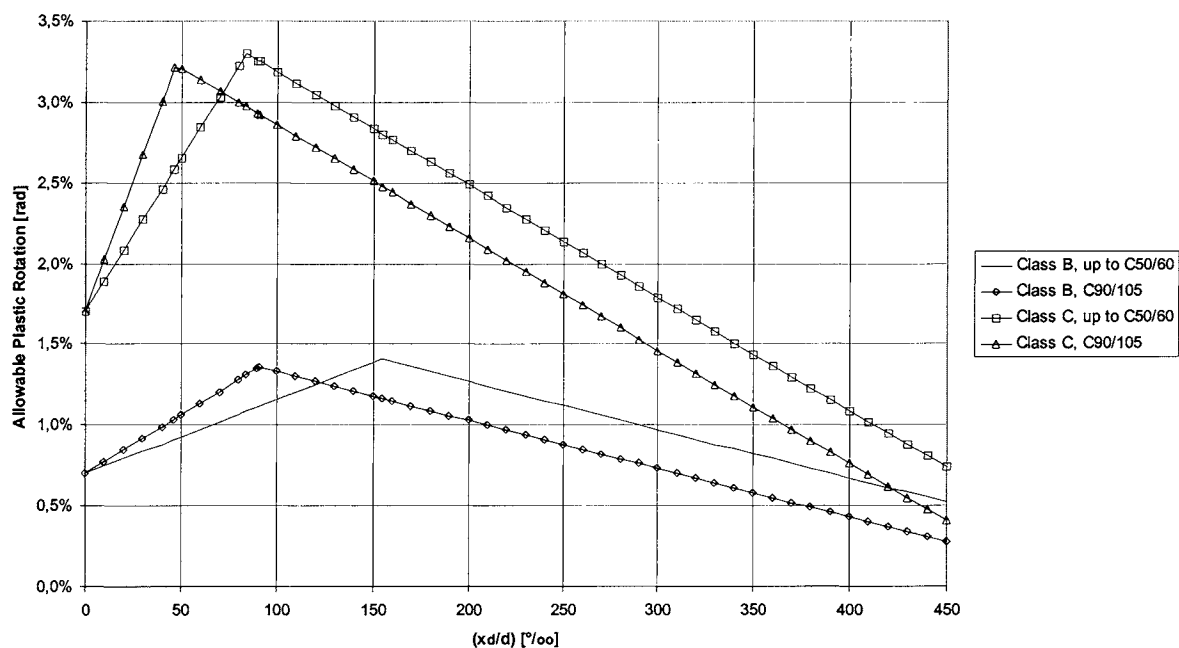


Bild 4 Zulässige plastische Rotation für hochduktilen Stahl und Erdbebenstahl, gültig für $\lambda=3$

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieses Forschungsprojekt hat die Schwachstellen der Formulierung für die zulässige plastische Rotation nach EC 2 [2] untersucht und Vorschläge zur Behebung der Schwachstellen geliefert. Im Einzelnen sind das eine Anpassung des Diagramms zur erlaubten plastischen Rotation an die Materialkennwerte nach EC 2 zur Wahrung einer konsistenten Norm und die Erweiterung der bisherigen Regelung auf Erdbebenstähle (ebenfalls als Teil des Diagramms). Eine Änderung des Normentexts selbst war nicht nötig.

Zur Anpassung bzw. Erweiterung wurde auf die Formel zurückgegriffen, die auch für DIN 1045-1 zum Einsatz kam. Es sei darauf hingewiesen, dass es bisher noch keine Untersuchungen praktischer Art gab, ob Erdbebenstähle wirklich die hohen berechneten Rotationen erreichen können. Aus diesem Grund existiert nach wie vor Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.

Um die Sicherheitsinteressen der EC 2-Teilnehmerländer zu wahren, wurde die berechnete mögliche plastische Rotation als national offen formuliert.

5 Unterschriften



Univ.-Prof. Dr.-Ing, Konrad Zilch
Antragsteller



Dipl.-Ing. Michael Cyllok
Sachbearbeiter

6 Literatur

- [1] DIN 1045-1:Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Juli 2001
- [2] prEN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Buildings. April 2003
- [3] prEN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Buildings. September 2001
- [4] Comité Euro-International du Béton (Hrsg.): CEB – FIB Model Code 1990 – Final draft. Lausanne, 1991 (CEB Bulletin d'Information No. 203-205)
- [5] Comité Euro-International du Béton (Hrsg.): Ductility of Reinforced Concrete Structures – Synthesis Report and individual contributions. Lausanne, 1998 (CEB Bulletin d'Information No. 242)
- [6] D. Stempniewski, J. Eibl: Finite Elemente im Stahlbeton. Berlin: Ernst & Sohn, 1996. (Betonkalender 1996 Teil 2)
- [7] H. Bachmann: Zur plastizitätstheoretischen Berechnung statisch unbestimmter Stahlbetonbalken. Dissertation, ETH Zürich, 1967
- [8] D. Pommering, Ein Beitrag zum nicht-linearen Materialverhalten und zur Schnittgrößenermittlung im Massivbau. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1996
- [9] R. Eligehausen, E. Fabritius: Grenzen der Anwendung nichtlinearer Rechenverfahren bei Stabtragwerken und einachsig gespannten Platten. Berlin: Beuth, 1997. (DAfStb Heft 484)
- [10] A. Pisanty, P.E. Regan: Redistribution of moments and the possible demand for ductility. Lausanne: CEB, 1993. (CEB Bulletin d'Information No. 218)
- [11] Th. Fritsche: Schnittgrößenverteilung nachträglich ergänzter Betonbauteile im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der Rissbildung. Dissertation, TU München, 2000
- [12] H. Bachmann: Influence of shear and bond on rotation capacity of reinforced concrete beams. Zürich: IABSE, 1970. (IABSE Publications Vol. 30-II)
- [13] A.J. Bigaj, J.C. Walraven: Size effect on the rotation capacity of plastic hinges in reinforced concrete beams. Lausanne: CEB, 1993. (CEB Bulletin d'Information No. 218)
- [14] P. Langer: Verdrehfähigkeit plastizierter Tragwerksbereiche im Stahlbetonbau. Berlin: Beuth, 1997. (DAfStb Heft 484)

- [15] L. Li: Rotationsfähigkeit von plastischen Gelenken im Stahl- und Spannbetonbau. Berlin: Beuth, 1997. (DAfStb Heft 484)
- [16] G. Macchi: Ductility condition for simplified design without check of compatibility. Lausanne: CEB, 1976. (CEB Bulletin d'Information No. 105)
- [17] H. Kreller: Zum nichtlinearen Tragverhalten von Stahlbetonstabtragwerken unter Last- und Zwangseinwirkung. Dissertation, Universität Stuttgart, 1989
- [18] A. Beeby: Tests to investigate the influence of reinforcement parameters on rotation capacity. Lausanne: CEB, 1997. (CEB Bulletin d'Information No. 242)
- [19] A. Bühler, J. Eibl: Experimental study of the influence of different reinforcing steel parameters on the plastic rotation behaviour of reinforced concrete slabs. Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe, 1991
- [20] G. Rehm: Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton. Berlin: Ernst & Sohn, 1961. (DAfStb Heft 138)
- [21] H. Martin: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstählen unter Kurzzeitbelastung. Berlin : Ernst & Sohn, 1973 (DAfStb Heft 228)
- [22] R. Eligehausen, H. Kreller, P. Langer: Untersuchung zum Verbundverhalten gerippter Bewehrungsstäbe mit praxisüblicher Betondeckung, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1989
- [23] M. Alvarez, P. Marti: Versuche zum Verbundverhalten von Bewehrungsstahl bei plastischen Verformungen (Tests on the post-yield bond behaviour of reinforcing bars), Report No. 222, Institute of Structural Engineering, ETH Zürich, 1996
- [24] C. Ahner, J. Kliver: Development of a New Concept for the Rotation Capacity in DIN 1045, Part 1. Lacer No. 3, Universität Leipzig, 1998
- [25] C. Ahner, J. Kliver: Part II: Development of a New Concept for the Rotation Capacity in DIN 1045, Part 1. Lacer No. 4, Universität Leipzig, 1999
- [26] J. Akkermann: Vereinfachte Berechnung der möglichen plastischen Rotation an stabförmigen Bauteilen. unveröffentlichter Bericht, Technische Universität Karlsruhe, 1998
- [27] Zilch, K.; Rogge, A.: Grundlagen der Bemessung von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen nach DIN 1045-1. Berlin: Ernst & Sohn, 2002. (Betonkalender 2002 Teil 1)

Anhang A Zusammenfassung des Vorhabens „Rotationsfähigkeit“

Dieses vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) finanzierte Forschungsprojekt hat die Schwachstellen der Formulierung für die zulässige plastische Rotation nach EC 2 und DIN 1045-1 für das vereinfachte Verfahren zum rechnerischen Nachweis der Rotationsfähigkeit von stabförmigen Bauteilen untersucht und Vorschläge zur Behebung der Schwachstellen geliefert. Im Einzelnen sind das für EC 2 eine Anpassung des Diagramms zur erlaubten plastischen Rotation an die Materialkennwerte nach EC 2 zur Wahrung einer konsistenten Norm und die Erweiterung der bisherigen Regelung auf Erdbebenstähle (ebenfalls als Teil des Diagramms). Eine Änderung des Normentexts selbst war nicht nötig. Für DIN 1045-1 wurden keine Änderungen vorgeschlagen.

Zur Anpassung bzw. Erweiterung für EC 2 wurde auf die Formel zurückgegriffen, die auch für DIN 1045-1 zum Einsatz kam. Es sei darauf hingewiesen, dass es bisher noch keine Untersuchungen praktischer Art gab, ob Erdbebenstähle wirklich die hohen berechneten Rotationen erreichen können. Aus diesem Grund existiert nach wie vor Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.

Um die Sicherheitsinteressen der EC 2-Teilnehmerländer zu wahren, wurde die berechnete mögliche plastische Rotation als national offen formuliert.

Anhang B Kurzzusammenfassungen

Rotationsfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen

(Kurzzusammenfassung)

Dieses Forschungsprojekt hat die Schwachstellen der Formulierung für die zulässige plastische Rotation nach EC 2 und DIN 1045-1 für das vereinfachte Verfahren zum rechnerischen Nachweis der Rotationsfähigkeit von stabförmigen Bauteilen untersucht. Es liefert Vorschläge zur Behebung der Schwachstellen. Im Einzelnen sind das für EC 2 eine Anpassung des Diagramms zur erlaubten plastischen Rotation an die Materialkennwerte nach EC 2 zur Wahrung einer konsistenten Norm und die Erweiterung der bisherigen Regelung auf Erdbebenstähle (ebenfalls als Teil des Diagramms). Eine Änderung des Normentexts selbst war nicht nötig. Für DIN 1045-1 wurden keine Änderungen vorgeschlagen.

Rotation capacity for concrete members

(Summary)

This research project investigated the weak spots of the rules for the allowable plastic rotation according to EC 2 and DIN 1045-1 for the simplified procedure for the analytical verification of the rotation capacity of continuous beams. It proposes amendments for the weak spots. For EC 2 this is firstly an adjustment of the diagram for the allowable plastic rotation to the material properties according to EC 2. This is to produce a consistent code. Secondly the diagram is extended to steels for seismic purposes. A change to the text of the code was not necessary. For DIN 1045-1 no changes were proposed.

La capacité de rotation des éléments de structure en béton

(Résumé)

Ce projet de la recherche a examiné les inconvénients des règles de la rotation plastique admissible selon EC 2 et DIN 1045-1 en la méthode simplifiée de la vérification calculée pour les poutres continues. Il propose des réparations pour les inconvénients. Pour EC 2 en premier lieu c'est un ajustage du diagramme de la rotation plastique admissible aux propriétés matériaux selon EC 2. Ca c'est pour recevoir une norme solide. En second lieu le diagramme est avancé aux armatures de la classe C (contre les séismes). Changer le texte du norme n'été pas nécessaire. Pour DIN 1045-1 on n'a proposé pas des amendements.

Anhang C Normentext Abschnitt 5.6.3 aus prEN 1992-1-1

5.6.3 Rotation capacity

(1) The simplified procedure for continuous beams and continuous one way spanning slabs is based on the rotation capacity of beam/slab zones over a length of approximately 1,2 times the depth of section. It is assumed that these zones undergo a plastic deformation (formation of yield hinges) under the relevant combination of actions. The verification of the plastic rotation in the ultimate limit state is considered to be fulfilled, if it is shown that under the relevant action the calculated rotation, θ_s , is less than or equal to the allowable plastic rotation, $\theta_{pl,d}$ (see Figure 5.5).

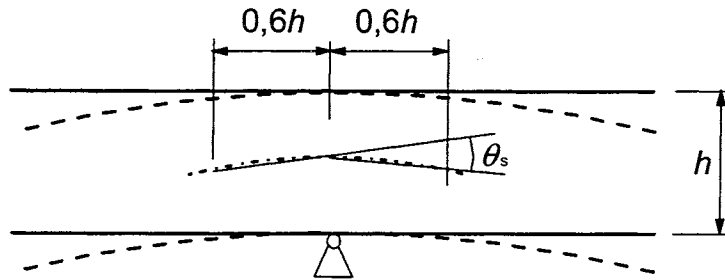


Figure 5.5: Plastic rotation θ_s of reinforced concrete sections for continuous beams and continuous one way spanning slabs.

- (2) In regions of yield hinges, x_u/d shall not exceed the value 0,45 for concrete strength classes less than or equal to C50/60, and 0,35 for concrete strength classes greater than or equal to C55/67.
- (3) The rotation θ_s should be determined on the basis of the design values for actions and materials and on the basis of mean values for prestressing at the relevant time.
- (4) In the simplified procedure, the allowable plastic rotation may be determined by multiplying the basic value of allowable rotation by a correction factor k_λ that depends on the shear slenderness.

Note: Values of $\theta_{pl,d}$ for use in a Country may be found in its National Annex. The recommended values for steel Classes B and C (the use of Class A steel is not recommended for plastic analysis) and concrete strength classes less than or equal to C50/60 and C90/105 are given in Figure 5.6N.

The values for concrete strength classes C 55/67 to C 90/105 may be interpolated accordingly. The values apply for a shear slenderness $\lambda = 3,0$. For different values of shear slenderness $\theta_{pl,d}$ should be multiplied by k_λ :

$$k = \sqrt{\lambda/3} \quad (5.11N)$$

Where λ is the ratio of the distance between point of zero and maximum moment after redistribution and effective depth, d .

As a simplification λ may be calculated for the concordant design values of the bending moment and shear :

$$\lambda = M_{Sd} / (V_{Sd} \cdot d) \quad (5.12N)$$

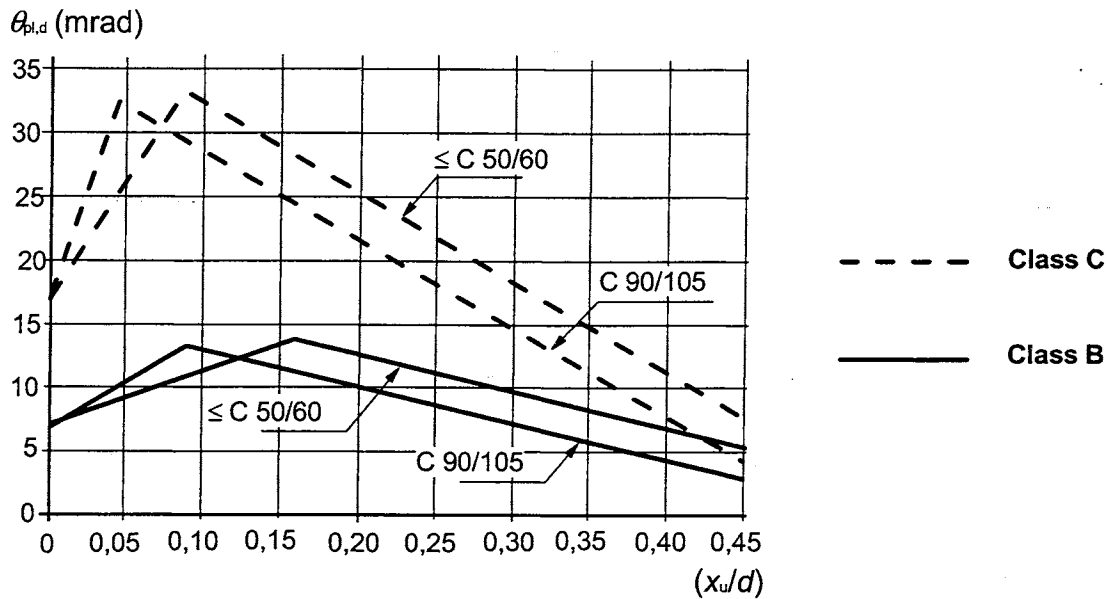


Figure 5.6N: Allowable plastic rotation, $\theta_{pl,d}$, of reinforced concrete sections for Class B and C reinforcement. The values apply for a shear slenderness $\lambda = 3,0$

5.6.4 Analysis with strut and tie models

- (1) Strut and tie models may be used for design in ULS of continuity regions (cracked state of beams and slabs, see 6.1 - 6.4) and for the design in ULS and detailing of discontinuity regions (see 6.5). In general these extend up to a distance h (section depth of member) from the discontinuity. Strut and tie models may also be used for members where a linear distribution within the cross section is assumed, e.g. plane strain.
- (2) Verifications in SLS may also be carried out using strut-and-tie models, e.g. verification of steel stresses and crack width control, if approximate compatibility for strut-and-tie models is ensured (in particular the position and direction of important struts should be oriented according to linear elasticity theory)
- (3) Strut-and-tie models consist of struts representing compressive stress fields, of ties representing the reinforcement, and of the connecting nodes. The forces in the elements of a strut-and-tie model should be determined by maintaining the equilibrium with the applied loads in the ultimate limit state. The elements of strut-and-tie models should be dimensioned according to the rules given in 6.5.1 and 6.5.2.
- (4) The ties of a strut-and-tie model should coincide in position and direction with the corresponding reinforcement.
- (5) Possible means for developing suitable strut-and-tie models include the adoption of stress trajectories and distributions from linear-elastic theory or the load path method. All strut-and-tie models may be optimised by energy criteria.

5.7 Non-linear analysis

- (1) Non-linear methods of analysis may be used for both ULS and SLS, provided that equilibrium and compatibility are satisfied and an adequate non-linear behaviour for materials is assumed. The analysis may be first or second order.

- Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern**
W. Richter, T. Ender, T. Hartmann, A. Kremonke, u.a.
Hrsg.: TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Bereich TGA
Band 63: 2003, 127 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6345-6
€ 35,- [sFr 58,-]
- Baukostensenkung durch Anwendung innovativer Wettbewerbsmodelle**
Udo Blecken, Lothar Boenert
Hrsg.: Universität Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb, Fakultät Bauwesen
Band 62: 2003, 350 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6338-3
€ 50,- [sFr 82,-]
- Flachdachsanieerung über durchfeuchteter Dämmschicht**
Ralf Spilker
Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gGmbH AIBau
Band 61: 2003, 260 S., zahlr. farbige Abb., ISBN 3-8167-6183-6
€ 45,- [sFr 74,-]
- Bauqualität – Verfahrensqualität und Produktqualität bei Projekten des Wohnungsbaus**
Hannes Weeber, Simone Bosch
Band 60: 2003, 170 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4259-9
€ 45,- [sFr 74,-]
- Brandschutzkosten im Wohnungsbau**
Karl Deters
Band 59: 2001, 245 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4258-0
€ 50,- [sFr 82,-]
- Gemeinschaftliches Wohnen im Alter**
R. Weeber, G. Wölflé, V. Rösner
Band 58: 2001, 175 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4257-2
€ 46,- [sFr 76,-]
- Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen**
C.J. Diederichs, P. Getto, S. Streck
Band 57: 2002, 230 S., mit CD-ROM, Abb., Tab., ISBN 3-8167-4256-4
€ 50,- [sFr 82,-]
- Vergabeverfahren und Baukosten**
Hannes Weeber, Simone Bosch
Band 56: 2001, 192 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4255-6
€ 50,- [sFr 82,-]
- Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau**
Ralf Spilker, Rainer Oswald
Band 55: 2000, 71 S., 5 Abb., zahlr. Tab., ISBN 3-8167-4254-8
€ 22,- [sFr 37,-]
- Bewährung innen wärmegeämmteter Fachwerkbauten**
Reinhard Lamers, Daniel Rosenzweig, Ruth Abel
Band 54: 2000, 173 S., 123 Abb., ISBN 3-8167-4253-X
€ 25,- [sFr 41,60]
- Überprüfbarkeit und Nachbesserbarkeit von Bauteilen – untersucht am Beispiel der genutzten Flachdächer**
Rainer Oswald, Ralf Spilker, Klaus Wilmes
Band 53: 1999, 133 S., 49 Abb., 4 Tab., ISBN 3-8167-4252-1
€ 37,- [sFr 61,-]
- Bauschadensfibel für den privaten Bauherrn und Hauskäufer**
Rainer Oswald, Ruth Abel, Volker Schnapauff
Band 52: 1999, 140 S., 19 Abb., 3 Tab., fester Einband, ISBN 3-8167-4251-3
€ 25,- [sFr 41,60]
- Balkone – kostengünstig und funktionsgerecht**
Hannes Weeber, Margit Lindner
Band 51: 1999, 146 S., 102 Abb., 26 Tab., ISBN 3-8167-4250-5
€ 38,- [sFr 62,50]
- Kostenfaktor Erschließungsanlagen**
Hannes Weeber, Michael Rees
Band 50: 1999, 226 S., 107 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4249-1
€ 50,- [sFr 82,-]
- Eigenleistung beim Bauen**
R. Weeber, H. Weeber, S. Kleebaur, u.a.
Band 49: 1999, 154 S., 25 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4248-3
€ 22,- [sFr 37,-]
- Kosteneinsparung durch Bauzeitverkürzung**
Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann
Band 48: 1999, 174 S., 38 Abb., 36 Tab., ISBN 3-8167-4247-5
€ 37,- [sFr 61,-]
- Das wärme- und feuchteschutztechnische Verhalten von stählernen Fassadendurchdringungen**
Lutz Franke, Gernod Deckelmann
Band 47: 1998, 74 S., 38 Abb., 13 Tab., ISBN 3-8167-4246-7
€ 15,- [sFr 25,80]
- Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Wohnungsbestand**
R. Oswald, R. Lamers, V. Schnapauff, u.a.
Band 46: 1998, 100 S., 57 Abb., ISBN 3-8167-4245-9
€ 17,- [sFr 28,80]
- Sicherung des baulichen Holzschutzes**
Horst Schulze
Band 45: 1998, 168 S., 136 Abb., 10 Tab., ISBN 3-8167-4244-0
€ 22,- [sFr 37,-]
- Luftdichtigkeit von industriell errichteten Wohngebäuden in den neuen Bundesländern**
Wolfgang Richter, Dirk Reichel
Band 44: 1998, 88 S., 34 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4243-2
€ 15,- [sFr 25,80]
- Leitfaden Kostendämpfung im Geschoßwohnungsbau**
Karl Deters, Joachim Arlt
Band 43: 1998, 162 S., 135 Abb., 34 Tab., ISBN 3-8167-4242-4
€ 22,- [sFr 37,-]
- Langzeitbewährung und Entwicklungstendenzen von Kunststoff-Bauprodukten im Wohnungsbau**
Dieter Arlt, Rainer Weltring
Band 42: 1998, 137 S., 90 Abb., 7 Graph., ISBN 3-8167-4241-6
€ 20,- [sFr 33,40]
- Gebrauchsanweisung für Häuser**
Volker Schnapauff, Silke Richter-Engel
Band 40: 1997, 116 S., 4 Abb., 7 Tab., ISBN 3-8167-4239-4
€ 19,- [sFr 31,90]
- Ergänzender Neubau in bestehenden Wohnsiedlungen**
H. Weeber, R. Weeber, M. Lindner, u. a.
Band 39: 1997, 194 S., 230 Abb., ISBN 3-8167-4238-6
€ 25,- [sFr 41,60]
- Lüftung in industriell errichteten Wohnhäusern**
Wilfried Jank
Band 37: 1997, 66 S., 17 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4236-X
€ 15,- [sFr 25,80]

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail.....

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

- Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden**
Siegfried Koch, Werner Scholl
Band 36: 1997, 72 S., 33 Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-4235-1
€ 15,- [sFr 25,80]
- Baukostensenkung durch gesicherte Schadensbeurteilung an haufwerksporigen Leichtbetonelementen der industriell errichteten Wohnbauten der ehemaligen DDR**
Mirko Neumann, Mathias Reuschel
Band 35: 1997, 320 S., 227 Abb., 105 Tab.,
ISBN 3-8167-4234-3
€ 41,- [sFr 68,-]
- Verhinderung von Emissionen aus Baustoffen durch Beschichtungen**
Lutz Franke, Martin Wesselmann
Band 34: 1997, 68 S., 11 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-4233-5
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wirksamkeit von Lüftungsgeräten – Zuluftversorgung von Wohnungen mit dezentralen Lüftungseinrichtungen**
Wolfgang Richter, Dirk Reichel
Band 33: 1996, 161 S., Abb., Tab.,
ISBN 3-8167-4232-7
€ 22,- [sFr 37,-]
- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im Wohnungsbau**
Institut für Bauforschung e.V., Hannover
Band 32: 1997, 250 S., 128 Abb., 20 Tab.,
ISBN 3-8167-4231-9
€ 30,- [sFr 50,40]
- Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor**
Teil 1: Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlusssituationen (Details)
W.-H. Pohl, S. Horschler, R. Pohl
Teil 2: Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken
Gerd Hauser, Horst Stiegel
Band 31: 1997, 294 S., 169 Abb.,
ISBN 3-8167-4230-0
€ 14,- [sFr 24,30]
- Fenster – Sanierung und Modernisierung**
Hans-Rudolf Neumann
Band 30: 1997, 134 S., 90 Abb., 11 Tab.,
ISBN 3-8167-4229-7
€ 20,- [sFr 33,40]
- Schäden an nicht industriell hergestellten Wohnbauten der neuen Bundesländer**
R. Oswald, R. Spilker, V. Schnapauff, u. a.
Band 29: 1996, 116 S., 66 Abb., 30 Tab.,
ISBN 3-8167-4228-9
€ 17,- [sFr 28,80]
- Die Berechnung von Flachdecken über Zustands- und Einflußflächen**
Max Baerschneider
Band 26: 1996, 380 S., 196 Tab., zweibändig,
ISBN 3-8167-4225-4
€ 49,- [sFr 80,-]
- Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk – Messung und Berechnung**
M. Krus, H.-M. Künzel, K. Kießl
Band 25: 1996, 75 S., 31 Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-4224-6
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wohngebäudesanierung und Privatisierung**
Hannes Weeber, Michael Rees
Band 24: 1996, 107 S., 51 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4223-8
€ 20,- [sFr 33,40]
- Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden**
Helmut Künzel
Band 23: 1996, 85 S., 32 Abb., 10 Tab.,
€ 15,- [sFr 25,80]
- Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm
Band 22: 1996, 110 S., 26 Abb., 3 Tab.,
ISBN 3-8167-4221-1
€ 17,- [sFr 28,80]
- Standesicherheit der Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**
E. Cziesielski, N. Fouad, F.-U. Vogdt
Band 21: 1996, 226 S., 71 Abb.,
ISBN 3-8167-4220-3
€ 30,- [sFr 50,40]
- Sicherheit von Glasfassaden**
X. Shen, H. Techen, J. D. Wörner
Band 20: 1996, 38 S., 26 Abb., 4 Tab.,
ISBN 3-8167 4219-X
€ 12,- [sFr 20,70]
- Kostengünstige Umnutzung aufgegebener militärischer Einrichtungen für Wohnzwecke, Wohnergängungseinrichtungen und andere Nutzungen**
B. Jacobs, J. Kirchhoff, J. Mezler
Band 19: 1996, 204 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4218-1
€ 28,- [sFr 46,70]
- Gefährdungspotentiale asbesthaltiger Massenbaustoffe in den neuen Bundesländern**
Klaus Bergner, unter Mitarbeit von Franka Stodollik und Hans-Otto Eckler
Band 17: 1996, 75 S., 26 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-4216-5
€ 15,- [sFr 25,80]
- Transparent gedämmte Altbauten**
G. H. Bondzio, K. Brandstetter, P. Sulzer, u.a.
Band 15: 1996, 130 S., 44 Abb., 7 Tab.,
ISBN 3-8167-4214-9
€ 22,- [sFr 37,-]
- Kosten und Techniken für das »Überwintern« erhaltenswerter Bausubstanz**
Michael Rees, Hannes Weeber
Band 14: 1995, 190 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4213-0
€ 25,- [sFr 41,60]
- Körperschalldämmung von Sanitärräumen**
Karl Gösele, Volker Engel
Band 11: 1995, 76 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4210-6
€ 15,- [sFr 25,80]
- Bauschäden an Holzbalkendecken in Feuchtraumbereichen**
Gertraud Hofmeister
Band 9: 1995, 210 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4208-4
€ 25,- [sFr 41,60]
- Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern**
Band 8: 1995, 418 S., 114 Abb.,
ISBN 3-8167-4207-6
€ 50,- [sFr 82,-]
- Abfallvermeidung in der Bauproduktion**
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm
Band 6: 1994, 198 S., 75 Abb., 16 Tab.,
ISBN 3-8167-4205-X
€ 25,- [sFr 41,60]
- Niveaugleiche Türschwellen bei Feuchträumen und Dachterrassen**
R. Oswald, A. Klein, K. Wilmes
Band 3: 1994, 56 S., 48 Abb.,
ISBN 3-8167-4202-5
€ 12,- [sFr 20,70]
- Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**
R. Oswald, V. Schnapauff, R. Lamers, u. a.
Band 2: 1995, 333 S., 515 Abb.,
ISBN 3-8167-4201-7
€ 40,- [sFr 66,70]
- Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus**
Gerhard Hausladen, Peter Springl
Band 1: 1994, 214 S., 74 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4200-9
€ 25,- [sFr 41,60]
- Informieren Sie mich bitte laufend über Neuerscheinungen

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail.....

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Alle Bände (außer Band 52) mit kartoniertem Einband

Herausgegeben von Günter Zimmermann und Ralf Ruhнау

- Gründungsschäden**
Klaus Hilmer, Manfred Knappe
Band 34: 2004, ca. 172 S., zahlr. Abb. und Tab.,
ISBN 3-8167-6347-2
ca. € 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Balkonen**
Nils Oster
Band 33: 2004, 148 S., 79 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-6313-8
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz**
Michael Bonk, Frank Anders
Band 32: 2004, 130 S., 92. Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-6307-3
€ 39,- [sFr 65,20]
- Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen**
Georg Philipps, Frank Stollhoff, Jürgen Wieck
Band 31: 2004, 211 S., 29 Grafiken,
83 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-6306-5
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahl**
Peter Oehme, Werner Vogt
Band 30: 2003, 152 S., 148 Abb., 7 Tab.,
ISBN 3-8167-6133-X
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden an Holzfußböden**
Andreas O. Rapp, Bernhard Sudhoff
Band 29: 2003, 176 S., 80 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-6170-4
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Holztragwerken**
Georg Dröge, Thomas Dröge
Band 28: 2003, 169 S., 80. Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-6156-9
€ 46,- [sFr 76,-]
- Mangelhafter Schallschutz von Gebäuden**
Herwig Baumgartner, Roland Kurz
Band 27: 2003, 256 S., 143 Abb., 29 Tab.,
ISBN 3-8167-5797-9
€ 58,- [sFr 94,-]
- Schäden an polymeren Beschichtungen**
Robert Engelfried
Band 26: 2001, 146 S., 94 Abb., 14 Tab.,
ISBN 3-8167-5795-2
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Belägen und Bekleidungen mit Keramik- und Werksteinplatten**
Günter Zimmermann
Band 25: 2001, 190 S., 175 Abb., 16 Tab.,
ISBN 3-8167-5791-X
€ 48,- [sFr 79,-]
- Schäden an Installationsanlagen**
Heinz Wirth, Stefan Wirth
Band 24: 2001, 256 S., 114 Abb., 33 Tab.,
ISBN 3-8167-5790-1
€ 57,- [sFr 92,-]
- Schäden an Türen und Toren**
Ralf Schumacher
Band 23: 2001, 368 S., 291 Abb., 32 Tab.,
ISBN 3-8167-4169-X
€ 71,- [sFr 114,-]
- Schäden an elastischen und textilen Bodenbelägen**
Hans-Joachim Scheewe
Band 22: 2001, 232 S., 80 Abb., 50 Tab.,
ISBN 3-8167-4168-1
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Glasfassaden und -dächern**
Peter Küffner, Oliver Lummertzheim
Band 21: 2000, 132 S., 106 Abb., 6 Tab.,
ISBN 3-8167-4165-7
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen**
Erich Cziesielski, Frank Ulrich Vogdt
Band 20: 2000, 202 S., 75 Konstruktions-
skizzen, 28 Tab., 98, teilw. farb. Fotos,
ISBN 3-8167-4164-9
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Dränanlagen**
Wilfried Muth
Band 17: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,
128 S., 157 Abb., 13 Tab.,
ISBN 3-8167-6261-1
€ 36,- [sFr 59,50]
- Tauwasserschäden**
Richard Jenisch, Martin Stohrer
Band 16: 2., überarb. Aufl. 2001, 129 S.,
66 Abb., 6 Tab.,
ISBN 3-8167-5792-8
€ 37,- [sFr 61,-]
- Schäden an Estrichen**
Klaus G. Aurnhammer
Band 15: 2., erg. Aufl. 1999, 216 S.,
44 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4162-2
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**
Bernhard Brand, Gerhard Glatz
Band 14: 2., erw. Aufl. 2004, ca. 220 S.,
129 Abb., 24 Tab.,
ISBN 3-8167-6422-3
ca. € 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**
Helmut Klaas, Erich Schulz
Band 13: 2., überarb. Aufl. 2002, 224 S.,
162 Abb., 13 Tab.,
ISBN 3-8167-6114-3
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Metallfassaden und -dachdeckungen**
Franz Lubinski, Fritz Röbber, Uwe Nagel, u.a.
Band 12: 2., erw. Aufl. 2001, 410 S.,
303, teilw. farb. Abb., 22 Tab.,
ISBN 3-8167-4166-5
€ 76,- [sFr 122,-]
- Schäden an Fassadenputzen**
Helmut Künzel
Band 9: 2., erw. Aufl. 2000, 142 S.,
97 Abb., 3 Tab.,
ISBN 3-8167-4167-3
€ 38,- [sFr 62,50]
- Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**
Erich Cziesielski, Michael Bonk
Band 8: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,
111 S., 76 Abb., 5 Tab.,
ISBN 3-8167-6197-6
€ 35,- [sFr 58,-]
- Risschäden an Mauerwerk**
Werner Pfefferkorn, Helmut Klaas
Band 7: 3., überarb. Aufl. 2002, 292 S.,
290 Abb., 18 Tab.,
ISBN 3-8167-5793-6
€ 53,- [sFr 86,-]
- Schäden an Industrieböden**
Erich Cziesielski, Thomas Schrepfer
Band 4: 2., erw. Aufl. 1999, 169 S.,
69 Abb., 33 Tab.,
ISBN 3-8167-4163-0
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Flachdächern und Wannen aus wasserundurchlässigem Beton**
Gottfried C.O. Lohmeyer
Band 2: 3., neu bearb. Aufl. 2001, 272 S.,
171 Abb., 28 Tab.,
ISBN 3-8167-5794-4
€ 50,- [sFr 82,-]
- Gesamtausgabe Bände 1 – 34**
2004, alle Bände mit festem Einband und
Register-CD-ROM,
ISBN 3-8167-6447-9
€ 1 368,- [sFr 2 066,-]

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Die »Bauschäden-Sammlung« in 13 Bänden

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann



In der Fachwelt hat diese Zusammenstellung von typischen Bauschadensfällen als wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Bau- und Planungsleistungen großes Ansehen erlangt.

Die 13 Bände mit dem Untertitel »Sachverhalt - Ursachen - Sanierung« enthalten Schadensberichte aus allen baukonstruktiven Bereichen und sind durch Themen- und Sachregister erschlossen.

Der Nutzer kann so auf Anhieb feststellen,

- ob ein gleicher oder ähnlicher Schaden bereits dokumentiert ist,
- welche Schäden für ein bestimmtes Bauteil typisch sind,
- wie diese Schäden vermieden werden können oder welche Maßnahmen zu ihrer Behebung in Frage kommen.

Seit 3 Jahrzehnten ist die »Bauschäden-Sammlung« eine ständige Rubrik des »Deutschen Architektenblattes«.

Bauschäden-Sammlung, Band 13 Sachverhalt - Ursachen - Sanierung

2001, 184 Seiten,
zahlreiche, überwiegend farbige
Abbildungen, fester Einband,
ISBN 3-8167-4185-1
€ 27,- | sFr 44,-

Der Herausgeber

Professor Günter Zimmermann, ein bekannter Bausachverständiger mit langjähriger Erfahrung, betreut seit 3 Jahrzehnten die »Bauschäden-Sammlung« im »Deutschen Architektenblatt« und ist auch für die Herausgabe der Buchausgabe verantwortlich.

BESTELLSCHEIN

- Band 1: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 2: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 3: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 4: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 5: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 6: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 7: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 8: 168 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 9: 184 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 10: 184 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 11: 184 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 12: 184 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 13: 184 Seiten
€ 27,- | sFr 44,-

Sie sparen € 36,- bei Abnahme der

- Bände 1-13 komplett:
€ 315,- | sFr 476,-

Alle Bände im Format A 5 quer, mit zahlreichen, zum Teil farbigen Abbildungen, festem Einband und Fadenheftung

Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07 senden an:

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
E-Mail: info@irb.fhg.de
URL: <http://www.IRBbuch.de>

Absender

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

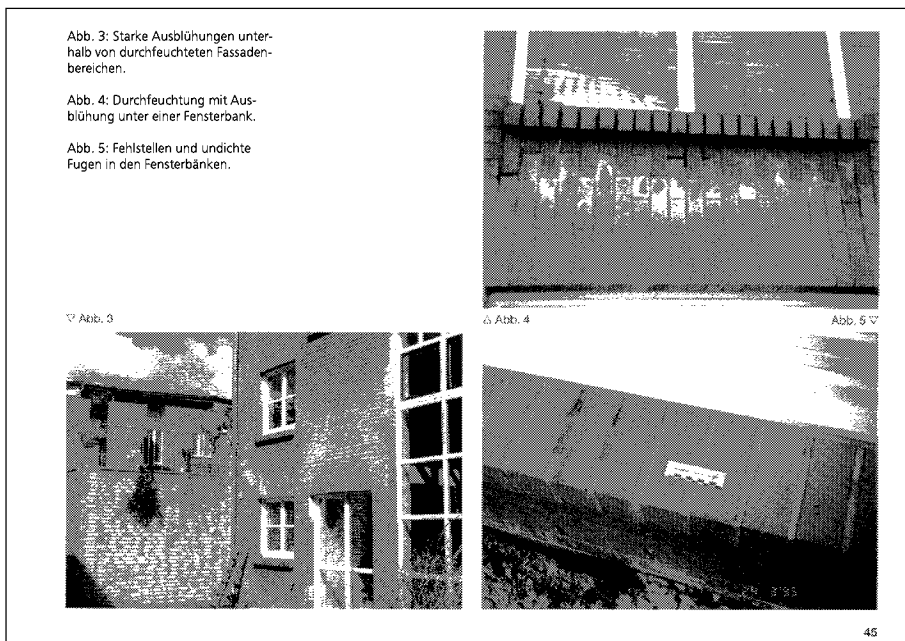


Abb. 3: Starke Ausblühungen unterhalb von durchfeuchteten Fassadenbereichen.

Abb. 4: Durchfeuchtung mit Ausblühung unter einer Fensterbank.

Abb. 5: Fehlstellen und undichte Fugen in den Fensterbänken.

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 5