

Erfahrungen mit der praktischen Anwendung der DIN 1045-1

Dr.-Ing. Frank Fingerloos

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., 10785 Berlin, Kurfürstenstraße 129

Internet: www.betonverein.de

E-Mail: fingerloos@betonverein.de

Durch die Aktualisierung der Liste der Technischen Baubestimmungen in den Bundesländern ist die neue Normenreihe der DIN 1045-1 bis 4: „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ [1-4] und der DIN EN 206-1: „Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“ [5] mit der DIN 1055-100: „Grundlagen der Tragwerksplanung“ [7] seit Ende des Jahres 2002 bauaufsichtlich eingeführt. Nach der Übergangszeit bis zum 31.12.2004 dürfen nach dem alten Regelwerk DIN 1045 (1988) geplante Bauwerke auch danach zu Ende gebaut werden, wenn sie die Baugenehmigung oder die erste Bescheinigung im Jahre 2004 erhalten haben. In allen anderen Fällen ist das neue Regelwerk im Hochbau für Planung und Ausführung allein verbindlich [8].

Um Missverständnisse zu vermeiden: Vordergründiges Ziel der neuen Normengeneration war nicht die Einsparung von Material oder die Erhöhung der Querschnittsausnutzung.

Es ging vielmehr darum, den in den vergangenen 30 Jahren kumulierten Stand der Forschung im Betonbau und die mit der Anwendung der zuletzt 1972 konzeptionell wesentlich geänderten DIN 1045 gesammelten Erfahrungen in einer modernen europäischen Norm zu fassen. Diese Aufgabe sollte ursprünglich dem neuen Eurocode 2 zufallen, dessen verbindliche Einführung unter Zurückziehung der entsprechenden nationalen Regelwerke vermutlich erst nach dem Jahre 2010 zu erwarten ist.

Derzeit vollzieht sich der praktische Auslegungsprozess für die DIN 1045-1 nicht ohne Belastungen für die teilweise verunsicherten Tragwerksplaner und Prüfsingenieure. Im Normenausschuss Bauwesen im DIN werden die Auslegungsanfragen aus der Praxis beraten und abgestimmt. Wegen des normenähnlichen Verfahrens werden die nach dem Abstimmungsprozess auf der offiziellen DIN-Internet-Seite (Folie 6) veröffentlichten und regelmäßig aktualisierten Auslegungen ähnlich wie das DAfStb-Heft 525 bauaufsichtlich anerkannt. Dadurch sind viele aktuell auftretende Probleme mit der grundlegend neuen DIN 1045-1 für die Praxis relativ schnell gelöst.

Parallel dazu sind Berichtigungen zur DIN 1045-1 (Berichtigung 2) und zum DAfStb-Heft 525 [12] sowie A1-Änderungen zu DIN 1045-2 und DIN 1045-3 erschienen. Diese sind z. B. in der aktuellen 2. Auflage der Kommentierten Kurzfassung zur DIN 1045-1 [6] enthalten. Der aktuelle Stand der Normung im Betonbau ist in Folie 5 zusammengefasst.

DIN 1045 → Stand Juni 2005		
DIN	Inhalt	Ausgabe
1045-1	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion	2001-07
1045-1/Ber 2	Berichtigung 2: Berichtigungen zu DIN 1045-1:2001-07	2005-06
1045-2	Tragwerke ... - Teil 2: Beton - Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln EN 206-1	2001-07
1045-2/A1	Tragwerke... - Teil 2: Beton - ...; Änderung A1	2005-01
1045-3	Tragwerke ... - Teil 3: Bauausführung	2001-07
1045-3/A1	Tragwerke ... - Teil 3: Bauausführung; Änderung A1	2005-01
1045-4	Tragwerke ... - Teil 4: Ergänzende Regeln für ... Fertigteile	2001-07
1045-100	Tragwerke... - Teil 100: Ziegeldecken	2005-02
EN 206-1	Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000	2001-07
EN 206-1/A2	Beton - Teil 1: ...; Änderung A2	2005-09
DAfStb 525	Erläuterungen zu DIN 1045-1	2003
H 525/ Ber 1	Berichtigung 1 zu DAfStb-Heft 525	2005-05

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt
Erfahrungen mit der praktischen Anwendung der DIN 1045-1 24. und 25.06.2005

Auslegungen zur DIN 1045

1.) www2.nabau.din.de

2.) Antworten zu Auslegungsfragen

3.) DIN 1045-1

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt
Erfahrungen mit der praktischen Anwendung der DIN 1045-1 24. und 25.06.2005

Der DBV unterstützt die Tragwerksplaner zusätzlich mit den aktualisierten Beispielsammlungen [9, 10] bei der Einarbeitung in die neue DIN 1045-1.

Der folgende Beitrag soll auf einige spezielle Fragen eingehen, die aus besonderen Schwierigkeiten bei der Umsetzung der neuen Normen herrühren.


Die hier behandelten Schwerpunktthemen sind:


1. **Expositionsklassen**
2. **Querkraft und Verbundfuge**
3. **Mindestbewehrungen**
4. **Fundamente**

Man kann den Bauingenieuren nur empfehlen, sich auf ihr technisches Fachwissen und ihre Erfahrung zu besinnen, die Grundlagen des Stahlbeton- und Spannbetonbaus sind mit der neuen DIN 1045 nicht auf den Kopf gestellt worden. Wenn der Hintergrund einer genormten Regel erkannt ist, lassen sich auch weiterhin in den meisten Fällen die Anwendungsgrenzen hierfür ableiten und die notwendigen Anpassungen auf ein konkretes Problem selbstständig vornehmen.

1. Expositionsklassen

In der 2. Berichtigung der DIN 1045-1 ist die Tab. 3 zu den Expositionsklassen in der Spalte für die Mindestfestigkeitsklassen des Betons ergänzt worden. Die Mindestfestigkeiten ergeben sich aus den eigentlichen betontechnologischen Anforderungen an die Betonzusammensetzung in DIN 1045-2, die den Bauteilwiderstand (Dauerhaftigkeit) ausmachen. Deutlicher wird nunmehr die Unterscheidung in Betone mit und ohne Luftporen (XF-Klassen) und langsam bzw. sehr langsam erhärtende Betone ($r < 0,30$), die zu jeweils anderen Mindestfestigkeiten bei identischer Exposition (Einwirkung) führen. Gleichzeitig wurde die Beispelspalte als nur „informativ“ kenntlich gemacht und die Beispiele in der Tab. 3 denen der DIN 1045-2 formal gleichgestellt. Das führt teilweise zur Weglassung von Beispielen bzw. anderen Beispielen als in der DIN 1045-1 Ausgabe 2001 (z. B. Folien 10, 11). Dies sollte nicht überbewertet werden, Bauteile in Wasserwechselzonen gehören z. B. natürlich weiterhin in XC4. Die Umgebungsbedingungen sind entscheidend.

Tab. 3: Expositionsklassen für Bewehrungskorrosion - Karbonatisierung			
Ursache der Korrosion	1	2	3
	Expositionsklasse	Beispiele für Umgebungsbedingungen (informativ)	Mindestbeton- festigkeitsklasse
Karbonatisierungs- induzierte Korrosion	XC1	Trocken	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte; Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
	XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern, Gründungsbauteile
	XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z.B. offene Hallen; Innenräume mit hoher Luftfeuchte, z.B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen
	XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen
Achtung: DIN 1045-2, 5.5.3: WU-Beton → min C25/30 bis $h \leq 0,40$ m DAfStb-WU-Rili, 6.1(5): → min C30/37 bei min h und BK1 (wegen $w/z \leq 0,55$)			
 Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 10			

Tab. 3: Expositionsklassen für Bewehrungskorrosion - Chloride			
Ursache der Korrosion	1	2	3
	Expositionsklasse	Beispiele für Umgebungsbedingungen (informativ)	Mindestbeton- festigkeitsklasse
Chlorid- induzierte Korrosion	XD1	Mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen
	XD2	Nass, selten trocken	Schwimmbecken und Solebäder ; Bauteile, die chloridhaltigen Industrierässern ausgesetzt sind
	XD3	Wechselnd nass und trocken	Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Straßen ; Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung ; Fahrbahndecken ; direkt befahrene Parkdecks ^b
Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$ nach DIN EN 206-1) Die Druckfestigkeitsklasse ist im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. b) Ausführung nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. rissüberbrückende Beschichtung) Alternativen: DAfStb-Heft 525 DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ (in Vorbereitung Fassung Januar 2005)			
 Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 11			

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich für die Praxis mit der Einstufung von Parkdecks in die Klasse XD3.

Zunächst lassen sich die bisherigen Anforderungen an Parkdecks nach alter DIN 1045(1988) so zusammen fassen:

- 6.5.7.4: Beton mit hohem FTW $w/z \leq 0,5$ und LP → B35 LP
- 6.5.7.5: Beton mit starken C-Angriff $w/z \leq 0,5$ → B45
- Tab. 10, Z. 4: Bauteile mit Tausalz oder starkem CA → $c_{\min} = 40$ mm (B35 – 5 mm)
- 13.3: dauerhafte Abdichtung in Tab. 10, Z. 2: → $c_{\min} = 20$ mm
- 17.6.1 (5): Bauteile mit Trennrissen und Tausalz „bedürfen eines besonderen Schutzes“ nach 13.3 (dauerhafte Abdichtung)
- DAfStb-Heft 400 zu 17.6.1 (5): für direkt befahrene Parkdecks mit Rissgefahr besondere Schutzmaßnahmen (z. B. Beschichtung, kunststoffbeschichtete Bewehrung) wird auch für Biegerisse empfohlen.

Die Beanspruchung von Parkdecks durch Tausalz hängt von vielen Einflussfaktoren ab, wie:

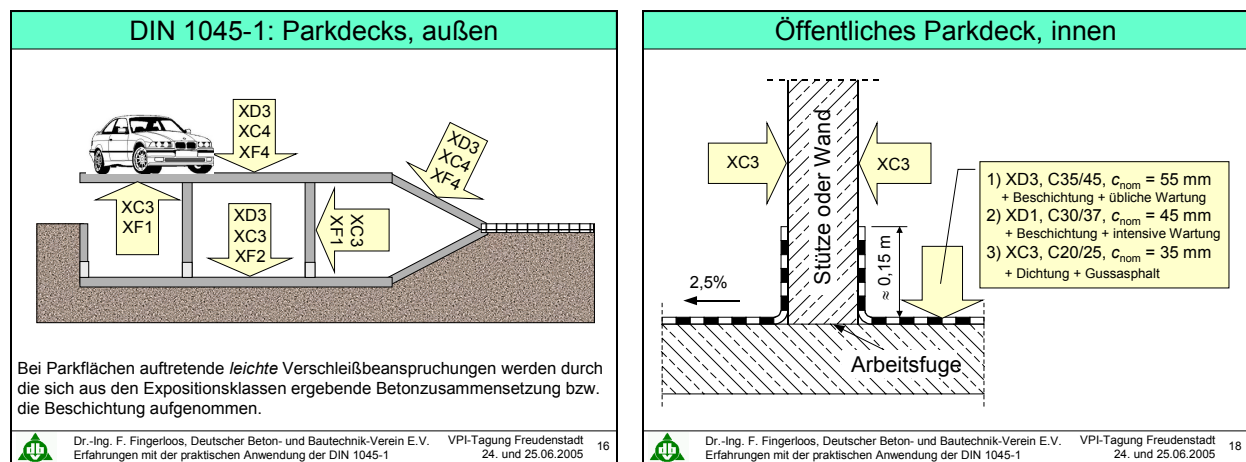
- Fahrzeugfrequenz?
- Gefälle?
- Straßenanbindung?
- Frost?
- horizontale/vertikale Flächen?

Die Norm deckt auf der sicheren Seite liegend mit der Anforderung XD3 und einer zusätzlichen Schutzmaßnahme für gerissene Parkdecks den ungünstigsten Fall ab (z. B. Parkhaus Einkaufszentrum, 1000 Stellplätze, Nähe Bundesautobahn). Der günstigste Fall ist der einem Einfamilienhaus zugeordnete Einzelstellplatz auf einer tragenden Stahlbetonplatte, die in XD1 einzustufen ist. Für andere Parkhäuser sind unter Würdigung der o. g. Einflussfaktoren und in Abstimmung mit Bauherrn und Nutzer angepasste Lösungen denkbar.

Dies spiegelt sich z. B. in folgenden drei Ausführungsvarianten für direkt befahrene Parkdecks wieder (Folien 16, 18):

- Ausführung nach DIN 1045-1 und DIN 1045-2 in XD3 mit einer „zusätzlichen Maßnahme“ (gemäß DIN 1045-1/Ber.2 Tab. 3, Fußnote b) zum Schutz des gerissenen Bauteils (hierzu zählt auch die Verhinderung von Rissen durch Wahl von Einfeldsystemen oder Aufbringen einer Vorspannung).
- Ausführung nach DAfStb-Heften 525 und 526 mit rissüberbrückender Beschichtung, die regel- und planmäßig (2-mal jährlich) gewartet wird, mit Reduzierung der Betondeckung (-10 mm) und der Expositionsklasse auf XD1.
- Ausführung mit Abdichtung mit Polymerbitumen-Schweißbahn in Verbindung mit Gussasphalt in Anlehnung an ZTV-ING oder DIN 18195-5 und Herabstufung des Bauteils in die Expositionsklasse XC3 (evtl. XF1).

Weitere Einzelheiten, auch zu bewährten Ausführungsarten und Beschichtungssystemen, enthält das DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ [16].

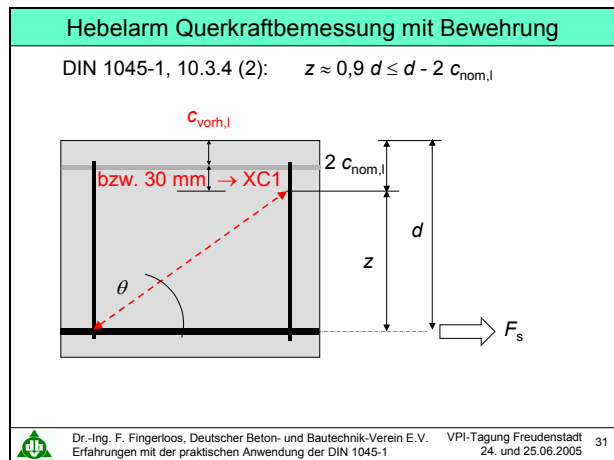
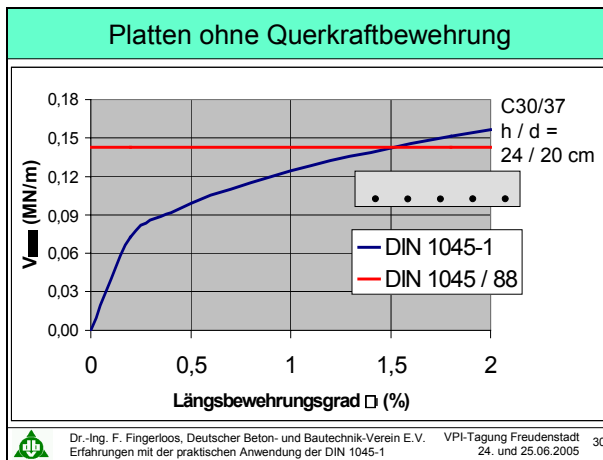


2. Querkraft und Verbundfuge

Beim Querkraftnachweis der DIN 1045-1 sei auf zwei Besonderheiten hingewiesen. **Platten ohne Querkraftbewehrung** mit geringen Längsbewehrungsgraden ($\rho < 1\%$ → üblicher Wohnungsbau) weisen geringere rechnerische Tragfähigkeiten auf als bisher (Folie 30). Dies heißt den Mangel, dass die alte DIN 1045 die zulässige Schubspannung relativ weit vom Längsbewehrungsgrad der Platte abkoppelte, führt aber dazu, dass dünne Platten, die bisher mit τ_{011} gerade noch nachweisbar waren, nunmehr dicker auszuführen sind.

Der zweite Punkt ist die Regel in 10.3.4 (2), dass bei einer Bemessung von Querkraftbewehrung (und nur in diesem Fall), der **Hebelarm der inneren Kräfte im Querkraftfachwerk** auf $z = 0,9 d \leq d - 2 c_{\text{nom},l}$ zu begrenzen ist (Folie 31). Diese Regel soll das Prinzip abdecken, dass die in der Druckzone angreifende schräge Betondruckstrebe durch Bügel zu umfassen ist. Mit dem Abzug von $1 \times c_{\text{nom},l}$ von der statischen Nutzhöhe d ist die Innenkante des Bügels erreicht, bei Abzug von $2 \times c_{\text{nom},l}$ ist die Druckstrebe mit großer Sicherheit innerhalb des umbügelten

Kerns. Bei dünnen Platten und großen Betondeckungen führt das zu Problemen wegen der extrem kleinen Hebelarme z , die wiederum nur durch Erhöhung der Plattendicke behoben werden können. Eine Erleichterung an dieser Stelle liefert die Auslegung, dass der Hebelarm nur auf $z \leq d - c_{\text{nom},l} - 30 \text{ mm}$ zu begrenzen ist.



Verbundfugen zwischen Betonflächen entstehen, wenn aufeinanderfolgende Betonierabschnitte ein im Endzustand zusammenwirkendes Bauteil oder einen monolithischen Betonquerschnitt bilden sollen. Diese Arbeitsfugen, z. B. Fugen zwischen Fertigteilen und Ortbeton, sind so auszubilden, dass alle auftretenden Beanspruchungen aufgenommen werden können. Es können Betone unterschiedlichen Alters und verschiedener Festigkeiten aufeinandertreffen.

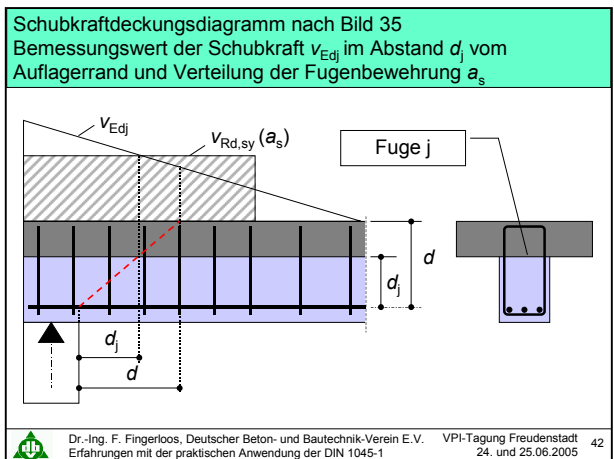
Die Schubtragfähigkeit wird maßgeblich durch die Rauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Fuge bestimmt. In DIN 1045-1, Abschnitt 10.3.6, wird für die Bemessung der Schubkraftübertragung in Fugen eine Einstufung der Oberflächenbeschaffenheit in die Kategorien „sehr glatt“, „glatt“, „rau“ und „verzahnt“ vorgenommen. Die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit der Fuge sind in den Ausführungszeichnungen anzugeben.

Ein Einschneiden des Schubkraftdeckungsdiagramms nach DIN 1045-1, Bild 35 b), ist ähnlich wie bei der Querkraftbewehrung, zulässig. Das heißt, dass zur Ermittlung der zu übertragenden Schubkraft v_{Edj} die Querkraft V_{Ed} im Abstand des Diagrammeinschnittes vom Auflagertrand entfernt herangezogen werden kann. Dieser Abstand entspricht der statischen Nutzhöhe d_j bis zur Verbundfuge j (Folie 42).

Besondere Untersuchungen sind in Fällen anzustellen, wo ein Teilquerschnitt des späteren Gesamtbauteiles parallel zur Verbundfuge vorgespannt wird. Durch die zeitabhängige, kriechbedingte Umlagerung der Vorspannung in den zunächst nicht vorgespannten Teilquerschnitt wird die Verbundfuge zusätzlich beansprucht. Diese zusätzlichen Schubkräfte sind bei der einwirkenden Schubkraft v_{Edj} oder beispielsweise durch eine konstruktive Erhöhung der Fugenbewehrung zu berücksichtigen.

Die Bemessung der in der Verbundfuge aufnehmbaren Schubkraft mit Verbundbewehrung wird auf das Querkraftfachwerk, das DIN 1045-1 zugrunde liegt, zurückgeführt. Die Umstellung auf dieses Nachweisformat aus dem Konzept des EC2 [17, 19] ist nicht korrekt vorgenommen worden, so dass Korrekturbedarf in DIN 1045-1 (2. Berichtigung [1]) und DAfStb-Heft 525 (1. Berichtigung [12]) entstanden ist.

Folie 33 zeigt das einfache mechanische Modell mit den drei Traganteilen der parallel zur Verbundfuge aufnehmbaren Kräfte aus Adhäsion (Betontraganteil), Verbundbewehrung und Reibung infolge Druckspannung auf der Fuge. In Folie 34 ist dieses Modell in den Bezeichnungen des aktuellen Eurocode 2 [19] angeschrieben.



Verbundfuge

Mechanisches Modell:

$$V_{\text{Fuge, gesamt}} = V_{\text{Adhäsion}} + V_{\text{Reibung}} + V_{\text{Bewehrung}} \leq V_{\text{max}}$$

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 33

Verbundfuge EN 1992-1-1:2003-12

Gesamt-schub-tragkraft

$$V_{Rdj} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_N + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Reibung Reibung aus Bewehrung Max-wert

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 34

Bringt man die EC2-Formulierung (Schubspannungen) in die Form der DIN 1045-1 (Schubkräfte), stellt die Gleichung um und klammert V_{Ed} aus, lässt sich zeigen, dass mit einigen Vereinfachungen und der Einführung des Begriffs $\cot \theta$ die Gl. (85) der DIN 1045-1 auf den drei additiven Traganteilen basiert (Folien 35, 36).

Verbundfuge EC2 → DIN 1045-1

$$V_{Rdj} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_{Nd} + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{EC2}$$

$$V_{Rdj} = V_{Rd,c} - \mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b + a_s \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{DIN 1045-1} \cdot b$$

- $V_{Rd,c}$ und $V_{Rdj} = V_{Ed}$

$$V_{Ed} - V_{Rd,c} = V_{Ed} \left(1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}} \right) = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) - \mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b$$

$$V_{Ed} \left(1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}} \right) = a_s \cdot f_{yd} \cdot \mu \cdot (\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{\mu} - \sigma_{Nd} \cdot b)$$

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 35

Verbundfuge EC2 → DIN 1045-1

mit $\cot \theta = \frac{1 \cdot \mu}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}}$

$$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta \cdot (\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{\mu} - \sigma_{Nd} \cdot b)$$

$$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \theta + \cot \theta \frac{\cot \alpha}{\mu}) \cdot \sin \alpha - \cot \theta \cdot \sigma_{Nd} \cdot b$$

$$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \theta + \frac{\cot \alpha}{1 - V_{Rd,c}/V_{Ed}}) \cdot \sin \alpha - \frac{\mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b}{1 - V_{Rd,c}/V_{Ed}}$$

= 1 = 1

Gl. (85): $V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha - \mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b$

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 36

Wenn man den Abschnitt 10.3.6 der DIN 1045-1 nun vergleicht, wird der Korrekturbedarf klar: Der Reibungsanteil $\mu \cdot \sigma_{Nd}$ ist in Gl. (85) direkt und über $v_{Rd,ct}$ indirekt zweifach enthalten und darf daher bei der Ermittlung von $\cot \theta$ in $v_{Rd,ct}$ nicht miteingerechnet werden. Darüber hinaus ist der Normalspannungsanteil σ_{cd} parallel zur Verbundfuge in Gl. (86) nicht ableitbar und darf insbesondere als tragfähigkeitssteigernde Betondruckspannung (z. B. aus Vorspannung) bei der Verbundfuge nicht berücksichtigt werden (Folie 37).

Verbundfuge EC2 → DIN 1045-1

Schlussfolgerungen

	DIN 1045-1:2001-07	2. Berichtigung:2005-03 / H525
ohne Verbundbewehrung	$v_{Rd,ct} = (0,042 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} - \mu \cdot \sigma_{Nd}) \cdot b$	
mit Verbundbewehrung	$v_{Rd,ct}$	$v_{Rd,q} = 0,042 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b$
	$\cot \theta = \frac{1,2\mu - 1,4\sigma_{cd}/f_{cd}}{1 - \frac{V_{Rd,ct}}{V_{Ed}}}$	$\cot \theta = \frac{1,2\mu}{1 - \frac{V_{Rd,q}}{V_{Ed}}}$
	$V_{Rd,sy} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha - \mu \cdot \sigma_{Nd} \cdot b$	
$V_{Rd,max}$	$\cot \theta \geq 1,0$	

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 37

Verbundfuge DIN 1045-1

Maximaltragfähigkeit

$$\cot \theta = \frac{1,2\mu}{1 - \frac{V_{Rd,ct}}{V_{Ed}}} \geq 1,0 \Rightarrow V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd,ct}}{1 - 1,2\mu}$$

verzahnte Fuge	$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ Gl.(78)
raue Fuge	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd,ct}}{1 - 1,2 \cdot 0,7} = 6,25 \cdot V_{Rd,ct} = 0,525 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b$
glatte Fuge	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd,ct}}{1 - 1,2 \cdot 0,6} = 3,6 \cdot V_{Rd,ct} = 0,21 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot b$
sehr glatte Fuge	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd,ct}}{1 - 1,2 \cdot 0,5} = 0$

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 38

Wenn man berücksichtigt, dass für die Tragfähigkeit der Verbundfugen praktische Erfahrungen nur im Parameterbereich der alten DIN 1045 (1988) vorliegen, ist eine obere Begrenzung notwendig. Diese obere Tragfähigkeitsbegrenzung wird in DIN 1045-1 durch die Eingrenzung der Druckstrebenneigung auf maximal 45° ($\cot \theta \geq 1,0$) indirekt vorgenommen (Folie 38). Das heißt,

dass der Ansatz der Verbundbewehrung nach den Regeln von DIN 1045-1 nicht zulässig ist, wenn sich mit Gl. (86) rechnerisch Druckstrebenwinkel $\theta > 45^\circ$ ergeben (für sehr glatte Fugen praktisch immer).

In diesem Beitrag wird statt dieser sehr konservativen Begrenzung eine alternative Tragfähigkeitsgrenze $v_{Rd,max}$ für die Verbundfuge vorgeschlagen. Wenn man die untere Schranke für $\cot \theta$ in Gl. (86) wie im Querkrafftachwerk auf $\cot \theta \geq 0,58$ reduziert, hat dies zunächst zur Folge, dass die Verbundbewehrung mit der Abnahme der Fugenrauigkeit rechnerisch weiter vergrößert wird. Eine beliebige Tragfähigkeitssteigerung der Verbundfuge nur mit Verstärken der Fugenbewehrung ist aber, abhängig von der Fugenkategorie, durch einen zusätzlichen Nachweis von $v_{Rd,max}$ zu verhindern.

Bisher durften ortbetonergänzte Fertigteilquerschnitte mit ausreichend profilierten oder rauen Fugen nur im Schubbereich 2 bei voller Schubdeckung (Druckstrebenwinkel $\theta = 45^\circ$) ausgenutzt werden. Die entsprechende Schubspannungsgrenze τ_{02} entspricht für eine Bügelbewehrung ($\alpha = 90^\circ$) ungefähr dem Wert $0,5 \cdot V_{Rd,max}$ nach Gl. (78) in [1]. Glatte und sehr glatte Fugen waren nicht geregelt.

Bei ortbetonergänzten Fertigteilplatten mit rauen Fugen im üblichen Hochbau war der Ansatz abgeminderter Schubdeckung (Druckstrebenwinkel $\theta < 45^\circ$) im Schubbereich 2 zulässig. Diese Erleichterung wurde in DAfStb-Heft 400 unter bestimmten Bedingungen auch auf ortbetonergänzte Fertigteilbalken erweitert. Dort wurde auch die Ausnutzung von ortbetonergänzten Fertigteilbalken bis in den Schubbereich 3 unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen mit verzahnten Fugen ergänzt.

Im Sinne von DIN 1045 (1988) ist in der deutschen Fassung von DIN V ENV 1992-1-3 [17] in Verbindung mit der DAfStb-Richtlinie zur Anwendung von Eurocode 2, Teil 1-3 [18], konsequenterweise eine Begrenzung der Querschnittstragfähigkeit mit Verbundbewehrung enthalten, die in dieser Form in DIN 1045-1 [1] fehlt. Für die Brauchbarkeit dieser Grenzwerte spricht zunächst, dass die Vornorm [17] in Verbindung mit [18] bis zur bauaufsichtlichen Einführung der DIN 1045-1 im Jahre 2002 ebenfalls baurechtlich eingeführt war. Die Begrenzung ist auch im Hinblick auf die Schubreibungstheorie begründbar. Danach wird bei der Relativverschiebung in der Verbundfuge schon bei geringen Rissbreiten eine Rissaufweitung durch die Rauigkeit der Rissufer bewirkt. Diese Rissaufweitung führt zur Aktivierung der Verbundbewehrung, die damit Reibungskräfte analog einer auf die Fuge wirkenden Druckkraft erzeugt, die die Schubkräfte aufnehmen können. Dieser Effekt überwiegt die Dübelwirkung der Verbundbewehrung in der Fuge bei kleinen Verschiebungen deutlich. Es ist nachvollziehbar, dass die Bewehrungsaktivierung durch die geringere oder fehlende Rissaufweitung bei glatten und sehr glatten Fugen deutlich abfällt.

Diese reduzierte Obergrenze aus [18] wird hier als aufnehmbare Querkraft im Sinne von DIN 1045-1 formuliert (Folie 39):

$$V_{Rd,max} = \beta \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w$$

mit

v Wirksamkeitsfaktor

$$v = (0,7 - f_{ck} / 200) / \alpha \geq (0,5 / \alpha) \text{ für } \leq C50/60 \text{ bzw. } \geq (0,4 / \alpha) \text{ für } > C50/60$$

α Dauerstandsfaktor nach DIN 1045-1, 9.1.6 (2)

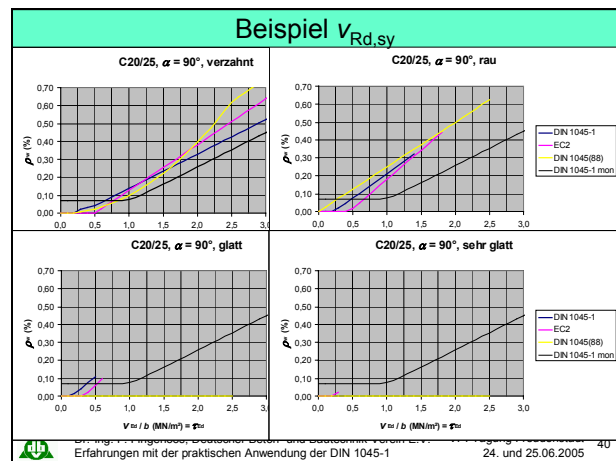
β Faktor für Fugenbeschaffenheit

$$\text{verzahnt/profilert: } \beta = 0,5; \text{ rau: } \beta = 0,3; \text{ glatt: } \beta = 0,1; \text{ sehr glatt: } \beta = 0,05$$

Es ist vertretbar, diese konservative Begrenzung etwas zu erhöhen, indem man den Wirksamkeitsfaktor v des EC2 durch $\alpha_c = 0,75 \eta_1$ nach DIN 1045-1 ersetzt.

Ein Vergleich der Tragfähigkeiten der Verbundfuge (als aufnehmbare Schubspannung zum Verbundbewehrungsgrad) zeigt exemplarisch Folie 40 für C20/25, 90°-Bügelbewehrung und die vier Fugenkategorien.

Alternativ $v_{Rd,max}$	
Obere Grenze EC2:	
$v_{Rdj} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$	
Bis 2001 in D eingeführt: DIN V ENV 1992-1-3 (1994) mit DAfStb-Richtlinie zur Anwendung	
$v_{Rdj} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$	verzahnt oder profiliert
$v_{Rdj} \leq 0,3 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$	rau
$v_{Rdj} \leq 0,1 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$	Fertigteil mit Extruder o. Gleitschalung
$v_{Rdj} \leq 0,05 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b$	sehr glatt
mit Wirksamkeitsfaktor	
ENV 1992-1-3 (1994): $v = 0,7 - f_{ck} / 200 \geq 0,5$	
EN 1992-1-1 (2004): $v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$	
<small>Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt Erfahrungen mit der praktischen Anwendung der DIN 1045-1 24. und 25.06.2005 39</small>	



3. Mindestbewehrungen

In DIN 1045-1 sind mehrere Vorschriften für Mindestbewehrungen enthalten, die in einwirkungsabhängige Mindestbewehrungen und querschnittsabhängige bzw. konstruktive Mindestbewehrungen unterschieden werden können.

Aus beiden Gruppen soll auf folgende eingegangen werden:

Einwirkungsabhängige Mindestbewehrungen:

- Mindestbügelbewehrung zur Umschnürung der Druckzone

Querschnittsabhängige bzw. konstruktive Mindestbewehrungen

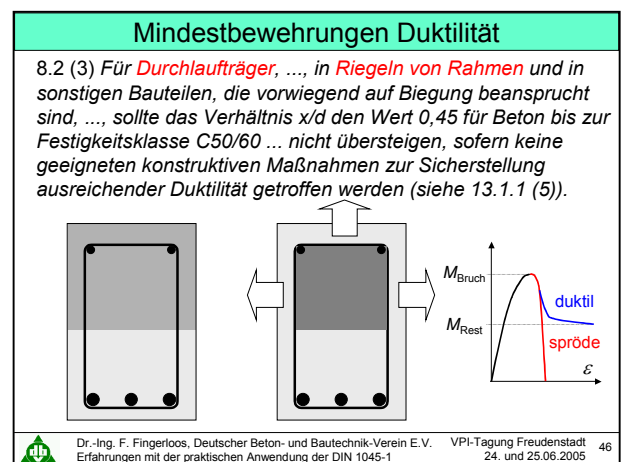
- Mindestbewehrung zur Sicherstellung duktilen Bauteilverhaltens
- Mindestquerkraftbewehrung
- Mindestbewehrung in Wänden als Druckglieder

Mindestbügelbewehrung zur Umschnürung der Druckzone

Die Duktilität eines Querschnittes kann auch durch sprödes Versagen der Biegedruckzone, beispielsweise durch Abplatzen der Betondeckung und fortschreitende Querschnittseinschnürung, eingeschränkt werden. Dies ist bei hochbewehrten Stahlbetonbauteilen mit stark ausgenutzter Druckzone, wie zum Beispiel bei Stegen durchlaufender Plattenbalken im Stützbereich oder in Überzügen im Feldbereich der Fall. Gekennzeichnet sind diese gefährdeten Bereiche nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.2 (3), durch größere Druckzonenhöhen, d. h. $x_d > 0,45 d$ ($\leq C50/60$) bzw. $x_d > 0,35 d$ ($\geq C55/67$). Die Sprödbrechneigung steigt vor allem bei höherfesten Betonen an. Das schlagartige Versagen kündigt sich nicht durch eine deutliche, vorher zu beobachtende Rissbildung an.

In diesen Fällen muss durch eine Umschnürung der Druckzone sichergestellt werden, dass der umbügelte Restquerschnitt nach dem Versagen der Betondeckung eine ausreichende Tragkapazität im Nachbruchbereich behält (abfallender Ast der Arbeitslinie). Ein robustes Verhalten ist allerdings nur möglich, wenn sich die Schnittgrößen innerhalb eines statisch unbestimmten Systems in ungeschädigte Bereiche umlagern können, da die Tragkapazität des Restquerschnitts nach Beginn des Biegedruckversagens grundsätzlich reduziert ist [20] (Folie 46).

Diese Reduktion wird auch wesentlich durch die Dicke der ausfallenden, nichtumschnürten Betondeckung bestimmt. In diesen kritischen Querschnittsbereichen sollte daher die Betondeckung so gering wie zulässig gewählt und in der Bauausführung entsprechend genau umgesetzt werden.



Bei einem statisch bestimmt gelagerten Einfeldträger wird der Bruchmechanismus dementsprechend auch bei noch so enger Bügelumschnürung in der Regel progressiv zum Kollaps führen. Hier sollte deshalb der Querschnitt so gewählt werden, dass die Biegedruckzone weniger stark ausgelastet wird, indem die o. g. Druckzonenhöhen x_d unterschritten werden.

DIN 1045-1 sieht daher in Abschnitt 13.1.1 (5) für die Umschnürungsbewehrung der Biegedruckzone vereinfachend und unabhängig von der Querkraftbemessung einen maximalen Abstand von Bügeln mit mindestens $\varnothing 10$ nach [1], Tabelle 31, Zeile 3, vor. Bügel aus der Querkraftdeckung dürfen aber für die Umschnürungsbewehrung angerechnet werden.

Bei Querschnittsbreiten über 400 mm und -höhen über 500 mm allgemein und bei Querschnitten aus hochfestem Beton ab C80/95 sollten die Bügelabstände gegenüber denen der Tabelle 31, Zeile 3, in [1] noch weiter verringert werden, um ein duktileres Nachbruchverhalten zu erzeugen [20].

Mindestlängsbewehrung für Biegebauteile (Robustheitsbewehrung)

Um ein unangekündigtes, schlagartiges Biegeversagen zu verhindern, soll eine Mindestbewehrung die resultierende Zugkraft aus der Zugspannungsfläche der Risschnittgröße aufnehmen können, ohne dass die Stahlzugfestigkeit überschritten wird. Dies muss im Prinzip in allen Querschnittsbereichen von Biegebauteilen möglich sein, die unter Gebrauchslasten Zugspannungen erhalten können. Wegen der Streuungen der tatsächlichen Betonzugfestigkeiten und des Einflusses der Bauausführung sowie bei unvorhergesehenen Einwirkungen (z. B. Zwang, außergewöhnliche oder andere, nichtberücksichtigte Einwirkungen), ist ein Erstriss auch in Bauteilbereichen möglich, die sonst rechnerisch im ungerissenen Zustand I verbleiben würden und gering oder gar nicht bewehrt werden müssten. Würde dieser Riss unplanmäßig an einer bestimmten Stelle auftreten und die Bewehrung dort fehlen, könnte die Rissöffnung nicht zum Stillstand kommen und das Bauteil trotz daneben höher bewehrter Bereiche sofort versagen.

Die im Feld erforderliche Mindestbewehrung soll zwischen jeweils benachbarten Auflagern als Zugband durchlaufen und muss dort verankert oder ins nächste Feld geführt werden. Im Stützbereich durchlaufender Bauteile ist die obere Mindestbewehrung entsprechend der Zugkraftdeckungslinie, mindestens aber über ein Viertel der Stützweite benachbarter Felder, vorzusehen. DIN 1045-1 [1], Abschnitt 13.1.1 (3), fordert, die Mindestbewehrung gleichmäßig über die Breite und anteilig über die Höhe der Zugzone zu verteilen. Die Verteilung über die Höhe schränkt allerdings durch die Verringerung des inneren Hebelarms zum Bewehrungsschwerpunkt die Wirksamkeit der Mindestbewehrung wieder ein. Grundsätzlich empfiehlt sich die Bemessung einer an den Außenflächen des Querschnitts liegenden konzentrierten Mindestbewehrung. Bei hohen Querschnitten (und Zugzonen) besteht die Gefahr breiter Sammelrisse, die entweder durch eine zusätzliche konstruktive Bewehrung oder ohnehin durch die rissbreitenbegrenzende Bewehrung abgedeckt werden sollte.

Die Vorankündigung des Versagens darf und soll dabei durchaus mit breiten Rissen und Verformungen einhergehen, um Zeit für Maßnahmen zum Schutz von Leben oder Gütern zu gewinnen. Die Mindestbewehrung kann rechnerisch deshalb mit der charakteristischen Fließgrenze von $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ausgenutzt werden, da auch nach Überschreiten dieser Spannung und mit stark zunehmenden Stahldehnungen noch eine ansteigende Tragfähigkeit (Nachverfestigung bei Kaltverformung der Bewehrungsstähle) bis auf die rechnerische Zugfestigkeit von mindestens $f_t = 525 \text{ N/mm}^2$ nachgewiesen ist.

Bei dickeren **Fundamenten** kommt es oft vor, dass die Tragfähigkeit mit relativ geringen Biege-längsbewehrungsgraden nachzuweisen ist. Das Rissmoment nimmt aber mit der Bauteildicke überproportional zu, so dass mit dem Vorgehen nach Abschnitt 13.1.1 eine überdimensionierte Mindestbewehrung berechnet wird. Überlegungen zur alternativen Einhaltung des Duktilitätskriteriums nach Abschnitt 5.3.2 (1) (Prinzip) sind hier deshalb angebracht. Erinnerung sei daran, dass die Mindestbewehrung nur auf einer Anwendungsregel nach 5.3.2 (2) beruht, bei ihrer Anwendung dann aber prinzipiell nach 13.1.1 vorzusehen ist.

Ist das Rissmoment deutlich größer als das Bemessungsmoment im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter γ_F -fachen Lasten bleibt zu fragen, ob der Nachweis nicht mit einem unbewehrten Querschnitt geführt werden kann. Wenn der Querschnitt mit ausreichender Wahrscheinlichkeit

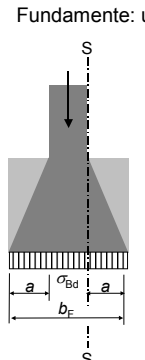
unter allen möglichen Einwirkungen ungerissen bleibt, ist keine Bewehrung erforderlich. DIN 1045-1 lässt in diesem Ausnahmefall bei unbewehrten Fundamenten den Ansatz der Zugfestigkeit auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit $f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ (i. Allg. $\gamma_c = 1,8$) zu. Der Querkraftnachweis kann, wenn erforderlich, über die Einhaltung der zulässigen Hauptzugspannungen, z. B. nach DIN 1045-1, Gl. (72), erfolgen.

Die alternative Einhaltung konstruktiver Abmessungen für unbewehrte, zentrisch belastete Einzel- und Streifenfundamente ist möglich. Hierfür kann, vergleichbar mit den Angaben in Abschnitt 2.5 im DAfStb-Heft 240, eine Gleichung angegeben werden, die aus der Betrachtung am auskragenden Teil des Fundamentes und der zulässigen Zugfestigkeit abgeleitet wird. Wegen des gedrungenen Kragarms wird das Ebenbleiben des Bemessungsquerschnitts zweifelhaft, daher wird das Widerstandsmoment im Schnitt S-S näherungsweise auf eine reduzierte Fundamenthöhe von $0,85 h_F$ bezogen (Folie 49).

Mindestbewehrung Duktilität

Fundamente: unbewehrt?

Schnitt S-S:
 $M_S = \sigma_{Bd} \cdot a^2 / 2$ und $W_c = (0,85 h_F)^2 / 6$
 $M_S / W_c \leq f_{ctd}$
 $\rightarrow 6 \cdot \sigma_{Bd} \cdot a^2 / \{2 \cdot (0,85 h_F)^2\} \leq f_{ctd}$
 $\rightarrow 3 \cdot \sigma_{Bd} / f_{ctd} \leq (0,85 h_F)^2 / a^2$
 $\rightarrow (3 \cdot \sigma_{Bd} / f_{ctd})^{1/2} \leq 0,85 h_F / a$

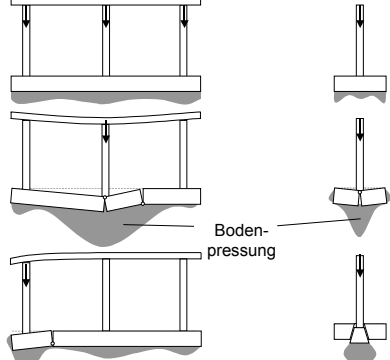


	$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$	Bodenpressung σ_{Bd} [MN/m ²]					
		0,150	0,250	0,350	0,450	0,550	0,650
C12	0,61		1,3	1,5	1,8	1,9	2
C16	0,72		1,2	1,4	1,6	1,8	1,9
C20	0,83	1	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8
C25	1,00			1,2	1,4	1,5	1,7
C30	1,11	1		1,1	1,3	1,4	1,6

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 49

Mindestbewehrung Duktilität

Fundamente: duktil?



Bodenpressung

Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 50

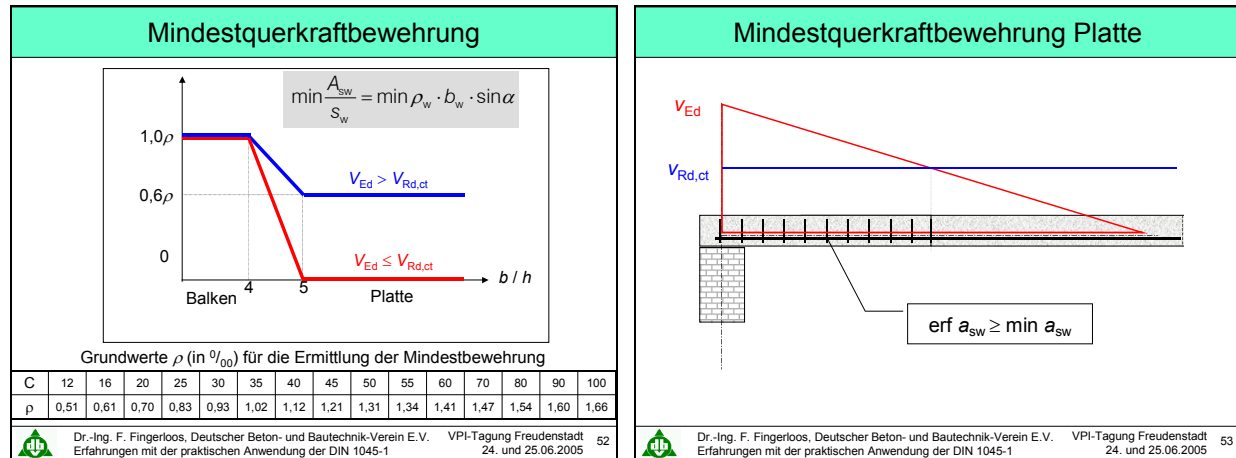
Werden bewehrte Fundamente und Bodenplatten vorgesehen, ist zunächst festzustellen, dass sich diese gebettet gelagerten Bauteile im Gegensatz zu frei tragenden Biegebauteilen im Allgemeinen sehr gutmütig verhalten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Verteilung der Bodenpressung auf die Veränderung der Bauteilsteifigkeiten und insbesondere auf stärkere Setzungen durch Konzentration reagiert (Boden-Bauwerk-Interaktion). Bei Entstehung von breiten Einzellrissen bzw. plastischen Gelenken ziehen die damit einhergehenden Verformungen entsprechende Bodenreaktionen an, die das spröde Versagen verhindern und neue Gleichgewichtszustände ausbilden können. Dabei kommt es darauf an nachzuweisen, dass ein deutlicher Abbau der Querschnittstragfähigkeit durch klaffende Risse über Umlagerungen der Bodenpressungen so kompensiert wird, dass ein Gleichgewichtszustand mit 1,0-facher Sicherheit abgedeckt ist. Die dabei zu erwartenden großen Setzungen müssen mit dem Tragwerk so kompatibel sein, dass der unmittelbare Einsturz auch benachbarter Bauteile nicht zu erwarten ist (Folie 50). Unter diesen Umständen kann bei Fundamenten eine ausreichende Duktilität auch ohne Robustheitsbewehrung gegeben sein.

Diese Zusammenhänge haben in der DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton [21] für Bauteile mit der kleineren Bauteilabmessung von $h \geq 800$ mm Berücksichtigung gefunden. Danach darf bei massigen Gründungsbauteilen und erddruckbelasteten Wänden aus Stahlbeton auf die Mindestbewehrung nach 13.1.1 (1) verzichtet werden, wenn das duktile Bauteilverhalten durch Umlagerung der Bodenpressungen bzw. des Erddrucks sichergestellt werden kann. Dabei müssen die Schnittgrößen für äußere Lasten nach DIN 1045-1, Abschnitt 8.2, ermittelt sowie die Grenzzustände der Tragfähigkeit nach Abschnitt 10 und der Gebrauchstauglichkeit nach Abschnitt 11 dieser Norm nachgewiesen werden.

In anderen Fällen, z. B. bei verschieblichen Systemen oder großen Lastausmitteln auf Einzel- und Streifenfundamenten, ist zu erwarten, dass die Biegebewehrung aus der Tragfähigkeitsbemessung ohnehin die Werte der Mindestbewehrung überschreitet.

Mindestquerkraftbewehrung

Für Platten, die Querkraftbewehrung benötigen, ist in den Bereichen, wo $V_{Ed} > V_{Rd,ct}$ beträgt, 60 % der Mindestquerkraftbewehrung von Balken erforderlich, um ausreichende Duktilität und Schubrissbreitenbegrenzung konstruktiv sicherzustellen (Folien 52, 53).



Mindestbewehrung in Wänden

Eine allgemeine, mechanisch begründbare Ableitung für bestimmte Aufgaben der Mindestbewehrung nach DIN 1045-1 für Druckglieder, wie Wände und Stützen, lässt sich nicht angeben. Im Wesentlichen dient sie der Unterscheidung zwischen bewehrten und unbewehrten Bauteilen.

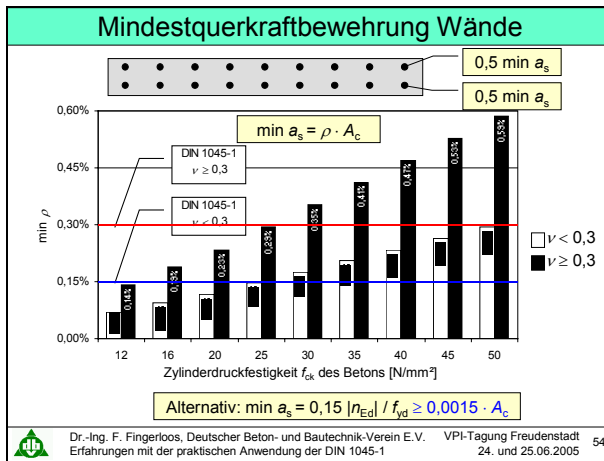
Um eine bestimmte Duktilität von Wänden sicherzustellen, oder zur Verringerung von Kriech- und Schwinddehnungen oder zur Abdeckung von nichtberücksichtigten Biegeeinwirkungen ist eine Mindestbewehrung grundsätzlich sinnvoll. Dafür sind im Abschnitt 13.7.1 (3) von [1] Mindestbewehrungsgrade angegeben, die für gering beanspruchte Wände 0,15 % der Betonquerschnittsfläche A_c und für höher beanspruchte Wände 0,3 % von A_c betragen. Höher beanspruchte Wände in diesem Sinne sind solche, deren Normalkraftbeanspruchung $|N_{Ed}|$ über 30 % des Betontraganteils $f_{cd} \cdot A_c$ beträgt oder bei denen ein Stabilitätsnachweis nach Theorie II. Ordnung zu führen ist. Die angegebene Mindestbewehrung ist auf den Gesamtquerschnitt zu beziehen und sollte jeweils zur Hälfte auf beide Wandseiten verteilt werden. Dies entspricht dann für gering beanspruchte Wände mit 0,075 % je Wandseite den Anforderungen an wandartige Träger. Höherbelastete Wände sind dementsprechend mit 0,15 % von A_c je Wandseite zu bewehren. Die Höchstbewehrung soll insgesamt 4 % von A_c betragen und darf im Bereich von Übergreifungsstößen 8 % von A_c nicht überschreiten (Folie 55). Dies entspricht im Prinzip den Empfehlungen im aktuellen Eurocode 2 [19] mit $A_{s,vmin} = 0,002 A_c$ und $A_{s,vmax} = 0,04 A_c$.

Darüber hinaus ist es vertretbar, für überwiegend auf Druck beanspruchte Wände die Mindestbewehrungsregel für Stützen nach DIN 1045-1, Abschnitt 13.5.2, sinngemäß anzuwenden, die die tatsächliche Normalkraftauslastung berücksichtigt:

$$A_{s,min} = 0,15 |N_{Ed}| / f_{yd}$$

Setzt man für $|N_{Ed}|$ den Grenzwert für gering belastete Wände $0,3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$ sowie $f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5$ und $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$ ein, ergibt sich ein Vorschlag für die Mindestbewehrung der Wände abhängig von der Betonfestigkeitsklasse nach Folie 54. Die Werte für höher belastete Wände sind hier verdoppelt. Zu erkennen ist, dass der konstante Normwert für die Mindestbewehrung 0,15 % bzw. 0,3 % die mittlere Betonfestigkeitsklasse C25/30 abdeckt. Für andere Betonfestigkeitsklassen sind entsprechend höhere oder geringere Mindestbewehrungen sachgerechter. Der Mindestbewehrungsgrad von 0,15 % der Betonquerschnittsfläche A_c sollte aber für bewehrte Wände grundsätzlich nicht unterschritten werden.

Alternativ kann auch bei Einsatz von geringer konstruktiver Bewehrung immer die Bemessung als unbewehrte Wand vorgenommen werden.



Konstruktionsregeln für Wände / wandartige Träger

Mindestbewehrung	Wände		Wandartige Träger	
	Allgemein	$ N_{Ed} \geq 0,3 f_{ctd} A_c$ bzw. $\lambda > \lambda_{max}$		
lotrecht (je Wandseite)	Mindestwert	0,075 % A_c	0,15 % A_c	1,5 cm ² /m bzw. 0,075 % A_c
	Maximalwert	2 % A_c (im Stoß bis 4 %)		-
	Stababstand	$s_1 \leq 2 h \leq 300$ mm		$s_1 \leq 2 h \leq 300$ mm
horizontal $d_{stl} \geq 0,25 \max d_{stl}$	Mindestwert	0,2 A_{stl}	0,5 A_{stl}	1,5 cm ² /m bzw. 0,00075 A_c
	Stababstand	$s_q \leq 350$ mm		$s_q \leq 2 h \leq 300$ mm
quer	$A_{stl} \leq 0,02 A_c$	Verbindung der außenliegenden Bewehrungsstäbe z. B. durch S-Haken, min 4 Stck./ m ² versetzt.		
	$A_{stl} > 0,02 A_c$	Bügel nach DIN 1045-1, 13.5.3 (analog Stützen)		
Rand	$A_{stl} < 0,003 A_c$	-		
	$A_{stl} \geq 0,003 A_c$	an freien Rändern Sicherung der Eckstäbe durch Steckbügel.		

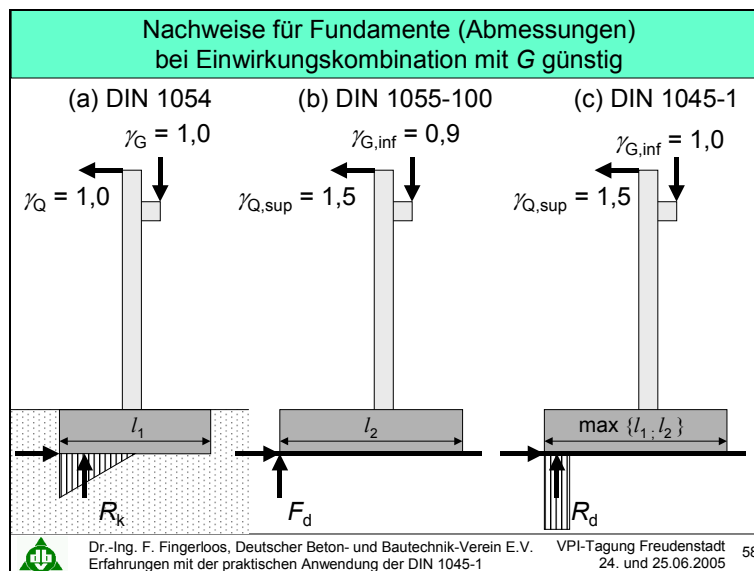
Dr.-Ing. F. Fingerloos, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. VPI-Tagung Freudenstadt 24. und 25.06.2005 55

4. Fundamente

Das Teilsicherheitskonzept gilt grundsätzlich auch für Fundamente. Stahlbetontragwerke einschließlich der Gründungskörper werden mit den Bemessungswerten nach DIN 1055-100 bzw. DIN 1045-1 berechnet. In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sind nach DIN 1055-100, Tabelle A.3, sowohl für den Nachweis der Lagesicherheit (b) als auch der Bemessung der Stahlbetonfundamente (c) Einwirkungskombinationen mit ungünstigen und günstigen Bemessungswerten unabhängiger ständiger Einwirkungen zu berücksichtigen (siehe Folie 58).

Die Fundamentfläche ergibt sich bei günstig wirkendem G aus dem Nachweis der Lagesicherheit (b) oder aus den Nachweisen der Baugrundtragfähigkeit (a).

Für die Bemessung der Fundamente nach DIN 1045-1 ist die sich aus der Gleichgewichtsbedingung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergebende Resultierende der fiktiven Bodenpressungen als Bemessungswert anzusetzen (c). Diese Bodenpressungen dürfen auch als gleichmäßig verteilt ohne betragsmäßige Begrenzung angenommen werden.



Literatur

- [1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion:2001-07 und DIN 1045-1 Ber 2:2005-06 Berichtigung 2 zu DIN 1045-1
- [2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität:2001-07 und DIN 1045-2/A1:2005-01, A1-Änderung
- [3] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung:2001-07 und DIN 1045-3/A1:2005-01, A1-Änderung
- [4] DIN 1045-4: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen:2001-07
- [5] DIN EN 206-1: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität:2001-07 und DIN EN 206-1/A2:2005-09, A2-Änderung
- [6] Kommentierte Kurzfassung DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton und Stahlbeton; Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.; Bundesvereinigung der Prüfsingenieure für Bautechnik e.V.; Verband der Beratenden Ingenieure e.V.; Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.; Beuth Verlag und Fraunhofer IRB Verlag, 2. Auflage 2005
- [7] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln; 2001-03
- [8] *Lünser / Schubert*: Übergangsfristen im bauaufsichtlichen Regelwerk am Beispiel der Einführung von DIN 1045-neu; Bauingenieur 80 (2005), Heft 1, S. 50-52 bzw. Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 1, S. 63-66
- [9] Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1: Hochbau, Hrsg. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Ernst & Sohn, Berlin, 2. Auflage 2005
- [10] Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 2: Ingenieurbau, Hrsg. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Ernst & Sohn, Berlin, 2. Auflage 2006
- [11] DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile:1994-03 und DIN 4102-4/A1:2004-11, A1-Änderung und DIN 4102-22: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 22: Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten:2004-11
- [12] Erläuterungen zu DIN 1045-1, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 525 – Beuth Verlag 2003 und Berichtigung 1:2005-05 zum DAfStb-Heft 525
- [13] *Fingerloos / Litzner*: Erläuterungen zur praktischen Anwendung der DIN 1045-1, Beton-Kalender 2005/2, Berlin: Ernst & Sohn (auch im BK 2006/2)
- [14] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, (WU-Richtlinie):2003-11
- [15] DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton, Ausgabe 2005-03
- [16] DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen; Fassung 2005-01
- [17] DIN V ENV 1992-1-3: Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-3: Vorgefertigte Bauteile und Tragwerke. Deutsche Fassung ENV 1992-1-3. Vornorm. Ausgabe Juni 1994.
- [18] (DAfStb-Richtlinie zur Anwendung von Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil 1-3: Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen. Ausgabe Juni 1995
- [19] 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, Ausgabe:2005-10
- [20] *Sint, A.*: Duktilität von Biegebauteilen bei Versagen der Biegedruckzone. Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), Heft 5, S. 285 bis 291.
- [21] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb): Richtlinie Massige Bauteile aus Beton, Ausgabe 2005-03